



*Expertise réalisée par l'IRD
à la demande du ministère de la Santé,
de la Jeunesse et des Sports,
du ministère de l'Écologie, de l'Énergie,
du Développement durable
et de l'Aménagement du territoire,
du ministère de l'Intérieur, de l'Outre-mer
et des collectivités territoriales,
du ministère de l'Agriculture et de la Pêche
et du ministère de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche.*

Version bilingue

La lutte antivectorielle en France

Disease vector control in France

Coordination scientifique

**DIDIER FONTENILLE, CHRISTOPHE LAGNEAU, SYLVIE LECOLLINET
RÉGINE LEFAIT-ROBIN, MICHEL SETBON, BERNARD TIREL
ANDRÉ YEBAKIMA**



Institut de recherche
pour le développement

La lutte antivectorielle en France

La lutte antivectorielle en France

Coordination scientifique

**Didier FONTENILLE, Christophe LAGNEAU, Sylvie LECOLLINET,
Régine LEFAIT-ROBIN, Michel SETBON, Bernard TIREL, André YÉBAKIMA**

*La synthèse et les recommandations du rapport
sont présentées successivement en français et en anglais sur support papier.
La partie analytique est présentée sur le CD-ROM joint.*

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Expertise collégiale

Marseille, 2009

Coordination

Département Expertise et Valorisation, IRD

Préparation éditoriale

Marion Enguehard

Correction

Yolande Cavallazzi

Traduction en anglais

Nicholas Flay

Maquette couverture et intérieur

Pierre Lopez

Mise en page

Bill Production

Coordination fabrication

Catherine Plasse

Cette expertise collégiale a été réalisée par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) à la demande de quatre ministères et un secrétariat d'État – le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire ; le ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ; le ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports (financeur) ; le ministère de l'Intérieur, de l'Outre-mer et des Collectivités territoriales et le secrétariat d'État chargé de l'Écologie.

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

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

© IRD, 2009

ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1667-7

Composition du collège des experts

COORDINATION SCIENTIFIQUE

Didier FONTENILLE,

Président (Institut de recherche pour le développement)

Christophe LAGNEAU (Entente interdépartementale
de démoustication Méditerranée)

Sylvie LECOLLINET (Agence française de sécurité sanitaire des aliments)

Régine LEFAIT-ROBIN (Institut de recherche pour le développement)

Michel SETBON (Centre national de la recherche scientifique)

Bernard TIREL (École des hautes études en santé publique)

André YÉBAKIMA (Conseil général de la Martinique)

MEMBRES

Thomas BALENGHIEN (Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement)

Daniel BLEY (Centre national de la recherche scientifique)

Xavier CABANNES (Université Paris-Descartes)

Jean-Claude DESENCLOS (Institut de veille sanitaire)

Laurent LAGADIC (Institut national de la recherche agronomique)

Éric MALIN (Université Rennes-I)

Ohri YAMADA (Agence française de sécurité sanitaire
de l'environnement et du travail)

Ont également participé à la réalisation de cette expertise collégiale

RAPPORTEURE

Dominique CHOUCHAN (journaliste scientifique indépendante)

RELECTURE SCIENTIFIQUE

Jean-Paul BOUTIN (Institut de médecine tropicale
du service de santé des armées)

François VIALLA (Université Montpellier-I)

IRD - DÉPARTEMENT EXPERTISE ET VALORISATION

Anne GESLIN-FERRON (chargée des ressources documentaires)

Stéphane RAUD (directeur)

Sylvain ROBERT (responsable du pôle expertise et consultance)

Sommaire

Présentation du DEV et de la collection « Expertise collégiale »	13
Objectifs et méthodes de l'expertise collégiale	15
Avant-propos	17
Introduction	19



Synthèse et recommandations

DU CADRE JURIDIQUE À LA GOUVERNANCE	35
<i>Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle</i>	37
Lutte antivectorielle en cas de risques pour l'homme	37
Lutte antivectorielle et santé animale	48
Le droit des assurances et les maladies vectorielles	51
<i>Comment la gouvernance s'organise-t-elle ?</i>	54
La Réunion	54
La Guadeloupe	57
Martinique	60
Guyane	64
Mayotte	65
Haute-Corse	66
Corse-du-Sud	68
MISE EN ŒUVRE DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE	73
<i>Des stratégies variables selon les territoires</i>	75
Santé humaine	76
Santé animale	85
<i>Organisation de la lutte et ressources humaines</i>	90
Santé animale	90
Santé humaine	92

<i>Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle</i>	101
Mise au point sur quelques concepts	101
Identification des messages	102
Les différentes formes de la lutte et leurs perceptions	103
Études de cas	104
Sur quoi et comment communiquer ?	109
Sur le terrain	110
 ÉVALUATION DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE	117
<i>Pratiques et modalités</i>	119
Cadre théorique	120
Évaluation de la lutte antivectorielle en France	122
Quelques enseignements sur la situation française	126
<i>Évaluation économique : le retard de la France</i>	130
Objectifs et méthodes	130
Contexte économique de la lutte antivectorielle	133
Évaluation de la lutte antivectorielle en France	138
<i>Effets non intentionnels de la lutte antivectorielle</i>	142
Toxicité et écotoxicité des produits biocides	143
Revue de quelques substances biocides	146
Répulsifs et attractifs	151
Effets non intentionnels liés aux méthodes d'application	153
Étude de cas : l'épidémie de chikungunya à la Réunion	154
 LES OUTILS D'ANTICIPATION	161
<i>De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique</i>	163
Analyse du risque vectoriel : objectifs et méthodes	163
Entre alerte entomologique et alerte épidémiologique	166
Apport de la modélisation	169
Forces et limites des modèles	177

<i>Des coopérations régionales et internationales</i>	181
Coopérations dans la région Antilles-Guyane	181
Coopérations dans le sud-ouest de l’océan Indien	184
Coopérations dans la région Pacifique	185
Coopérations dans la région Europe	185
<i>De la formation initiale à la formation continue</i>	189
Les formations existantes en France	190
Les besoins en formation	194
<i>La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle</i>	197
De la connaissance des vecteurs aux outils de lutte	198
Méthodes et stratégies de lutte	208
Les recherches en sciences humaines et sociales	210
Les acteurs de la recherche	213
RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES : HUIT GRANDES PRIORITÉS	219
<i>Recommandation prioritaire n° 1 :</i>	
créer un Centre national d’expertise	
Vecteurs et risque vectoriel (Cnev)	221
<i>Recommandation prioritaire n° 2 :</i>	
redéfinir le cadre juridique et la gouvernance	223
<i>Recommandation prioritaire n° 3 :</i>	
préciser les stratégies d’intervention	225
<i>Recommandation prioritaire n° 4 :</i>	
évaluer les interventions	226
<i>Recommandation prioritaire n° 5 :</i>	
soutenir la recherche	227
<i>Recommandation prioritaire n° 6 :</i>	
améliorer la communication	228
<i>Recommandation prioritaire n° 7 :</i>	
améliorer la formation	229
<i>Recommandation prioritaire n° 8 :</i>	
sortir les services de leur isolement	230

■
Annexes

Annexe 1 – Lettre de saisine	241
Annexe 2 – Cahier des charges de l'expertise collégiale	243
Annexe 3 – Présentation du collège des experts	250
Annexe 4 – Présentation du comité de pilotage	253
Annexe 5 – Glossaire	255
Annexe 6 – Liste des abréviations	264
Annexe 7 – Personnes à remercier pour leur contribution au document	268

■
Chapitres analytiques (CD-ROM)

1- Le contexte

Coordinateurs : J.-C. DESENCLOS, S. LECOLLINET

Experts : T. BALENGHIEN, D. FONTENILLE, L. LAGADIC,

C. LAGNEAU, R. LEFAIT-ROBIN, A. YÉBAKIMA

CD-ROM

2- Quel est le cadre législatif et réglementaire ?

Coordinateur : B. TIREL

Experts : T. BALENGHIEN, X. CABANNES, E. MALIN, O. YAMADA

CD-ROM

3- Comment la gouvernance s'organise-t-elle ?

Coordinateur : B. TIREL

Experts : T. BALENGHIEN, X. CABANNES, E. MALIN, O. YAMADA

CD-ROM

4- Quelles sont les stratégies de la lutte antivectorielle en France ?

Coordinateurs : T. BALENGHIEN, A. YÉBAKIMA

Expert : C. LAGNEAU

CD-ROM

**5- Quelles sont les modalités organisationnelles
et les ressources humaines ?**

Coordinateur : A. YÉBAKIMA

Experts : T. BALENGHIEN, J.-C. DESENCLOS, C. LAGNEAU, S. LECOLLINET

CD-ROM

**6- Perceptions et information-éducation-communication (IEC) sur la lutte
antivectorielle : état de la question, problématiques et propositions**

Coordinateurs : D. BLEY, M. SETBON

CD-ROM

7- Quelles sont les pratiques et les modalités d'évaluation de la lutte antivectorielle ?

Coordinateur : D. FONTENILLE

Experts : T. BALENGHIEN, J.-C. DESENCLOS,

S. LECOLLINET, E. MALIN, Y. YÉBAKIMA

CD-ROM

8- Quelles sont les approches économiques de la lutte antivectorielle ?

Coordinateurs : C. LAGNEAU, E. MALIN

CD-ROM

9- Quels sont les effets non intentionnels de la lutte antivectorielle ?

Coordinateurs : L. LAGADIC, C. LAGNEAU

Experts : S. LECOLLINET, O. YAMADA

CD-ROM

10- Quelle est la contribution de l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique ?

Coordinateurs : J.-C. DESENCLOS, D. FONTENILLE

Expert : T. BALENGHIEN

CD-ROM

11- Quelles sont les coopérations régionales et internationales (concernant la lutte antivectorielle) ?

Coordinateur : D. FONTENILLE

Experts : T. BALENGHIEN, S. LECOLLINET, A. YÉBAKIMA

CD-ROM

12- Quels sont les formations existantes et les besoins en formation ?

Coordinateur : D. FONTENILLE

Experts : C. LAGNEAU, T. BALENGHIEN, A. YÉBAKIMA

CD-ROM

13- Comment la recherche contribue-t-elle à l'amélioration de la lutte antivectorielle ?

Coordinateur : D. FONTENILLE

Experts : T. BALENGHIEN, D. BLEY, J.-C. DESENCLOS,

C. LAGNEAU, E. MALIN, M. SETBON

CD-ROM

Présentation du DEV et de la collection Expertise collégiale

L'Institut de recherche pour le développement (IRD) s'appuie sur son Département expertise et valorisation (DEV) pour valoriser les résultats de la recherche issus de projets scientifiques centrés sur la relation entre l'homme et son environnement dans la zone intertropicale au bénéfice des pays du Sud et du monde socio-économique.

L'expertise collégiale est, dans cette perspective, conçue à l'IRD comme une forme originale de valorisation de la recherche, appuyée sur une méthodologie éprouvée. Le DEV pilote, organise et garantit la qualité de l'ensemble de ses étapes, depuis le traitement de la saisine jusqu'à l'édition du rapport du collège des experts dans la collection IRD « Expertise collégiale ». Depuis 2001, neuf expertises ont été publiées :

J. Marie, P. Morand, H. N'Djim, 2007 – *Avenir du fleuve Niger*. Paris, IRD Éditions, 288 p.

M.-L. Beauvais, A. Coléno, H. Jourdan, 2006 – *Les espèces envahissantes dans l'archipel néo-calédonien*. Paris, IRD Éditions, 260 p.

A.-M. Moulin, J. Orfila, J.-F. Schémann, 2006 – *Lutte contre le trachome en Afrique subsaharienne*. Paris, IRD Éditions, 296 p.

J. Guézennec, C. Moretti, J.-C. Simon, 2006 – *Substances naturelles en Polynésie*. Paris, IRD Éditions, 302 p.

M. Francois, R. Moreau, B. Sylvander, 2005 – *Agriculture biologique en Martinique*. Paris, IRD Éditions, 304 p.

R. Coriveau, B. Philippon, A. Yebakima, 2003 – *La dengue dans les départements français d'Amérique*. Paris, IRD Éditions, 208 p.

R. Barre, V. Hernandez, J.-B. Meyer, D. Vinck, 2003 – *Diasporas scientifiques*. Paris, IRD Éditions, 198 p.

A. Samé-Éboko, E. Fondjo, J.-P. Éouzan, 2001 – *Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun*. Paris, IRD Éditions, 222 p.

J.-P. Carmouze, M. Lucotte, A. Boudou, 2001 – *Le mercure en Amazonie*. Paris, IRD Éditions, 494 p.

Objectifs et méthodes de l'expertise collégiale

Les expertises collégiales sont mises en œuvre par l'Institut de recherche pour le développement (IRD) « sur commande », pour éclairer la décision politique et le débat public sur des enjeux de société. Mettre la recherche et les connaissances des chercheurs à la disposition de la collectivité fait pleinement partie des missions des établissements publics de recherche.

En s'appuyant sur une méthodologie éprouvée, l'Expertise collégiale, l'IRD entend, avec une très forte exigence, rassembler et analyser sur un sujet donné les connaissances disponibles dans la littérature spécialisée, en dégager la portée, proposer des conclusions et recommandations fermes sur lesquelles les scientifiques peuvent se mettre d'accord, et enfin identifier les points encore sujets à controverse et préciser les domaines sur lesquels les travaux disponibles s'avèrent insuffisants.

Trois considérations sont prises en compte pour réaliser ce type d'expertise :

- Le temps de la décision n'est pas celui de la recherche : il est souvent beaucoup plus court. Les dirigeants sont souvent appelés à prendre rapidement des décisions – parfois même sous la pression de l'urgence. L'expertise collégiale est organisée pour faire un état des lieux sur les connaissances existantes dans la littérature internationale : elle ne comporte pas de collecte de données ou d'exploitations complexes nouvelles.

- La question posée concerne rarement une discipline unique : « toutes les facettes » de la problématique posée doivent être simultanément éclairées en tenant compte de la littérature la plus récente. C'est pourquoi un collège pluridisciplinaire d'une douzaine d'experts est mobilisé. Les conclusions et recommandations sont débattues et assumées collectivement par les experts, dans le cadre d'une responsabilité « collégiale ». L'IRD assure une relecture du rapport par des personnalités qualifiées extérieures au collège des experts pour vérifier la complétude de l'exposé, sa clarté et sa conformité à la littérature internationale. Le collège des experts reste souverain de ses conclusions.

- Enfin, pour faciliter l'appropriation des analyses, conclusions et recommandations formulées par des experts issus de disciplines différentes, la syn-

thèse des contributions des experts doit être présentée dans un langage concis, accessible aux non-spécialistes. L'IRD la publie à cette fin dans sa collection « Expertise collégiale » à destination d'un public relativement large, au-delà même de la région ou du pays concerné par l'expertise.

Les termes exacts des questions liées à la commande sont définis avec la plus grande précision par l'organisation, dans le cadre d'un « atelier initial », d'un échange approfondi entre les institutions commanditaires, des représentants des communautés scientifiques concernées et, éventuellement, les diverses parties prenantes. Il faut, en effet, s'entendre précisément sur les attentes réciproques. D'une part, certaines questions cruciales pour la décision, ne relèvent pas d'une approche scientifique ; il convient donc de les écarter. D'autre part, pour cibler leurs conclusions, les scientifiques doivent être guidés par une bonne connaissance du contexte dans lequel les décisions doivent être prises.

Pour conduire la présente expertise, un collège de quinze experts, chercheurs et spécialistes, a été réuni sous la présidence de monsieur Didier Fontenille (voir la composition du collège en annexe 3). Le résultat de ce travail collégial, présenté dans cet ouvrage, est une réponse scientifique aux questions que les cinq ministères commanditaires ont adressées à l'IRD par saisine conjointe en date du 18 janvier 2008.

Comment ne pas exprimer notre profonde gratitude envers Didier Fontenille, qui a présidé et animé le collège des experts avec cet engagement continu et cette grande ouverture d'esprit qui, seule, permet de réaliser l'indispensable synthèse des connaissances.

L'IRD souhaite exprimer au-delà ses remerciements aux différents acteurs de cette expertise et, tout d'abord, aux membres du comité de pilotage qui a permis de maintenir la relation indispensable qui doit exister entre commanditaires et experts durant l'ensemble du processus. Il souhaite ensuite exprimer sa reconnaissance à l'ensemble des experts qui ont eu la responsabilité et le mérite de mener une réflexion collective jusqu'à son terme, et plus particulièrement aux membres de la coordination scientifique.

Enfin, que soit ici remercié très vivement le Pôle expertise et consultance du Département expertise et valorisation de l'IRD qui, sous la responsabilité de Sylvain Robert, a su piloter, accompagner et assurer la bon déroulement de cette expertise collégiale dans un calendrier très contraint.

Stéphane RAUD

Directeur du Département expertise et valorisation

Avant-propos

Par saisine conjointe en date du 18 janvier 2008, quatre ministères français, Santé, Recherche, Agriculture et Environnement auxquels s'est adjoint le ministère de l'Intérieur, ont demandé à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) de mener une réflexion très large sur les évolutions indispensables dans le domaine de la lutte antivectorielle. Sur la base d'un état des lieux de l'existant, des recommandations sont attendues permettant d'envisager une véritable « refondation » de la politique de lutte antivectorielle.

S'il a paru possible d'accepter avec grand intérêt de donner suite à cette commande interministérielle, c'est d'abord que l'IRD possède, en son sein et par le jeu des relations fortes nouées avec ses partenaires en France et dans la zone intertropicale, les compétences scientifiques et méthodologiques nécessaires à la bonne réalisation d'un travail d'une telle ampleur. Le constat récent de forte recrudescence de maladies transmises à l'homme et à l'animal par des insectes vecteurs (chikungunya, dengue, fièvre catarrhale ovine...), sans cesse confirmé et même amplifié, imposait le recours à une réflexion associant de nombreuses compétences. Enfin la « lutte antivectorielle », portée par l'Etat et menée en relation avec les collectivités territoriales et les opérateurs, méritait pleinement, en tant que réponse complexe à un enjeu majeur de santé publique, d'être livrée aux questionnements scientifiques les plus pointus et aux résultats de la recherche les plus récents.

Dans ce contexte, l'IRD a répondu à cette commande dans le cadre d'une procédure que son département Expertise et valorisation maîtrise bien, à savoir l'« expertise collégiale ». L'exercice de l'expertise collégiale prend tout son sens et offre réellement sa plus-value lorsqu'il s'agit de rassembler des éléments de connaissance dispersés, propres à éclairer et fonder la décision politique et les réorientations des politiques publiques. Une expertise collégiale avait au demeurant été conduite par l'IRD en 2003 sur « la Dengue dans les départements français d'Amérique ».

Conformément à l'orientation initiale et au modèle méthodologique en vigueur à l'IRD, un collège d'experts pluridisciplinaire a regroupé des cher-

cheurs et spécialistes issus non seulement de communautés scientifiques *a priori* éloignées les unes des autres, mais de l'ensemble des organismes publics impliqués dans l'étude et la surveillance des vecteurs, dans l'évaluation des risques et des substances et dans l'action opérationnelle (établissements de recherche, universités, agences, opérateurs de la lutte antivectorielle). Il faut souligner le travail remarquable de ce collège qui, sous la présidence de Didier Fontenille, directeur de recherche, a su aboutir en un temps très contraint. Enfin l'exercice n'aurait pas été possible sans le financement alloué par le ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports.

J'ai donc aujourd'hui le plaisir de soumettre au lecteur du présent ouvrage le rapport final de cette expertise collégiale. Celui-ci comprend, d'une part, la synthèse, développée selon le plan de la liste des questions initiales soumises à l'expertise, et, d'autre part, les contributions intégrales des auteurs rassemblées dans le CD-ROM annexé. Le lecteur soucieux d'accéder rapidement aux conclusions principales de ce travail pourra trouver, au terme de la synthèse, les huit recommandations prioritaires formulées par le collège des experts. Le lecteur plus attentif n'hésitera pas, pour sa part, à se reporter aux contributions intégrales.

La présente expertise est la dixième du genre réalisée par l'IRD et publiée dans sa collection « Expertise collégiale ». Cet anniversaire sera l'occasion, je l'espère, de donner un retentissement certain aux résultats de ce travail.

Jean-François GIRARD

Président de l'IRD

Introduction

Quelque 50 à 100 millions de personnes dans le monde sont, chaque année, infectées par le virus de la dengue. Quant au paludisme, il tue tous les ans près d'un million de personnes. À cette comptabilité, il convient d'ajouter la morbidité liée aux autres maladies transmises par des moustiques (chikungunya, fièvre de la vallée du Rift, fièvre jaune, infection par le virus du Nil occidental...), par des tiques (maladie de Lyme, rickettsiose, encéphalite à tiques...) ou par des poux (typhus exanthématique, borréliose, bartonellose...). En santé animale, on peut citer la fièvre catarrhale ovine qui s'est récemment étendue au Sud puis dans le nord de l'Europe, ainsi que les maladies transmises par des tiques (babésiose, anaplasmose, rickettsiose...) ou encore par des mouches (la mouche tsé-tsé pour les trypanosomoses¹). L'optimisme de la fin des années 1960 avait conduit à une baisse de vigilance au prétexte que la plupart des maladies à transmission vectorielle (hormis le paludisme) ne constituaient plus un danger. Leur recrudescence, réémergence ou émergence dans des zones auparavant épargnées ont profondément renouvelé la donne depuis une vingtaine d'années : chikungunya en Italie en 2007, *West Nile* en Italie, en Roumanie, en Hongrie et en Autriche en 2008.

Ce retour sur le devant de la scène des maladies à transmission vectorielle prend d'autant plus d'ampleur que leur diffusion bénéficie de facteurs favorables : intense circulation des personnes et des biens, mais aussi modifications de l'environnement liées aux activités humaines, facteurs climatiques... On peut ainsi présager que les changements climatiques globaux auront un impact significatif sur la dynamique de ces infections dans les décennies à venir, celles-ci ignorant évidemment les frontières. D'ores et déjà, on les suspecte de modifier la distribution des vecteurs, leur capacité vectorielle et leur contact avec les parasites et les hôtes.

¹ Voir l'état des lieux des infections humaines et animales (vecteurs, épidémiologie, transmission, surveillance...) sur CD-ROM : « Le contexte de la lutte antivectorielle en France », coordonné par J.-C. Desenclos, S. Lecollinet et T. Balenghien et réalisé par une trentaine d'experts.

Qu'est-ce qu'un vecteur ?

Un vecteur est un arthropode hématophage (se nourrissant de sang) qui assure la transmission biologique active d'un agent pathogène (virus, bactérie, parasite) d'un vertébré à un autre vertébré.

Mais, « le vecteur n'est pas un simple "transporteur" d'agents pathogènes. Il s'infecte en prélevant le virus, la bactérie, la rickettsie, le protozoaire, l'helminthe sur un animal porteur, au cours d'un repas de sang. À l'issue d'une période de développement extrinsèque, généralement d'une durée de 5 à 15 jours, au cours de laquelle l'agent pathogène se réplique ou se transforme, le vecteur le transmet à un nouvel hôte vertébré. Les vecteurs ne vont donc transmettre que des parasites sanguins ou dermiques. Seules quelques familles d'invertébrés parmi les insectes et les acariens hématophages sont concernées. En revanche, les modes de transmission sont variés, les plus fréquents étant par piqûre (paludisme, dengue, fièvre catarrhale ovine, chikungunya), par déjection (maladie de Chagas, rickettsioses) ou par régurgitation (peste). L'étude de ces vecteurs constitue l'entomologie médicale et vétérinaire. »²

La France est confrontée à de nombreuses maladies vectorielles (voir les cartes en annexe à cette introduction), et en particulier au sein de ses territoires tropicaux : paludisme en Guyane et à Mayotte ; dengue dans les départements français d'Amérique, à la Réunion et dans la région Pacifique ; chikungunya dans l'océan Indien ; filariose de Bancroft en Polynésie, à Wallis-et-Futuna et à Mayotte ; fièvre de la vallée du Rift à Mayotte ; maladie de Chagas en Guyane ; maladie de Lyme et encéphalite à tique en métropole. En santé animale, la fièvre catarrhale ovine ou les babésioses engendrent d'énormes pertes économiques. Par ailleurs, de nouveaux vecteurs envahissent le territoire français (par exemple *Aedes albopictus*), créant un risque d'épidémie de chikungunya et de dengue.

Aujourd'hui, le contrôle des maladies vectorielles, au travers du contrôle des vecteurs, constitue donc un enjeu majeur de santé publique humaine et animale, au Nord comme au Sud. Ce contrôle passe, bien sûr, par la mise en œuvre d'outils législatifs et/ou réglementaires, disponibles ou à améliorer, et par une gouvernance bien définie (voir « Du cadre juridique à la gouvernance »).

² D. Fontenille, Écosystèmes, entomologie et lutte antivectorielle, *Annales des Mines. Responsabilité & Environnement*, 58 : pp. 55-60, 2008.

Elle nécessite aussi une réflexion approfondie sur les stratégies de lutte contre les vecteurs et sur l'information et l'adhésion des populations exposées au risque (voir « Mise en œuvre ») ainsi que sur leur évaluation, dans leurs dimensions biologique, technique, économique et environnementale (Voir « Évaluation de la lutte antivectorielle »). Domaine pluridisciplinaire s'il en est, la lutte antivectorielle ne sera toutefois couronnée de succès qu'au prix d'une évaluation fiable des risques épidémiques, de la mise en place de formations adéquates, de coopérations régionales et/ou internationales aussi souvent que possible et d'un véritable soutien aux recherches, fondamentales et finalisées (voir « Les outils d'anticipation »), y compris en sciences humaines et sociales.

Qu'est-ce que la lutte antivectorielle ?

Dans son acception la plus large, la lutte antivectorielle comprend la lutte et la protection contre les arthropodes hématophages (insectes et acariens), vecteurs d'agents pathogènes à l'homme et aux vertébrés, et leur surveillance. Elle inclut la lutte contre les insectes nuisants quand ces derniers sont des vecteurs potentiels ou lorsque la nuisance devient un problème de santé publique ou vétérinaire.

La lutte antivectorielle s'appuie sur des méthodes qui diffèrent selon les vecteurs et selon les contextes épidémiologiques et socio-économiques. Elle inclut la lutte biocide, la lutte biologique, la lutte génétique, la protection individuelle, l'action sur l'environnement, l'éducation sanitaire, la mobilisation sociale et l'évaluation permanente de toutes ces méthodes.

Son objectif est de contribuer, au côté d'autres actions de santé publique, à minimiser les risques d'endémisation ou d'épidémisation, à diminuer la transmission d'agents pathogènes par des vecteurs, à gérer les épidémies de maladies à vecteurs, le tout dans un cadre stratégique formalisé.

SYSTÈMES VECTORIELS : DES SYSTÈMES EN PERPÉTUELLE ÉVOLUTION

Un système vectoriel implique des populations de vecteurs, d'agents pathogènes et de vertébrés dans un environnement donné, une population étant constituée d'un ensemble d'individus de la même espèce situés au même endroit au même moment, et se reproduisant indifféremment entre eux (en panmixie). Le succès d'un système, c'est-à-dire la transmission d'un

agent pathogène (virus, bactérie, protozoaire, nématode), résulte de la rencontre et de la compatibilité entre les différents partenaires du cycle.

La rencontre dépend de la capacité d'individus d'une espèce à vivre dans un écosystème donné, caractérisé par ses composantes biotiques et abiotiques, y compris climatiques. Exemple : la rencontre entre le protozoaire *Trypanosoma cruzi*, responsable de la maladie de Chagas en Guyane, et son vecteur, un triatome, ne peut se faire qu'en Amérique ; les triatomes vecteurs n'étant présents que sur ce continent. La rencontre dépend également du comportement de chacun des acteurs : il n'est pas fixe au sein d'une espèce de vecteur, d'agent pathogène, d'hôte vertébré, mais il est généralement spécifique d'une population. C'est ainsi qu'en Polynésie, l'agent de la filariose lymphatique (la filaire *Wuchereria bancrofti*) circule dans les capillaires superficiels de l'homme durant la journée, son vecteur étant le moustique diurne *Aedes polynesiensis*. À Mayotte en revanche, où son vecteur (*Anophele gambiae*) est nocturne, ce parasite circule la nuit dans les vaisseaux cutanés.

La compatibilité est un mécanisme complexe qui implique des réponses de type tout ou rien, ou au contraire graduées. Par exemple, les *Plasmodium* humains ne sont transmis que par des moustiques du genre *Anopheles* (15 % des moustiques) ; les *Aedes*, *Culex*, *Culiseta*, *Mansonia*, *Haemagogus*... constituant des impasses pour ces agents pathogènes. Mais parmi les plus de 450 espèces d'anophèles décrites sur terre, seulement 60 sont de très bons vecteurs, même si aucune ne semble être totalement réfractaire expérimentalement. À l'intérieur même d'une espèce, les niveaux de compétence sont très variables et dépendent, entre autres, de l'adaptation du couple vecteur-parasite ou vecteur-virus. Cette adaptation est la résultante de la co-évolution entre les populations d'agents pathogènes, de vecteurs et de vertébrés. Ainsi, les populations anophéliennes de France métropolitaine, qui furent probablement de bons vecteurs de *Plasmodium* européens au ^{xx}e siècle, sont faiblement compétentes pour les *Plasmodium* africains importés actuellement.

Notons enfin que les systèmes vectoriels sont loin d'être figés. Ils sont en perpétuelle évolution tandis que les trois populations d'acteurs impliqués (vecteurs, agents pathogènes, vertébrés) réagissent elles-mêmes à ces changements. Typiquement, une évolution génétique des populations du virus chikungunya a pu être observée lorsqu'il a été transmis à la Réunion par *Aedes albopictus*, alors qu'auparavant, aux Comores et en Afrique de l'Est, il l'avait été par *Aedes aegypti* (voir l'encadré). La sélection de mécanismes de résistance aux insectici-

des par les vecteurs (ou aux médicaments par les agents pathogènes) n'est rien d'autre qu'une adaptation du système à un nouvel environnement. Un changement de quelque nature que ce soit (des composantes du système vectoriel, de l'environnement biotique ou abiotique qui les héberge...) modifie inévitablement le risque de transmission. D'où l'un des objectifs de la lutte antivectorielle : agir sur le système vectoriel pour diminuer la probabilité de transmission.

Cas particulier du vecteur *Aedes albopictus*

Aedes albopictus est connu depuis longtemps à l'île de la Réunion. Il s'est installé récemment à Mayotte, où il a été signalé pour la première fois en 2001. Il est présent en France métropolitaine depuis 2005, dans les départements des Alpes-Maritimes (2005), du Var (2008), de Haute-Corse (2005) et de Corse-du-Sud (2008), venant d'Italie où il a été introduit dans les années 1990. *Aedes albopictus* a été responsable de l'épidémie de chikungunya à la Réunion et à Mayotte. Il est capable de transmettre de nombreux virus, dont la dengue. Ce moustique a donc un statut de vecteur dans l'océan Indien, mais de nuisant en métropole, ce qui pose la question de l'organisation de son contrôle (voir les chapitres « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle » et « Comment la gouvernance s'organise-t-elle ? »). Plusieurs indicateurs entomologiques concernent particulièrement ce moustique, mais il faut les valider dans une optique d'évaluation de la lutte antivectorielle (voir « Pratiques et modalités » et « De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique »). Des modèles existent également pour prédire sa distribution (voir « De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique »), même si la modélisation mérite toujours d'être manipulée avec prudence. L'efficacité des méthodes de lutte, notamment l'efficacité des biocides sur sa densité, est encore mal évaluée (voir « Pratiques et modalités ») et des recherches sont conduites sur de nouvelles stratégies de contrôle (voir « La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle »). En matière de coût des maladies vectorielles et de la lutte antivectorielle pour la société, des évaluations économiques ont été réalisées pour un certain nombre de pathologies, en particulier pour le chikungunya (voir « Évaluation économique : le retard de la France »). Quant à l'acceptabilité des méthodes de lutte antivectorielle par les populations et au coût social de la présence du vecteur (en termes d'image pour un territoire et les collectivités qui l'administrent), ces questions devront faire l'objet d'une attention particulière à l'avenir (voir « Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle », en particulier ses recommandations).

TRANSMISSION DES INFECTIONS VECTORIELLES

L'un des enjeux scientifiques est donc de comprendre les mécanismes de cette transmission, d'animal à animal, d'animal à homme et d'homme à homme. La difficulté tient notamment au nombre d'acteurs en jeu (plusieurs vecteurs, plusieurs hôtes, présence d'un réservoir vertébré ou invertébré). Comme pour toute maladie infectieuse, la probabilité de transmission d'une maladie à transmission vectorielle dépendra de la durée de l'infectiosité de l'hôte (durée pendant laquelle l'agent infectieux est présent chez l'hôte) : plus elle est prolongée, plus la probabilité que l'individu atteint soit piqué par un vecteur et que ce dernier s'infecte augmente, ce qui accroît la probabilité de transmission à d'autres individus.

L'immunité joue bien sûr un grand rôle dans la dynamique de la transmission. Par exemple, pour le paludisme en zone d'endémie, un équilibre s'établit lentement entre le parasite et l'organisme. Mais l'immunité, même au bout de plusieurs années, n'est que partiellement efficace et elle disparaît rapidement si l'organisme n'est plus infecté. La protection acquise coexiste avec la présence d'une parasitémie faible, ce qui permet en théorie à la transmission vers le vecteur de se maintenir. On parle alors de prémunition ou de semi-immunité. Là où le paludisme sévit toute l'année, la semi-immunité protège des formes graves de la maladie. Dans ces régions, ce sont les nourrissons, les femmes enceintes ou les nouveaux arrivants qui sont le plus durement atteints. Là où le paludisme est saisonnier, avec une transmission basse (comme au Sahel), cette prémunition est faible car l'acquis lors de la période de transmission est rapidement perdu. Ce paradoxe pose des questions sur les conditions dans lesquelles on doit recourir à la lutte antivectorielle et sur les stratégies à mettre à place pour diminuer la transmission du paludisme sans réduire l'immunité.

RISQUE VECTORIEL : DE L'ALERTE À L'ÉPIDÉMIE

Quand faut-il commencer à s'inquiéter ? Si pour un système vectoriel donné, la présence d'un vecteur compétent est nécessaire, le constat de la présence de ce vecteur apte à transmettre un agent infectieux dans un environnement spécifique, n'est pas nécessairement synonyme de risque épidé-

mique ni d'alerte : un ensemble de conditions doit en effet être réuni. L'agent infectieux doit être présent. Des contacts efficaces en termes de transmission doivent s'établir entre le vecteur et le réservoir d'agents infectieux, ainsi qu'entre le vecteur et l'amplificateur éventuel. Enfin, des contacts entre le vecteur et les hôtes susceptibles doivent être possibles.

Le passage à une phase effective de transmission dépend lui-même d'un grand nombre de facteurs : l'aptitude du vecteur à s'installer durablement après son introduction, le niveau de sa compétence et de sa capacité vectorielles, la susceptibilité/immunité de la population d'hôtes. L'alerte entomologique doit donc s'appuyer à la fois sur des paramètres relatifs au vecteur, à l'environnement et à l'hôte, notamment son niveau d'immunité et sa capacité à se protéger.

Reste que la pertinence d'utiliser des paramètres entomologiques pour alerter sur le risque d'une épidémie diffère selon le cycle de transmission vectorielle des maladies et, pour une même maladie, selon la situation endémo-épidémiologique et selon les écosystèmes. Par exemple, la présence et l'expansion d'un vecteur du virus de la dengue en France métropolitaine, zone indemne jusqu'à il y a quelques années, sont un critère pertinent pour renforcer la surveillance, avec la définition de plans d'action qui prennent en compte, entre autres, l'importation de sujets virémiques en provenance de zones épidémiques. Dans les départements français d'Amérique (zones d'endémisation de cette maladie), la surveillance se fonde également sur les aspects épidémiologiques (cas suspects, cas confirmés).

LUTTE ANTIVECTORIELLE EN FRANCE

Plus généralement, l'évaluation du risque vectoriel s'appuie sur une analyse d'indicateurs et de caractéristiques du « système vectoriel » (hôtes, agents pathogènes, environnement, société...) et vise à comprendre la dynamique de transmission et les conséquences des modifications d'un ou plusieurs éléments du système vectoriel et/ou de ses interactions. De manière complémentaire, la lutte antivectorielle impose d'étudier les conséquences positives mais aussi potentiellement négatives d'actions susceptibles d'être mises en œuvre en amont des conséquences sanitaires (anticipation), ou au cours d'une alerte, voire d'une épidémie (analyse des options de gestion).

En France, comme ailleurs, la lutte antivectorielle ne saurait donc se réduire à l'application de recettes prétendument universelles. On ne lutte pas contre les anophèles à Mayotte de la même manière que contre *Aedes albopictus* en Corse. De plus, « la revendication des populations d'un monde à risque zéro, l'aspiration à une diminution des pesticides dans le contexte du "Grenelle de l'environnement " et du développement durable doivent conduire à développer les recherches sur les risques, sur les systèmes d'alerte précoce et sur de nouvelles stratégies de contrôle des différents types de vecteurs » (cf. note 2, p. 20). Les défis à relever sont d'autant plus complexes que les changements globaux (climatiques, environnementaux, sociétaux) influencent considérablement les systèmes vectoriels.

Tableau 1 – Principales infections à transmission vectorielle en France*

Infections humaines

Maladie	Vecteur	Réservoir	Répartition	Mode	Morbidité	Incidence	Létalité	Tendance
Dengue	<i>Ae. aegypti</i> <i>Ae. albopictus</i>	Homme/vecteurs	DFA, Réunion, Mayotte, Pacifique	Endémo-épidémique	Importante	Élevée	Oui, en cas de circulation de sérotypes différents	En expansion
Chikungunya	<i>Ae. aegypti</i> <i>Ae. albopictus</i>	Homme, singe/vecteurs	Réunion-Mayotte Potentielle : DFA, Pacifique, métropole	Épidémique	Importante	Élevée	Faible	Épidémies récurrentes tous les 10-20 ans
Infection à virus Toscana	Phlébotomes	Homme/vecteurs	Pourtour méditerranéen	Endémique	Modérée	Faible	Nulle	Stable mais mieux reconnue
Paludisme	<i>Anopheles</i>	Homme	Guyane, Mayotte Potentielle : DFA, Réunion, Corse	Endémo-épidémique	Importante	Élevée	Élevée pour <i>P. falciparum</i> 5-10 décès/an	Tendance à la baisse en Guyane et à Mayotte
Infection à <i>Bartonella quintana</i>	Pou de corps	Homme	Cosmopolite	Endémique	Important	Élevée	Oui	En expansion chez les SDF et les populations en grande précarité
Filariose lymphatique	<i>Aedes</i> , <i>Anopheles</i> <i>Culex</i>	Homme	Mayotte, Polynésie française, Wallis-et-Futuna	Endémique	Peut être importante et invalidante	Faible	Non	En régression

* Principales infections à transmission vectorielle présentes sur le territoire français avec leurs principales caractéristiques épidémiologiques (vecteur, réservoir, répartition géographique, mode épidémiologique). L'importance en santé publique a été traitée de manière qualitative en termes de morbidité (sévérité du tableau clinique : importante, modérée et limitée avec pour certaines maladies un commentaire plus circonstancié) ; l'incidence (élevée, modérée, faible ou mal estimée) ; la létalité (importante, faible ou nulle) et la tendance (expansion, régression et éventuellement le lieu ou la population concerné par cette tendance). Les maladies ont été regroupées en trois groupes (infections humaines, zoonoses, maladies animales).

Tableau 1 (suite) – Principales infections à transmission vectorielle en France

Zoonose

Maladie	Vecteur	Réservoir	Répartition	Mode	Morbidité	Incidence	Létalité	Tendance
Infection à virus du Nil occidental	<i>Culex</i>	Oiseaux	Tous les continents dont l'Europe et le pourtour méditerranéen Circule en métropole : (pourtour méditerranéen) et en Guadeloupe	Endémo-épidémique	Potentiellement importante en cas d'épidémie (cf. États-Unis)	Faible	Importante en cas d'encéphalite	Expansion en Amérique du Nord
Borreliose de Lyme	Tique : <i>Ixodes ricinus</i>	Rongeurs, cerf, chevreuil chevreuil/vecteur	Métropole sauf Sud-Est	Endémique	Importante	Élevée	Très faible	En expansion
Encéphalite à tiques	Tique : <i>Ixodes ricinus</i>	Mammifères sauvages/vecteur	Europe de l'Est Est de la métropole	Endémique	Importante	Faible	Modérée à importante en cas d'encéphalite	Expansion en Europe de l'Est Stable en métropole
Rickettsioses à tiques	Tiques	Vecteurs	Varie selon la rickettsiose, sud-est de la France pour la principale, la fièvre boutonneuse méditerranéenne	Endémique	Importante	Modérée	Limitée	Possible extension
Fièvre de la vallée du Rift	<i>Culex</i> , <i>Aedes</i>	Ruminants/vecteurs	Océan Indien, Mayotte	Endémo-épidémique	Importante	En cours de documentation à Mayotte	Faible	En expansion
Leishmaniose	Phlébotomes	Chien en métropole Réservoir sauvage	Métropole, Guyane et Martinique	Endémique	Importante	Faible	Potentielle en cas de forme viscérale	En expansion en Guyane. Influence du changement climatique en métropole ?
Maladie de Chagas	Réduves	Mammifères sauvages	Guyane	Endémique	Importante	Mal estimée	Importante	En expansion
Fièvre Jaune	Ae. <i>aegypti</i>	Singes/vecteur	Guyane	Cas isolés	Importante	Faible	Élevée	Tendance à la disparition (vaccination)

Tableau 1 (suite) – Principales infections à transmission vectorielle en France

Maladies animales

Maladie	Vecteur	Réservoir	Répartition	Mode	Morbidité	Incidence	Létalité	Tendance
Fièvre catarrhale ovine	culicoïdes (<i>Culicoides imicola</i> , <i>Culicoides</i> du groupe <i>Obsoletus</i>)	Bovins, ovins/ vecteurs	Métropole et outre-mer	Endémique (outre-mer), épidémique (métropole)	Limitée en outre-mer, élevée en métropole (ovins)	Élevée	Moyenne (ovins) à faible (bovins)	Émergente en métropole, conséquences économiques importantes
Piroplasmose, anaplasmose	Tiques	Vecteurs/ bovins, équidés, chiens	Métropole et outre-mer	Endémique à importante	Modérée	Élevée	Moyenne	Stable
Cowdriose <i>variegatum</i>	<i>Amblyomma</i> sauvages ?	Ruminants	Guadeloupe	Endémique	Importante	Élevée à forte	Faible	Risque d'introduction en Martinique
Trypanoso-mose	Tabanidés, stomoxes	Ruminants, équidés	Guyane	Endémique	Perte de valeur économique	Élevée chez les équidés	Faible à forte	Stable (Guyane), un foyer en métropole
Besnoidiose	Transmission mécanique (tabanidés, stomoxes, hyppoboscides)	Félidés, bovins	Foyers en métropole	Endémique	Perte de valeur économique	Allure pseudo-contagieuse économique	Mort ou non valeur	Recrudescence en métropole
Anémie infectieuse des équidés	Tabanidés, stomoxes	Équidés	Quelques foyers en métropole : Eure-et-Loir, Ardèche, Guyane	Endémique	Modérée	Faible	Faible	En régression



Figure 1

Martinique, Guadeloupe, Guyane

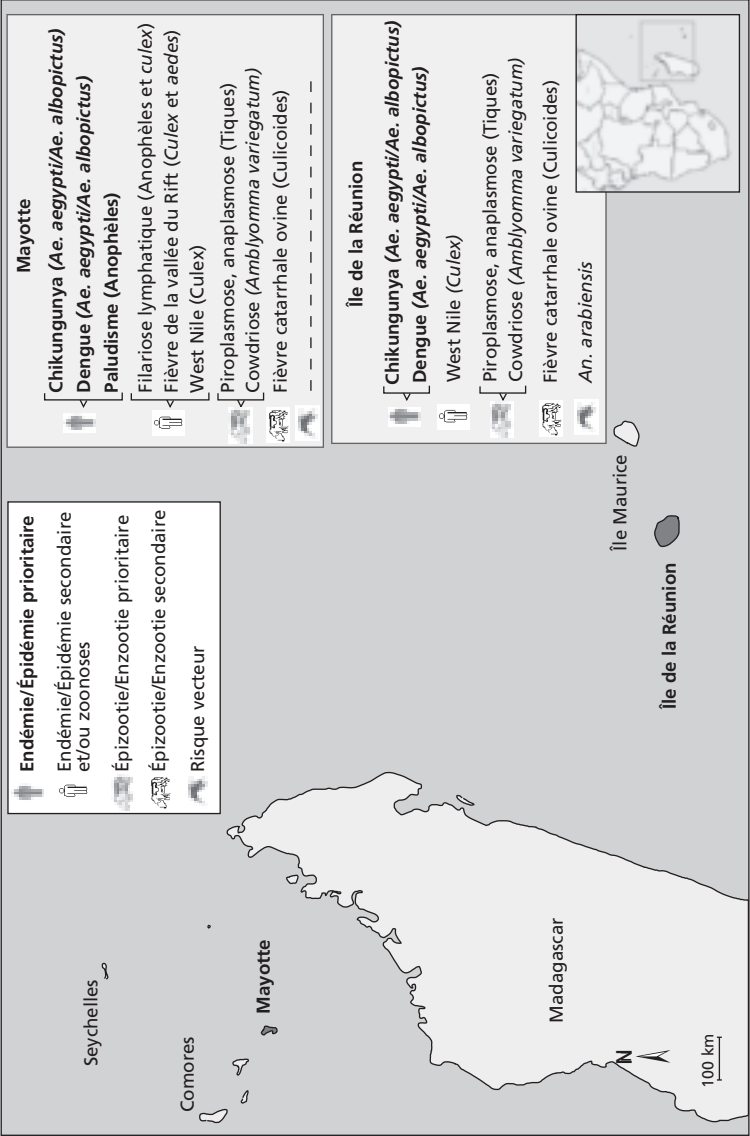


Figure 2
Mayotte, île de la Réunion

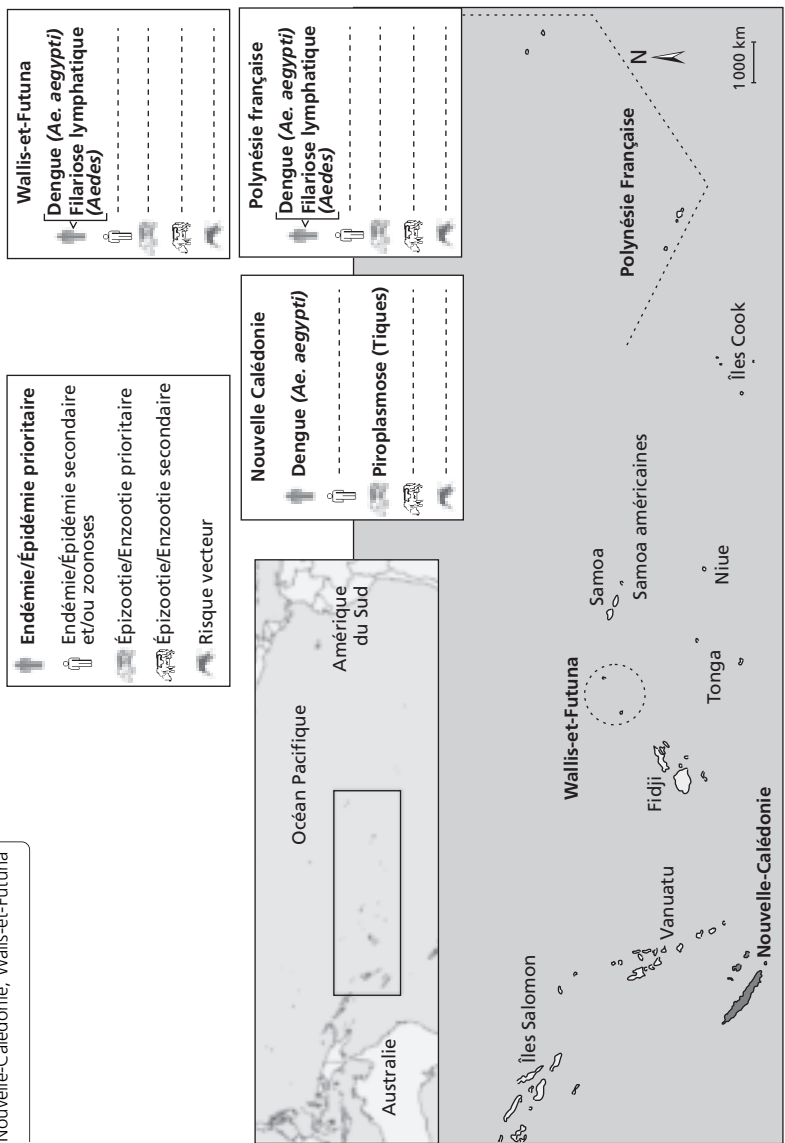


Figure 3

France métropolitaine

Figure 4

Nouvelle-Calédonie, Wallis-et-Futuna



Du cadre juridique à la gouvernance

Si l'on excepte l'ordonnance du Comité français de libération d'avril 1944 relative à la lutte antipaludique (texte non abrogé mais tombé en désuétude), le premier cadre juridique visant à instituer une véritable lutte contre les moustiques date de 1964. Il s'agissait alors de favoriser le développement touristique de la frange littorale du Languedoc-Roussillon. La démoustication instaurée par la loi n° 64-1246 de décembre 1964 servait donc en priorité un objectif d'aménagement du territoire (à visée touristique).

C'est à la suite de diverses réformes législatives que le texte de 1964 a vu son champ et son esprit modifiés, d'une part, et que des dispositions législatives spécifiques visant expressément la lutte contre les insectes vecteurs ont été adoptées, d'autre part. Une modification importante a été introduite par la loi du 13 août 2004 relative aux libertés et responsabilités locales, et notamment par son article 72 qui élargit à tous les insectes la compétence de l'État dans le domaine de la lutte contre les vecteurs de maladies humaines. Ce texte n'a pas suffi à rendre lisible le dispositif dans la mesure où il n'abrogeait pas les mesures spécifiques à la lutte contre les moustiques définies par la législation de 1964. Du fait d'ajouts successifs, l'appareil normatif est devenu difficilement compréhensible et source d'incertitudes.

Il faut par ailleurs souligner que depuis l'arrêté du 23 avril 1987, les départements concernés par les mesures de lutte contre les maladies humaines transmises par les insectes, au sens de la loi de 1964 modifiée, sont : la Haute-Corse, la Corse-du-Sud, la Guadeloupe, la Guyane, la Martinique et la Réunion (Mayotte se trouve dans une situation différente).

Il apparaît toutefois que si le législateur a eu la volonté d'adopter des mesures générales concernant la lutte antivectorielle en faveur de la santé humaine, il n'en va pas de même pour la santé animale. Il serait donc opportun de réfléchir à la mise en place d'un dispositif législatif spécifique à cet égard.

L'analyse de la situation française fait émerger un certain nombre de questions et/ou propositions : celle d'une unification du dispositif législatif pour la santé humaine, celle d'une clarification des dispositions et normes actuelles pour la protection de la flore, celle de l'élaboration d'un dispositif législatif d'ensemble pour la santé animale. Enfin, en matière de gouvernance, on relève une grande disparité selon les départements, dont on analysera les forces et les faiblesses dans « Comment la gouvernance s'organise-t-elle ? », p. 54.

Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle³

Cet état des lieux se propose de mettre en lumière les responsabilités et compétences respectives des différents échelons institutionnels du pays à travers une analyse des textes : Règlement sanitaire international, directives européennes, décisions communautaires, Code de la santé publique, Code général des collectivités territoriales, Code rural, Code de l'environnement, Code de la construction et de l'habitation, Code des assurances, Règlement sanitaire départemental, circulaires ministérielles, jurisprudence.

LUTTE ANTIVECTORIELLE EN CAS DE RISQUES POUR L'HOMME

Droit international

Les principales dispositions ressortent du Règlement sanitaire international (RSI, 2005). Celui-ci vise à limiter la propagation internationale des maladies. Il s'agit d'un instrument juridique contraignant ayant force obligatoire, notamment pour l'ensemble des États membres de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Actuellement 194 États, dont la France, sont parties prenantes de ce règlement. Dans ce cadre, les maladies à transmission vectorielle sont surtout concernées par les mesures dont le but est de limiter la propagation des vecteurs potentiellement infectés, que ce soit dans les moyens de transport et le fret, aux points d'entrée, ou lors de la procédure de délivrance des certificats de contrôle sanitaire (pour davantage de détails sur chacun de ces aspects, voir CD-ROM).

En cas d'alerte, des recommandations temporaires ou permanentes sont émises par l'OMS (titre III, RSI) qui publie d'ailleurs, régulièrement, la liste des zones en provenance desquelles tout moyen de transport doit faire l'objet de mesures de désinsectisation, et qui définit les méthodes à appliquer (RSI, annexe 5, point 1).

³ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 2 : « Quel est le cadre législatif et réglementaire ? ».

Des mesures de prévention et d'alerte spécifiques

L'arrêté du 9 septembre 1987 fixe la réglementation applicable au contrôle sanitaire aux frontières :

- toute personne âgée de plus d'un an en provenance d'une zone infectée de fièvre jaune ou y ayant transité sans remplir les conditions prévues par le Règlement sanitaire international (RSI) est tenue de produire un certificat de vaccination antiamarile à son arrivée dans les départements de la Guadeloupe, de la Martinique et de la Réunion ;
- toute personne âgée de plus d'un an est tenue, quelle que soit sa provenance, de produire à l'arrivée dans le département de la Guyane un certificat valable de vaccination antiamarile.

Les dispositions du RSI sont, bien entendu, mises en œuvre dans le cadre de la réglementation nationale : contrôle sanitaire aux frontières du territoire français, au terme de l'article R. 3115-8 du Code de la santé publique (CSP), et contrôle aux frontières en matière de certificats internationaux de vaccination, comme c'est, par exemple, le cas pour la fièvre jaune dans certains départements d'outre-mer (voir l'encadré).

La convention de Stockholm (2001), dans son annexe B, apporte pour sa part des précisions sur la production et l'utilisation de substances chimiques. À signaler également la charte internationale pour les catastrophes majeures (20 octobre 2000) : signée par de nombreuses agences ou organismes dans le monde, dont le Centre national d'études spatiales (Cnes) en France, elle permet l'accès, en cas de sinistre, à des images satellitaires des zones touchées ; ce qui peut contribuer à l'efficacité des moyens à mettre en œuvre.

Droit communautaire

La décision 2007/875/CE de la Commission (18 décembre 2007), qui modifie la décision 2119/98/CE du Parlement européen et du Conseil ainsi que la décision 2000/96/CE, souligne le rôle important joué par les moustiques dans la transmission de certaines maladies. Elle ajoute les maladies vectorielles à la liste des catégories de maladies transmissibles de la décision 2119/98 CE. À noter également que la décision 2000/57/CE de la Commission

(22 décembre 1999), qui a trait au système d'alerte précoce et de réaction pour la prévention et le contrôle des maladies transmissibles (décision 2119/98/CE du Parlement européen et du Conseil), pourrait tout à fait s'appliquer au cas des maladies vectorielles.

Mais c'est surtout le *dispositif biocide* (directive 98/8 CE du Parlement européen et du Conseil) qui constitue le texte de référence au sein du droit communautaire. Le dispositif communautaire *biocides* encadre l'utilisation des insecticides, des répulsifs et des appâts dans le cadre de la lutte antivectorielle. La directive 98/8/CE, dont la révision débute en 2009, en est le pilier : elle concerne la mise sur le marché des produits biocides et a été transposée dans le Code de l'environnement français (articles L. 522-1 à L. 522-19). Son objectif est de subordonner l'Autorisation de mise sur le marché (AMM) d'un tel produit à un niveau de risque acceptable pour l'homme et pour l'environnement, à l'absence d'effets inacceptables (développement de résistance, souffrance des organismes cibles...) et à une efficacité suffisante.

L'évaluation comporte deux étapes : une évaluation communautaire de la substance active contenue dans le produit qui, si elle est favorable, conduit à son inscription sur la liste communautaire « positive » des substances actives autorisées, et une évaluation nationale en vue de la délivrance d'une AMM. Cette procédure distingue les substances existantes, à savoir présentes sur le marché communautaire au 14 mai 2000, des substances nouvelles, c'est-à-dire postérieures. Parmi les substances existantes, deux types de produits (TP) biocides concernent la lutte antivectorielle sur la liste des 23 répertoriés : le TP 18 (insecticides, acaricides, produits de lutte contre les autres arthropodes) et le TP 19 (répulsifs, appâts).

Les premières AMM seront délivrées en 2009, voire en 2010. À l'issue de l'évaluation communautaire, l'inscription des substances actives existantes (voir l'encadré) sur la liste européenne des substances actives autorisées vaut pour une durée de dix ans. Au niveau national, l'AMM sera délivrée par le ministère chargé de l'Écologie si ces substances sont destinées à la lutte antivectorielle. En attendant (tant que le nouveau système d'AMM n'aura pas totalement porté ses fruits), l'ancien système de délivrance d'AMM peut continuer à s'appliquer par dérogation, à condition qu'il s'agisse bien d'une substance active existante.

Statut des substances actives biocides

Les différents statuts d'une substance biocide sont les suivants :

- *non identifiée* comme une substance active existante sur le marché communautaire au 14/5/2000 : cette substance active et les produits biocides en contenant ne peuvent plus être mis sur le marché depuis le 14 décembre 2003. Elle ne figure pas à l'annexe I du règlement CE n° 1451/2007 ;
- *identifiée mais non notifiée* : la substance ainsi que les produits biocides en contenant ont dû être retirés du marché le 1^{er} décembre 2006. Elle figure à l'annexe III du règlement CE n° 1451/2007 ;
- *identifiée et pour laquelle l'intention de soutien n'a pas été suivie par le dépôt d'un dossier* : la substance ainsi que les produits biocides en contenant ne pourront plus, à terme, être mis sur le marché ni utilisés à des fins insecticides. Entrée en vigueur de ces dispositions courant 2008 ;
- *identifiée, notifiée et pour laquelle un dossier a été déposé* : la substance ainsi que les produits biocides en contenant restent autorisés tant que l'évaluation communautaire n'est pas terminée et jusqu'à ce que les produits soient évalués au niveau national.

Pour les produits contenant une substance active nouvelle, une autorisation provisoire de vente n'excédant pas trois ans peut être accordée, avec prorogation éventuelle d'un an, en attendant son inscription sur la liste des substances autorisées. Il faut toutefois que l'autorité nationale compétente l'ait évaluée.

À noter également l'existence d'une procédure particulière : la demande d'*usage essentiel*. Les États membres peuvent y faire appel lorsqu'ils estiment qu'une substance leur est essentielle pour des raisons de santé, de sécurité ou de protection du patrimoine culturel, ou bien si elle est indispensable au bon fonctionnement de la société. La France y a, par exemple, recouru pour prolonger l'autorisation du téméphos dans les départements d'outre-mer (DOM) jusqu'au 14 mai 2009.

Droit interne

La lutte antivectorielle fait partie intégrante de la politique de santé publique.

De quels vecteurs parle-t-on ?

Le cadre législatif général pour la lutte contre les vecteurs est donné par l'article L. 3114-5 CSP, modifié par la loi 2004-809 du 13 août 2004. On y lit entre autres : « Un arrêté du ministre chargé de la Santé établit et tient à jour la liste des départements où est constatée l'existence de conditions entraînant un risque de développement de maladies humaines transmises par l'intermédiaire d'insectes et constituant une menace pour la santé de la population. Dans ces départements, la définition des mesures de lutte nécessaires relève de la compétence de l'État ». Cette disposition vise donc tous les insectes vecteurs de maladies, y compris les moustiques. Parallèlement, la loi 64-1246 du 16 décembre 1964, modifiée notamment par les lois 2004-809 et 2004-1343, porte sur la lutte contre les seuls moustiques.

Première question : ne serait-il pas plus raisonnable d'envisager un texte législatif unique pour encadrer la lutte contre tous les insectes, quitte à y intégrer des dispositions spécifiques à la lutte contre les moustiques ? Deuxième question : la loi ne devrait-elle pas aller au-delà des seuls insectes au sens zoologique du terme et inclure les arthropodes hématophages ? Si l'on se réfère à la dernière édition du dictionnaire de l'Académie française, il y est clairement rappelé le fait que « dans l'usage courant, on emploie parfois, de façon impropre, le mot "insecte" pour désigner d'autres animaux appartenant à d'autres classes (arachnides, myriapodes...) ». Les tiques, par exemple, sont des vecteurs importants. Ce ne sont pourtant pas des insectes mais des acariens, un ordre d'arachnides et à ce titre des arthropodes. Un doute juridique sur cette question peut sérieusement hypothéquer la lutte antivectorielle.

L'article L. 3114-5 CSP et ses zones d'ombre

La lecture de cet article donne lieu à quatre observations :

- le texte concerne tous les insectes. Il a donc un champ d'application beaucoup plus large que la seule loi de 1964 ;
- c'est au ministre de la Santé de dresser la liste des départements à risque ;
- seuls sont concernés les départements où existent des conditions à risque de maladies humaines transmises par des insectes donc une menace pour la population ;
- dans ces départements, la définition des mesures de lutte relève de la compétence de l'État.

D'où deux séries de questions. L'une concerne la troisième observation : quelles sont les conditions entraînant un risque et selon quels critères ? À partir de quand y a-t-il menace ? Quelle marge d'appréciation laisser à l'État ?

L'autre porte sur la quatrième observation : quelle est la collectivité compétente pour mettre en œuvre les mesures de lutte décidées ? En toute logique, dès lors que le législateur a précisé que, seule, la définition des mesures de lutte relevait de la compétence de l'État, il sous-entend que leur mise en œuvre relève d'une autre entité. Laquelle ? Force est de constater que le CSP n'apporte pas de solution. En effet, l'article R. 3114-9 CSP dispose que le préfet peut prendre certaines mesures. D'une part, il peut mettre en œuvre des actions d'information et d'éducation sanitaire de la population ou des actions de surveillance, afin de réduire la prolifération des insectes vecteurs. D'autre part, lorsque les insectes sont des moustiques, il peut prescrire (dans les zones délimitées conformément au 1^{er} de l'article 1^{er} de la loi n° 64-1246 du 16 décembre 1964 modifiée) des mesures de prospection, de traitement, de travaux et de contrôle au sens du dernier alinéa de cet article.

Donc, l'article R. 3114-9 CSP distingue bien le cas général des insectes et le cas particulier des moustiques, mais il n'indique en rien qui est compétent pour mettre en œuvre les mesures définies par l'État contre les insectes autres que les moustiques (la loi de 1964, pour sa part, fixe pour les moustiques une répartition des compétences). En toute logique, cette compétence n'ayant pas été attribuée explicitement à une collectivité précise, deux collectivités pourraient être amenées à intervenir si nécessaire : l'État, au titre de sa compétence de principe en matière de protection de la santé publique, et la commune puisque, selon l'article L. 2212-2 du Code général des collectivités territoriales (CGCT), la police municipale a pour mission d'assurer notamment la salubrité publique. Le maire peut donc prescrire toutes mesures permettant de faire cesser, « par des précautions convenables », « les maladies épidémiques ou contagieuses ». Si les choses devaient en être autrement, cela devrait être précisé par le législateur.

La loi de 1964 et la politique de lutte contre les moustiques

Cette loi, qui ne visait initialement que les moustiques en tant que nuisants, s'applique désormais aux moustiques de façon générale, qu'ils soient nuisants ou vecteurs. Dans le cadre de la lutte contre les moustiques, le texte modifié de la loi de 1964 prévoit que les communes peuvent se situer dans l'une des trois catégories de départements définies par son article 1^{er} (voir

Trois catégories de départements

1. « Départements où est constatée, dans les conditions définies à l'article L. 3114-5 (CSP), l'existence de conditions entraînant le développement de maladies humaines transmises par l'intermédiaire d'insectes et dont la liste est fixée par arrêté du ministre chargé de la Santé. »
2. « Départements où les moustiques constituent une menace pour la santé de la population et dont la liste est fixée par arrêté conjoint du ministre en charge de la Santé et du ministre en charge de l'Environnement. »
3. « En cas de besoin, départements où les conseils généraux le demanderaient. »

l'encadré). Le texte de 1964 modifié regroupe donc les notions de lutte contre les moustiques transmettant des maladies humaines (catégorie 1) et contre ceux qui seraient seulement nuisants (catégorie 3). La catégorie 2 paraît viser une situation plus incertaine de menace... On constate que la différence entre les départements de la première et de la deuxième catégorie est à affiner. Une nouvelle fois, quand y a-t-il « menace » ?

En ce qui concerne la 1^{re} catégorie de départements, il y a aujourd'hui un arrêté du ministre chargé de la Santé pris dans le cadre de la lutte contre les insectes vecteurs potentiels (dans les conditions de l'article L. 3114-5 CSP) : arrêté du 23 avril 1987 concernant Haute-Corse, Corse-du-Sud, Guadeloupe, Guyane, Martinique et Réunion.

Pour la deuxième catégorie de départements, seul le département du Var figure sur la liste fixée par l'arrêté du 26 août 2008 établissant la liste des départements où les moustiques constituent une menace pour la santé de la population.

Répartition des compétences

L'article L. 3114-5 CSP, qui concerne la lutte contre les insectes y compris les moustiques, précise de façon détournée que, seule, la définition des mesures de lutte relève de la compétence de l'État, dès lors qu'est intervenu un arrêté du ministre de la Santé constatant la nécessité de lutte contre les maladies transmises par des insectes dans le département. Dans le cas contraire, l'État reste compétent pour l'ensemble des opérations, au titre de sa compétence de protection de la santé publique.

Cela n'est pas sans ambiguïté. L'article 1^{er} de la loi de 1964 ne semble faire aucune distinction entre les trois catégories de départements ayant des zones de lutte contre les moustiques. Les services du département peuvent intervenir d'office dans les trois catégories. Ils ont donc compétence pour mettre en œuvre diverses mesures (prospections, traitement, travaux, contrôles). Mais, seule la première catégorie de départements recoupe le cadre de l'article L. 3114-5 CSP (liste fixée par arrêté du ministre chargé de la Santé). Les deux autres catégories ne correspondent pas au cadre défini par l'article L. 3114-5 CSP. Seuls les arrêtés préfectoraux prévus par la loi de 1964 encadrent la démoustication dans ces cas de figure. En substance il n'y a pas de compétence dévolue à l'État en matière de surveillance entomologique ni en termes de surveillance des insectes. Dans le cadre du 2^e et du 3^e de l'article 1 de la loi de 1964, c'est à la collectivité de définir les objectifs à atteindre. La compétence de l'État telle que définie à l'article L. 3114-5 CSP s'y applique-t-elle ? Certainement. Mais, on voit bien là les limites rédactionnelles des dispositions actuellement en matière de lutte contre les moustiques (loi de 1964), le préfet est chargé de définir les conditions de mise en œuvre des mesures de lutte (zones concernées, opérations, calendrier). De même, il ressort de l'article R. 3114-9 CSP que le préfet détermine et évalue la stratégie de lutte contre la (les) maladie(s) transmise(s) par l'intermédiaire d'insectes (l'article R. 3114-9 CSP). En outre, dans les départements « où est constatée l'existence de conditions entraînant le développement de maladies humaines transmises par l'intermédiaire de moustiques et constituant une menace pour la santé de la population », les préfets peuvent prescrire les mesures utiles (article 7-1 de la loi de 1964).

L'État va donc définir les départements à risque, les mesures qui doivent y être prises et les zones d'intervention dans lesquelles le préfet décide des opérations et du calendrier. Les départements concernés, eux, vont exécuter les opérations à l'intérieur des zones : prospection, repérage, surveillance, traitement, réalisation des travaux nécessaires, contrôles. Telle est, depuis la loi du 13 août 2004, la répartition des compétences en matière de lutte contre les moustiques.

Ce réel transfert de compétences au plan juridique (loi du 13 août 2004) implique une réorganisation et une restructuration des carrières des agents impliqués dans la lutte antivectorielle, d'une part, et une compensation financière (au profit du département) au sens de l'article 72-2 de la Constitution,

d'autre part. La question se pose alors de savoir si le partage des charges financières entre le département et les communes concernées (article 65 de la loi de finances 1975, déjà cité) est toujours pertinent.

Au niveau des communes, un certain nombre de mesures du CGCT précisent les responsabilités du maire. Celui-ci est en effet habilité à prescrire des mesures contre les « maladies épidémiques ou contagieuses » ou bien contre les moustiques « en vertu de ses pouvoirs de police concernant l'hygiène ».

Le maire est en outre chargé de l'application du Règlement sanitaire départemental (RSD), texte de référence en matière d'hygiène et de salubrité (pour les activités qui ne relèvent pas du champ d'application de la loi du 19 juillet 1976). Un texte toujours d'actualité en de nombreuses circonstances (citernes de recueil d'eau de pluie, mares, abreuvoirs...).

Concernant la salubrité, il faut également signaler les décrets en Conseil d'État qui, selon l'article L. 1311-1 du CSP, fixent les règles générales d'hygiène et autres mesures propres à préserver la santé humaine (salubrité des habitations, agglomérations...). Ces mesures peuvent être complétées par des arrêtés préfectoraux ou par des arrêtés municipaux (article L. 1311-2 CSP).

Enfin, au flou juridique caractérisant la répartition des compétences telle qu'elle vient d'être rapidement décrite (voir CD-ROM), des dispositions spécifiques sont susceptibles de brouiller un peu plus les cartes, comme ce fut le cas avec les circulaires relatives aux modalités de mise en œuvre du plan antidissémination du chikungunya et de la dengue en territoire métropolitain (voir CD-ROM).

À cela, il convient encore d'ajouter que la question du partage des compétences s'inscrit aujourd'hui dans le cadre de la Révision générale des politiques publiques (RGPP). L'actualité la plus récente vient apporter de nouveaux éléments :

- projet de loi « hôpital, patients, santé, territoires » présenté au Conseil des ministres du 22 octobre 2008 ;
- mise en œuvre de la réorganisation territoriale de l'État présentée au Conseil des ministres du 17 décembre 2008, complétée par une circulaire du Premier ministre du 31 décembre 2008 ;
- circulaires DGS/DSC du 7 et du 12 janvier 2009 relatives à l'organisation de la défense et de la sécurité dans le domaine des affaires sanitaires.

Répartition des compétences dans les COM (hors DOM)

La lutte antivectorielle dans les collectivités d'outre-mer est notamment encadrée par le décret 2003-462 du 21 mai 2003 qui a conduit à l'article R. 3114-9 CSP, sauf en ce qui concerne Mayotte.

■ Mayotte : le conseil général n'a pas de pouvoir décisionnaire en matière de lutte contre les maladies vectorielles (voir notamment l'article LO 6161-CGCT du 21 février 2007), de la seule compétence de l'État (article 3811-7 CSP). Le décret du 12 janvier 1988 définissant les compétences des Directions régionales et départementales des affaires sanitaires et sociales n'a pas été abrogé à Mayotte. Rien n'empêche toutefois les communes de prendre des initiatives de lutte contre les moustiques, qui doivent figurer au nombre des dépenses obligatoires (L. 2572-52 CGCT).

■ Saint-Barthélemy et Saint-Martin : les deux se sont vu attribuer les mêmes compétences que le département d'outre-mer de la Guadeloupe (articles LO 6214-1 et LO 6314-1 CGCT).

■ Saint-Pierre-et-Miquelon : la compétence en matière de lutte antivectorielle relève exclusivement de l'État (article LO 6414-1 CGCT, créé par la loi 2007-223 du 21 février 2007 et article LO 6461-11 CGCT).

■ Wallis-et-Futuna : l'État assure notamment l'hygiène et la santé publique (article 7 de la loi 61-814 du 29 juillet 1961).

L'un des points les plus importants à considérer réside dans la création des Agences régionales de la santé (ARS), qui devrait intervenir dès le début de l'année 2010 (les recrutements des premiers directeurs généraux sont d'ores et déjà lancés). Le directeur général de chacune de ces agences aura en effet compétence pour définir et organiser la stratégie de lutte antivectorielle. Son action devrait être prolongée au niveau départemental par une délégation placée « auprès du préfet de département ». La circulaire du Premier ministre du 31 décembre 2008 précise clairement qu'en période de risque avéré, le préfet reprend la main et s'appuie sur les moyens humains et matériels « mis à disposition » par le directeur général de l'ARS.

Cadre normatif pour les milieux favorables aux vecteurs

Les dispositions spécifiques relatives au traitement des milieux favorables à la propagation des insectes vecteurs sont peu nombreuses, même si un

certain nombre de dispositions de lutte contre l'insalubrité de manière générale sont bien sûr applicables. Elles sont, pour l'essentiel, contenues dans la loi 64-1246 du 16 décembre 1964 modifiée et dans le décret 2005-1763 du 30 décembre 2005 qui ne portent que sur les moustiques.

En ce qui concerne les agents (professionnels de la surveillance, des traitements...), la loi du 16 décembre 1964 donne des précisions sur leurs droits, rôles et responsabilités, y compris coercitives (établissement de procès-verbaux en cas d'infraction, par exemple). Quant aux propriétaires, locataires, exploitants... c'est essentiellement le décret du 1^{er} décembre 1965 qui éclaire sur leurs obligations, notamment en cas de gîtes à larves dans les zones de lutte contre les moustiques, tous (occupants ou exploitants) étant tenus de faire disparaître ces gîtes (voir CD-ROM). Une consultation d'exemples étrangers, même très brève, est, sur cette question, instructive (voir l'encadré).

Quelques législations d'États étrangers en bref

■ Îles Caïmans : au terme de la *Mosquito (research and control) Law* (19 juin 2007), les agents en charge des contrôles ont accès à toute heure à tous locaux, y compris dépôts d'ordures ménagères et commerciales, pour les inspecter ou les surveiller, les propriétaires et occupants de locaux d'habitation ou commerciaux doivent permettre un accès facile, à des fins de contrôle, aux réservoirs, bidons, cuves et autres réceptacles pour le stockage de l'eau, etc.

■ Comores : les articles 70 et 71 du Code de la santé publique comorien (loi 95-O13/A/F) portent sur les normes régissant l'importation, la distribution, l'utilisation et l'homologation des pesticides utilisés pour la lutte antivectorielle. Selon l'article 109 « tout individu ayant constaté la présence [...] d'insectes dans son habitation devra solliciter leur destruction complète auprès des services du Génie sanitaire et de l'assainissement et de lutte contre les maladies à transmission vectorielle ». L'article 137 prévoit que « toute disposition doit être prise pour éviter les gîtes de reproduction des vecteurs [...] ».

■ Sri Lanka : la prévention contre les moustiques fait l'objet d'une loi, *Prevention of mosquito breeding Act*, n° 11 (2007). Comme aux îles Caïmans, ce texte impose diverses obligations aux propriétaires ou occupants de locaux : fermeture et couverture des réserves à eau de toutes sortes, contrôle des appareillages à air conditionné, réduction des arbustes, broussailles et autres types de végétation, etc.

En cas de non-respect des prescriptions sur les terrains bâtis ou non bâtis des agglomérations, pour les décharges et les dépôts situés en dehors, voire dans les cultures irriguées... le dispositif répressif est relativement développé et sévère à l'encontre de(s) (l')intéressé(s). Il semble d'ailleurs largement inspiré de celui, non abrogé, de l'ordonnance du 3 avril 1944 relative à la lutte antipaludique. Le décret 2005-1763 du 30 décembre 2005 prévoit les amendes applicables (contraventions de 4^e et 5^e classes, soit respectivement de 750 euros et 1 500 euros). La récidive est sanctionnée encore plus lourdement. Le cadre normatif des opérations de contrôle et de traitement est, lui aussi, bien développé, ainsi que le système de sanctions à l'encontre des agents en cas d'incurie. Reste le problème du nombre insuffisant de ces agents.

En revanche, il n'existe aucune mesure de nature systématique, par exemple en cas de transaction immobilière, à l'instar de celle appliquée pour les termites. Peut-être, serait-il envisageable et utile d'instaurer un bilan des risques vectoriels et de conditions favorables à leur implantation.

LUTTE ANTIVECTORIELLE ET SANTÉ ANIMALE

Le cadre réglementaire s'articule autour de quatre axes : la réglementation issue de l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE), celle issue de l'Organisation mondiale du commerce (OMC), la réglementation communautaire et la réglementation nationale. Mais aucune de ces réglementations n'est exclusivement consacrée à la lutte antivectorielle pour la santé animale.

L'OIE

Cette organisation (anciennement Office international des épizooties) élabore des normes au sein desquelles les références aux vecteurs portent sur trois domaines :

- la détermination des statuts sanitaires des pays et régions : selon les maladies concernées, celle-ci peut se fonder sur des programmes de surveillance des vecteurs ;
- la détermination des conditions d'échange des animaux entre pays : selon le statut sanitaire des pays, celle-ci peut s'appuyer sur des périodes d'activité ou d'inactivité vectorielle attestées par des programmes de surveillance entomologique ;

■ la protection des animaux contre les vecteurs : elle se fait soit au travers de protocoles de quarantaine, soit lors du chargement et du transport des animaux.

Les dispositions définies par l'OIE sont reprises dans le livre II du Code rural (titre III, chapitre VI, article L. 236-4) : « Lorsqu'ils sont originaires ou en provenance de pays non membres de la Communauté européenne, les animaux vivants [...] sont soumis [...] à un contrôle vétérinaire sanitaire, qualitatif, zootechnique ou ayant trait à la protection des animaux, selon les cas, systématique ou non. »

L'OMC

Cette organisation est l'aboutissement d'un certain nombre d'accords, y compris sur des dispositions spécifiques relatives aux questions sanitaires et phytosanitaires, en relation avec les risques posés par les échanges commerciaux d'animaux (et de leurs produits). Les normes, lignes directrices et recommandations de l'OIE sont alors considérées comme références internationales en matière de maladies animales et de zoonoses. Mais il n'est donc pas tenu compte, dans ce cadre, de l'introduction d'un agent pathogène par le biais d'un vecteur, ni de l'introduction d'une espèce de vecteur exotique.

La réglementation communautaire

Elle détermine au travers de la directive 894-CE du 21 décembre 1982 la liste des maladies devant être signalées à la Commission. Parmi elles, figurent les maladies à transmission vectorielle. En la matière, le règlement 2007/1266/CE (26 octobre 2007) porte, par exemple, sur les modalités d'application de la directive 2000/75/CE du Conseil concernant la lutte contre la fièvre catarrhale du mouton, son suivi, sa surveillance et les restrictions applicables aux mouvements de certains animaux des espèces qui y sont sensibles.

Vis-à-vis de la fièvre catarrhale ovine (FCO), la directive européenne 2000/75, transposée en droit national par l'arrêté ministériel du 24 août 2001 (remplacé par celui du 1^{er} avril 2008), impose le confinement des animaux et leur traitement à l'aide d'insecticides en cas de suspicion ou de confirmation d'un foyer. Le règlement européen 2007/1266/CE définit les dérogations à l'autorisation et à l'exportation si les animaux sont « protégés

des attaques du vecteur *Culicoides* » pendant leur transport. Une formulation sibylline que la France traduit par le traitement insecticide épicutané des animaux (note de service DGAL/SDSPA/N2007-8276).

La réglementation nationale

La réglementation s'appuie notamment sur l'article R. 3114-9 CSP. Celui-ci précise entre autres que le préfet, dans les départements où s'appliquent les dispositions de l'article L. 3114-5 CSP, peut prendre des mesures de « surveillance des animaux susceptibles d'être contaminés par des agents pathogènes transmis par des insectes vecteurs, selon les modalités fixées par un arrêté du ministre chargé de l'Agriculture ».

La liste des maladies réputées contagieuses, parmi lesquelles figurent les maladies vectorielles, détermine en outre les maladies pour lesquelles des mesures de police sanitaire doivent être mises en œuvre. La liste des maladies à déclaration obligatoire fixe celles pour lesquelles la notification aux services vétérinaires est obligatoire (livre II du Code rural relatif à la santé publique vétérinaire, article L. 2114-1). D'une manière générale, l'article L. 214-1 du Code rural précise que « tout animal étant un être sensible doit être placé par son propriétaire dans des conditions compatibles avec les impératifs biologiques de son espèce ». Moyennant quoi les références à la lutte antivectorielle concernent les mesures à appliquer ainsi que les échanges et mouvements (voir l'encadré).

Il apparaît que les exigences réglementaires en matière de lutte antivectorielle n'imposent le plus souvent que la désinsectisation. Il n'existe pas de politique globale de lutte antivectorielle en matière de santé animale, autrement dit d'organisation opérationnelle fondée sur un cadre réglementaire.

À noter que les services vétérinaires compétents en matière de santé animale sont organisés en services centraux (Direction générale de l'alimentation, ou DGAL) et en services déconcentrés départementaux et régionaux. Les services centraux sont principalement chargés de la préparation, du suivi, du contrôle et de l'évaluation de la législation et de la réglementation, tandis que les missions des services déconcentrés consistent à organiser et à contrôler l'exécution des mesures préconisées par la DGAL. Les textes rédigés au niveau central sont d'application nationale (sauf cas particuliers) avec communication par ordres de service aux services déconcentrés.

Dispositions de lutte antivectorielle à mettre en œuvre

Mesures à appliquer dans les foyers (ou suspicions de foyers), de deux ordres essentiellement :

- la lutte et la protection contre les vecteurs : désinsectisation des animaux, des bâtiments et des abords selon les cas ; confinement des animaux... (articles L. 223-8 et L. 224 du Code rural) ;
- des enquêtes épidémiologiques destinées à déterminer la présence et la distribution des vecteurs, les lieux de reproduction...

Échanges et mouvements, les références aux vecteurs s'appliquant dans ce cas à trois types de situations :

- la protection des animaux contre les vecteurs lors du chargement et du transport (désinsectisation des animaux et des moyens de transport) ;
- la protection des animaux contre les vecteurs dans le cadre de protocoles destinés à garantir le statut sanitaire des animaux ;
- l'élaboration de programmes de surveillance des vecteurs destinés à déterminer les périodes d'activité/inactivité des vecteurs (périodes fixant éventuellement les conditions d'échanges des animaux).

LE DROIT DES ASSURANCES ET LES MALADIES VECTORIELLES

Deux axes de réflexion sont à considérer sur la question des assurances.

Les maladies vectorielles et la mortalité animale

Les exploitants agricoles peuvent contracter une assurance « mortalité bétail », mais ce type d'assurance reste facultatif. Les pertes de bétail à la suite d'une maladie vectorielle peuvent-elles être en revanche considérées comme une catastrophe naturelle ou une calamité agricole ?

Selon l'article 1^{er} de la loi 82-600 du 13 juillet 1982, une catastrophe naturelle est caractérisée par l'intensité anormale d'un *agent naturel* alors même que les mesures habituelles à prendre pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenue ou n'ont pas été prises. En milieu agricole, la catastrophe naturelle concerne entre autres le cheptel vif en bâtiment. Une extension aux maladies vectorielles touchant le bétail est-elle envisa-

geable ? Jusqu'à présent, le législateur a réaffirmé en maintes circonstances son attachement à une acception de la notion de catastrophe naturelle limitée aux seuls événements climatiques et telluriques.

La notion de calamité naturelle ressort pour sa part du Code rural. Selon l'article L. 361-2 : « Sont considérés comme calamités agricoles au sens du présent chapitre les dommages non assurables d'importance exceptionnelle dus à des variations anormales d'intensité d'un agent naturel, lorsque les moyens techniques de lutte préventive ou curative employés habituellement dans l'agriculture n'ont pu être utilisés ou se sont révélés insuffisants ou inopérants » (article L. 361-2). Cette définition est très proche de celle de la catastrophe naturelle. Elle concerne, entre autres, les cheptels vivant hors bâtiment. Les éléments à l'origine d'une calamité naturelle sont de même nature que pour la catastrophe naturelle. Cependant, il semble que le Fonds national de garantie des calamités intervient pour tous les dommages visés à l'article L. 361-2 (sécheresse, inondation, gel... mais aussi multiplication exceptionnelle de parasites ou de virus...). Mais, compte tenu de la complexité de cette procédure d'indemnisation, il y a fort à penser que les décisions varient au gré des circonstances.

Les maladies vectorielles et les pertes d'exploitation

Certaines zones géographiques peuvent voir leur potentiel économique fortement hypothéqué par l'occurrence d'une maladie vectorielle (baisse d'activité touristique, par exemple). De telles pertes sont-elles potentiellement assurables (sachant que l'État, de son côté, a toujours la possibilité de créer une structure spéciale d'indemnisation) ?

Typiquement, en cas de sinistre, la reconstitution des moyens de production d'entreprises, d'artisans... peut prendre des mois, voire des années, ce qui grève considérablement le chiffre d'affaires des établissements en question pendant cette période. Mais quel que soit l'événement couvert, le contrat *perte d'exploitation* ne s'applique que si cet événement fait l'objet d'une garantie *dommages matériels*. Or, une épidémie/endémie n'entraîne pas en soi de dommage matériel sur les biens assurés (installations hôtelières, commerces...). La perte d'exploitation est en elle-même le *dommage*. En conséquence, une garantie *perte d'exploitation*, telle que prévue et pratiquée actuellement, paraît difficilement concevable dans le cas d'une perte

d'exploitation résultant d'une maladie vectorielle. Reste que tout *produit* non contraire au Code des assurances peut être inventé, de la même manière que certaines compagnies d'assurance lancent des produits garantissant contre les variations climatiques (saison estivale trop froide, saison hivernale trop chaude, etc.).

Comment la gouvernance s'organise-t-elle ?⁴

Des contraintes locales ont souvent conduit à adapter le dispositif juridique et réglementaire sensé encadrer la lutte antivectorielle. D'où une certaine disparité des situations à laquelle la réforme introduite par l'article 72 de la loi du 13 août 2004 devrait remédier. Les départements concernés figurent sur la liste fixée par arrêté du 23 avril 1987, toujours en vigueur, à savoir : la Réunion, la Guadeloupe, la Martinique, la Guyane, Mayotte, la Haute-Corse et la Corse-du-Sud.

LA RÉUNION

Il y a l'avant et l'après épidémie du chikungunya de 2005-2006.

Organisation jusqu'en 2005

La Réunion dispose d'un service de lutte antivectorielle depuis 1914. Connu sous le nom de *service de prophylaxie*, celui-ci est principalement orienté vers la lutte contre l'anophèle en raison du fort taux de mortalité lié au paludisme (2 000 morts par an au milieu du ^{xx}e siècle). En 1977-1978, c'est une épidémie importante de dengue qui frappe l'île (près de 150 000 personnes) tandis qu'à la fin des années 1970 le paludisme y est considéré comme éradiqué.

Au fil du temps, la vigilance va alors progressivement diminuer, surtout au cours de la vingtaine d'années suivant le début d'application des lois de décentralisation (1985) et ce, jusqu'à l'épidémie de dengue de 2004. Le service de lutte antivectorielle, dont l'effectif était passé de 230 personnes à une quarantaine au début des années 2000, décide alors de privilégier le travail avec les communes et les communautés de communes. Il forme à cet effet quelque 250 médiateurs de l'environnement.

⁴ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 3 : « Comment la gouvernance s'organise-t-elle ? ».

Pendant l'épidémie de chikungunya (2005-2006)

En pleine épidémie, la loi de 2004, qui préconisait un transfert de compétence au département, paraissait difficile à mettre en œuvre. Le 23 février 2005, le ministre de la Santé accepte de reculer sa date d'entrée en vigueur au 1^{er} janvier 2006, échéance à nouveau repoussée en raison de la poursuite de l'épidémie. Il faudra attendre octobre 2005 pour qu'un protocole de lutte renforcée soit mis en place. Cette lutte renforcée se traduit notamment par une incitation des communes et de la population à s'engager dans la lutte mécanique. Une campagne de communication est en outre organisée ainsi que la formation de quatre cents agents communaux que l'on équipe du matériel nécessaire. Quant à la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales (Drass), elle bénéficie du recrutement de vingt agents contractuels.

Face à l'ampleur de l'épidémie (45 000 cas répertoriés dans la seule cinquième semaine de l'année 2006), la lutte antivectorielle devient systématique à partir de février 2006 dans tous les quartiers urbains, avec des effectifs en augmentation constante (jusqu'à 3 000 personnes). Entre juin et novembre 2006 (hiver austral), à la faveur de l'immunité acquise par la population conjuguée aux effets de la lutte contre l'insecte vecteur, l'épidémie perd de son agressivité. Un protocole dit de *vigilance renforcée* est mis en œuvre afin de réduire la densité des vecteurs, d'intervenir auprès des cas signalés et de maintenir une mobilisation générale. Les actions de communication sont poursuivies, la Drass forme des formateurs-relais, le partenariat s'ouvre aux associations et les traitements deviennent hebdomadaires pour les zones les plus sensibles (ravines, cimetières).

Le retour de l'été austral, à partir du mois de décembre, fait toutefois craindre un troisième pic épidémique. D'où l'élaboration du *plan Chik* qui vise à éviter une telle reprise de l'épidémie, à l'évaluer, à contrôler les vecteurs et à intervenir pour chaque cas.

Renouveau du service de lutte antivectorielle

Aujourd'hui, le service de lutte antivectorielle de la Drass dispose d'environ deux cents agents (contre quarante-cinq en juin 2006). Ses missions : lutter contre le paludisme, d'une part, et contrôler l'extension des épidémies à arboviroses, d'autre part, avec mise en place d'un dispositif structuré et renforcé pour mieux connaître le vecteur et répartir les ressources disponibles selon un dispositif d'intervention réactif et graduel.

Tableau 2 – Structure et moyens

Structures	Moyens
Unité centrale	– Les cadres définissant la stratégie et les moyens, la logistique, les financements – Le laboratoire d'entomologie
Unités opérationnelles	À Saint-Denis, Saint-Benoît, Saint-Pierre et Saint-Paul : activités de démoustication, de surveillance des vecteurs, de recueil des données épidémiologiques, d'éducation sanitaire
Pôle social et service communication de la Drass	Mise en œuvre de la mobilisation sociale (animation lors de manifestations publiques, formation et information des scolaires...)
Moyens	Stock important de matériel et de produits insecticides datant de l'épidémie de chikungunya

Service de prophylaxie renforcée (SPR) au sein du Groupement d'intérêt public (GIP)

Créé par arrêté préfectoral le 11 octobre 2006 et installé le 30 octobre de la même année, le SPR a trois missions principales : coordonner au quotidien les actions des différents partenaires, disposer en cas d'épidémie d'une structure identifiée pour les actions de démoustication et d'éducation sanitaire, engager durablement les communes dans la lutte contre les moustiques. Il est constitué sans capital : ses moyens d'action sont supportés exclusivement par l'État, dont un contrôleur surveille également sa gestion financière (article n° 6-1 du décret 88-1034 du 7 novembre 1998).

Les membres de ce GIP, dont le directeur est nommé par le préfet, sont l'État (qui en assure la présidence), le conseil régional, le conseil général, l'association des maires, les communes et les Établissements publics de coopération intercommunale (EPCI). La convention constitutive en a été approuvée par le préfet de la Réunion le 31 octobre 2006. Le SPR est doté d'un Comité technique opérationnel (CTO) regroupant les responsables des services techniques des communes et ceux de la lutte antivectorielle. C'est au CTO que revient la charge de préparer les décisions à soumettre au conseil

d'administration concernant le matériel, les ressources humaines, les modalités opérationnelles de lutte et les protocoles d'intervention.

Dans un premier temps (jusqu'au 15 août 2007), le GIP fonctionne dans le contexte du dispositif *chik* global avec un Centre opérationnel de préfecture (COP) et, en sous-préfectures, des Postes de commandement avancé (PCA) pour assurer la coordination entre les divers partenaires, à savoir : le service de lutte antivectorielle de la Drass (les seuls effectifs permanents du SPR), le conseil général et les communes, ainsi que le conseil régional et les EPCI, ces derniers dans une moindre mesure.

À la levée du dispositif de crise, pilotage et coordination du SPR sont confiés à la Drass, tandis que les emplois aidés du conseil général sont mis à disposition des communes (en sus de leurs effectifs propres) et que le conseil régional et les EPCI se retirent. L'engagement du conseil général s'est donc fortement réduit. De plus, son adhésion au GIP ne valait que pour deux ans. Quant aux moyens humains, il s'agissait de personnel non permanent (contrats aidés) pour les situations de crise seulement. L'implication des communes s'en est trouvée renforcée : elles apparaissent dorénavant comme les partenaires les plus actifs et les plus légitimes.

Une panoplie très complète d'instruments juridiques leur permet de lutter contre les insectes vecteurs, du fait du pouvoir de police générale du maire notamment (voir CD-ROM), mais aussi d'une bonne connaissance du terrain et des populations. Elles s'appuient également sur les associations et les services communaux pour l'information et la sensibilisation du public. La plupart des opérations de traitement de quartiers ou ravines sont effectuées par la Drass et les communes de manière conjointe, ce qui permet une intervention immédiate si besoin est.

LA GUADELOUPE

Elle s'est dotée, beaucoup plus tôt que d'autres, d'un service de lutte antivectorielle, du fait de sa localisation au sein de l'arc antillais en zone intertropicale. Ce service a toutefois enregistré une chute importante de ses effectifs (de 125 agents dans les années 1980, à 65 aujourd'hui), en raison de la disparition des cas autochtones de transmission du paludisme vers la fin des années 1960, entre autres.

Présentation du service de lutte antivectorielle

Jusqu'à la loi du 13 août 2004, le service de lutte antivectorielle était placé sous l'autorité du directeur de la Direction de la santé et du développement social (DSDS). Dans le cadre de son application, il est théoriquement mis à la disposition du conseil général de Guadeloupe (convention signée le 11 avril 2006). Après de nombreuses réserves (sur le caractère jugé arbitraire d'une séparation entre *compétence de définition des mesures* et *compétence d'exécution de ces mesures* notamment), le conseil général a en effet accepté le principe de ce transfert.

Placé sous la responsabilité d'un chef de service (par ailleurs ingénieur sanitaire) qui n'y consacre que 70 % de son temps, il comprend essentiellement des adjoints sanitaires. Il est implanté pour partie dans des locaux prêtés par le conseil général et, pour partie, dans cinq antennes techniques (Marie-Galante, Saint-Martin, Saint-Barthélemy, Baillif, Jarry).

Stratégie

Un Plan de surveillance, d'alerte et de gestion des épidémies (Psage) dengue a été rédigé en partenariat avec la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Antilles-Guyane (Fort-de-France), le service de démoustication de la Martinique, le service de la lutte antivectorielle de la Guadeloupe et les cellules de veille sanitaire de Martinique et de Guadeloupe. Ce Psage précise à la fois la stratégie de prévention et les procédures d'urgence. Un volet spécifique porte sur le risque chikungunya. En période épidémique, le chef de service de lutte antivectorielle produit des plans d'action selon un rythme bimensuel afin d'adapter la stratégie de lutte au contexte de l'évolution de l'épidémie.

Dans le contexte de la mise en œuvre de l'article 72 de la loi du 13 août 2004, il a été réalisé un état des lieux en vue du transfert au conseil général qui précise le fonctionnement à venir des différents acteurs.

Ce réel travail de pilotage connaît toutefois une limite indépendante des acteurs. La situation entomo-épidémiologique de l'île de la Guadeloupe conduit à surtout s'intéresser à l'*Aedes aegypti*, le moustique vecteur de la dengue. Or, l'île de Saint-Martin est partagée entre parties hollandaise et française, l'aéroport international de Juliana (sur la partie hollandaise) étant

Tableau 3 – Organisation de la lutte

Structure	Organisation
Comité de pilotage	Autour du préfet de Guadeloupe : le président du conseil général, le directeur de la Santé et du Développement social, le président de l'association des maires, le commandant des forces armées aux Antilles, le directeur général de l'Agence régionale de l'hospitalisation (ARH), le directeur général du CHU de Pointe-à-Pitre, les directeurs des centres hospitaliers de Basse-Terre et de Saint-Martin
Un dispositif de surveillance chikungunya	À l'aéroport de Pointe-à-Pitre Pôle Caraïbes et associant l'ensemble des acteurs concernés par le contrôle aérien

le deuxième aéroport de la zone Caraïbe en termes de trafic. En dépit des spécifications du RSI, la fiabilité des informations sur le développement de l'épidémie de dengue dans la partie hollandaise semble fragile : trop d'écarts affichés entre leur constat épidémiologique et celui de la partie française. Les services de la DSDS cherchent à améliorer cette situation par la mise au point d'un protocole d'échange d'informations avec les autorités sanitaires du gouvernement de Saint-Martin.

Points faibles

Un certain nombre de difficultés sont directement liées à la configuration géographique : les moyens d'action du service doivent être répartis entre les différentes îles dont certaines sont distantes de plusieurs centaines de kilomètres de la « Guadeloupe continentale ». D'où plusieurs questions :

- quel avenir pour la lutte antivectorielle dans les deux îles du Nord (Saint-Martin, Saint-Barthélemy) ? Si le projet de loi organique sur l'outre-mer est voté, deviendront-elles des collectivités sans lien avec le conseil général de Guadeloupe ? Leur petite taille rend peu réaliste l'existence d'un service de lutte antivectorielle autonome ;

■ comment prendre en compte la diversité des modes de vie entre îles ? Par exemple, si l'eau douce est relativement abondante en Guadeloupe, sa rareté et son coût excessif à Saint-Martin conduisent à recourir aux citernes de récupération des eaux de pluie. Autre exemple : la question des langues. La forte proportion d'habitants non francophones à Saint-Martin (du fait de la perméabilité des frontières entre les deux parties de l'île) impose aux agents de parler l'anglais ou le papiamentu.

Parallèlement, il faudrait redéfinir la collaboration avec l'Association technique d'utilité sanitaire et sociale (Atuss), dont le but est de promouvoir le développement économique de Petit-Canal, Port-Louis, Anse-Bertrand et Morne-à-l'Eau. Au titre de la convention entre la DSDS et l'Atuss sur la démoustication dans le nord de la Grande-Terre, l'association reçoit une dotation en produits de lutte antivectorielle de DSDS. Toutefois, la loi de 1964 prévoyait déjà explicitement de ne confier la démoustication qu'à des organismes publics. Dans son extension à la lutte antivectorielle, l'article 72 de la loi du 13 août 2004 confirme cette option. Le conseil général ne souhaite d'ailleurs pas avoir l'Atuss comme interlocuteur. En droit, la convention continuerait d'être passée avec les communes concernées.

Enfin, en dépit de sa perte de maîtrise de la stratégie (réservée à l'État par la loi du 13 août 2004), le conseil général entend ne pas se cantonner dans un rôle d'exécution et souhaite disposer de ressources propres pour élaborer sa stratégie. La mise en place d'une entente interdépartementale entre Guadeloupe, Martinique, voire Guyane, est peu envisageable compte tenu de l'insularité (là est d'ailleurs une faiblesse de la loi de 2004). Quoi qu'il en soit, le dispositif de veille et les partenariats doivent être renforcés. La veille sanitaire s'articule autour de la Cire Antilles-Guyane et de la Cellule de veille sanitaire (CVS) de Guadeloupe depuis 2003, elle-même s'appuyant sur un réseau de cinquante médecins sentinelles. Le réseau mériterait d'être plus développé dans la région de Pointe-à-Pitre compte tenu de sa densité de la population.

LA MARTINIQUE

La lutte antivectorielle concerne essentiellement l'*Aedes aegypti*, le vecteur principal de la dengue et de la fièvre jaune, depuis qu'il n'y a plus de paludisme endémique.

Tableau 4 – Organisation de la lutte

Structures	Moyens
Encadrement du service commun	Deux agents de statut départemental : – un entomologiste médical* est en charge du pilotage scientifique et technique en plus de la gestion du service ; – une ingénieure le seconde pour les tâches de management, de logistique et pour les activités techniques ;
Unité stratégique	– l'entomologiste assure la surveillance entomologique et les enquêtes sur les cas signalés par la veille sanitaire ; – l'unité dispose d'un laboratoire commun avec l'insectarium ;
Unité opérationnelle	– l'entomologiste planifie et gère les interventions de démoustication ; toutes les opérations sont pilotées à partir de Fort-de-France ; – l'unité dispose d'un parc de véhicules de l'État et du conseil général, et de matériels de pulvérisation, tractés ou portatifs ;
Unité de communication sociale	– l'entomologiste prend et coordonne toutes les actions de mobilisation sociale en partenariat avec les municipalités, les associations de quartiers, l'éducation nationale...

* Le ministère de la Santé rembourse au département la totalité de son coût salarial au moyen de la Dotation générale de décentralisation (DGD).

Présentation du service de lutte antivectorielle

Jusqu'en 1990, c'est la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) qui assure cette lutte contre les vecteurs. De son côté, le conseil général entreprend en 1990 des actions de démoustication généralisée complémentaires en se dotant des moyens et personnel nécessaires. L'originalité martiniquaise tient à ce que, dès 1990, les activités de démoustication et de lutte antivectorielle ont été rapprochées et coordonnées, ce

qui s'est concrétisé par une convention État-département (1^{er} novembre 1990) précisant les modalités d'action respectives et d'utilisation des moyens humains et matériels.

À la veille du transfert de lutte antivectorielle de l'État au département, la mutualisation des moyens humains (48 personnes dont 32 de la DSDS et 16 du conseil général) fonctionne parfaitement. En revanche, il n'y a pas de mise en commun des crédits de fonctionnement, ce qui complique la gestion au quotidien. C'est la raison pour laquelle la création d'un GIP a été envisagée dans les années 1990 afin d'associer l'État, le conseil général et les communes. Ce projet *d'entente martiniquaise pour la démoustication* n'a finalement pas été retenu.

Stratégie

Une démarche a été engagée pour renforcer l'efficacité des actions entreprises au travers de la mise en place de deux instances : le comité scientifique des maladies infectieuses et tropicales, un lieu d'échange interdisciplinaire visant à fonder scientifiquement les stratégies de lutte contre la dengue, et la cellule de gestion des phénomènes épidémiques dont le rôle est politique et décisionnel. Présidée par le préfet, celle-ci valide le Psage de dengue. Sont membres de cette cellule : le président du conseil général, le président de l'association des maires, le directeur de la Santé et du Développement social, le directeur de l'ARH, le directeur général du CHU du Lamentin, le directeur du Centre hospitalier de Trinité, le commandant des forces armées aux Antilles.

Le Psage a été signé par l'ensemble des partenaires le 13 juillet 2006. Un Psage similaire pour le chikungunya a été élaboré. L'objectif est double : contractualiser le rôle et les missions des partenaires impliqués dans la lutte contre la dengue, et fournir les outils nécessaires pour la conduite des différentes actions du programme.

Compte tenu de l'organisation préexistante, le transfert de la lutte antivectorielle au conseil général ne devrait pas poser de difficultés. La situation de l'entomologiste départemental reste toutefois à clarifier, même si la DSDS n'a à ce jour pas remis en cause la mutualisation des personnels (voir CD-ROM). La mise à disposition des moyens matériels devrait faire l'objet d'avenants ultérieurs.

Forces et faiblesses

■ **Force** : la coordination des actions de démoustication et de lutte antivectorielle ainsi que la mise en commun des moyens (État/département) dès 1991 sont à certains égards exemplaires, y compris au plan des résultats. Cette collaboration était d'autant plus justifiée que la distinction classique entre gîtes à moustiques vecteurs et gîtes à moustiques nuisants est de moins en moins pertinente. En outre, la mise en commun des moyens permet d'assurer une continuité effective entre surveillance entomologique, alerte et réponse apportée.

■ **Faiblesse** : la double hiérarchie statutaire crée des tensions entre personnels. Cette dualité d'appartenance transparaît également dans le champ de l'information et de la communication, comme en témoigne un audit de communication interne de 2003 (« Diagnostic des relations interpersonnelles-analyse et propositions »).

■ **Mise en garde** : les responsables du service et leur hiérarchie doivent veiller à ce que le positionnement atypique du service de démoustication n'induisse pas une distanciation préjudiciable avec les autres services de la DSDS dont le concours est essentiel.

■ **Force** : le service de lutte antivectorielle s'est doté, dès la fin des années 1980, d'un entomologiste médical qui assure parallèlement des travaux scientifiques en lien avec cette activité.

■ **Force** : la proximité de la Cire Antilles-Guyane (siège en Martinique) a favorisé la démarche d'intégration de la surveillance entomologique et de la lutte antivectorielle. Son outil principal d'échange de données épidémiologiques, le Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles Guyane (Basag) est adressé systématiquement à l'Organisation panaméricaine de la santé (OPS), au Bureau de coordination des programmes caribéens de l'OMS, au Centre d'épidémiologie des Caraïbes (Carec) et à son équivalent vétérinaire (CaribVet).

■ **Force** : la distinction opérée entre comité scientifique et cellule de gestion permet d'avoir, au sein de l'instance scientifique, un débat ouvert et dégagé des contraintes de gestion et des enjeux de pouvoir.

■ **Mise en garde** : la participation des communes à la lutte contre les gîtes à moustiques ne doit pas être négligée. La ville de Schoelcher a servi de site pilote de coopération entre le service départemental de démoustication et les services municipaux. Beaucoup reste à faire en matière de salubrité publique (122 sites ont été répertoriés comme les gîtes les plus productifs). D'une manière géné-

rale, il n'est qu'exceptionnellement fait usage des moyens contraignants offerts par la loi de 1964 ou le règlement sanitaire départemental. En outre, aucun agent du service de démoustication n'est assermenté.

LA GUYANE

Le paludisme et la dengue ont contribué à structurer l'organisation du service départemental de désinfection.

Présentation du service

Ce Service départemental de démoustication (SDD), du conseil général de Guyane, est chargé de la lutte antivectorielle. Il intervient pour le compte de l'État sur la base d'une convention (article 2 de la convention n° 257/Ddass/DIR du 25 octobre 1993 entre l'État, le conseil général et l'institut Pasteur de Guyane). Il est placé sous l'autorité d'un cadre administratif, rejoint en mai 2006 par un entomologiste. Il comprend plusieurs antennes réparties entre les différentes agglomérations de Guyane, mais dont les personnels n'ont souvent pas bénéficié de formation spécifique. Ses moyens matériels sont notoirement insuffisants.

Stratégie

La diversité des vecteurs nécessite une stratégie adaptée à chaque cas qui tienne compte de l'écologie et de la biologie du vecteur. La stratégie mise en place apparaît comme un compromis entre activités de démoustication et de lutte antivectorielle, d'une part, et activités nécessaires à la lutte contre *Aedes aegypti*, d'autre part. Après avoir longtemps été assuré par l'institut Pasteur de Guyane, le pilotage scientifique est désormais sous la responsabilité de l'État.

Problèmes de fonctionnement

Le contentieux ancien sur le montant du remboursement versé par l'État au titre de la mission de lutte antivectorielle du SDD n'est toujours pas réglé. La dotation de l'État en la matière (fixée par la convention n° 257 /Ddass/DIR du 28 décembre 1995) n'a été versée qu'une seule fois, alors même que la lutte antivectorielle ne pouvait être considérée de la compétence du département avant 2006. Le président du conseil général de la Guyane a demandé au ministre de la Santé (18 avril 2006) une contribution supplémentaire ainsi qu'une dotation exceptionnelle de crise.

MAYOTTE

La lutte antivectorielle a surtout été orientée contre les anophèles (risque de paludisme), tout en maintenant une surveillance sur d'autres pathologies (filariose transmise par des moustiques du genre *Culex*), jusqu'à ce qu'intervienne la crise du chikungunya.

Présentation du service

Le service de la lutte antivectorielle et entomologie médicale est un service de la Direction des affaires sanitaires et sociales (Dass) de Mayotte. Il est animé par un ingénieur du Génie sanitaire et dispose de 74 agents dont un entomologiste.

Stratégie

À partir de 2002, une nouvelle stratégie de lutte est mise en place. Elle repose sur la mutualisation des moyens des équipes par concentration de tout le dispositif sur un secteur. L'ensemble des forces du service est placé sous la responsabilité du chef d'équipe en charge du secteur où a lieu une intervention. La survenue de l'épidémie de chikungunya en 2006 a nécessité la mise en place d'un dispositif de crise qui s'est traduit par un renforcement des équipes.

Le service se heurte aujourd'hui à la difficulté de recruter des agents titulaires pour remplacer les plus anciens. L'isolement de Mayotte constitue un élément pénalisant lors d'une phase épidémique et il convient d'améliorer de manière plus systématique les méthodes de lutte.

Problèmes de fonctionnement

L'un des problèmes tient aux difficultés du processus d'intégration qui devrait s'achever en 2010. En raison du statut spécifique issu des dispositions législatives propres au territoire, les agents mis à disposition par la collectivité départementale sont en effet en cours d'intégration dans la fonction publique de l'État. Il en résulte un paradoxe : l'article 72 de la loi du 13 août 2004 prévoit le transfert des équipes de lutte antivectorielle aux départements (donc à Mayotte), et dans le même temps les personnels deviennent fonctionnaires de l'État.

Par ailleurs, l'articulation entre l'action du service de lutte antivectorielle et la veille sanitaire est plus difficile à Mayotte du fait de son rattachement à la Cire Réunion/Mayotte. De plus, la démographie médicale sur le territoire ne permet pas de disposer d'un réseau de médecins sentinelles.

À noter également que la lutte communautaire est de qualité inégale malgré une réelle démarche de communication de la part de la Dass.

La coopération des communes s'impose pour améliorer le traitement des déchets, la situation actuelle étant très problématique.

Le conseil général n'est pas favorable à un dispositif où il ne serait qu'exécutant des instructions de l'État. Il exige d'être associé au pilotage.

LA HAUTE-CORSE

Le service chargé de la lutte antivectorielle, héritier du service de lutte antipaludique créé en 1930, a été réactivé à partir de 1972 après une brève adhésion de la Corse à l'Entente interdépartementale pour la démoustication (EID) du littoral méditerranéen.

Contexte et présentation du service

En 1976, la séparation de la Corse en deux départements a conduit à la création d'un service de lutte antipaludique propre à la Haute-Corse. Au début des années 1980, il est intégré aux services du conseil général. Après introduction en 1987 de l'article 18-1 dans le Code de la santé publique, qui précisait que cette compétence relevait de l'État, le service reste attaché à titre dérogatoire au conseil général. Toutefois, en raison d'un contentieux sur le montant de la prise en charge par l'État, le conseil général a déclaré unilatéralement en fin d'année 2002 mettre fin à la lutte antivectorielle. Une lutte antipaludique partielle a toutefois continué à être conduite par le département mais, par précaution, les services de l'État ont pris le relais entre 2003 et 2005 par l'intervention en Haute-Corse du service de lutte antivectorielle de la DSS de Corse et de Corse-du-Sud. Paradoxalement, le service de démoustication du conseil général a en revanche été impliqué dans la surveillance d'*Aedes albopictus*, en mettant en place pour le compte de l'EID Méditerranée les premiers pièges pondoirs.

Tableau 5 – Organisation générale

Structures	Organisation
Structure de décision	Chaque préfet de département avec l'appui technique d'une cellule régionale d'évaluation vectorielle et de suivi épidémiologique
Structures opérationnelles	Pour la lutte antivectorielle : – le service de démoustication* du conseil général : 4 secteurs disposant de locaux servant de base opérationnelle ; – le service communal d'hygiène et de santé de la ville de Bastia sur le territoire communal

* Ce service est composé de 32 agents.

Problèmes de fonctionnement

Pendant une vingtaine d'années, la lutte antivectorielle a fait l'objet d'une suite de contentieux entre l'État et le conseil général (voir CD-ROM).

Actuellement, la principale attente de l'État vis-à-vis du département de la Haute-Corse est l'amélioration du rendu des opérations de terrain, les informations transmises par le service de lutte antivectorielle étant insuffisamment complètes et détaillées.

Tableau 6 – Organisation générale

Structures	Organisation
Structure de décision	Cellule régionale d'évaluation et de suivi vectoriels des structures opérationnelles
Lutte antivectorielle	Organisation en trois secteurs avec constitution d'équipes dans chaque secteur pour la démoustication (Office de l'environnement de la Corse) *

* La lutte antivectorielle dispose de 23 agents. En outre, l'ingénieur sanitaire responsable du service santé-environnement y consacre 10 % de son temps.

Se pose aussi la question de la place de la ville de Bastia et de son Service communal d'hygiène et de santé (SCHS). Une lutte antipaludique limitée aux sites communs aux moustiques vecteurs a été exercée de 2003 à 2006. Depuis le 1^{er} janvier 2006 le conseil général de la Haute-Corse a repris une lutte complète et, en particulier, a répondu aux sollicitations de l'État après la découverte en mai 2006 de l'installation d'*Aedes albopictus* à Bastia. L'article 3 du décret n° 2008-791 du 20 août 2008 opère le transfert des services de l'État compétents en matière de lutte antivectorielle vers le département (ceci vaut également pour la Corse-du-Sud).

LA CORSE-DU-SUD

Le service de lutte antivectorielle a également hérité du service départemental de lutte antipaludique créé en 1930. La constitution des deux départements corses en 1976 a conduit à la création de son propre service de lutte antipaludique.

Problèmes de fonctionnement

Certains obstacles sont communs avec ceux observés en Haute-Corse, pour les mêmes raisons : problèmes liés à l'application de la loi de 1964, manque de relations entre la lutte antivectorielle et les autres interlocuteurs (services de l'État, OEC...).

Deux arrêtés de zonage ont été pris (voir CD-ROM). En revanche, le conseil général avançait plusieurs raisons pour ne pas signer la convention proposée en juin 2006 sur la mise à disposition des personnels de la lutte antivectorielle (voir CD-ROM). Loin d'être hostile au transfert, il redoutait de récupérer sans encadrement un service qui ne fonctionnait pas de manière optimale, alors que des risques de crise épidémique liée à des moustiques vecteurs ne sont pas exclus. Il craignait également de voir l'État prescrire subitement des mesures de lutte antivectorielle nouvelles (par exemple, en cas d'apparition du moustique vecteur du chikungunya) qui iraient au-delà des coûts retenus pour la compensation du transfert. Comme déjà indiqué, le transfert est cependant effectif depuis la publication du décret n° 2008-791 du 20 août 2008.

RECOMMANDATIONS

- **Santé humaine** : envisager un dispositif législatif unique pour encadrer la lutte contre les insectes et autres arthropodes hématophages vecteurs de maladies touchant l'homme.
- **Santé animale** : maintenir un dispositif législatif spécifique à la lutte contre les insectes et autres arthropodes hématophages vecteurs de maladies touchant l'animal. Il conviendra de mutualiser les compétences, en particulier celles des entomologistes médicaux.
- **Affirmer** que la prévention des maladies à transmission vectorielle est une question de santé publique relevant à ce titre de la compétence générale de l'État.
- **Intégrer** la lutte antivectorielle dans les missions des futures Agences régionales de santé (ARS) et rappeler que la gestion de crise relève des préfets de département.
- **Veiller** à ce que la politique de lutte contre les maladies vectorielles soit lisible et **procéder** à une révision législative des dispositions de lutte antivectorielle en prenant soin d'homogénéiser la codification (code de la santé publique, code général des collectivités territoriales, code rural).
- **Formaliser** la stratégie (objectifs à atteindre, indicateurs de résultats, indicateurs de moyens mis en œuvre) et **définir** les modalités de mise en œuvre de la lutte dans des schémas ; l'important étant d'impliquer l'ensemble des acteurs, en particulier les maires qui ont dans leurs attributions les actions de génie civil.
- **Développer** les coopérations avec les différents acteurs (conseils généraux, maires, associations...) par des outils juridiques adaptés (EID en métropole, GIP dans les départements et territoires d'outre-mer).
- **Préciser** le rôle et les missions de ces EID et GIP dans des contrats pluriannuels d'objectifs et de moyens passés avec le directeur général de l'ARS, et, le cas échéant, donner une délégation de gestion à ceux qui en formuleront la demande.

Tableau 7 – Chronologie des textes spécifiques en matière de LAV et de démoustication

Années	Référence du texte	Remarques	Textes Mayotte
1944	Ordonnance 3 avril (lutte contre le paludisme)	LAV, texte non abrogé mais tombé en désuétude	
1948	Loi n° 48-812 du 13 mai pour le financement de la lutte contre le paludisme en Corse	LAV, texte spécifique pour la Corse	
1964	Loi n° 64-1246 du 16 décembre (démoustication)	Texte visant la lutte contre les moustiques, modifié par la loi 2004-809 du 13 août 2004 et par la loi n° 2004-1343 du 9 décembre 2004	
1965	Décret n° 65-1046 du 1 ^{er} décembre	Démoustication Décret d'application des lois de 2004	
1966	Décret n° 66-244 (assermentation des agents de démoustication)	Démoustication Décret d'application de la loi de décembre 1964	
1974	Loi n° 74-1129 du 30 décembre, article 5 (financement de la démoustication)	LAV et démoustication Toujours en vigueur	
1987	Loi n° 87-39 du 27 janvier (codifiée CSP L. 18-1)	Toujours en vigueur	
1987	Arrêté du ministre de la Santé du 13 avril	Fixe la liste des départements concernés par la LAV	
1988	Décret n° 88-49 du 12 janvier	Fixe la liste des départements concernés par la LAV	
1990	Décret n° 90-570 du 25 juin	LAV Décret d'application de la loi du 27 janvier	Étend à Mayotte les dispositions de l'article CSP L. 18-1
1990	Arrêté du ministre de la Santé du 6 novembre	LAV	La collectivité territoriale de Mayotte rejoint la liste des départements cités par l'arrêté de 1987

Tableau 7 (suite) – Chronologie des textes spécifiques en matière de LAV et de démoustication

Années	Référence du texte	Remarques	Textes Mayotte
2000	Ordonnance n° 2000-548 du 22 juin (codifiée CSP L. 3114-5, ex CSP L. 18-1)	LAV. Compétence de l'État Supprime la nécessité d'un décret en CE pour fixer la nature des mesures à prendre	CSP L. 3811-7 vise spécifiquement Mayotte
2001	Loi n° 2001-616 du 11 juillet, article 75 (codifiée CSP L. 3811-7 révision)	LAV	Actualisation du CSP pour Mayotte
2003	Décret n° 2003-462 (codifié CSP R. 3114-9)	LAV	
2004	Loi n° 2004-808 du 13 août (article 72)	LAV et démoustication. Transfert aux départements d'une partie des compétences LAV	
2005	Décret n° 2005-1763 du 30 décembre	LAV et démoustication Décret d'application, modifie CSP R. 3114-9	
2008	Décret n° 2008-791 du 20 août 2008	Modalités de transfert des services déconcentrés qui participent à l'exercice de compétences transférées aux départements	
2008	Arrêté du 26 août des ministères de la Santé et de l'Écologie	LAV. Classement du Var parmi les départements à risque potentiel	
2008	Circulaire du 31 décembre du Premier ministre sur l'organisation de l'administration départementale de l'État	Nouvelles directions départementales Lien avec les ARS	
2009	Circulaire DGS / DSC du 7 janvier	Établissement de préparation et de réponse aux urgences sanitaires Constitution de la réserve sanitaire	
2009	Circulaire DGS / DSC du 12 janvier	Organisation de la défense et de la sécurité dans le domaine des affaires sanitaires	

Mise en œuvre de la lutte antivectorielle

Dans le cadre du dispositif législatif et réglementaire décrit dans la première partie de l'ouvrage, il importe de mettre en place des stratégies et une organisation efficaces. Cette efficacité se mesure notamment à l'aune de l'adéquation, au plan scientifique et technique, des mesures prises. L'ampleur de l'épidémie de chikungunya à la Réunion, en 2005-2006, a d'une certaine manière réactualisé la nécessité d'un renforcement des structures de lutte antivectorielle et d'un développement des recherches. L'état des lieux sur ces questions (lire « Des stratégies variables selon les territoires », p. 75 et « Organisation de la lutte et ressources humaines », p. 90) révèle en effet des carences, tant en termes d'organisation que de connaissances.

Mais l'efficacité de la lutte dépend aussi pour une grande part de la compréhension des enjeux par les populations soumises au risque vectoriel, de l'acceptabilité des stratégies adoptées et donc de leur adhésion et/ou de leur participation à cette lutte. Tout un travail doit être mené sur l'élaboration, la perception et la communication des messages qui leur sont adressés, en s'appuyant quand cela est possible sur des expériences réussies. Lire « Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle », p. 101.

Des stratégies variables selon les territoires⁵

La lutte antivectorielle utilise des outils et techniques différents selon ses objectifs et le groupe de vecteurs ciblés. Elle peut viser la diminution des populations de vecteurs en dessous des seuils nécessaires à la transmission (voir le chapitre « De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique »), ou bien l'évitement du contact hôte/vecteur, ou encore l'élimination de populations d'une zone géographique donnée. Les méthodes de lutte diffèrent donc, elles aussi, selon les objectifs fixés et en fonction du contexte vectoriel, écosystémique, environnemental..., mais aussi économique et sociopolitique. De manière générique, on distingue cinq grandes catégories de moyens mis en œuvre : la lutte environnementale, la lutte biologique, la lutte génétique, la lutte mécanique et la lutte chimique (voir toutes ces méthodes de lutte en détail sur CD-ROM, voir également les chapitres « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle », « La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle » et « Effets non intentionnels de la lutte antivectorielle »).

La première regroupe les actions menées sur l'environnement pour le rendre hostile au développement des populations de vecteurs. La deuxième consiste à utiliser un « ennemi naturel » du vecteur cible pour en diminuer le nombre et ainsi réduire les risques de transmission de l'agent pathogène (virus, bactérie, rickettsie, champignon, parasite). La lutte génétique vise surtout à réduire le potentiel reproductif des arthropodes nuisibles par une altération ou un remplacement du potentiel héréditaire. Sous le vocable de lutte mécanique, sont regroupées les techniques destinées à capturer les vecteurs et celles qui s'opposent au contact hôte/vecteur. Enfin, la lutte chimique s'appuie sur l'utilisation de produits chimiques (d'origine végétale ou de synthèse) pour la fabrication d'insecticides, de répulsifs ou d'attractifs des insectes vecteurs.

Dans ce chapitre seront abordées les différentes stratégies adoptées en France, dans les territoires d'outre-mer et sur le territoire métropolitain.

⁵ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 4 : « Quelles sont les stratégies de la lutte antivectorielle en France ? ».

SANTÉ HUMAINE

À ce jour, les maladies humaines à transmission vectorielle concernent les territoires d'outre-mer pour l'essentiel. Elles n'épargnent toutefois pas la métropole, notamment la Corse et la partie continentale du pourtour méditerranéen.

Dans les territoires d'outre-mer

Des plans de surveillance et/ou d'alerte de plus ou moins grande ampleur ont été mis en place.

En Guadeloupe

La seule maladie d'actualité est la dengue. Transmise par le vecteur *Aedes aegypti*, elle sévit depuis quelques années sur un mode endémo-épidémique. Ce vecteur se reproduit surtout dans les petites réserves d'eau claire, dans ou autour des habitations : fûts de stockage d'eau (30 % des gîtes larvaires répertoriés), vases de fleurs (10 % des gîtes), citernes, gouttières, objets et débris divers susceptibles de contenir de l'eau pluviale, etc.

Compte tenu de l'écologie du vecteur, la stratégie de base consiste en des visites domiciliaires au cours desquelles les agents de la lutte antivectorielle détruisent ou traitent chimiquement les gîtes de *Aedes aegypti*. En parallèle, ces derniers contribuent à l'éducation sanitaire des personnes visitées. Quant aux actions de mobilisation sociale, elles sont développées avec les municipalités (projets de santé de type communautaire), de même que les actions de sensibilisation dans les écoles ou, plus ponctuellement, dans le cadre d'associations.

Sur le plan technique, les acteurs de la lutte antivectorielle s'efforcent de mettre en place des actions pérennes, non chimiques, pour contrôler les vecteurs : couvercles pour les fûts, modifications des gouttières, élimination des pneus usagés... La surveillance entomologique porte également sur *Aedes albopictus* (ports, aéroports) et sur des nuisants tels que *Culex quinquefasciatus*. Plus globalement, des plans communaux sont en cours d'élaboration.

Un Plan de surveillance, d'alerte et de gestion des épidémies (Psage) de dengue a été rédigé en 2006 dans le cadre d'un partenariat entre la Cire-AG, le service de démoustication de la Martinique, les CVS de Martinique et de Guadeloupe, et le service de lutte antivectorielle de Guadeloupe (voir « Comment s'organise la gouvernance ? », partie I). Une démarche similaire

est en cours pour les départements français d'Amérique dans le cadre de la lutte contre le chikungunya.

Au nombre des nouveautés : l'utilisation croissante des Systèmes d'information géographique (SIG). L'une des difficultés majeures : au-delà des tensions sociales liées au transfert des personnels au conseil général, il manque un encadrement intermédiaire suffisant. Il est en effet anormal de faire reposer la gestion d'un service de lutte antivectorielle tel que celui de la Guadeloupe sur une seule personne à mi-temps (l'ingénieur entomologiste de ce service n'intervient qu'à 70 % de son temps sur un territoire plus grand que la Martinique, laquelle est pourvue de deux entomologistes et d'un ingénieur à temps plein).

En Guyane

Un comité de suivi des maladies humaines transmises par les insectes est composé des différents acteurs de la santé et de la lutte anti-vectorielle sur le territoire, à savoir : la DSDS, le SDD, l'institut Pasteur de Guyane (IPG), les hôpitaux, l'université, les médecins libéraux. Ce comité fait régulièrement le point sur la situation épidémiologique des différentes maladies à transmission vectorielle (principalement le paludisme et la dengue) et décide éventuellement d'améliorations dans la conduite à tenir pour lutter contre ces maladies.

La dengue, le chikungunya et la fièvre jaune font partie de ces maladies sous haute surveillance. En ce qui concerne la fièvre jaune, le dernier cas recensé date de 1998. La principale prévention passe par la vaccination. Quant à la lutte antivectorielle, elle peut être intégrée dans celle contre *Aedes aegypti*, vecteur potentiel de cette maladie en ville, outre son aptitude à transmettre la dengue. Pour cette dernière, la surveillance entomologique consiste à évaluer des indices de Breteau (IB) mensuels, par échantillonnage dans l'ensemble des secteurs des communes de l'île de Cayenne, et à les évaluer à l'occasion de visites domiciliaires systématiques dans les autres communes. La lutte antivectorielle proprement dite comporte pour sa part plusieurs phases selon la situation épidémique et la localisation :

- visites domiciliaires systématiques, éventuellement orientées par les indices IB, avec élimination mécanique des gîtes larvaires et traitement par du *Bti* des gîtes impossibles à éliminer ;

- épandage spatial d'insecticide par appareil tracté (*Ultralow Volume*, i.e. ULV) dans toutes les zones accessibles en voiture selon un programme pré-établi ;

■ actions autour des cas signalés avec adresse précise par la DSDS : au domicile du patient, brumisation de deltaméthrine à l'intérieur du domicile et élimination mécanique des gîtes larvaires voire, si besoin est, traitement larvicide au *Bti* ; autour du cas en zone urbanisée type Cayenne, élimination mécanique des gîtes larvaires voire, si besoin est, traitement larvicide et pulvérisation spatiale d'insecticide dans le bloc où se situe le cas ; autour du cas en quartier résidentiel (type villas), intervention dans un rayon de 100 mètres (élimination mécanique des gîtes larvaires voire, si besoin est, traitement larvicide et pulvérisation spatiale d'insecticide à l'extérieur des maisons) ;

■ actions en cas de méconnaissance de l'adresse : épandage spatial d'insecticide dans l'ensemble de la résidence ou du lieu supposé du ou des cas à raison d'un passage toutes les semaines (deux semaines de suite).

Concernant le paludisme, véritable problème de santé publique en Guyane, où il sévit particulièrement le long des fleuves frontières (avec le Suriname à l'ouest et avec le Brésil à l'est), il est transmis pour l'essentiel par *Aedes darlingi* mais aussi par plusieurs vecteurs secondaires. Une carte des zones à risque, régulièrement actualisée par le comité de suivi, est disponible sur le site de la préfecture de la Guyane. La lutte antivectorielle se fonde principalement sur des pulvérisations murales d'insecticides (deltaméthrine) tous les trois à quatre mois dans les zones d'endémie, une opération effectuée par le SDD. À noter également des interventions ponctuelles autour des cas recensés. Des opérations *moustiquaires imprégnées de longue durée* ont, en outre, été lancées depuis l'an dernier, avec la participation des services de Protection maternelle et infantile (PMI) de la Croix-rouge, du SDD, etc. Quant aux principaux sites larvaires (marécages, canaux...), ils sont traités au téméphos. Parallèlement, un certain nombre de recommandations sont préconisées pour les non-résidents.

En revanche, aucune action de lutte antivectorielle spécifique n'est actuellement mise en œuvre pour la fièvre *West Nile* (la surveillance repose sur le suivi des chevaux par les services vétérinaires), ni pour les leishmanioses (excepté quelques conseils aux personnes se rendant en forêt), ni pour la maladie de Chagas. Cette dernière fait toutefois l'objet d'un programme de recherche sous la houlette du laboratoire de parasitologie du CHU de Cayenne. Enfin, des actions sont menées contre des nuisants (voir CD-ROM).

En Martinique

Depuis 1991, suite à une convention de mise en commun des moyens humains et matériels de l'État et du conseil général, les activités du service de lutte antivectorielle s'exercent dans le cadre d'une démoustication généralisée (vecteurs de maladie et nuisants). La stratégie mise en place porte sur :

- l'information de toutes les couches de la population ;
- l'assainissement du milieu (au niveau individuel et collectif) ;
- le développement d'une approche communautaire : intervention des relais municipaux-démoustication, opération Toussaint (depuis 1998), outils pédagogiques en partenariat avec l'Éducation nationale, journée de lutte contre le moustique, ateliers démoustication... ;
- l'utilisation rationnelle des molécules insecticides (chimiques et biologiques).

En parallèle, une activité de recherche à visée opérationnelle s'est développée depuis un peu plus d'une quinzaine d'années (écologie de *Aedes aegypti*, résistance aux insecticides, indicateurs entomologiques, etc.).

Les actions de lutte antivectorielle concernent surtout la dengue, le paludisme et la fièvre à virus *West Nile*. Pour la dengue, les interventions sont formalisées depuis 2006 dans le cadre du Psage évoqué précédemment. Pour le paludisme, les cas importés sont signalés au SDD qui mène alors des investigations entomo-épidémiologiques et met éventuellement en place une action de contrôle vectoriel contre les anophèles (en particulier *Anopheles albimanus*). Quant au virus *West Nile*, une action a été lancée en 2003 avec les services vétérinaires bien qu'aucun cas (ni humain ni animal) n'ait été recensé. Une cartographie des sites d'élevages équins et ovins est tenue à jour, lesquels font l'objet d'une surveillance entomologique (suppression/traitement systématique des gîtes larvaires identifiés). S'ajoute à cela une veille entomologique relative à *Aedes albopictus* : un réseau de surveillance a été mis en place depuis 1987 et renforcé en 2004 au niveau de certains sites sensibles (zones portuaires/aéroportuaires, marinas...). Des espèces nuisantes font également l'objet d'un contrôle régulier (voir CD-ROM).

À la Réunion

Le paludisme a été éradiqué sur l'île (label d'éradication du paludisme décerné par l'OMS en 1979). À ce jour, la Réunion reste malgré tout une zone fragile compte tenu de la présence du vecteur *Anopheles arabiensis* (sur l'ensemble des zones littorales de l'île notamment) et en raison de l'intensifi-

cation des échanges avec les pays voisins. La stratégie actuelle de lutte vise à éviter la réintroduction et l'installation stable du parasite et à intervenir sur les cas déclarés. La quasi-totalité d'entre eux (de 100 à 150 par an) est importée (48 % des Comores, 41 % de Madagascar). Les principaux gîtes sont cartographiés, ce qui permet un suivi de leur localisation et le choix des traitements préventifs. L'objectif est de maintenir le vecteur en zone rurale, où les campagnes de traitement l'ont maintenu depuis les années 1980.

En ce qui concerne la dengue, la fièvre jaune, le chikungunya et la fièvre de la vallée du Rift (FVR), la lutte a en quelque sorte « bénéficié » de la résurgence de la dengue (2004). Le service de lutte antivectorielle a en effet commencé à développer une stratégie de lutte contre les vecteurs urbains et notamment contre *Aedes albopictus*. Les premières actions (lutte périfocale, éducation sanitaire) ont ensuite été complétées à la lumière de l'expérience acquise lors de l'épidémie de chikungunya (2005-2006). L'omniprésence de *Aedes albopictus* dans toutes les zones urbaines, jusqu'à 1 200 mètres d'altitude et durant toute l'année sur le littoral, oblige le service de lutte antivectorielle à y focaliser la lutte.

Les 24 communes de l'île ont été découpées en 1 093 zones « homogènes » (voir détails sur CD-ROM) regroupées en 274 quartiers urbains. Chaque mois, 150 à 200 évaluations sont réalisées sur ces zones, ce qui permet de cibler la lutte sur celles où les densités de vecteurs sont les plus élevées. Parallèlement, des actions sont menées pour diminuer les stades aquatiques du vecteur en agissant sur les principaux gîtes larvaires productifs en continu (cimetières, ravines, bassins naturels...) ou temporaires (décharges, carcasses, chantiers...).

Autre volet de la stratégie adoptée : le traitement des cas d'arboviroses, pour éviter la transmission des virus et l'apparition de cas secondaires. En complément du système de surveillance s'appuyant sur les données recueillies par les hôpitaux et laboratoires d'analyse, une cellule de veille sanitaire a ainsi été mise en place à la Drass depuis décembre 2006. Dans le même temps, une approche communautaire s'est développée. Elle vise à informer la population des mesures susceptibles d'être mises en œuvre à partir de la méthode Combi (voir le chapitre « Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle », et sur le CD-ROM). Enfin, toutes les actions du service de lutte antivectorielle sont géoréférencées, archivées dans une base de données et analysées chaque semaine.

Afin de coordonner les politiques publiques, un GIP « Service de prophylaxie renforcé » (SPR) a été créé en octobre 2006 (voir le chapitre « Comment s'organise la gouvernance ? »). Il associe l'État et les collectivités territoriales et locales. Les actions menées dans le cadre de ce GIP jouissent d'une meilleure visibilité pour la population et leur efficacité est décuplée par la mise en commun de ressources humaines et matérielles. Cette cohabitation au sein d'une même structure-référence constitue donc un atout et sera primordial si l'île devait connaître un nouvel épisode épidémique majeur.

À Mayotte

Cette île est une zone d'endémicité palustre. Le taux d'incidence annuelle du paludisme y est compris entre 3,1 ‰ et 5 ‰, avec une diminution du nombre de cas déclarés depuis cinq ans (792 cas en 2003, 496 cas en 2006). Quant au paludisme importé, il provient essentiellement de l'archipel des Comores.

La stratégie de lutte contre les vecteurs du plasmodium (*Anopheles gambiae* et *Anopheles funestus*) repose sur la lutte imagocide et larvicide chimique. Des traitements intra-domiciliaires à effet rémanent sont effectués tous les quatre à cinq mois, avec un assez bon taux de couverture (80 % environ). Des traitements antilarvaires aux organophosphorés sont régulièrement réalisés dans les flaques et ornières temporaires, eaux stagnantes... Les grands bassins permanents et retenues collinaires sont également traités (ensemencement avec des poissons larvivores). Des enquêtes entomologiques sont menées autour de chaque cas de paludisme déclaré, avec destruction des gîtes éventuels et traitement éventuel dans les maisons environnantes. À noter, en outre, que la stratégie de contrôle du paludisme à Mayotte ne sera pleinement efficace que si la lutte antipaludique s'intensifie parallèlement au niveau régional (dans les îles de l'archipel des Comores notamment).

En ce qui concerne la lutte contre les arboviroses et ses vecteurs, son développement est récent, pour les mêmes raisons qu'à la Réunion. Depuis l'épidémie de chikungunya de 2005-2006, le service de lutte antivectorielle s'est attelé à la lutte contre les vecteurs urbains, notamment *Aedes aegypti* et *Aedes albopictus*. Dès l'été austral 2006, une campagne généralisée de traitement chimique (imagocide et larvicide en périodomiciliaire) était organisée commune par commune, ce qui a nécessité un renfort de près de 150 vacataires. L'approche communautaire a également été renforcée par la mise en place d'un programme de mobilisation sociale et d'éducation sanitaire selon

la méthode Combi (voir le chapitre « Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle », et sur le CD-ROM).

Très récemment, une dizaine de cas humains de fièvre de la vallée du Rift ont été identifiés, ainsi que des cas dans des cheptels (bovins et petits ruminants). Ce nouveau risque a conduit à développer des actions de lutte ciblée, notamment des prospections entomologiques et des captures de moustiques (autour des cas et des cheptels contaminés) et des traitements préventifs en vue de limiter l'extension du virus. La stratégie de lutte contre les vecteurs d'arboviroses devrait prochainement être revue pour notamment intégrer la lutte périfocale autour des cas signalés et développer la surveillance entomologique pour orienter les actions de lutte. Une cellule de veille sanitaire est en cours de création.

En France métropolitaine

Les régions les plus exposées se situent autour de la Méditerranée, en Corse et sur le continent. Comme en outre-mer, les stratégies de lutte s'inscrivent dans le cadre réglementaire et législatif notamment défini par les lois 64-1246 de décembre 1964 et 2004-809 d'août 2004 ainsi que par un certain nombre de circulaires (voir le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »).

En Corse

Sur l'île de Beauté, la lutte antivectorielle concerne essentiellement les moustiques nuisants : *Culex* sp., *Aedes (Ochlerotatus) caspius*, *Aedes detritus*, *Aedes vexans* et *Aedes mariaae*. Elle concerne également les vecteurs potentiels d'arbovirus (*Aedes albopictus*) ou de *Plasmodium* (*Anopheles* du complexe *Maculipennis* dont *Anophele labranchiae*). Le vecteur *Aedes albopictus* a été signalé pour la première fois en Corse en 2006. Quant à la dernière épidémie de paludisme, elle date de 1972. Cinq structures sont à ce jour impliquées dans la lutte antinuissance ou antivectorielle : les conseils généraux de Corse-du-Sud et de Haute-Corse, la Direction de la solidarité et de la santé (DSS) Corse et Corse-du-Sud, la Ddass de Haute-Corse et le Service communal d'hygiène et de santé (SCHS) de la ville de Bastia.

Plus précisément, les actions menées en Haute-Corse s'inscrivent dans le cadre de la surveillance et du contrôle des vecteurs de *Plasmodium* (identification et traitement des gîtes larvaires) et de *Aedes albopictus* (traitements

antilarvaires et adulticides). En Corse-du-Sud, près de 1 400 gîtes à *Anopheles* sont suivis et traités (prioritairement par des antilarvaires). Depuis l'apparition de *Aedes albopictus*, l'activité du service de lutte antivectorielle se diversifie. Les moustiques nuisants font désormais l'objet de contrôles. En Haute-Corse comme en Corse-du-Sud, les acteurs de la lutte antivectorielle ont pris acte de l'implantation récente de ce vecteur et travaillent à redéfinir leur stratégie.

Sur le continent

En milieu urbain comme en milieu rural, la stratégie vise prioritairement le contrôle des gîtes larvaires. L'un des avantages est de pouvoir ainsi identifier les espèces à cibler et l'étendue des zones à traiter et, par là même, de mieux choisir les insecticides tout en réduisant les impacts sur l'environnement. Ce contrôle concerne essentiellement trois espèces de moustiques (sur les 105 présentes en France) auxquelles sont attribuées les plus grandes nuisances : *Aedes (Ochlerotatus) caspius* et *Aedes (Ochlerotatus) detritus*, ainsi que *Culex pipiens molestus* (une espèce commensale de l'Homme présente en milieu urbain). Un peu plus d'une quinzaine d'autres (voir CD-ROM), aux nuisances plus ou moins fortes, locales ou saisonnières, font l'objet de contrôles spécifiques par les EID, tandis que *Aedes albopictus* est surveillé depuis peu, notamment dans le cadre du plan antidissémination du chikungunya et de la dengue en métropole.

Les trois espèces de moustiques les plus nuisantes en Méditerranée

Aedes (Ochlerotatus) caspius et *Aedes (Ochlerotatus) detritus* sont des espèces halophiles inféodées aux milieux naturels humides saumâtres semi-temporaires et particulièrement bien adaptées au climat méditerranéen. Les éclosions sont provoquées par des submersions, les œufs restant toutefois viables pendant plusieurs années en l'absence de mise en eau. La nuisance s'exprime brutalement, surtout à l'aube et au crépuscule, et hors des habitations. La gestion hydraulique des milieux naturels joue donc un rôle déterminant. Par exemple, l'irrigation des prés-salés et les marais temporaires sont autant de situations propices aux éclosions.

Quant au *Culex pipiens molestus*, il colonise les eaux stagnantes domestiques et les eaux usées. Il pique la nuit à proximité immédiate des gîtes larvaires, essentiellement à l'intérieur des habitations. Cette espèce, présente dans toutes les agglomérations, est à l'origine de phénomènes de nuisance localisés.

Pour en savoir plus : voir CD-ROM.

La stratégie de lutte antilarvaire s'appuie sur un processus en plusieurs étapes. La première consiste à cartographier les biotopes larvaires et les potentialités d'éclosions et ce, à une échelle très fine selon une méthodologie et une typologie définies par l'EID Méditerranée. Régulièrement mise à jour avec des données géoréférencées via un SIG, elle permet de prospecter et de décider des contours de traitements. En milieu naturel, les sites sont identifiés et recensés en utilisant les corrélations *milieu-moustique-végétation* établies par l'opérateur pour les zones humides de son rayon d'action (voir CD-ROM). Cette cartographie l'aide à appréhender le fonctionnement des milieux naturels sur lesquels il va intervenir et constitue un outil de formation, de diagnostic, de gestion et de communication pour la lutte intégrée. En milieu urbain, les gîtes pérennes et/ou à fort potentiel de production (voire occasionnels) des domaines public ou privé font l'objet de recensements systématiques qui peuvent donner lieu à des cartographies spécifiques.

Une deuxième étape porte sur l'observation des variations de niveaux d'eau et l'identification des éclosions. Elle vise le repérage des zones à traiter et la délimitation des contours de traitements, à partir des mises en eau identifiées sur les habitats larvaires, en s'appuyant sur la cartographie évoquée précédemment. Pour des raisons d'efficacité, l'idée est en effet d'effectuer les traitements le plus en amont possible. Les biotopes potentiels de chaque zone humide ou du secteur urbain font donc l'objet d'observations de terrain répétées, à des rythmes très variables liés aux espèces pressenties, aux phénomènes météorologiques et aux interventions humaines dans la gestion des eaux (voir CD-ROM). Cette phase (plus de 60 % du temps des agents) garantit la précision des traitements ultérieurs, en particulier une démoustication ciblée limitant les impacts sur l'environnement.

Vient alors l'étape du choix de l'intervention (physique, chimique..., terrestre ou aérienne). Ce choix s'opère au regard de divers paramètres : mise en eau ou pas des habitats larvaires, stade de développement des larves et densité, probabilités d'éclosion, contexte météorologique et distance entre gîtes et zones à protéger... Il doit également tenir compte de la disponibilité des moyens, mais aussi de la sensibilité des populations et des risques pour l'environnement. D'autres moyens, mais à plus long terme, peuvent enfin être employés, à savoir des travaux d'entretien, de prévention, de gestion de l'eau ou de réhabilitation (des cordons dunaires en zones de marais...).

Les opérations de traitement proprement dites dépendent des superficies à traiter pour une grande part. Pour celles de taille modeste, différentes techniques de traitement terrestre sont utilisées. Pour les superficies importantes (50 ha à 1 000 ha/jour), on recourt aux traitements aériens. L'EID Méditerranée dispose, par exemple, d'une station d'approvisionnement (aérodrome de Candillargues, Hérault) et d'une flotte de six avions depuis 2007. Le choix des biocides est notamment réglementé par le *dispositif biocide* (directive 98/8 CE) (voir CD-ROM ainsi que les chapitres « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle », et « La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle »). Le *Bti*, dont l'efficacité est généralement suffisante, est le seul larvicide en usage. Quant aux adulticides, on emploie le fénitrothion (avant qu'il ne soit retiré du marché fin 2009) en zone naturelle. En ville ou en périphérie urbaine, la deltaméthrine est utilisée seule ou associée à l'esbiothrine.

Enfin, il est nécessaire de contrôler *a posteriori* l'efficacité du traitement. Pour cela, on procède à de nouvelles prospections et à des captures d'adultes. Ces investigations peuvent conduire à une reprise du traitement larvicide ou bien à un recours à un traitement adulticide dans certains cas. En effet, l'émergence d'adultes sur certains gîtes, même de faible superficie, peut réduire considérablement l'efficacité globale du dispositif de démoustication, en particulier à proximité des zones urbanisées.

SANTÉ ANIMALE

Maladies transmises par les tiques dans les départements français d'Amérique (DFA), hémoparasitoses des bovins à la Réunion, fièvre catarrhale ovine (FCO) en France métropolitaine : tels sont, entre autres, les fléaux qui frappent l'animal.

Dans les départements français d'Amérique

La tique *Amblyomma variegatum* transmet la cowdriose à une forte proportion du bétail en Guadeloupe, à Marie-Galante et à Antigua, tandis que la Martinique est indemne. Les babésioses et l'anaplasmose, transmises par *Boophilus microplus*, touchent en revanche les trois départements. S'ajoutent à cela plusieurs sérotypes de fièvre catarrhale ovine (FCO), mais sans réelles conséquences cliniques à ce jour. Enfin, on note en Guyane une présence

importante de trypanosomose à *Trypanosoma vivax* transmis mécaniquement par des stomoxes et tabanidés.

En Guyane, il n'existe pas de lutte antivectorielle organisée. En outre, les services vétérinaires qui fournissaient des soins gratuits aux éleveurs sont fermés depuis juillet 2007. En l'absence d'une base juridique pour les mesures de contrôle aux frontières, celles-ci se limitent à une sensibilisation des éleveurs par la Direction départementale des services vétérinaires (DDSV) pour dissuader les importations d'animaux de zones infestées.

Pour les départements de Guadeloupe et de Martinique, un Programme d'opération spécifique à l'éloignement et à l'insularité des DOM (Poseidom) a été engagé par l'État pour lutter contre les maladies transmises par les tiques. À partir de 2000, la stratégie envisagée a été de s'orienter vers un traitement épicutané bimensuel du bétail par des équipes des Groupements de défense sanitaire (GDS), d'abord à l'amitraz (acaricide), puis à la fluméthrine (pyréthrianoïde). Ce traitement n'est pas gratuit (contrairement à l'option prise par le programme similaire en Caraïbe, le CAP ou *Caribbean Amblyomma Program*, voir CD-ROM). Mais il est fortement subventionné par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche et par des fonds européens. Des arrêtés préfectoraux rendent ces mesures obligatoires. En Martinique, les élevages sont, en outre, classés selon leur statut vis-à-vis de la présence d'*Amblyomma variegatum*.

Reste que depuis 2003, des problèmes politiques au sein du GDS de la Guadeloupe y ont freiné les efforts. Enfin, si la stratégie retenue s'est révélée efficace pour la lutte contre les maladies transmises par les tiques (élimination d'*Amblyomma variegatum* de certaines îles de la Caraïbe dans le cadre du CAP), sa mise en œuvre se heurte à l'extrême intensité de l'infestation dans certaines zones (Guadeloupe), au type d'élevage (élevage familial, bovins au piquet) et aux problèmes d'organisation des GDS (Guadeloupe).

À la Réunion

Outre les hémoparasitoses (quatrième cause de mortalité animale en 2004), les maladies affectant les animaux sont : les babésioses (*Babesia bigemina* et *Babesia bovis* transmises par *Boophilus microplus*), l'anaplas-mose (*Anaplasma marginale* transmise par *Boophilus microplus* ou par des stomoxes *Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger*), la cowdriose (*Cowdria*

ruminantium transmise par *Amblyomma variegatum*). Il faut également noter la présence d'une transmission de plusieurs sérotypes de FCO, sans que des conséquences cliniques soient à ce jour enregistrées.

Le programme Poseidom a été mis en œuvre par le Groupement régional de défense sanitaire du bétail de la Réunion (GRDSBR). Initialement, il consistait en une distribution gratuite de deltaméthrine en *pour-on* par les cliniques vétérinaires. À partir de 1996, les offres de lutte se sont diversifiées : association de lutttes biologique, mécanique, chimique et environnementale contre les stomoxes, conjugaison d'un traitement chimique avec une lutte environnementale contre les tiques *Boophilus* et traitement chimique seul contre les tiques *Amblyomma*. À partir de 2002, un contrat d'engagement a été signé avec les éleveurs décidant de rejoindre le programme, avec proposition d'une aide technique et financière.

Une évaluation a été réalisée sur la base de suivi des résultats d'autopsie par un réseau d'épidémiologie-surveillance et d'analyses sérologiques (données disponibles pour *Babesia bigemina* et *Anaplasma marginale*). Il a été constaté que la séroprévalence entre 1994 et 2006 n'avait que faiblement diminué pour la babésiose et qu'elle avait augmenté pour l'anaplasmose, avec de fortes variations interannuelles. Ce relatif échec pourrait s'expliquer par une réduction des abondances insuffisante pour briser les cycles de transmission. La lutte antivectorielle dans ce département a souffert d'un manque de recherche entomologique sur la biologie des vecteurs avant le démarrage de la lutte.

En France métropolitaine

La principale maladie vectorielle est la fièvre catarrhale ovine (FCO). Entre 2000 et 2004, la seule partie du territoire concernée était la Corse (sérotypes 2, 4, 16) après que la présence de *Culicoides imicola*, le principal vecteur du virus de la FCO dans l'Ancien Monde a été confirmée. La transmission de ce virus en Corse et dans le reste du bassin méditerranéen est associée à la remontée vers le nord de la limite de distribution de *Culicoides imicola*, qui pourrait être liée au changement des écosystèmes méditerranéens (pour la migration de ce vecteur, voir CD-ROM et le chapitre « De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique »). Dans un autre contexte écologique, suite à l'introduction inattendue du sérotype 8 dans le Benelux en 2006, une grande majorité du territoire français est infectée par ce sérotype fin 2008. De plus, fin 2007, le sérotype 1 a été introduit dans le

Pays basque espagnol et français pour s'étendre, en 2008, dans tout le quart Sud-Ouest de la France.

Hormis la FCO, d'autres maladies touchent les cheptels, comme les maladies à tiques (notamment piroplasmose et besnoïdiose, en expansion dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur). À noter également le premier foyer de *surra* (trypanosomose à *Trypanosoma evansi*) sur le continent européen, détecté dans un troupeau de dromadaires aveyronnais en octobre 2006. Enfin, un cas de nuisance importante à simulies a été décrit dans l'Hérault (région de Lodève), avec des chutes de production lactée entre autres. À cet égard, l'EID Méditerranée n'a pu intervenir pour des raisons essentiellement réglementaires (nécessité d'un arrêté préfectoral, après consultation du Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques, ou Coderst).

La lutte antivectorielle contre la FCO est réglementée par la directive européenne 2000/75, transposée en droit national par l'arrêté ministériel du 24 août 2001 lui-même remplacé par celui du 1^{er} avril 2008 (confinement des animaux à l'intérieur aux heures d'activité des vecteurs, traitement régulier des animaux à l'aide d'insecticides). De plus, le règlement européen 1266/2007 définit des dérogations à l'autorisation à l'exportation si les animaux sont « protégés des attaques du vecteur *Culicoides* » pendant leur transport et pendant un certain nombre de jours avant leur déplacement. La France traduit cette sibylline protection contre les vecteurs par le traitement insecticide épicutané des animaux (note de service DGAL/SDSPA/N2007-8276).

En Corse, le produit (solution *pour-on* de deltaméthrine) est disponible gratuitement via des antennes des GDS. Sur le continent, aucune mesure de ce type n'a été mise en place et l'achat des insecticides reste à la charge des éleveurs. Une enquête réalisée par la fédération nationale des GDS a montré que peu d'éleveurs du nord de la France avaient traité leurs animaux en 2007.

L'utilisation d'insecticides épicutanés à base de pyréthrinoïdes s'appuie sur les constats suivants : absence de connaissances précises sur les espèces de *Culicoides* impliquées dans la transmission, absence d'identification des gîtes larvaires et difficulté à les traiter, absence d'autres produits de lutte homologués. Bien que le traitement soit théoriquement obligatoire, l'adhésion des éleveurs s'avère difficile à obtenir compte tenu de l'absence de certitudes sur l'efficacité des produits disponibles et leur méfiance (et celle de certains GDS) vis-à-vis des effets éventuellement néfastes des insecticides.

RECOMMANDATIONS**■ En santé humaine**

Le contrôle des vecteurs et des nuisants, particulièrement en outre-mer et en Corse, se heurte à plusieurs problèmes : définition de la stratégie et des objectifs, conduite quotidienne des opérations, résistance aux insecticides, faible qualification des intervenants de terrain, faible encadrement des équipes, faible participation des autres partenaires et des populations, faibles recours aux travaux d'assainissement ou à ceux entrant dans le cadre de la salubrité publique.

Il importe de :

- définir clairement les objectifs et stratégies dans le cadre de la gouvernance proposée (GIP et ARS) ;
- inscrire dans ce cadre toutes décisions visant à renforcer les structures par l'embauche de cadres techniques de bon niveau, à évaluer régulièrement les stratégies et les actions, à impliquer les populations et les collectivités municipales.

■ En santé animale

À ce jour, la lutte antivectorielle est essentiellement fondée sur l'application d'insecticides directement sur les animaux, à l'exception notable de la lutte antivectorielle sur l'île de la Réunion. Si cette stratégie est adaptée à la lutte contre les tiques, elle l'est peu à la lutte contre les *Culicoides* et les moustiques.

Il importe de :

- définir clairement les objectifs et stratégies en relation avec la DGAL et les directions des services vétérinaires ;
- intensifier la recherche afin de disposer de moyens de lutte efficaces contre les vecteurs de maladies animales, notamment les maladies émergentes.

Organisation de la lutte et ressources humaines⁶

L'organisation de la lutte antivectorielle, qu'elle vise la santé animale ou la santé humaine, est loin d'être homogène sur l'ensemble du territoire français. Quant aux ressources humaines, elles restent très insuffisantes et manquent surtout d'une formation adéquate, notamment dans les structures décentralisées.

SANTÉ ANIMALE

Le livre II du Code rural relatif à la santé publique vétérinaire et à la protection des animaux définit une liste des maladies légalement réputées contagieuses (MLRC). Certaines d'entre elles sont à transmission vectorielle : cowdriose, encéphalites équine, fièvre catarrhale ovine, peste équine, maladie hémorragique épizootique des cervidés, fièvre de la vallée du Rift, peste porcine africaine, theilériose et trypanosomoses (article L. 214-1). Elles donnent alors lieu à une déclaration et à l'application de mesures de police sanitaire et parfois à l'élaboration de plans d'urgence. Ces derniers sont préparés au niveau national par le ministre chargé de l'Agriculture et, dans chaque département, par le préfet qui statue sur les mesures à mettre en exécution.

En outre, dans certains cas définis à l'article L. 224 (pour des maladies réputées contagieuses ou non), l'autorité administrative peut rendre obligatoire des actions de prophylaxie ou de mesure d'évaluation, de prévention ou de maîtrise des risques sanitaires. En dehors de ces maladies réglementées, la santé des animaux est sous la responsabilité de leur propriétaire.

L'organisation générale

L'organisation générale de la lutte antivectorielle ne dispose pas à proprement parler de structure consacrée sur laquelle s'appuyer. Des services

⁶ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 5 : « Quelles sont les modalités organisationnelles et les ressources humaines ? ».

vétérinaires, organisés en DDSV, ont en charge la santé et la protection animales, et en particulier l'exécution des mesures prises pour protéger les animaux contre les maladies réputées contagieuses. À eux également le soin de coordonner et d'exécuter les plans de prophylaxie collective obligatoire et de police sanitaire. Ils s'appuient, pour cela, sur un réseau de vétérinaires sanitaires dont le rôle est de mener les actions de surveillance et de prophylaxie. Mais il n'existe ni structure ni personnel dont la mission spécifique serait la surveillance entomologique ou la lutte antivectorielle.

Les actions de prophylaxie peuvent être menées avec les GDS, créés dans les années 1950 à l'initiative des services vétérinaires. Ils répondaient à l'époque au besoin de l'administration de disposer d'un relais auprès des éleveurs pour mieux lutter contre les principales maladies animales : tuberculose et brucellose (transmissibles à l'homme), ou fièvre aphteuse. Cette organisation collective s'étant révélée efficace, elle a été promue par l'État et les GDS ont été associés aux actions de lutte contre les MLRC. Ils ont alors développé leurs propres plans de lutte ou des procédures de certification. Ils ont aujourd'hui un rôle de conseil technique auprès des éleveurs en matière de défense sanitaire.

Les GDS sont des structures départementales regroupées en fédérations régionales et nationales. Dotés d'un statut d'associations à but non lucratif et financés par les cotisations des éleveurs et les collectivités territoriales (essentiellement les conseils généraux), ils ont mis en place des filiales commerciales pour offrir aux éleveurs des prestations (désinfection des bâtiments, lutte contre les nuisibles...). Les filiales de quarante départements se sont regroupées au sein du réseau Farago et disposent de matériel et de personnels formés dans la lutte contre les nuisibles, y compris insectes (essentiellement mouches).

Une organisation spécifique

Une organisation spécifique est mise en œuvre dans les territoires d'outre-mer et en Corse. Dans les territoires d'outre-mer, l'État, via les DDSV, est maître d'ouvrage pour les campagnes de lutte antivectorielle (contre les tiques aux Antilles), les GDS sont maîtres d'œuvre (Antilles, Réunion) et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) les assiste au plan scientifique et technique. À noter la situation particulière de la Guyane, dépourvue de GDS et de vétérinaires libéraux pour les animaux domestiques.

En métropole, la lutte antivectorielle contre les *Culicoides* n'est organisée qu'en Corse : mise à disposition d'insecticides par les DDSV. La surveillance des *Culicoides* sur le territoire métropolitain est rendue obligatoire par réglementation européenne (règlement 1266/2007). Il s'agit notamment de déterminer le début et la fin de la saison d'activité des *Culicoides*. Pendant la période d'inactivité, les mesures de restriction des échanges d'animaux sont allégées. Le ministère de l'Agriculture et de la Pêche, maître d'ouvrage, passe une convention annualisée avec le Cirad pour organiser et coordonner la surveillance entomologique. Les piégeages sont principalement assurés par des techniciens des services vétérinaires tandis que l'identification relève de l'université Pasteur de Strasbourg et de l'EID Méditerranée.

La lutte antivectorielle n'en demeure pas moins un acte individuel, la décision de lutter revenant en dernier lieu au propriétaire des animaux, même si la loi l'impose. Le degré d'adhésion aux programmes de lutte dépend des systèmes d'élevage et du dynamisme des GDS (sensibilisation des éleveurs, moyens disponibles...).

SANTÉ HUMAINE

L'encadrement réglementaire relève de la loi du 13 août 2004 (voir le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »). La multiplicité des missions et rapports relatifs à la lutte antivectorielle en santé humaine reflète la multiplicité des situations, même si, à ce jour, cette lutte ne porte que sur les moustiques et ne concerne que sept départements français : les quatre départements d'outre-mer, les deux départements de Corse et le Var. Il faut reconnaître que, dans les faits, l'article 72 de la loi n° 2004-809 du 13 août 2004 n'est que rarement appliqué à la lettre (voir l'encadré réglementaire et législatif dans le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »). À noter en outre qu'en Guadeloupe et en Martinique, le transfert de compétences théoriquement imposé par la loi a été suspendu.

Les structures hors métropole

Les structures sont décrites précisément dans le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle ». Les lignes qui suivent insisteront donc surtout sur les ressources humaines dont disposent ces structures au sein de chaque département concerné.

Guadeloupe

Le service de lutte antivectorielle s'est récemment doté d'un laboratoire surtout appelé à développer des activités dans la systématique des moustiques et la résistance aux insecticides.

Actuellement, l'effectif total des agents en charge de cette lutte se monte à 65, dont un seul agent de catégorie B (affecté à la logistique) et la plupart de la catégorie C. La moyenne d'âge est supérieure à 50 ans. L'essentiel du personnel est localisé sur le « continent », avec possibilité de mission plus ou moins longue dans les « dépendances » en cas de besoin. On compte toutefois 6 agents à Saint-Martin, 3 à Marie-Galante, 1 seul à Saint-Barthélemy. Le seul cadre A (l'entomologiste) ne consacre que 70 % de son temps à la lutte antivectorielle et doit aussi s'occuper des autres questions de santé-environnement (eaux, bruits...).

Guyane

Les activités de lutte antivectorielle visent principalement les vecteurs de dengue et les vecteurs de paludisme.

Depuis peu, le SDD, qui assure ces activités, est placé sous l'autorité d'un cadre administratif assisté d'un entomologiste. Son siège est à Cayenne où résident près de 60 % des agents. Le service est divisé en 4 secteurs géographiques, regroupant 10 antennes et couvrant l'ensemble du territoire. Il compte 3 agents de catégorie A (dont 2 de la filière administrative et 1 médecin-entomologiste), 7 agents de catégorie B (dont 2 administratifs et 7 médico-techniques), 148 agents de catégorie C (dont 12 administratifs et 136 dans la filière technique).

À ces agents s'ajoutent une technicienne (santé-environnement) à plein temps à la DSDS et un entomologiste médical à l'Institut Pasteur (dans le cadre d'une convention avec l'État).

Martinique

L'animation du service de lutte antivectorielle (entité mixte depuis 1991) est assurée par un entomologiste médical de statut départemental. Il est chargé du pilotage scientifique et technique ainsi que de la coordination de l'encadrement et de la gestion du service. Une ingénieure territoriale seconde l'entomologiste dans les tâches de management et de logistique, mais également dans les activités techniques. Le service s'est engagé depuis

de nombreuses années dans des programmes de recherches à visée opérationnelle. Un partenariat a été développé avec l'unité caractérisation et contrôle des populations de vecteurs (IRD, Montpellier), l'équipe de Nicole Pasteur au CNRS de Montpellier, l'université du Québec à Trois-Rivières. Le service a été récemment renforcé avec l'embauche par le conseil général d'un deuxième entomologiste.

Le service compte 48 agents (32 agents relevant de l'État, 16 relevant du conseil général) : 3 agents de catégorie A (les 2 entomologistes et l'ingénieure), 8 agents de catégorie B, 37 agents de catégorie C.

La Réunion

Les moyens humains et matériels sont regroupés au sein d'un GIP créé en 2006, le SPR. Sa mission est de contrôler le paludisme et l'extension des épidémies à arboviroses. Ses principaux objectifs sont de coordonner quotidiennement les actions des différents partenaires intervenant contre les moustiques vecteurs et de disposer, en cas d'épidémie, d'une structure identifiée pour les actions de démoustication et d'éducation sanitaire.

Les effectifs sont passés de 45 agents avant la crise liée à l'épidémie de chikungunya à près de 200 agents après la crise (4 cadres A, 14 agents de catégorie B, 180 agents de catégorie C). Le SPR a hérité d'un stock important de matériel et de produits insecticides datant de cette épidémie (la Guadeloupe et la Martinique ont aussi bénéficié de ces stocks). Cela traduit sans doute une surestimation des besoins dont il faudrait tirer les leçons pour l'avenir.

Mayotte

Le paludisme constitue encore aujourd'hui un problème de santé publique dans l'île. Le service de lutte antivectorielle, localisé depuis 2002 sur Mamoudzou, est piloté par l'État, conformément à la loi n° 87/39 du 27 janvier 1987, son rôle ayant été confirmé par la loi organique n° 2007-223 du 21 février 2007 dont l'article 3 énonce les dispositions statutaires et institutionnelles relatives à l'outre-mer (loi DSIOM). Cet article est codifié dans le Code général des collectivités locales à l'article LO 61114-1.

Le travail quotidien des équipes de terrain consiste en l'aspersion intradomiciliaire totale des bâtiments et maisons. Le service comprend également un laboratoire d'entomologie tandis qu'un service de logistique opérationnelle propre à la lutte antivectorielle est chargé de l'entretien des appareils et de

l'approvisionnement des équipes. L'effectif total des agents affectés à cette lutte est de 74 : 4 de catégorie A (1 entomologiste, 1 logisticien contractuel, 2 ingénieurs sanitaires), 2 de catégorie B, 68 agents de catégorie C.

Corse-du-Sud

L'essentiel des actions de lutte antivectorielle concerne le contrôle des *Anopheles*, tandis que *Aedes albopictus* est en voie d'installation.

Au titre de l'application de la loi du 13 août 2004, l'État a transféré 15 agents de catégorie C au conseil général. À ces derniers s'ajoutent 8 permanents recrutés par le conseil général (1 chef de service, 1 entomologiste, 1 informaticien, 5 agents opérationnels) et 7 saisonniers. L'effectif total est donc de 23 permanents. En outre, un médecin territorial est en charge des problèmes épidémiologiques.

Haute-Corse

Le service chargé de la lutte antivectorielle est une entité du conseil général depuis la première décentralisation et intervient dans le cadre global de la démoustication. Il compte 32 agents (dont 2 techniciens territoriaux, 2 ingénieurs), de catégorie C pour l'essentiel.

Pour la Corse-du-Sud comme pour la Haute-Corse, l'État a conservé la définition des stratégies de lutte et la surveillance entomologique, conformément à la circulaire de mai 2008. Ces actions sont menées par la Cellule de surveillance et de suivi épidémiologique vectoriels.

D'autres acteurs

D'autres acteurs que les seuls services de lutte antivectorielle commencent à être impliqués depuis quelques années. Ces derniers avaient en effet longtemps fonctionné en vase clos, ignorant l'apport des partenaires (services municipaux, associations de quartiers, éducation nationale...) ou d'autres disciplines (sciences sociales, anthropologie, épidémiologie...).

Les efforts ont porté sur une plus grande mobilisation des communautés au travers de diverses actions : opération kass-moustique à la Réunion, opération Toussaint dans les DFA, journée contre le moustique et relais démoustication-municipaux à la Martinique. Bien que leur implication demeure encore timide, les municipalités constituent de très loin le maillon indispensable dans toutes les activités de terrain.

Les structures sur le territoire métropolitain

Le territoire métropolitain ne dispose pas à ce jour de structures de lutte antivectorielle telles que celles existant en outre-mer. Les trois EID (Méditerranée, Atlantique, Rhône-Alpes) et d'autres structures comme le Syndicat intercommunal à vocation unique (Sivu) de lutte contre les moustiques de Lauterbourg (Alsace), ont été mis en place dans le but de contrôler la nuisance et d'améliorer ainsi le cadre de vie des populations mais aussi l'accueil des touristes. Cette activité, à la charge exclusive des collectivités territoriales, vise donc essentiellement le développement économique.

EID Méditerranée

La mission centrale de cette EID (voir l'historique sur CD-ROM) est de contrôler la nuisance des principales espèces de moustiques anthropophiles pour la maintenir à un niveau acceptable et surtout compatible avec les enjeux socio-économiques de la région. Le champ d'action porte donc essentiellement sur les deux espèces d'*Aedes* halophiles en milieu rural (*Aedes Ochlerotatus caspius*, *Aedes detritus*), sur la composante anthropophile de l'espèce *Culex pipiens* (*Culex pipiens molestus*) et, plus récemment, sur *Aedes albopictus* en milieu urbain.

L'effectif de l'EID Méditerranée était de 157 emplois permanents au 1^{er} janvier 2008. Parmi eux, 16 relèvent de la filière administrative (1 de catégorie A, 3 de catégorie B, 12 de catégorie C), 135 viennent de la filière technique (7 de catégorie A, 40 de catégorie B, 88 de catégorie C) et 6 sont des agents contractuels hors filière. Le siège est situé à Montpellier (Hérault). Les agents techniques (prospecteurs et conducteurs d'engins) sont en revanche répartis sur l'ensemble de la zone d'action au sein d'agences opérationnelles : 5 agences en Languedoc-Roussillon, 1 en Provence-Alpes-Côte d'Azur, 1 à Arles et une à Cagnes-sur-Mer.

Le siège comprend pour sa part les directions générale et administrative, la direction de la communication, la direction de l'environnement, de la recherche et du développement. Le volet recherche et développement s'appuie sur un laboratoire (labellisé ISO9000 version 2000) dont les thématiques portent sur l'expérimentation de biocides, l'optimisation des méthodes de traitement, les impacts environnementaux, la biologie des espèces cibles, les mesures de leur niveau de sensibilité aux biocides, la surveillance des vecteurs potentiels. L'établissement est également doté d'un centre de documentation,

d'un service de cartographie, d'un garage et d'un parc de 140 véhicules. Les agences disposent sur site des matériels nécessaires aux traitements terrestres sur leur secteur. L'agence de Montpellier Fréjorgues est, par ailleurs, classée pour le stockage de 100 tonnes de produits biocides (essentiellement à base de *Bti*).

EID Atlantique

Dans le cadre du développement touristique, il devenait urgent de rechercher des solutions pour lutter contre la nuisance due aux moustiques, notamment en période estivale. L'EID Atlantique (voir l'historique sur CD-ROM) couvre le territoire de près de 200 communes. Elle compte 55 agents de la fonction publique territoriale répartis sur le littoral atlantique, du Morbihan à la Gironde.

Répartis sur près de 50 000 hectares de zones humides, ses services interviennent tout au long de l'année pour aménager les marais, gérer les réseaux hydrauliques et traiter les gîtes larvaires afin de réguler les populations de moustiques. Parallèlement à ces actions de terrain, cette entente interdépartementale mène des missions de surveillance des espèces importées. Elle est membre du comité de pilotage et de gestion de réserves naturelles (baie de l'Aiguillon, Illeau des Niges...). À son actif également : la lutte contre les similies, sa participation à des expertises entomologiques, des propositions de dossiers d'études techniques en génie rural et environnemental, la formation de techniciens des collectivités, des échanges avec les universitaires, des contributions aux recherches scientifiques sur les espèces cibles.

EID Rhône-Alpes

Cette entente interdépartementale a été créée pour combattre le fléau que représentaient les moustiques dans les régions riveraines du Rhône et du lac du Bourget (voir l'historique sur CD-ROM). Elle a développé une compétence en gestion de zones humides reconnue par les collectivités locales. Elle a ainsi été désignée comme gestionnaire de la réserve naturelle du marais de Lavours tandis qu'elle assure la préservation de la réserve naturelle volontaire des îles du Haut-Rhône ainsi que la gestion du méandre du Saugey. Les activités de démoustication se déroulent essentiellement en période printanière (mars à fin juillet) : 203 communes en bénéficient. L'EID Rhône-Alpes contribue également à des recherches, notamment avec le laboratoire d'écologie alpine de l'université Joseph-Fourier (Grenoble).

Elle comprend 47 agents titulaires de la fonction publique territoriale, soutenus en été par 42 saisonniers. Les services opérationnels comptent 28 agents titulaires répartis dans quatre antennes permanentes. La démoustication urbaine est assurée par 40 saisonniers mobilisés en juin et juillet, encadrés par un agent permanent à mi-temps. La gestion des zones humides est confiée à 2,5 agents permanents et à 2 agents temporaires en juillet et août. Trois agents sont chargés de la recherche, de la protection et de la gestion des milieux naturels ainsi que de la communication. La direction générale, les services administratifs, ceux de cartographie et de communication, le laboratoire et l'atelier mécanique comprennent 13 personnes localisées à Chindrieux (Savoie).

Sivu de Lauterbourg

La mission de ce syndicat départemental (Bas-Rhin) consiste à limiter la nuisance due aux moustiques fluviaux, tout en préservant les espaces naturels protégés dans la vallée du Rhin. Les traitements, uniquement anti-larvaires et à base de *Bti*, sont réalisés soit manuellement au sol, soit par hélicoptère équipé d'un épandeur de granulés. À ce jour, 15 communes adhèrent au Sivu de Lauterbourg qui est financé à 50 % par le conseil général du Bas-Rhin et à 50 % par les communes.

Une seule permanente, titulaire de la fonction publique (catégorie A), encadre une activité saisonnière assurée par 25 agents temporaires. La responsable du syndicat entretient une collaboration opérationnelle étroite avec les services allemands de démoustication (KABS) intervenant sur l'autre rive du Rhin et exerce par ailleurs le rôle de secrétaire de l'*European Mosquito Control Association* (Emca).

Adege

Créée en 1996, l'Agence nationale pour la démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués (Adege) regroupe les trois EID, le conseil général de la Martinique, le conseil général de la Guyane, le conseil général de Corse-du-Sud et le Sivu de Lauterbourg. Cette agence, dont le siège social est localisé à Montpellier (au pôle méditerranéen de l'environnement littoral/EID Méditerranée), a connu deux changements importants depuis sa dernière assemblée générale de novembre 2008 : la transformation en association régie par la loi de 1901 et la mise en place d'un conseil scientifique.

Ses principales missions sont les suivantes :

- l'identification et la reconnaissance par les ministères, les administrations centrales et les instances de l'Union européenne, des établissements publics de contrôle de moustiques (nuisants et vecteurs) et de gestion des espaces naturels démoustiqués (représentés dans l'association) ;

- l'expression publique de positions communes et concertées ;

- les échanges scientifiques et techniques sur les matières actives utilisées et les méthodologies mises en œuvre dans le contrôle des moustiques ;

- la mise en commun de moyens logistiques et de recherche ;

- la connaissance et le suivi de l'élaboration de dispositifs de recherche appliquée et de développement ;

- l'amélioration continue de la qualité environnementale des opérations de contrôle, par la maîtrise des effets non intentionnels notamment ;

- les échanges, apports de connaissances et coopérations dans la gestion des zones humides (techniques de suivis écologiques et éducation à l'environnement) ;

- la mise en commun et les échanges dans les domaines de la documentation, de la formation, de l'information, etc. ;

- l'harmonisation des procédures de conseil et transfert de savoir-faire sur la sollicitation de collectivités territoriales françaises et établissements publics situés hors des zones d'action des membres de l'association ou d'instances gouvernementales, de collectivités et d'établissements publics étrangers.

Il faut, en outre, noter qu'en dépit de leur destination première (contrôle des nuisants), les EID ont acquis au fil des ans une forte compétence technique et scientifique qui peut être extrapolée au contrôle des vecteurs. Des missions de surveillance entomologique destinées à identifier des culicidés potentiellement vecteurs d'arboviroses, à en évaluer la présence, l'abondance et la répartition géographique leur ont ainsi été confiées récemment (voir des exemples sur CD-ROM).

RECOMMANDATIONS**■ Pour la lutte antivectorielle en santé humaine :**

- renforcer la participation active des collectivités (notamment les communes, les communautés de communes) ;
- renforcer les investigations et les interventions en fonction des données épidémiologiques ;
- systématiser l'évaluation des activités ;
- évaluer régulièrement les outils de suivi-réponse tels que le Psage.

■ Pour la lutte antivectorielle en santé animale :

- institutionnaliser l'organisation de la lutte antivectorielle sur l'ensemble du territoire à travers le ministère de l'Agriculture via sa direction centrale (DGAL) et ses services déconcentrés (DDSV) ;
- formaliser un réseau d'acteurs (opérationnels, organismes d'appui scientifique et technique, cellule de crise) pour être en mesure de répondre efficacement à une situation d'urgence ;
- former des intervenants dans des structures décentralisées qui seront disponibles pour prendre en charge si besoin des actions de surveillance et de lutte (une personne au niveau départemental ou une équipe au niveau régional).

■ Recommandation commune :

- mutualiser tant que possible les moyens des structures opérationnelles (moyens humains et matériels) pour la LAV en santé humaine et vétérinaire.

Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle⁷

Quels sont les réseaux d'information, d'éducation et de communication sur la lutte antivectorielle ? Comment les populations l'acceptent-elles et en perçoivent-elles l'efficacité ? Deux questions clés qui ne sauraient être appréhendées séparément en raison de leur forte interdépendance : ce sera l'une des thèses étayées ci-après.

Si la lutte antivectorielle constitue le principal moyen (voire l'unique) de protection contre toute forme (endémique, épidémique, émergente) de transmission vectorielle d'agents pathogènes, sa perception est conditionnée par la perception du risque de maladie infectieuse vectorielle. Toute communication devra prendre en compte l'une et l'autre : la perception de la réponse protectrice est largement structurée par celle du risque lui-même.

MISE AU POINT SUR QUELQUES CONCEPTS

La perception de la lutte antivectorielle

Elle renvoie à deux notions distinctes : la perception de son utilité/efficacité vis-à-vis du vecteur et celle de son acceptabilité. Quelle que soit la technique utilisée, la lutte antivectorielle est en effet perçue, ou peut l'être, comme porteuse de risques sanitaires ou environnementaux, voire d'inconvénients et de coûts excessifs. Les Anglo-Saxons parlent de *risk trade-off* (échange de risque) pour traduire ce lien entre risque vectoriel et risque de la lutte antivectorielle. Il devra être pris en compte dans toute action de lutte antivectorielle et de communication. Il pèse encore plus lourdement lors de situations où le risque vectoriel n'est pas avéré, bien qu'anticipé, et qu'une campagne de lutte antivectorielle est envisagée pour le prévenir.

⁷ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 6 : « Perceptions et information-éducation-communication (IEC) sur la LAV : état de la question, problématiques et propositions ».

La communication

Qu'elle soit de nature informative, éducationnelle ou autre, la communication vise à obtenir des publics-cibles un comportement protecteur effectif et efficace face aux risques identifiés. Dans cette perspective, la juxtaposition des trois notions d'information, d'éducation et de communication dans un seul sigle-concept, IEC, peut être source de confusion. L'information et l'éducation peuvent, en effet, être entendues comme des transmissions descendantes de savoirs et de pratiques justifiées par un déficit cognitif, pas toujours clairement identifié, auquel il s'agit de pallier. La communication fait référence à une approche ou à une méthode générique interactive au moyen de laquelle différents messages ou incitations peuvent être véhiculés, diffusés et rendus signifiants. Autrement dit, bien qu'en partie informative, la communication peut chercher à susciter des sentiments (peur, désir, conformité sociale, etc.), à éveiller des intérêts, sans être pour autant « éducative », l'objectif étant toutefois le même à savoir l'observance de comportements protecteurs. Rien ne permet de déterminer *a priori* le ressort qui, en fonction du contexte, sera le plus efficace.

IDENTIFICATION DES MESSAGES

Le contexte historico-socio-culturel d'une campagne de communication, mais aussi son contexte épidémiologique (émergence, épidémie, endémie, présomption) et celui propre au système vectoriel concerné jouent un rôle déterminant sur les perceptions du risque vectoriel et de la lutte antivectorielle. Le choix des messages doit donc en tenir compte.

D'une manière générale, la détermination de l'objet et du contenu de la communication doit s'appuyer sur la connaissance la plus précise possible des perceptions, des représentations, des connaissances, des croyances, des valeurs et des pratiques des populations exposées au risque vectoriel et à la lutte antivectorielle. Il faut en effet pouvoir répondre à un certain nombre de questions : sur quel aspect ou dimension du risque cette lutte portera-t-elle ? Qui visera-t-elle (des groupes cibles ou l'ensemble du public) ? De quelle façon espère-t-on atteindre l'objectif d'une meilleure efficacité/acceptabilité ?

En résumé, la communication, pour être efficace, devrait se concevoir comme un produit dérivé des connaissances propres à une situation à risque donnée, dans un contexte donné. Celles-ci portent sur les perceptions par le

public, à la fois du risque vectoriel et des bénéfices/risques de la lutte antivectorielle. Il se peut, par exemple, que les « croyances » de la population aillent à l'encontre de la réalité scientifiquement prouvée : lors de l'épidémie de chikungunya de 2005-2006, à la Réunion, une enquête réalisée en mai 2006 a révélé que près de 25 % de la population doutait de l'affirmation selon laquelle le moustique en était la seule cause (pour les références, voir CD-ROM).

LES DIFFÉRENTES FORMES DE LA LUTTE ET LEURS PERCEPTIONS

Il n'y a pas *une* perception de la lutte antivectorielle mais *des* perceptions attachées à chacune des modalités d'action et sur lesquelles viennent se greffer d'autres facteurs de différenciation tels que le coût, la dangerosité perçue et diverses contraintes (environnement, conditions de vie, niveau de développement).

Concrètement, les approches ou techniques de lutte antivectorielle se répartissent selon trois axes :

- la prophylaxie environnementale : elle consiste à éliminer les gîtes larvaires et tous les facteurs physiques qui en favorisent la présence et la multiplication ;
- la lutte mécanique et chimique : elle vise à détruire le moustique (stade aquatique et aérien) à l'aide d'outils chimiques (insecticides) ou biologiques (bactéries, prédateurs...) ;
- la protection personnelle : répulsifs corporels contre les moustiques ou tout autre moyen physique (moustiquaire, climatisation...) ou chimique (diffuseurs, serpentins...).

Chacune de ces techniques, dont la mise en œuvre relève de différents acteurs, peut faire l'objet d'information, d'éducation, de sensibilisation et de mobilisation, d'éducation à la santé, au travers d'actions ou programmes de communication. En raison de cette multiplicité des outils/acteurs, la perception/acceptabilité de la lutte antivectorielle semble être en grande partie influencée par la répartition des responsabilités de mise en œuvre (collective et/ou individuelle, institutionnelle ou sociale, locale ou nationale).

Dans les faits, les individus sélectionnent l'un ou quelques-uns des moyens disponibles, le plus souvent sur la base d'une évaluation subjective du rapport bénéfices espérés/coût, en pensant qu'ils sont ainsi protégés contre les piqures de moustiques. Sur l'évaluation subjective des bénéfices/risques, une

Huit questions préalables à une communication efficace

- Comment la lutte antivectorielle est-elle perçue en situation de risque vectoriel ? En l'absence de risque vectoriel avéré, comment la communication est-elle perçue ?
- Quelle est la perception du risque vectoriel et des risques de la lutte antivectorielle ? De ses différents outils ? Quels sont les *risk trade-offs* ?
- Quelles relations entre perception du risque vectoriel et communication sur la lutte antivectorielle ?
- Quelles sont les actions de terrain les plus prometteuses ?
- La participation/mobilisation communautaire : quelles sont les espérances et pratiques ?
- Que sait-on en matière de communication sur le risque (vectoriel) et de ses impacts ?
- Communication publique et communication médiatique : complémentarité ou dissonance ?
- Quelles sont les propositions pour améliorer la communication sur le risque en relation avec la lutte antivectorielle ?

abondante littérature met en lumière une relation inverse entre jugement sur le risque et jugement sur les bénéfices d'une technologie, d'un médicament... (voir CD-ROM). L'un des objectifs de la communication sur la lutte antivectorielle est précisément d'en mieux faire percevoir les bénéfices : complémentarité des trois axes de lutte, spécificités respectives, efficacité en fonction des contextes et des risques propres à chacun des mésusages.

Conclusion : il n'est ni pertinent de séparer arbitrairement les perceptions du risque vectoriel des différentes perceptions de la lutte antivectorielle, ni de l'isoler de la communication sur la lutte antivectorielle. Il va de soi qu'il s'agit là de conditions nécessaires pour obtenir l'évolution souhaitée des comportements, mais que ces conditions ne sont pas toujours suffisantes.

ÉTUDES DE CAS

Dans les exemples qui suivent, une réponse partielle est apportée à certaines des questions préalables évoquées plus haut (voir l'encadré). Pour d'autres questions, de nouvelles recherches sont nécessaires. Ces présenta-

tions sont fondées sur la littérature et sur des enquêtes récentes (pour en savoir plus sur chaque exemple, voir CD-ROM).

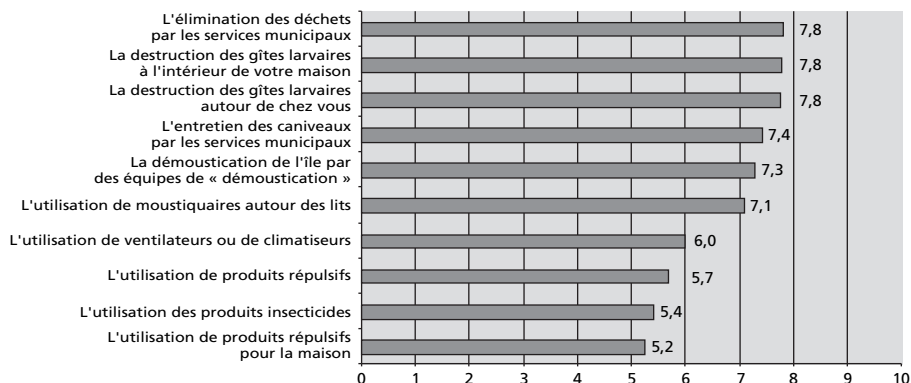
En Martinique

La perception de l'efficacité des différents modes de protection (échelle de 0 à 10) varie dans des proportions considérables, comme le montre la figure 1 résultant d'une enquête publiée en 2008. Il semble en particulier que les répondants plébiscitent des modes de protection environnementaux. Certes ces derniers ont sans doute une influence considérable sur la présence du vecteur de la maladie dans leur habitat. Mais du coup, ils ne dépendent pas d'eux (du moins pas complètement) : la plupart des mesures prophylactiques proposées sont mises en œuvre par les services publics. Ce faisant, les enquêtés font donc peser la responsabilité de la prévention, non pas sur leurs actions propres, mais sur celles de la collectivité (services de démoustication), du moins dans une certaine mesure.

D'une manière générale, les répondants semblent majoritairement satisfaits des services de démoustication (2/3 d'entre eux, environ). Mais quelles étaient les raisons de l'insatisfaction d'un tiers d'entre eux ? Le questionnaire comportait une question ouverte qui leur était destinée. Comme en témoigne la figure 2, une forte majorité critiquait la démoustication (fréquence insuffisante ou incompréhension des règles de distribution). Une petite minorité la jugeait inutile et/ou toxique pour l'environnement. Cela peut être interprété comme la marque d'une minimisation de la cause-moustique.

Figure 1

Efficacité perçue de différentes mesures de protection



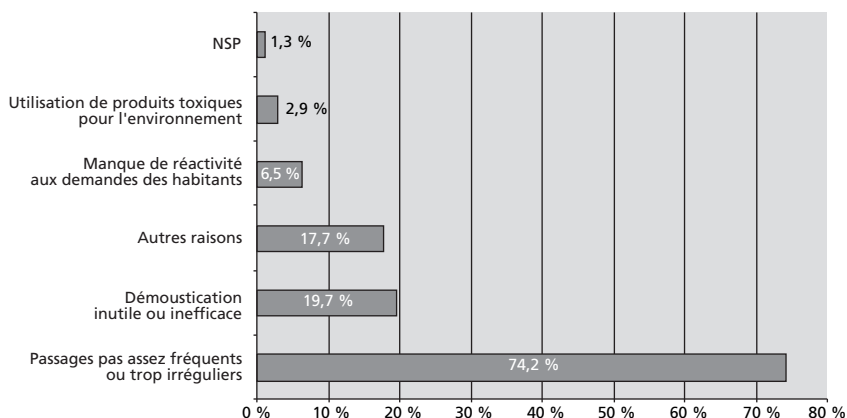


Figure 2

Les motifs invoqués par les insatisfaits (% de répondants)

À la Réunion

Un rapport d'enquête publié en 2006 montre que sur trois types de mesures collectives – lutte antivectorielle par les métropolitains/lutte antivectorielle par les locaux/élimination des déchets, des encombrants et des carcasses de voiture – c'est la troisième qui est perçue par les enquêtés comme la plus efficace.

Quant à leur perception de la dangerosité des insecticides pour les humains, la faune et la flore, laquelle est notée de 0 (pas dangereux) à 10 (très dangereux), c'est pour la santé animale et la santé humaine que le risque leur paraît le plus aigu, avec une dangerosité perçue comme légèrement supérieure pour les animaux (en raison sans doute de la médiatisation de nombreux cas d'intoxications d'animaux domestiques ou d'élevage au cours de la période d'enquête).

En ce qui concerne les pathologies humaines perçues comme associées aux insecticides, il y a des maladies respiratoires et dermatologiques considérées comme bénignes (asthme, allergies, dermatoses, etc.), des maladies graves comme des cancers pour une minorité de répondants seulement (23 %)... Mais d'une manière générale, le chikungunya semble susciter une inquiétude nettement plus élevée que les maladies potentielles liées à l'utilisation d'insecticides pour le combattre.

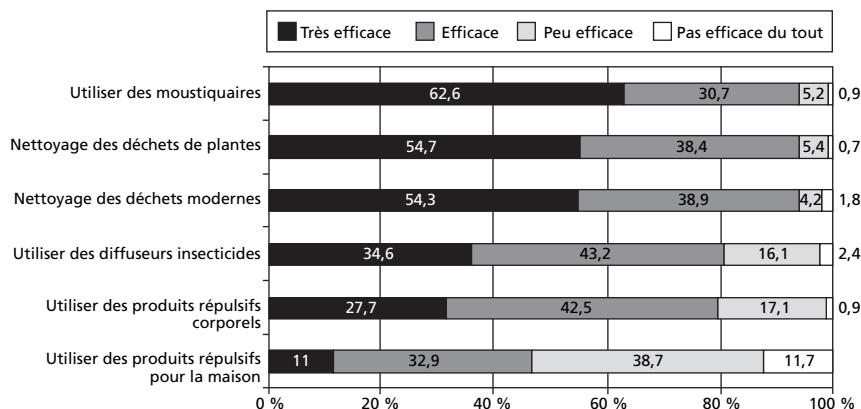


Figure 3

Perception de l'efficacité de six mesures de protection

À Mayotte

Une enquête réalisée fin 2007 enregistre 94,6 % de réponses positives à la question de savoir s'il est utile d'utiliser des insecticides. L'étude comparée des perceptions à différentes mesures de protection montre par ailleurs un net avantage aux moustiquaires par rapport aux produits chimiques (diffuseurs, répulsifs...), ainsi que le montre la figure 3.

En l'absence de risque vectoriel

Selon un certain nombre de travaux menés en territoire métropolitain, la question des moustiques et de la démoustication constitue, quand il n'y a pas de risque vectoriel, un sujet qui, chez les acteurs sociaux, suscite des discours contradictoires révélateurs d'une réalité sociale complexe et changeante. Les conclusions de ces études montrent que les personnes interrogées reconnaissent être, en effet, gênées par les moustiques, mais s'y être habituées, que le moustique est certes nuisible, mais aussi utile à la nature, qu'elles sont plutôt favorables à la démoustication mais souhaitent préserver les zones dites naturelles. Les auteurs concluent en insistant sur cette indécision assez majoritaire chez les répondants en considérant qu'elle « est révélatrice chez les individus d'une cohabitation entre références anthropocentriques et biocentriques ».

Les actions ainsi que l'information et la communication autour de ces actions s'effectuent très souvent en étroite collaboration entre les services de l'EID et les services municipaux d'hygiène et de santé des grandes villes : voir, par exemple, les sites Internet des villes de Lyon, Cannes, Bourg-en-Bresse... Ces sites font généralement état de la mise en place d'une lutte contre les nuisibles en signalant que ces animaux (insectes, rongeurs...) peuvent être porteurs de maladies et que cette lutte s'inscrit dans une approche de « salubrité et de santé publique ».

Dans la littérature

Quelques études portent sur le rôle des médias, sur la formation du jugement des individus face à un risque inconnu comme celui lié aux pesticides, ou encore sur l'impact de campagnes de communication (pour en savoir plus avec références, voir CD-ROM).

En ce qui concerne les médias, une étude américaine (2002) porte sur leur rôle dans la construction de la perception du risque des insecticides dans la lutte contre le *West Nile Virus* (WNV). Résultat : insuffisance des informations sur les risques liés aux pesticides et sur les risques d'exposition aux pesticides vs ceux liés au WNV ; même constat pour les informations sur l'efficacité des pulvérisations et leur coût vs celui de l'encéphalite à WNV. Or la lutte contre le WNV illustre parfaitement le *risk trade-off* et seule une évaluation comparative permettrait au public de juger de la pertinence de la lutte antivectorielle.

La formation du jugement que portent les individus sur un risque inconnu (car nouveau) fait l'objet d'une autre recherche (2007) qui montre que l'évaluation subjective d'un risque inconnu (dans ce cas, celui lié aux pesticides) est construite à partir de l'association avec d'autres risques (connus) : on parle d'*associated risks*. D'où la suggestion de s'appuyer sur les « modèles mentaux » pour communiquer.

En ce qui concerne l'impact de campagnes de communication, une étude relative à la lutte contre la multiplication des gîtes larvaires d'*Aedes ægypti* met en lumière un paradoxe : l'impact sur les gîtes larvaires d'une *communication éducationnelle* serait plus efficace que celui de pulvérisations de malathion, même lorsque les deux sont associées. Interprétation : l'association de pulvérisations d'insecticide engendrerait une perception de (fausse) protection.

SUR QUOI ET COMMENT COMMUNIQUER ?

Très peu de travaux traitent de la communication sur la lutte antivectorielle, voire aucun. Il existe en revanche des publications concernant la communication sur le risque infectieux ou la communication sur le risque vectoriel, les deux possédant d'ailleurs un socle commun.

Une étude britannique (2000) révèle notamment à quel point l'impact de la communication (sur la perception de risque en général) dépend d'interactions complexes entre les caractéristiques de l'auditoire, la source des messages et son contenu. Les qualités du contenu seraient alors :

- déclencher l'attention ;
- être compréhensible ;
- viser à influencer sur la décision ;
- être dépourvu d'ambiguïtés ;
- être aisément interprétable afin d'influencer la décision de la cible.

À noter également que la confiance joue un rôle important dans la mesure où elle est associée à l'expertise de la source, à son caractère non biaisé et ne visant pas le « sensationnel ».

Conclusion : les qualités nécessaires à maximiser les impacts de la communication sont souvent difficiles à réunir du fait même de l'incertitude scientifique.

Les cas du Sras, comme ceux du chikungunya et de la dengue, montrent en particulier que le public a tendance à déterminer son comportement sur sa perception du risque (et non sur le risque réel) dans un contexte d'incertitudes fortes sur les voies de transmission de l'infection, sur sa gravité, sur les traitements disponibles et sur la capacité de contrôle individuel. Les individus fondent souvent leurs décisions sur les comportements des autres, surtout si l'information qui leur parvient est le produit d'opinions plus que de la science.

Une étude américaine (2006) a, par exemple, montré que les médias canadiens ont diffusé des informations souvent contradictoires (par exemple, que le Sras est une menace dangereuse mais lointaine) ou confuses. C'est d'une connaissance fine des perceptions du public, mais aussi des autres acteurs gouvernementaux, qu'il sera possible d'améliorer la communication : comment les individus évaluent-ils leur propre exposition au risque ? De

quelle façon les perceptions affectent-elles les comportements ? Quels sont les effets des différentes stratégies mises en œuvre sur les perceptions ?...

SUR LE TERRAIN

Une multitude d'actions ont été entreprises sur le terrain, notamment à l'occasion de l'épidémie de chikungunya à la Réunion (voir l'encadré, et pour plus de détails ou d'autres exemples, voir CD-ROM).

Réseaux d'information, d'éducation et de communication sur la lutte antivectorielle

Suite à l'atelier Combi organisé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) à la Réunion, du 19 au 28 juin 2006, la Direction régionale de l'action sanitaire et sociale (Drass) a élaboré un Plan de mobilisation sociale, depuis septembre 2006, articulé autour de cinq axes : mobilisation institutionnelle, mobilisation communautaire, campagnes publiques d'information, communication interpersonnelle, promotion des points d'information. Les objectifs poursuivis portent sur l'adoption de trois comportements individuels, venant en complément de la lutte antivectorielle, de la veille épidémiologique et de l'offre de soins :

- inspection hebdomadaire par chaque foyer des alentours directs de son habitation afin d'éliminer tous les gîtes larvaires potentiels ;
- auto-signallement au numéro vert de toutes les personnes présentant des syndromes évocateurs de chikungunya ou de dengue ;
- utilisation de moyens de protection individuelle (répulsifs, vêtements longs, moustiquaires) y compris, dans le cas d'une infection, en période de virémie.

Ci-dessous un résumé des quelques forces et faiblesses du dispositif :

■ *Suivi et animation de réseaux*

- L'épidémie de chikungunya, par son ampleur, a permis de fédérer les institutions et les associations intervenant dans le cadre de l'éducation à la santé autour des messages sanitaires de la lutte antivectorielle. Le réseau a toutefois besoin d'être davantage structuré et animé pour les périodes inter-épidémiques.
- Les formations de formateurs-relais n'ont pas toujours donné les résultats escomptés.
- La crise du chikungunya a mis en évidence l'importance des médias dans la diffusion et la restitution des messages, et donc dans l'acceptabilité des populations aux mesures de lutte antivectorielle. [...]

suite

[...]

■ *Évaluation des actions de sensibilisation*

Il n'existe guère à ce jour d'outils d'évaluation pour mesurer « l'accroissement » des connaissances ou la modification comportementale.

■ *Compétence des acteurs de mobilisation sociale*

– L'éducation sanitaire ne se satisfait pas de l'amateurisme : il faudrait mettre en place des sessions de formation continue pour asseoir les différents messages à délivrer, mais également pour réactualiser les connaissances.

– L'idéal serait d'aboutir à l'élaboration d'un guide de l'éducation sanitaire en matière de lutte antivectorielle. L'Institut national de prévention et d'éducation pour la santé (Inpes) pourrait être sollicité.

■ *Amélioration des messages d'éducation sanitaire*

– Les messages de lutte antivectorielle, surtout après la crise du chikungunya, sont parfois perçus négativement.

– Sur le terrain, les messages sont bien intégrés, mais ne sont pas appliqués. La compréhension du message n'implique pas la mise en œuvre. Quelle solution ?

Parmi les campagnes organisées, il faut également signaler la journée annuelle Kass Moustik, fruit du travail d'un collectif d'associations, de personnalités et d'institutions œuvrant en faveur de la participation citoyenne. Conçue comme un temps fort d'éducation et de mobilisation communautaire autour de la destruction des gîtes larvaires, cette journée est considérée comme une réussite par les acteurs locaux. Elle se déroule à la veille de la fête des morts et participe du même esprit qui anime l'opération Toussaint en Martinique. Reste que son évaluation (sur la base de l'indice de Breteau) montre à la fois un effet sensible et un retour à la situation antérieure après quelques semaines.

Par ailleurs, un rapport d'expertise relatif au problème de la dengue dans les DFA, produit par l'IRD en 2003, souligne la nécessité de faire désormais appel à la participation communautaire (voir l'encadré). Ce même rapport pointe un certain nombre d'actions considérées comme peu concluantes : les visites à domicile des agents des services de démoustication, les réunions publiques d'information, et surtout le projet pilote de mobilisation des cadres municipaux de la ville de Schoelcher, qualifié d'échec. À l'inverse, la tenue de stands d'information dans des lieux publics ou à l'occasion d'événements (comme l'opération Toussaint) et les campagnes d'éducation en milieu scolaire ont montré leur efficacité.

La participation communautaire

L'OMS, très attachée à la lutte communautaire en matière de lutte antivectorielle, a élaboré un plan de mobilisation sociale privilégiant les actions qui prennent en compte les perceptions et souhaits des populations. À ce jour, peu de travaux permettent d'en évaluer les impacts. Deux études méritent néanmoins d'être citées : l'une concerne l'évaluation d'un programme à Porto-Rico (2002), l'autre celle d'un programme mené à Cuba (2004). La première relève une élévation significative des connaissances et de la conscience du public, mais seulement quelques changements de comportement et des modifications limitées sur les indices larvaires. La seconde (2004) constate des résultats en termes de perception et de jugements sur la valeur de la participation communautaire : les répondants en reconnaissant l'utilité et l'obligation d'y participer (conformisme social et politique ?), mais ils jugent sévèrement les leaders, plus concernés selon eux par leur bien-être que par les problèmes de la communauté.

Un certain nombre de critiques ressortent d'autres publications. Par exemple, les attentes ne se traduiraient pas par les effets espérés en raison du poids de l'ancien paradigme (*magic bullet*). D'où l'idée d'un nouveau paradigme, fondé sur un processus d'apprentissage itératif. Autre explication avancée : l'opposition idéologique et politique entre pragmatiques, favorables à différents modèles utilitaristes de participation, et activistes, privilégiant le modèle d'*empowerment*. Enfin, un article récent (2007) produit une méta-analyse des évaluations publiées en matière de participation communautaire (11 études retenues). Sa conclusion : les évidences en faveur de l'efficacité d'une approche communautaire, seule ou associée à d'autres mesures, sont faibles (voir « Pratiques et modalités », chapitre 3).

En matière de communication éducationnelle, certains en appellent au développement de la « *science-based communication and assessment for policy making toward sustainable health and ecosystem* » via la mise en place de Centres d'excellence de recherche et de formation en écologie et santé. Quant à la question de la communication généraliste vs ciblée, la réponse découle de l'identification des groupes sociaux les plus exposés ou les plus vulnérables : il n'y aurait pas grand sens à promouvoir des campagnes uniquement généralistes (indifférenciées) si l'on retient le paradigme de fonder la communication sur la connaissance des perceptions et de leur distribution.

Plus généralement, il apparaît de plus en plus indispensable d'associer l'ensemble des acteurs, de mettre en place des réseaux, de favoriser la transversalité, de développer des formations et de prendre en compte les structures informelles. Lors de l'établissement de partenariats, les catégorisations doivent également être repensées : plutôt que de se fonder sur la classification individuels/associatifs/institutionnels, il serait préférable de réfléchir en termes d'enjeux stratégiques : partenaires de proximité, d'intérêt, d'opinion. Cette dernière catégorie devient incontournable, « dans la mesure où les services de démoustication seront contraints de passer à une autre échelle en termes de communication » (source : rapport de l'expertise 2003).

RECOMMANDATIONS

■ Propositions générales et structurantes :

- fonder les programmes de communication relatifs à la lutte antivectorielle sur l'identification des perceptions, des croyances et des pratiques objectivées par des enquêtes représentatives auprès des populations exposées au risque vectoriel, et ce, en tenant compte des connaissances existantes validées ;
- organiser la communication sur la lutte antivectorielle pour mieux rendre compte de l'utilité/efficacité des différentes méthodes et outils en fonction du niveau de risque vectoriel ;
- déterminer le contenu de la communication en fonction des contextes socioculturels, épidémiologiques et vectoriels afin de cibler les groupes sociaux en relation avec les facteurs de risque propres à la situation de vulnérabilité et de réticence à l'adoption de comportements protecteurs ;
- développer des recherches interdisciplinaires dans lesquelles l'approche des sciences sociales serait centrale, en particulier sur les populations exposées aux piqûres de moustiques en l'absence de risque vectoriel (de maladie infectieuse) ;
- évaluer les programmes de communication et d'éducation à la santé en termes de changement durable de perceptions et de comportements, pas seulement en termes de mémorisation ou de connaissance ;
- évaluer à l'aide d'indicateurs entomologiques et épidémiologiques les programmes visant à développer la participation communautaire dans la lutte antivectorielle et identifier les obstacles à leur effectivité et/ou durabilité ;
- cas du vecteur *Aedes albopictus* : les recommandations ci-dessus s'appliquent tout particulièrement à ce moustique. En effet, des départements comme l'Hérault ou les Bouches-du-Rhône risquent d'être colonisés dans les prochaines années. Au-delà des aspects purement techniques, seules des études préalables réalisées dans la population exposée permettront d'élaborer des messages et les campagnes de communication visant à préparer les populations, les élus, les services de santé publique... à cette probable colonisation, voire à une épidémie de chikungunya ou de dengue en métropole.

[...]

RECOMMANDATIONS

[...]

■ Propositions opérationnelles :

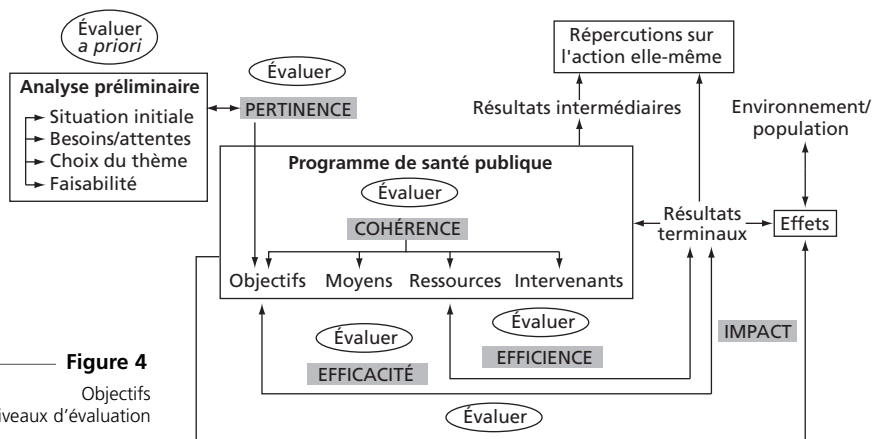
- établir une plate-forme centrale (Inpes) pour développer une méthodologie et une approche de la communication et de l'éducation sanitaire en matière de lutte antivectorielle, pour travailler sur le contenu de messages types, pour évaluer les meilleurs vecteurs de communication, pour contribuer à la formation de formateurs et former en continu des agents sur ces domaines ;
- mettre en place une équipe de mobilisation sociale rattachée aux structures de gouvernance proposées dans le présent rapport (GIP/ARS) pour une meilleure coordination avec les aspects techniques et les initiatives engagées par les associations, afin d'aider à leur réalisation et à leur amplification (financement, contenus des messages...) ;
- organiser une communication régulière avec les médias afin de réduire, autant que possible, les phénomènes de dissonance en fournissant les informations en temps réel, surtout en période d'alerte et épidémique ;
- élaborer un cadre stratégique de communication utilisable en cas d'épidémie, qui pourra être rapidement décliné en fonction des contextes de sa survenue.

Évaluation de la lutte antivectorielle

Il existe plusieurs définitions, toutes à peu près convergentes, de la notion d'évaluation en santé publique, que ce soit celles de l'Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé (Anaes), de l'OMS, de l'OCDE... D'une manière générale, l'évaluation fait référence à une démarche qui se démarque des activités de suivi, de surveillance ou de monitoring. 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 » (source Anaes).

Les pages qui suivent portent essentiellement sur l'évaluation opérationnelle de l'efficacité des actions de lutte dans leurs composantes entomo-épidémiologique, économique et environnementale, notamment au regard de leurs impacts non intentionnels. L'enjeu d'une telle évaluation répond à l'une des missions suivantes (voir figure 4) : soit évaluer la pertinence des actions, soit leur cohérence, soit leur efficacité, soit leur efficience, soit enfin leur impact ou répercussions.

Les évaluations de l'impact sanitaire s'appuient principalement sur des méthodes quantitatives (épidémiologie, biostatistiques). Quant aux aspects comportementaux et sociaux associés à la lutte antivectorielle, ils méritent également d'être évalués, ce qui suppose de mettre en œuvre des méthodes qualitatives issues des sciences humaines et sociales.



Pratiques et modalités⁸

L'évaluation consiste à vérifier, par des outils appropriés, que les objectifs des actions entreprises sont atteints (voir l'encadré). Les indicateurs utilisés pour évaluer l'impact de la lutte antivectorielle peuvent donc être directs (indicateur de morbidité...) ou intermédiaires (réduction des indices entomologiques, acquisition de comportements de protection...), sans que l'on puisse dire, pour les seconds, qu'ils soient nécessairement associés à une baisse de morbidité.

C'est toute la difficulté de la lutte antivectorielle : actuellement les indicateurs d'efficacité ne sont pas suffisamment bien définis pour chaque système vectoriel et n'ont pas souvent fait l'objet de validation formelle. Selon la nature de l'intervention (intervention biomédicale, environnementale, éducative, comportementale, sociale...), les indicateurs de mesure du *process* et de la couverture doivent donc être adaptés. Compte tenu du large spectre de vecteurs couvert par la lutte antivectorielle, leur choix variera selon la nature des mesures utilisées.

Objectifs de l'évaluation

- Vérifier que les actions entreprises sont bien réalisées ou mises en œuvre comme elles ont été préconisées (évaluation du *process*).
- Vérifier que la population visée (humaine ou de vecteurs) a été atteinte (couverture de la cible).
- S'assurer que l'impact sanitaire souhaité au niveau de la population (réduction des indices entomologiques, réduction de l'incidence de la maladie, réduction de la prévalence de la parasitémie...) a eu lieu (évaluation de l'impact).
- Contrôler qu'aucun effet indésirable sérieux (effets secondaires de l'utilisation des insecticides...) susceptible d'être attribué à l'intervention ne soit survenu.

⁸ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 7 : « Quelles sont les pratiques et les modalités d'évaluation de la lutte antivectorielle ? ».

CADRE THÉORIQUE

En ce qui concerne l'évaluation de l'impact entomologique et sanitaire de cette lutte, l'une des questions est de savoir dans quelle mesure les réductions souhaitées des indicateurs de morbidité (humaine ou animale) sont réalisées sur le terrain, suite aux actions menées. Il s'agit également de quantifier cette réduction. Il faut enfin déterminer dans quelles proportions l'impact observé est imputable à la lutte antivectorielle.

Il en résulte deux grandes finalités pour l'évaluation. La première consiste à suivre une batterie d'indicateurs normalisés et définis *a priori*, lors de la mise en œuvre de la lutte antivectorielle, pour vérifier que les objectifs des actions entreprises sont atteints (voir des exemples sur CD-ROM). La seconde consiste à juger de l'imputabilité des résultats observés au programme de lutte entrepris. Il est alors nécessaire de constituer un schéma d'évaluation spécifique, expérimental ou quasi expérimental, pour répondre à cette question.

Ces deux finalités renvoient en fait à des situations différentes. La première vaut pour les cas où l'action mise en œuvre a déjà fait l'objet d'une définition et d'une normalisation (indicateurs et seuils) et où elle est utilisée de manière régulière selon un plan défini. La seconde renvoie à une situation plus expérimentale, de type cas-témoins, pour laquelle on met en place des actions innovantes (nouvelle technique, nouveaux insecticides ou nouvelle stratégie) de grande envergure (traitement à grande échelle).

Modèle théorique

Le modèle théorique idéal en épidémiologie est en fait le modèle expérimental permettant la comparaison de deux groupes d'individus (humains ou animaux) sélectionnés selon un principe de randomisation, l'un des groupes seulement étant soumis à l'action préconisée : toutes les différences entre les deux groupes sont alors attribuées à l'action entreprise. Cet idéal est évidemment difficile à atteindre, notamment dans le domaine de la lutte antivectorielle. En effet, soit on ne peut développer une expérimentation de type cas-témoin (situation d'épidémie), soit on doit se satisfaire d'indicateurs entomologiques indirects (sans bien connaître la relation des indices entomologique-incidence-risque).

Tableau 8 – Schéma de principe du modèle expérimental

	Mesure avant programme de lutte	Exposition au programme de lutte	Mesure après programme de lutte
Groupe expérimental	O_1	X	O_3
Groupe témoin	O_2		O_4

Les valeurs O_i désignent les observations faites avant et après le programme X. Les formules de type $O_i - O_j$ doivent être interprétées comme des indications théoriques plutôt que comme des écarts entre deux observations. Dans ce modèle d'évaluation idéal, le résultat attribuable au programme est manifestement $O_3 - O_4$.

Ce modèle est toutefois utile à des fins de comparaison et d'explication (voir le tableau). Il sert de preuve sous-jacente à l'attribution, ou non, des résultats à un programme pour tous les modèles d'évaluation. Si l'on veut identifier des inférences causales, il faut « comparer » des groupes identiques, sauf pour l'exposition au programme (avant et après). Dans les modèles expérimentaux (ou aléatoires), on tente d'assurer l'équivalence initiale des deux groupes en répartissant de façon aléatoire les sujets en deux groupes, un groupe de participants et un groupe témoin. Du coup, les groupes à comparer sont équivalents ($O_1 = O_2$).

Bien entendu, la validité du modèle, autrement dit son aptitude à fournir les éléments permettant de conclure sur l'imputabilité du résultat observé au programme, est d'autant meilleure que l'on dispose d'un groupe témoin et d'une mesure avant et après (voir les détails sur les groupes témoins sur CD-ROM). Dans le cas où il est fait appel à un groupe témoin non aléatoire, on parle de modèle « quasi expérimental ».

Exemples d'application

Des exemples d'application de ce modèle « expérimental » à la lutte antivectorielle font l'objet d'un certain nombre de publications (référéncées dans la base PubMed), en particulier des essais d'interventions communautaires randomisées dans l'évaluation de l'impact sanitaire de diverses stratégies : évaluation des moustiquaires imprégnées d'insecticide (paludisme, dengue), projet d'évaluation de méthode de protection de l'habitat par écran

contre les piqûres de moustique en Gambie... Quelques évaluations de nature quasi expérimentale ont également été réalisées : évaluation d'une intervention aérienne de traitement adulticide contre les *Culex* lors d'une épidémie d'infection à virus *West Nile*, évaluation de moustiquaires imprégnées ou non, évaluation d'un traitement insecticide d'habitations contre la malaria, évaluation d'une combinaison de mesures...

D'autres publications concernent des cas où la surveillance contribue à l'évaluation pragmatique (monitoring) parallèlement à la mise en œuvre d'un programme de lutte plus ou moins complexe (par exemple, le traitement des accès palustres combiné à l'utilisation de moustiquaires imprégnées). D'autres encore portent sur le *process* ou sur les actions menées chez l'enfant (voir les détails sur CD-ROM).

À signaler enfin quelques revues systématiques de la littérature scientifique relative à l'évaluation de stratégies de lutte antivectorielle (voir CD-ROM). L'une d'entre elles récuse, en conclusion, l'évidence parfois admise de l'efficacité d'une approche communautaire (sur cette approche, voir aussi l'encadré sur la « Participation communautaire » dans le chapitre « Perception du risque et communication sur la lutte antivectorielle »).

ÉVALUATION DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE EN FRANCE

Les pages qui suivent sont le fruit d'une consultation approfondie de la littérature scientifique sur les bases de données (*Current Content*, PubMed, Medline, *Science direct*) et sur le Réseau d'échanges santé environnement (Rese), mais aussi d'une analyse des rapports de missions de l'Inspection générale des affaires sociales (Igas) ou d'audits d'experts, du rapport d'expertise collégiale de l'IRD sur la dengue dans les départements français d'Amérique (2003) et de la littérature étrangère. Au final, un mémoire d'ingénieur du génie sanitaire publié en octobre 2008 (source : Julien Fecherolle) semble donner la vision la plus exhaustive et la plus synthétique de la situation française.

État des lieux

L'état des lieux des évaluations de la lutte antivectorielle sur le territoire français révèle une littérature relativement pauvre. Nombreuses sont les études sur l'efficacité d'une mesure (insecticide, moustiquaire imprégnée, pro-

duit répulsif...). Le secteur de recherche sur l'évaluation de nouveaux agents biologiques est en fort développement depuis quelques années... Mais aucun article ne précise clairement les méthodes et outils à utiliser pour évaluer l'efficacité de la lutte antivectorielle dans le pays. Les documents existants émanent de l'OMS (protocoles à suivre, indicateurs pertinents...). Le centre collaborateur de l'OMS sur le territoire français est l'unité Caractérisation de contrôle des populations de vecteurs de l'IRD : celui-ci a pour mission de déterminer, en laboratoire et sur le terrain africain, l'efficacité et la rémanence des insecticides et des matériaux utilisables en santé publique contre les moustiques.

Quels indicateurs ?

L'essentiel des indicateurs entomologiques concerne *Aedes aegypti* (et par extension *Aedes albopictus*). Aucun indicateur n'existe pour les anophèles vecteurs du paludisme, les tiques, les culicoïdes, etc. Quelques documents du Rese rapportent des pratiques d'évaluation, mais celles-ci ont souvent été mises en œuvre sous la pression d'une crise, notamment lors de l'épidémie de chikungunya de 2005-2006 à la Réunion. En revanche, l'expertise collégiale de l'IRD citée précédemment présente des éléments de base d'une évaluation des actions de lutte contre *Aedes aegypti*. Bien qu'aucune méthodologie d'évaluation ne soit détaillée, le rapport insiste sur les indicateurs à utiliser pour mesurer la densité du vecteur. En effet, à défaut de fournir des indications sur le risque épidémique, l'estimation et le suivi de son abondance sont indispensables pour ensuite évaluer les actions de lutte antivectorielle : ses variations représentent alors un critère d'efficacité.

Reste, pour ce faire, la question de l'échantillonnage. Concernant les pathologies humaines, l'échantillonnage des femelles venant piquer un individu est *a priori* la seule méthode qui permettrait de décompter et de les examiner au moment où elles sont susceptibles de transmettre le virus. Mais un tel échantillonnage présente deux inconvénients majeurs. D'une part, les points de surveillance doivent être nombreux. D'autre part, les risques de transmission du virus de la dengue aux agents ne sont pas négligeables, ce qui n'est guère acceptable au plan éthique. Des pièges de substitutions à « l'appât humain » ont donc été expérimentés (pièges à CO₂, pièges pondoirs, pièges à moustiquaire, pièges à appâts animaux). Bien qu'approximatif, ce suivi permet d'avoir une idée de la densité des populations et de leur variation dans le temps et dans l'espace. Quant aux pathologies transmises

par les tiques à l'homme et surtout au bétail, les méthodes d'échantillonnage doivent encore être améliorées et les indicateurs mieux définis (présence, densité, seuil...).

Autre moyen d'évaluer la densité de vecteur : l'échantillonnage des populations préimaginales. Cela est possible essentiellement pour les moustiques. À cet égard, un comptage exhaustif des larves, même limité à des échantillons de gîtes, est extrêmement fastidieux. Les critères de l'OMS, utilisés dans le monde entier, reposent plutôt sur l'évaluation du nombre de gîtes renfermant des larves (sur la base d'un échantillonnage de quartiers ou d'habitations). Les trois critères couramment utilisés jusqu'à ce jour sont l'indice habitation, l'indice de Breteau et l'indice récipient. La productivité des gîtes est toutefois très disparate selon leur emplacement (pot de fleur, réserve d'eau...). D'où la proposition d'un nouvel indice, l'indice de productivité ou indice de Breteau pondéré, dont l'expertise de l'IRD a recommandé la généralisation.

Quels textes réglementaires ?

La réforme introduite par l'article 72 de la loi n° 2004-809 confie de manière très précise la responsabilité du suivi entomologique à l'État. Il est d'ailleurs précisé dans l'article R. 3114-9 du CSP que dans les six départements où s'appliquent les dispositions de l'article R. 3114-5 « ... la surveillance entomologique des insectes vecteurs et en particulier la surveillance de la résistance de ceux-ci aux produits insecticides [...] restent de la compétence du préfet ». À l'État donc de s'assurer de l'efficacité de ces produits. Toutefois, ce dernier ne dispose pas toujours de cette compétence. Il peut donc, par arrêté, transférer cette charge au service responsable de la lutte.

Exemple : l'article 11 de l'arrêté préfectoral de la Haute-Corse portant délimitation des zones de lutte contre les moustiques (*Aedes albopictus* surtout) souligne que « les services chargés de la lutte contre les moustiques assurent un suivi des actions de lutte avec vérification mensuelle de l'efficacité du traitement en termes de productivité de gîtes, ces informations étant rapportées sur la fiche relative au gîte. Ils transmettent au préfet les informations nécessaires à l'évaluation du dispositif et notamment, les informations [...] relatives à la sensibilité des vecteurs » (source : Dass de Haute-Corse, 2007). Dans la logique, ces informations doivent être transmises aux Directions départementales des affaires sanitaires et sociales (Ddass).

Enfin, dans le cadre du plan antidissémination du chikungunya et de la dengue en métropole, la surveillance entomologique a pour objectif « dans les zones où le moustique a été identifié ou bien est implanté, d'estimer la densité des vecteurs et de suivre l'efficacité des actions de contrôle de la prolifération » (source : fiche 1 relative à la surveillance entomologique).

Quelles lacunes ?

Le rapport de la mission interministérielle, qui associait l'Inspection générale de l'administration (IGA), l'Igas et l'Inspection générale de l'environnement (IGE) et qui portait sur la réorganisation des services de lutte antivectorielle, (2006) a soulevé « le manque flagrant de méthodes et outils d'évaluation de l'efficacité de la lutte antivectorielle ». « Rien ne permet de démontrer à ce jour qu'elle est efficace » est-il ajouté.

La même année, et pendant l'épidémie de chikungunya, un autre rapport d'une mission d'appui à la lutte contre l'épidémie de chikungunya à la Réunion a évoqué la difficulté d'évaluer l'efficacité des actions menées. Les auteurs dénoncent « le manque d'outils permettant le suivi des densités de vecteurs » et « l'absence de données sur la sensibilité du vecteur *Aedes albopictus* ».

Publication d'une revue spécialisée

La première revue à visée exhaustive de la situation française vient d'être publiée (octobre 2008). L'enquête, réalisée par Julien Fecherolle dans le cadre de son mémoire d'ingénieur du génie sanitaire, avait pour principaux objectifs de demander aux services si et comment ils évaluaient l'efficacité de leurs actions, d'une part, et de connaître leurs attentes en matière d'évaluation, d'autre part. Cette enquête s'est appuyée sur un questionnaire envoyé aux personnes concernées (une vingtaine de questions ouvertes, voir CD-ROM) et sur des entretiens téléphoniques. Les questions traitaient essentiellement de l'évaluation dans sa dimension entomologique. Quelques-unes relatives à l'évaluation de la structure (matériel, degré de connaissance des opérateurs...) et du processus ont également été ajoutées.

Ce sont les services les plus opérationnels en matière de lutte antivectorielle ou de démoustication qui ont été contactés (au regard de la loi du 13 août 2004), soit 16 en tout : organismes publics de démoustication en métropole continentale, conseils généraux et structures du ministère de la Santé pour la Corse-du-Sud, Mayotte, la Guadeloupe, la Martinique et la

Guyane. La Polynésie française, la Nouvelle-Calédonie, Wallis-et-Futuna n'ont pas été sollicités pour cette enquête.

Ce travail a permis d'interroger les services sur les fréquences et attendus de l'évaluation de l'efficacité des actions sur les objectifs opérationnels de lutte antivectorielle, sur les méthodes d'évaluation de l'efficacité des actions (indicateurs entomologiques et sociologiques, seuils et méthodes de mesures pour *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, les *Anopheles* et les moustiques nuisants, sensibilité aux insecticides et efficacité des produits biocides), et enfin sur l'évaluation du personnel et du matériel (voir les résultats de l'enquête par opérateur et par espèce vectrice sur CD-ROM).

QUELQUES ENSEIGNEMENTS SUR LA SITUATION FRANÇAISE

L'évaluation des actions de santé publique implique une culture de l'évaluation et une approche méthodologique spécifique qui ont de tout temps été l'apanage des pays anglo-saxons. En revanche, on observe un déficit structurel en la matière en France, y compris dans le cas de la lutte antivectorielle.

Côté vétérinaire, tout reste à faire : rien n'existe dans le domaine de l'évaluation de la lutte contre les vecteurs d'intérêt vétérinaire. En l'absence de stratégie et d'orientation nationale ou régionale et en l'absence d'indicateurs, les actions locales ou individuelles de lutte antivectorielle ne peuvent pas être évaluées.

Il n'y a pas de culture de l'évaluation en France, ni de partage des expériences en santé publique, et encore moins en lutte antivectorielle qui, jusqu'à ces dernières années, était non prioritaire. L'évaluation implique le regard extérieur et la multidisciplinarité des approches : acteurs de la lutte antivectorielle, de la santé humaine et animale, de l'environnement, de disciplines quantitatives et qualitatives...

Les services ont des visions différentes sur l'évaluation, ainsi qu'une connaissance et une interprétation de l'évaluation de l'efficacité très différentes, tel est l'un des aspects révélé par l'enquête de Julien Fecherolle : tous les services n'emploient pas les mêmes termes pour expliquer les mêmes choses. L'évaluation des actions de santé publique demande une culture et une méthode qui n'est pas ancrée dans la culture des services publics de lutte en France.

Les acteurs confondent « suivi » et « évaluation ». La même enquête montre que ces derniers ne font pas la distinction entre le suivi en continu d'indicateurs et l'évaluation de l'efficacité des actions. Or, l'idée n'est pas seulement de posséder des données entomologiques et de les collecter, mais de les analyser, de les comparer, de les interpréter... autrement dit de les « faire vivre » pour être en mesure de porter un jugement.

Le manque de repères et un certain nombre de lacunes sont particulièrement dommageables : peu d'outils existent, des textes réglementaires parfois difficiles à interpréter (les uns évoquent un « suivi d'efficacité », d'autres « une évaluation du dispositif », etc.). En bref, les objectifs opérationnels sont trop rarement définis avec clarté et mesurables, ce qui rend difficile la définition d'un seuil d'efficacité. Les indicateurs sont parfois inexistantes ou peu fiables et leur adéquation rarement vérifiée. Or, ils sont aussi variés que les contextes entomologiques et épidémiologiques locaux. Les plaintes et la densité de moustiques à travers les indices larvaires représentent toutefois des critères pertinents, mais à améliorer.

Les recommandations ne sont pas toujours appliquées. C'est ainsi que les recommandations proposées par l'expertise collégiale sur la dengue dans les DFA ne se sont que partiellement traduites dans les faits. Or, ces recommandations étaient pertinentes pour le suivi et l'évaluation de l'efficacité des actions de lutte antivectorielle contre *Aedes aegypti*. Il en va de même de celles de la mission IGA-Igas-IGE de 2006. Exemple : l'usage de l'indice de Breteau pondéré ne s'est toujours pas généralisé dans les DFA.

Quelques expériences encourageantes méritent toutefois d'être signalées. Des évaluations ont en effet été menées occasionnellement : *kass moustik* à la Réunion, opérations Toussaint à la Guadeloupe. Ces évaluations ont parfois été suivies d'effets. L'un d'entre eux est la création de l'indice de Breteau pondéré à la Martinique. En métropole, l'EID Méditerranée a des perspectives prometteuses et mobilise des moyens importants pour évaluer l'efficacité et l'impact des actions de démoustication : une recherche opérationnelle sur les méthodes de piégeage est en cours. Enfin, le service de lutte antivectorielle de la Réunion travaille actuellement sur le choix des indicateurs.

Plusieurs services ont déjà pratiqué l'évaluation de l'efficacité des actions et ont modifié leurs protocoles. La plupart d'entre eux sont aussi conscients que l'évaluation est nécessaire à l'amélioration des actions, et souhaitent un soutien dans la mise en place de l'évaluation.

RECOMMANDATIONS

■ Rappeler les règles de base de l'évaluation

Même si aucune méthode de lutte antivectorielle ni d'évaluation n'a de valeur universelle, il existe un cadre générique d'évaluation des interventions. En particulier, le processus se déroule en trois phases : information (recueillir des informations), appréciation (analyser les données, porter un jugement), proposition (faire des recommandations pour des améliorations).

■ Définir des objectifs clairement mesurables et des indicateurs d'efficacité

Sans repère, sans objectif opérationnel, clairement définis et mesurables, et sans critères ni indicateurs d'efficacité reconnus et validés par la communauté scientifique, les services ne peuvent évaluer l'efficacité des actions. À court terme, l'État, qui définit la stratégie nationale, devrait fixer dans le cadre des ARS (et GIP) les priorités, objectifs opérationnels mesurables à atteindre, indicateurs ainsi que la manière d'évaluer ces actions, en s'entourant d'avis d'experts. Il est nécessaire que les opérationnels puissent s'appuyer sur les mêmes règles et des textes de références harmonisés.

■ Renforcer les travaux de recherche sur les indicateurs

L'État doit organiser la mise en place d'un comité pluridisciplinaire d'experts en santé publique, en santé vétérinaire et en environnement, pour définir les indicateurs épidémiologiques et entomologiques indispensables à l'évaluation de la lutte antivectorielle dans différents systèmes vectoriels.

■ Améliorer les outils de surveillance entomologique et le suivi d'efficacité

L'amélioration de l'obtention des données constitue un point majeur pour optimiser la lutte contre les maladies à transmission vectorielle. Il faut assurer une traçabilité des actions de lutte antivectorielle, un enregistrement rigoureux des données et leur analyse statistique.

■ Développer les partenariats et les réseaux

La définition des objectifs et des indicateurs, leurs interprétations, leurs analyses, les corrections possibles sont souvent complexes. Par ailleurs, certaines expertises sont rares et devraient être partagées. Il en va de même de la formation. Il faut donc mettre en place des réseaux plus formalisés impliquant acteurs de la recherche, opérateurs de la lutte antivectorielle et décideurs.

[...]

RECOMMANDATIONS

[...]

Le vectopôle en cours de création à l'initiative de l'IRD, le Cirad, l'université de Montpellier et l'EID Méditerranée, en partenariat avec la Direction générale de la santé (DGS), l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments (Afssa), l'Agence française de sécurité sanitaire environnementale et du travail (Afsset) et l'Institut de veille sanitaire (InVS) devraient permettre de développer au mieux une expertise entomologique et guider les services. L'Adege pourrait également jouer un rôle important (formation, échange d'informations, audits croisés).

Évaluation économique : le retard de la France⁹

Comme divers rapports l'ont souligné à maintes reprises, les politiques françaises de santé publique et vétérinaire souffrent d'une grave carence en matière d'évaluation, notamment économique. Cela vaut en particulier pour la lutte antivectorielle. Le cas de la fièvre catarrhale ovine (FCO) constitue l'un des exemples emblématiques : il est à ce jour quasi impossible d'évaluer quantitativement les pertes directes liées à cette épizootie (mortalités, amaigrissement, diminution de la production de lait, problèmes de fertilité et d'avortements) comme les pertes indirectes (liées aux restrictions de circulation ou d'échanges d'animaux, au maintien dans les exploitations d'animaux destinés à l'exportation). C'est d'ailleurs la raison pour laquelle, au mois de mars 2008, le ministère de l'Agriculture et de la Pêche a mis en place un observatoire national destiné à assurer un meilleur suivi et une meilleure évaluation des conséquences économiques de la FCO.

En préalable au développement qui suit, il est par ailleurs important de préciser que les notions d'« évaluation économique des pathologies vectorielles » et d'« évaluation de la lutte antivectorielle » sont étroitement liées mais non équivalentes : les coûts de la lutte antivectorielle (ou coûts directs) représentent une partie des coûts de la maladie. De plus, lors de l'évaluation des coûts/avantages de la lutte antivectorielle, il est important d'apprécier la « rentabilité » des dépenses engagées au regard de celles qu'entraîneraient d'autres stratégies potentielles de santé publique. L'analyse économique de la lutte antivectorielle fera donc nécessairement référence au poids économique des maladies.

OBJECTIFS ET MÉTHODES

Les décideurs, publics et/ou privés, ont notamment pour tâche de décider de l'allocation des ressources limitées, par définition, aux actions de

⁹ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 8 : « Quelles sont les approches économiques de la lutte antivectorielle ? ».

santé considérées comme prioritaires. Mais, comment définir les priorités ? L'évaluation économique de la lutte antivectorielle vise précisément à leur fournir un ensemble de critères afin qu'ils puissent fonder leurs décisions sur les coûts et conséquences des différentes options possibles et comparer *in fine* ces options « concurrentes ».

L'intérêt de l'évaluation économique

L'intérêt de l'évaluation économique permet de dépasser la simple évaluation « intuitive » et de mettre en évidence les stratégies en concurrence, d'une part, et l'influence du choix de point de vue d'étude, d'autre part. En ce qui concerne les stratégies, ce n'est qu'en procédant à une analyse et à une description systématique des actes de prévention, de traitement, des types d'organisation, etc. que l'on peut les identifier : pour l'instant, les analyses menées en France n'ont pas suivi cette démarche. Sur le second aspect, il apparaît qu'en France, seul le point de vue des opérateurs publics est retenu, rarement celui de la société ou autre, qui conduirait sans doute à une stratégie de santé différente.

Enfin, l'évaluation économique donne une conclusion conforme aux principes du calcul économique : la « meilleure » décision est retenue sur la base de son coût d'opportunité et non pas de son coût au sens seulement comptable (la meilleure décision a le coût d'opportunité le plus faible).

Les méthodes d'évaluation économique

Les méthodes d'évaluation économique peuvent être regroupées en trois catégories, selon que les conséquences sont mesurées en termes physiques, monétaires ou subjectifs. D'une manière générale, l'évaluation économique de la lutte antivectorielle consiste à établir pour chaque stratégie de santé une relation entre les coûts et les conséquences de cette stratégie. L'analyse dite coût-efficacité est sans doute la plus simple à mettre en œuvre et, de fait, la plus utilisée.

Analyse coût-efficacité

La stratégie la plus intéressante n'est pas forcément la moins coûteuse mais celle qui produit le meilleur effet à moindre coût. Pour les différentes options de lutte envisagées, il faut associer une mesure d'efficacité commune (nombre d'années de vie gagnées, nombre de cas évités, etc.) pour

obtenir un coût par unité d'effet (par exemple X euros par année de vie gagnée) ou, de façon équivalente, un effet par unité de coût (par exemple nombre d'années de vie gagnées par euro dépensé). L'analyse coût-efficacité permet d'effectuer des comparaisons intra-nationales et internationales si la mesure d'efficacité utilisée est la même.

Analyse coût-bénéfice

Si les conséquences des différentes stratégies considérées ne sont pas identiques ou s'il y a plus d'un effet attendu pour au moins une stratégie, une analyse coût-efficacité serait inadaptée (voir CD-ROM). L'idée est alors d'agréger les différents critères en se référant à un dénominateur commun monétaire (les critères comme les années de vie gagnées, les cas de maladie évités, etc. sont convertis en unité monétaire). Conséquences et coûts des différentes stratégies étant exprimés dans une même unité (monétaire), on peut utiliser soit les ratios coût/bénéfice, soit les bénéfices nets de mise en place des stratégies. Cette approche peut se révéler particulièrement adaptée pour mesurer l'impact des effets non intentionnels de la lutte antivectorielle et son acceptabilité par la population.

Analyse coût-utilité

Cette méthode exprime les effets des stratégies de santé en termes de préférences pour les individus ou pour la société. On suppose que les agents économiques ont des préférences ou atteignent certains niveaux de satisfaction ou d'utilité sur les états de santé que peuvent réaliser les diverses stratégies. Cela revient donc à normaliser en termes non monétaires les différents effets auxquels conduisent ces stratégies (voir CD-ROM). Ce type d'analyse peut être particulièrement adapté si l'on intègre dans les préoccupations de l'étude des effets qualitatifs tels que la douleur ou le confort liés aux traitements.

Pré-requis pour l'application de ces méthodes

Les analyses coût-avantage décrites précédemment utilisent des mesures des coûts et des effets de santé. Pour l'analyse de coûts, on doit disposer de données sur les coûts de consommation des ressources médicales (médicaments, médecine ambulatoire, hospitalisation, équipements, etc.) et de la lutte antivectorielle, mais aussi des coûts pour le malade et ses proches. Quant à la mesure d'efficacité d'une stratégie, elle est établie et évaluée en effets de santé physiques ou en termes monétaires ou de préférences.

CONTEXTE ÉCONOMIQUE DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE

Avant d'envisager une évaluation économique des maladies vectorielles ou de la lutte antivectorielle, certaines caractéristiques susceptibles d'influer sur la façon de procéder doivent être précisées.

Les externalités et le concept connexe de bien public

Les externalités et le concept connexe de bien public induisent des défaillances de marché qui mettent notamment en lumière l'importance des comportements individuels dans l'élaboration des politiques de lutte antivectorielle. Une externalité survient lorsque l'activité de consommation ou de production de certains agents économiques influe positivement ou négativement sur la consommation ou la production d'autres agents, sans que cette influence s'exprime par le biais des prix. Dans le cas de la lutte antivectorielle, ce peut être l'usage individuel de moustiquaires traitées pour réduire la transmission du paludisme, le mauvais entretien d'un jardin propre à favoriser la prolifération de vecteurs, etc. Le problème vient de ce que les externalités ne sont pas prises en compte par les individus qui les génèrent dans leurs choix. Bénéfices et coûts privés ne sont donc pas alignés sur les bénéfices et coûts sociaux (voir CD-ROM).

En ce qui concerne la notion de bien public (environnement, éducation...), il peut profiter à tous sans que l'on puisse en exclure certains agents. L'un des problèmes tient à ce qu'il est difficile d'inciter les individus à contribuer à sa production ou à son financement (« si j'en bénéficie de toute manière, pourquoi y contribuerais-je ? »). Exemples de contributions au bien public dans le cas de la lutte antivectorielle : surveillance épidémique, pulvérisation d'insecticide, gestion environnementale, éducation en santé, etc. En matière de biens publics de type environnemental (biens publics globaux), leur production dépend des plus petites contributions individuelles.

Les asymétries d'information

Les asymétries d'information sont également déterminantes dans l'évaluation de la lutte antivectorielle. Typiquement, certains agents (ménages, patients, éleveurs...) disposent de moins d'information que d'autres (professionnels de santé, État, collectivités) sur les divers aspects de cette lutte. C'est ainsi que le manque d'information peut conduire les ménages à ne pas

adopter les bons comportements de prévention, à ne pas vacciner ses animaux, etc.

L'intervention publique

L'intervention publique est nécessaire pour pallier les trois défaillances de marché qui viennent d'être évoquées, que ce soit par la fourniture directe du service de lutte antivectorielle par l'État, ou par des choix d'orientation stratégique de cette lutte, ou encore par la délégation d'une partie de la lutte à d'autres agents. Elle peut également se traduire par des campagnes d'information et de communication ou en termes réglementaires et/ou législatifs.

Concernant les agents privés, des mécanismes d'incitation peuvent leur être proposés par l'État, notamment des mécanismes susceptibles d'induire leur plus grande participation à la fourniture du bien public (subventions à l'achat de moustiquaires...). Pour les cas où certains aspects de la lutte antivectorielle sont délégués à d'autres agents (publics ou privés), cette délégation de gestion peut à son tour créer des situations d'inefficacité (aléa moral) qui nécessitent la mise en place d'autres mécanismes incitatifs.

Du point de vue de l'évaluateur, les intérêts des agents privés (ménages, fournisseurs de soins, entreprises de dératisation-déinsectisation-démoustication, etc.) doivent être pris en compte dans l'évaluation des stratégies de lutte afin d'intégrer explicitement les caractéristiques économiques fondamentales que sont les externalités, le bien public et l'aléa moral. S'il n'était tenu compte que du seul intérêt du financeur public, on serait amené à surévaluer certains effets de la lutte car ceux-ci sont tributaires des comportements des agents privés.

Standards internationaux

La plupart des études publiées dans les ouvrages et revues académiques ainsi que par les organisations internationales (OMS, Banque mondiale) traitent de la lutte contre le paludisme. Au-delà, les évaluations économiques de lutte antivectorielle portent également sur la dengue, la maladie de Chagas, la fièvre à virus *West Nile*, le chikungunya, la maladie de Lyme et la trypanosomose. Par ailleurs, les études portent le plus souvent sur des pays dont le développement économique et le niveau de vie sont moindres que ceux des régions françaises affectées par ces mêmes maladies. Reste que les

méthodologies employées ainsi que nombre d'enseignements tirés de ces études peuvent aider à l'amélioration de l'évaluation des maladies à transmission vectorielle et de la lutte contre ces maladies.

Les approches macro et micro-économiques

Les approches macro et micro-économiques pour la mesure du coût de la maladie sont complémentaires. La première se fonde sur une étude économétrique du taux de croissance du PIB en utilisant, comme facteurs explicatifs, des indicateurs de santé liés aux maladies vectorielles (morbidité...) en plus des variables habituelles (localisation, type d'organisation économique...). La seconde se fonde en revanche sur l'impact de la maladie sur les agents économiques publics et privés, les effets individuels étant ensuite agrégés pour obtenir l'effet global (au niveau d'une région ou d'un pays). L'approche micro-économique contribue à mieux saisir les canaux de transmission des coûts et stratégies auprès des ménages, des entreprises et des agents publics. Elle est plus pertinente pour l'examen d'une amélioration des stratégies de lutte antivectorielle même si elle ne prend pas parfaitement en compte les effets externes.

L'impact économique

L'impact économique des maladies vectorielles est indéniable, comme le montre toute la littérature académique sur la question. Les pays affectés par ce type de maladies connaissent en conséquence une croissance beaucoup plus faible que les autres pays.

Principaux canaux de transmission de la maladie à l'économie

La productivité des êtres humains atteints par une maladie à transmission vectorielle se trouve réduite (fatigue, absentéisme...), d'où un coût pour l'entreprise. La productivité des proches d'un malade peut elle-même se voir réduite (assistance auprès du malade...). La maladie pourrait également affecter l'accumulation de capital humain, notamment chez les enfants (facultés cognitives amoindries...).

Le domaine vétérinaire subit des dommages du même ordre : mauvaise santé des animaux, pertes de production, problèmes de reproduction... mais aussi dépréciation de la laine ou de la viande, diminution de la force de traction des bœufs de trait dans les zones soumises au risque lié aux trypanosomes.

Un investissement direct réalisé dans un pays touché par ces maladies est alors perçu comme moins rentable qu'ailleurs. Les investissements à long terme risquent donc en moyenne de se détourner d'un pays affecté. Parallèlement, on peut enregistrer des baisses de fréquentation touristique, alors que le tourisme représente parfois pour ces pays un secteur vital (la Réunion, île Maurice...).

Enfin, la présence de maladies vectorielles entraîne une réduction des échanges commerciaux mais aussi de la mobilité des individus entre zones infectées et non infectées. Les individus avec le capital humain le plus élevé risquent d'éviter ou de fuir les zones touchées. Ce point est crucial dans le domaine vétérinaire : les pays où sévissent des maladies réglementées connaissent des entraves aux exportations, d'où des pertes indirectes considérables et la déstabilisation éventuelle de filières.

Choix de la méthode d'analyse coût-avantage

Dans les études internationales, la principale méthode d'évaluation de l'impact économique d'une maladie vectorielle utilisée à ce jour, et la plus simple à mettre en œuvre, est l'analyse coût-efficacité. Il pourrait toutefois être pertinent de se tourner vers une analyse coût-bénéfice, notamment pour prendre en compte des effets non intentionnels de la lutte antivectorielle (pollution environnementale, par exemple).

Point de vue adopté

Le point de vue adopté dans ces analyses est, la plupart du temps, celui de la société. Les intérêts de tous les agents économiques sont donc pris en considération. Dans la mesure où les maladies vectorielles affectent les agents privés, d'une part, et que ces derniers sont un maillon important de la lutte antivectorielle, d'autre part, il est essentiel d'intégrer leur point de vue. Ainsi, certaines stratégies seront jugées plus « efficaces » si l'on ne retient que le seul point de vue de l'État, alors que leur efficacité réelle peut être mise en doute si elles se traduisent par des coûts plus importants pour les agents privés. Cela conduit à nuancer voire, parfois, à inverser les conclusions (voir un exemple au Sri Lanka sur CD-ROM).

Mesure des coûts de la maladie et de la lutte antivectorielle

Comme cela a été rappelé en introduction, ces deux types de coûts sont étroitement imbriqués. Les dépenses liées à la lutte antivectorielle seront considérées comme un investissement visant à réduire les coûts associés au

poids économique de la maladie. Quant aux dépenses liées aux maladies, elles comprennent celles liées à la prévention, au diagnostic et au traitement.

D'une manière générale, on distingue les coûts directs des coûts indirects. Les premiers concernent les interventions et soins médicaux supportés par le secteur public et les agents privés. Les coûts indirects, dans le domaine vétérinaire, comptent les pertes de productivité dues à la maladie et les conséquences sur les filières de production. En santé publique, ces coûts indirects sont estimés par les revenus perdus du fait de la maladie ou d'un décès. Idéalement, il faudrait ajouter des effets plus intangibles, et difficiles à évaluer, comme le coût de la douleur.

Des mesures d'efficacité standardisées

Les études utilisent de plus en plus des mesures d'effet de santé standardisées, sous l'impulsion de guides de bonnes pratiques de l'évaluation rédigés par l'OMS ou la Banque mondiale. Parmi les mesures classiques : le « nombre de décès évités », ou *Death Averted* (DA), et le « nombre d'années de vie gagnées actualisées », ou *Discounted Life Years Gained* (DLYG). Mais la plus en vogue est celle des « années de vie corrigées du facteur d'invalidité » (AVCI), ou *Disability Adjusted Life Years* (DALY), proposée par la Banque mondiale et l'OMS en 1993.

Il s'agit d'un indice composite non monétaire qui évalue l'impact de la mortalité et de la morbidité causées par la maladie, sur la base d'une agrégation des « quantités » de temps, de capacités ou d'activités professionnelles perdues. Certaines études utilisent même les AVCI comme mesure de l'impact économique en cas d'absence de données pertinentes de coûts. L'un de leurs principaux avantages est d'éviter l'usage de valeurs monétaires associées à des vies humaines (potentiellement problématique d'un point de vue éthique ou moral) et d'autoriser par sa normalisation une comparaison avec les AVCI pour d'autres maladies, d'autres pays, d'autres stratégies.

En revanche, aucune étude ne retient comme mesure d'efficacité un indicateur intermédiaire (par exemple, l'indice de densité vectorielle de type Breteau).

Période et zone d'étude

Les études couvrent de préférence une période suffisamment longue pour englober des phases endémiques et épidémiques, ce qui permet notam-

ment d'incorporer des effets de moyen et long terme. Au plan spatial, les petites zones d'études sont plus propices à la collecte de données économiques, épidémiologiques et entomologiques fiables et précises (homogénéité).

Conclusion sur les analyses coût-efficacité

Les études publiées dans la littérature se fondent dans la mesure du possible sur des enquêtes de terrain plutôt que sur des essais et des simulations, ce qui garantit une certaine robustesse des résultats. D'une manière générale, elles mettent bien en évidence l'impact économique des actions de lutte antivectorielle et leur efficacité (par rapport à la lutte contre d'autres maladies).

ÉVALUATION DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE EN FRANCE

Sur le territoire français, seules existent à ce jour quelques prémisses d'évaluation de l'impact économique des maladies vectorielles.

Les données recueillies

Les données recueillies se limitent aux coûts supportés par les opérateurs publics de la lutte antivectorielle (État, collectivités territoriales), avec une précision variable d'un département à l'autre (voir CD-ROM). Or comptabiliser uniquement les coûts n'apporte qu'un éclairage très partiel au décideur public. De plus, ces coûts ne représentent qu'une partie des dépenses : il conviendrait d'intégrer les coûts imposés aux agents privés (du fait des incitations en direction de ces agents notamment), lesquels doivent en outre être considérés différemment selon que l'on adopte le point de vue du secteur public ou celui de la société. Enfin, le calcul des coûts ne fait pas explicitement apparaître de dépréciation pour l'investissement en capital ou d'actualisation, et ne peut donc tenir compte de l'étalement éventuel des coûts dans le temps. D'où un manque de fiabilité, car la lutte antivectorielle se déploie à moyen ou à long terme.

L'approche économique

L'approche économique, quand elle existe, se limite donc à un calcul de coûts extrêmement hétérogènes. On peut cependant relever quelques analyses d'impact des maladies vectorielles, telle celle de l'Insee Réunion (2006

et 2007) relative à l'impact de l'épidémie de chikungunya sur l'économie de l'île. Mais ses résultats, en particulier celui d'un faible impact de la crise sur la croissance, doivent être relativisés pour des raisons méthodologiques. En France métropolitaine, c'est une évaluation des conséquences économiques de la fièvre catarrhale ovine (FCO) sur la filière broutard qui a été réalisée. Mais, là encore, cette analyse ne permet pas d'obtenir un coût global pour la filière (pour plus de détails sur ces deux études, voir CD-ROM).

Des scénarios de gestion de la lutte antivectorielle

Des scénarios de gestion de la lutte antivectorielle pourraient servir de base à une évaluation future. Les trois scénarios suivants d'organisation de lutte antivectorielle ont, par exemple, été envisagés pour deux départements, la Guadeloupe et la Guyane : gestion complète des actions au sein de la DSDS ; sous-traitance des actions mais maintien à la DSDS de l'évaluation du risque et du contrôle de l'efficacité des actions ; sous-traitance complète. Mais ils souffrent encore d'un grand nombre d'insuffisances (voir CD-ROM).

L'analyse économique

L'analyse économique de l'organisation de la lutte antivectorielle consiste à se placer dans le cadre d'une « relation d'agence » ou de « Principal-Agent », vu la délégation de gestion telle qu'elle est établie par la loi du 13 août 2004 (voir le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle ») : le Principal (l'État) délègue à un agent (le conseil général et la commune pour certaines missions). D'une manière générale, une relation d'agence se caractérise par une situation de double asymétrie d'information, l'agent disposant d'informations privées dont ne dispose pas le Principal. Concrètement, le conseil général ou la commune possèdent des informations (densité de vecteurs, situation sanitaire locale, etc.) dont ne dispose pas l'État. Par ailleurs, les actions de l'agent (du conseil général) prises dans le cadre de sa mission ne sont pas observables ou vérifiables par le Principal, à savoir l'État. D'où le risque de défaut de comportement de l'agent, la possibilité de conflits d'intérêt... (voir CD-ROM).

En bref, la difficulté de l'État est qu'il ne dispose pas des informations que détiennent les collectivités au niveau local. Par ailleurs, il ne peut se fonder sur le niveau de résultat pour en inférer les informations détenues de façon exclusive par les agents ou encore leur niveau d'effort, car le résultat

sanitaire suit un processus aléatoire qui échappe en partie aux actions de l'agent (il dépend par exemple de la démographie des vecteurs, de leur résistance aux interventions, du degré d'immunité des individus, de l'efficacité locale des produits biocides, etc.). En l'absence d'objectifs précis à atteindre et d'indicateur de suivi et d'évaluation, il est donc difficile pour l'État de prendre en défaut un conseil général ou une commune pour lui attribuer la mauvaise gestion de la lutte antivectorielle ou d'un épisode épidémique.

Cette situation de déficit informationnel peut entraîner deux types d'inefficacité du point de vue de l'État : la stratégie de lutte antivectorielle de l'État peut être inadaptée aux conditions réelles locales ; le niveau d'effort de lutte antivectorielle fourni par le conseil général ou la commune est inférieur ou inadapté à ce que l'État attend de lui pour atteindre ses objectifs. Concernant le premier type d'inefficacité, une solution serait d'associer davantage les collectivités locales à la définition des stratégies. Concernant le second, une solution serait de mettre en place dans la relation « contractuelle » un mécanisme incitatif conduisant le conseil général ou la commune à un effort plus important ou plus adapté aux attentes de l'État.

Une proposition acceptable consisterait à ne plus considérer le conseil général et la commune comme de simples agents exécutants mais comme des principaux à part entière. L'État, le conseil général et les communes formeraient un comité au sein duquel les décisions stratégiques et de mise en œuvre de la lutte antivectorielle seraient prises d'un « commun » accord. Une structure telle que le GIP pourrait constituer cet espace de coopération, même si elle n'est pas parfaite (risques de dilution de responsabilité notamment). Quoi qu'il en soit, le mode d'organisation est crucial car il peut non seulement entraîner des coûts d'agence plus ou moins élevés, mais également des dysfonctionnements dans la mise en œuvre de la lutte antivectorielle.

RECOMMANDATIONS

■ **Il faudrait créer une structure**, un groupe, ou un réseau d'experts capable de conduire ou d'orienter l'évaluation économique des maladies à transmission vectorielle et de la lutte contre ces maladies.

■ **Il faudrait adopter des méthodologies similaires** à ce qui se fait au niveau international, tant au plan de la mesure des coûts que de la mesure d'efficacité, afin que les décideurs puissent faire des comparaisons avec d'autres utilisations des ressources.

■ **Il faudrait des données fiables** sur l'efficacité et les coûts. Cela nécessite l'identification d'indicateurs, la mise en place d'enquêtes et de collectes de données homogènes d'une collectivité à l'autre ainsi qu'au niveau de l'État. Il est ainsi absolument nécessaire de réfléchir à des indicateurs entomologiques dans une optique d'évaluation coût-efficacité. L'accès aux données doit également être facilité pour multiplier les travaux scientifiques sur ce sujet.

■ **L'analyse coût-efficacité** étant la plus simple à mettre en œuvre, elle doit être privilégiée dans un premier temps. Ce type d'approche peut être, de façon relativement simple, étendue de manière à prendre en considération des aspects plus intangibles comme l'acceptabilité et les effets non intentionnels. On peut donc envisager à moyen terme l'application de méthodes d'évaluation plus sophistiquées (coûts-bénéfices ou coût-utilité).

■ **Le choix du mode d'organisation** de la lutte antivectorielle doit faire l'objet d'un examen approfondi de façon à minimiser les problèmes liés à la délégation ou les dysfonctionnements dans la mise en œuvre. Les collectivités locales devraient être davantage impliquées car elles disposent d'une meilleure information que l'État, et leur participation au processus de décision stratégique les inciterait plus fortement à collaborer pleinement les unes avec les autres ainsi qu'avec les services de l'État.

Effets non intentionnels de la lutte antivectorielle¹⁰

La notion d'effets non intentionnels (effets non voulus sur des espèces non-cibles) concerne tout particulièrement les mesures de lutte faisant intervenir des produits biocides. On distingue ceux qui s'exercent directement ou indirectement sur la santé humaine et animale (animaux domestiques), relevant du domaine de la toxicologie, de ceux qui affectent les différents compartiments de l'environnement (eau, sol, air, faune, flore), relevant du domaine de l'écotoxicologie. Depuis la mise en œuvre de la directive européenne 98/8/CE, dite « directive biocides », l'évaluation des effets non intentionnels est obligatoire pour toute substance active biocide et, à terme tout produit biocide formulé qui en contient et ce, en préalable à l'octroi d'une autorisation de mise sur le marché (voir le paragraphe sur le droit communautaire dans le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »).

Les études normalisées, pour la plupart conduites en laboratoire, permettent de classer *a priori* les substances actives et les produits dérivés par catégorie de danger pour la santé et pour l'environnement. Une fois les produits autorisés et utilisés, d'autres études circonstanciées, plutôt menées *in situ* et généralement hors du champ des exigences réglementaires, viennent souvent enrichir les connaissances en la matière et permettent d'adapter *a posteriori* les recommandations, sinon de restreindre l'usage des produits concernés. Les pages qui suivent seront exclusivement consacrées aux données toxicologiques et écotoxicologiques sur les principales substances actives biocides, que ce soit du fait de leur composition ou de leurs méthodes d'application, sur la base de la littérature et d'études menées ces dernières années.

¹⁰ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 9 : « Quelles sont les effets non intentionnels de la lutte antivectorielle ? ».

TOXICITÉ ET ÉCOTOXICITÉ DES PRODUITS BIOCIDES

Les principaux résultats évoqués ici, résumés de manière forcément succincte, s'appuient notamment sur des travaux de l'Afsset, sur un ensemble de documents d'homologation (français et européens) et sur un grand nombre de travaux d'agences, d'instituts ou de laboratoires français et étrangers (notamment américains et canadiens).

Évaluation des risques

L'évaluation des risques (conformément à l'annexe VI de la directive 98/8/CE, repris à l'annexe VI de l'arrêté français du 19 mai 2004) se déroule en trois étapes : identification des dangers, évaluation de l'exposition, caractérisation des risques. L'identification des dangers consiste à caractériser la toxicité et l'écotoxicité. Il existe des protocoles normalisés publiés par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) pour la réalisation d'études toxicologiques et écotoxicologiques spécifiques, qui permettent de produire des résultats avec un niveau de confiance maximal. Il est aussi possible de recourir à d'autres protocoles, dont la fiabilité est laissée au jugement des évaluateurs au cas par cas.

L'évaluation de l'exposition concerne non seulement l'applicateur lui-même, les personnes présentes au moment du traitement, les populations censées bénéficier des mesures de protection mais aussi l'environnement. L'exposition dépend de nombreux facteurs, extrêmement variables d'un contexte à l'autre, parmi lesquels on peut citer le type de formulation, le conditionnement du produit, la méthode et la dose d'application, la fréquence et la durée d'exposition et, dans le cadre d'études expérimentales (notamment en microcosmes), les conditions environnementales (biotiques et abiotiques ; voir les procédures sur CD-ROM).

Enfin, la caractérisation du risque pour l'homme nécessite de comparer les doses d'exposition mesurées ou estimées aux valeurs toxicologiques de référence (VTR). Le calcul des VTR demande le choix de l'effet toxicologique le plus pertinent et l'application de facteurs de sécurité pour extrapoler les résultats de l'étude expérimentale, réalisée sur l'animal (rat, lapin, chien...), pendant une certaine durée (21 jours, 90 jours, 2 ans...) pour une certaine voie d'exposition (orale, cutanée, inhalation) à l'homme. Le risque pour l'homme est considéré comme acceptable si la dose d'exposition est infé-

rieure à la VTR. Pour la caractérisation du risque environnemental, les concentrations d'exposition mesurées ou estimées sont comparées à la *Predicted No Effect Concentration* (PNEC), la concentration environnementale en dessous de laquelle le risque est considéré comme acceptable.

Pratiques et mesures de protection

Il existe des bonnes pratiques et des mesures de protection des applicateurs dans le cadre de la réglementation relative à l'utilisation des produits phytosanitaires (Code de la santé publique et Code rural), qui peuvent être transposables par extension aux produits biocides de lutte antivectorielle dont le mode d'utilisation est proche. Par ailleurs, au regard des dispositions du Code du travail, la plupart des produits insecticides entrent dans le champ des agents chimiques dangereux, et leur utilisation est soumise aux règles générales de prévention du risque chimique, décrites aux articles R. 231-54 à R. 231-54-17 de ce Code. Les dispositions réglementaires liées à la prévention du risque chimique sont explicitées dans la circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 relative aux règles générales de prévention du risque chimique¹¹, à laquelle il convient de se référer.

Ces règles visent à systématiser – sous la responsabilité de chaque employeur – l'application des mesures permettant, par ordre de priorité, d'évaluer le risque, de le supprimer, d'appliquer le principe de substitution prévu par cette réglementation, et de mettre en place des mesures de prévention adaptées à chaque situation de travail et au niveau des risques constatés.

Dans le cadre de ces mesures, en ce qui concerne l'utilisation de produits insecticides chimiques, l'employeur doit réaliser un suivi des expositions de tous les travailleurs exposés, par l'établissement de la liste des travailleurs exposés et de la fiche d'exposition (R. 231-54-15). Par ailleurs, les travailleurs exposés aux produits insecticides chimiques sont soumis à une surveillance médicale renforcée telle que définie aux articles R. 241-49 et R. 241-50 du Code du travail.

Parallèlement, l'employeur doit mettre en œuvre tous les moyens de protection des travailleurs contre les risques liés à l'utilisation de ces produits, en particulier des équipements de protection collective ou, à défaut, de pro-

¹¹ Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 relative aux règles générales de prévention du risque chimique et aux règles particulières à prendre contre les risques d'exposition aux agents cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction.

tection individuelle adaptés et correctement entretenus. Cela doit être accompagné d'une information sur le risque encouru et d'une formation à l'utilisation de ces équipements.

Depuis la création de l'Agence nationale pour la démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués (Adege) en 1996, les opérateurs publics de démoustication partenaires portent une attention accrue au respect des règles de bonnes pratiques, mais également à l'adoption de mesures de protection de leurs agents en charge des opérations de traitement.

Des fiches thématiques, élaborées sur la base d'une démarche participative, validées par décision en commission technique paritaire, ont pris place là où, parfois seuls, l'apprentissage oral et l'expérience étaient jugés suffisants. Les équipements de protection individuelle (EPI) sont choisis après consultation du personnel utilisateur. Certains opérateurs publics en démoustication comme, par exemple, l'EID Méditerranée, disposent depuis peu d'un personnel veillant à l'application des consignes d'hygiène et de sécurité, voire d'un responsable permanent. Dans ce même type de structure, la mise en place d'une démarche Assurance Qualité (ISO9000 version 2000) est envisagée à terme à l'échelon opérationnel.

Toxicovigilance

Les données de toxicovigilance servent de base à des études épidémiologiques. La toxicovigilance est la « surveillance des effets toxiques pour l'homme d'une substance, d'une préparation ou d'une pollution aux fins de mener des actions d'alerte, de prévention, de formation et d'information ». Elle s'appuie aujourd'hui principalement sur le réseau des Centres antipoison et de toxicovigilance (CAPTV). Dans le cadre de sa mission de surveillance des risques sanitaires, l'InVS a été chargé de coordonner les activités de toxicovigilance et de réaliser l'exploitation épidémiologique des données recueillies dans ce cadre. S'agissant de la lutte antivectorielle, le réseau des CAPTV a été sollicité, notamment lors de l'épidémie de chikungunya survenue dans l'océan Indien (2005-2006), afin d'évaluer les dangers de certaines molécules et de recenser les intoxications imputées aux produits utilisés dans ce cadre.

Impact environnemental des biocides

L'impact environnemental des biocides est étudié dans le cadre d'investigations scientifiques menées au-delà des seules exigences réglementaires à

finalité d'homologation. Celles-ci permettent d'enrichir les connaissances ou d'évaluer un impact possible d'une stratégie dans son ensemble ou d'une méthode de lutte particulière, ou bien encore d'élaborer une méthodologie adaptée à l'évaluation des effets aux conditions et aux milieux tout à fait particuliers dans lesquels sont réalisées les opérations de démoustication ou de lutte antivectorielle. Les principales études menées en France au cours des dix dernières années sont caractérisées par le fait qu'elles se sont appuyées sur une collaboration souvent étroite entre un ou plusieurs organismes de recherche et les opérateurs publics de la démoustication (voir CD-ROM), en particulier :

- 1998-2001 et 2005-2007 : programme d'évaluation à long terme des effets de la démoustication dans le Morbihan ;

- 1999-2003 : étude comparative *in situ* (mésocosme) des effets du *Bti* et du téméphos sur les arthropodes aquatiques non-cibles (dans le cadre du programme européen Life Environment) ;

- 2005-2007 : programme de recherche sur l'évaluation du risque environnemental lié aux traitements larvicides de démoustication à base de *Bti*, de diflubenzuron et de spinosad et harmonisation des méthodes applicables aux invertébrés non-cibles dans les zones humides littorales méditerranéennes et atlantiques (dans le cadre du Programme national d'écotoxicologie-Pnetox) ;

- 2006 : premier bilan sur les impacts des traitements antimoustiques dans le cadre de la lutte contre le chikungunya sur les espèces et les milieux de l'île de la Réunion (expertise collégiale et multidisciplinaire, Diren-Réunion).

REVUE DE QUELQUES SUBSTANCES BIOCIDES

Aucune substance biocide ne présente une innocuité absolue. Seule une utilisation en toute connaissance de cause permet d'en maîtriser les risques. Les résultats des études qui viennent d'être évoquées sont, pour une part, résumés dans le tableau 9 (pour en savoir plus, voir CD-ROM). Ne sont évoquées dans ce tableau que les substances actives biocides ayant fait l'objet d'une notification pour les types de produit n° 18 et pour lesquelles un dossier a été soumis à la Commission européenne en vue de leur examen et de leur inscription sur la liste positive des substances actives (voir le paragraphe sur le droit communautaire dans le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »).

Tableau 9 – Carte d'identité des substances actives biocides*

Substance	Famille (mode d'action)	Toxicité	Écotoxicité	Impact environnemental
Adulticides Deltaméthrine	Pyréthroïde (neurotoxique)	Toxique par inhalation et ingestion. Faible toxicité systémique lors d'application sur la peau. Cas d'intoxications humaines rapportés (agriculteurs, ouvriers des usines de production). Pas d'effets mutagènes, clastogènes ou cancérogènes relevés.	Non toxique pour les vers de terre et les gastéropodes. Très toxique pour les insectes (abeilles...) et pour les organismes aquatiques.	Très forte toxicité sur les invertébrés aquatiques. Faible persistance dans les milieux aqueux mais possibilité d'accumulation dans les sédiments de milieux naturels. Sa conversion en isomères moins actifs et sa dégradation sont favorisées par la lumière solaire (photodégradation).
Perméthrine	Pyréthroïde (neurotoxique)	Toxicité aiguë modérée mais neurotoxique à forte dose. Non irritante, ni sensibilisante pour la peau. Ni génotoxique, ni cancérogène, ni reprotoxique.	Faiblement toxique pour les algues d'eau douce, très toxique pour les invertébrés aquatiques et pour les poissons. Absence de bioaccumulation, mais certains produits de dégradation seraient plus toxiques pour les algues que le composé original.	Effets négatifs parfois importants sur les invertébrés aquatiques en rivière. Dans les milieux stagnants, effets négatifs, mais temporaires sur des invertébrés non-cibles. Ces effets ne sont toutefois pas observés systématiquement.
Pyréthre	Extrait des pétales de fleurs de <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> ou de <i>Chrysanthemum coccineum</i> ou autres plantes vivaces d'Europe de l'Est et du Caucase (neurotoxique).	Effets allergisants éventuels. Non mutagène, non cancérogène, non tératogène ni toxique pour la reproduction.	Toxicité importante pour les invertébrés aquatiques et les poissons, augmentant avec la température et l'acidité de l'eau. Faible toxicité pour les oiseaux. Toxicité élevée pour les abeilles.	Les constituants du pyréthre sont rapidement dégradés en milieu aquatique naturel. Risque faible pour les organismes non-cibles.

Tableau 9 (suite) – Carte d'identité des substances actives biocides*

Substance	Famille (mode d'action)	Toxicité	Écotoxicité	Impact environnemental
Adulticides Naled	Organophosphoré (neurotoxique)	Très toxique par inhalation, toxique par voie cutanée, nocif par absorption orale. Non mutagène ni cancérigène. Pas d'effet sur la reproduction. L'un de ses métabolites (dichlorvos) est, en revanche, considéré comme cancérigène possible.	Toxicité significative pour les plantes aquatiques. Très toxique pour les invertébrés aquatiques d'eau douce et les invertébrés estuariens. Toxicité modérée à très élevée pour les poissons. Toxicité modérée à élevée pour les oiseaux par exposition aiguë et légère par voie alimentaire. Toxicité élevée pour l'abeille domestique.	Une analyse du risque associé à l'utilisation de naled en application ULV contre les moustiques vecteurs du virus <i>West Nile</i> a permis de conclure à l'existence d'un risque faible pour les organismes considérés dans les conditions de l'analyse.
Larvicides <i>Bacillus thuringiensis</i> <i>ser. israelensis</i> (<i>Bti</i>)	Bactérie à endospore (toxique pour le système digestif : destruction des cellules épithéliales).	Dépourvu de toute toxicité chez les organismes n'ayant pas un pH intestinal alcalin ou ne possédant pas les récepteurs des toxines. Non mutagène ni cancérigène et non toxique pour la reproduction.	Faiblement toxique pour les mammifères et oiseaux. Bonne tolérance par les vertébrés aquatiques, poissons et amphibiens, et par la plupart des invertébrés. La famille des <i>Chironomidae</i> est fortement affectée. Faible danger pour les arthropodes aquatiques non visés. La famille des Diptères <i>Chironomidae</i> est en revanche sensible. Pas d'effets indirects sur les prédateurs ou les nécrophages. Non toxique pour les abeilles ni, semble-t-il, pour les végétaux terrestres, semi-aquatiques, ou aquatiques.	Résultats variables (selon les conditions environnementales) concernant l'effet de plusieurs formulations de VectoBac® sur des communautés d'insectes, dans les milieux aquatiques. En général, pas d'effet négatif sur la faune benthique, sauf parfois pour certains diptères non-cibles. Bio-insecticide préconisé par l'OMS en remplacement des insecticides chimiques.

Tableau 9 (suite) – Carte d'identité des substances actives biocides*

Substance	Famille (mode d'action)	Toxicité	Écotoxicité	Impact environnemental
Larvicides Pyriproxyfène	Dérivé du fénoxycarb (inhibe l'embryogenèse, la métamorphose et la formation de l'adulte chez les insectes).	Toxicité aiguë faible. Ni mutagène, ni cancérigène, ni tératogène, ni toxique pour la reproduction.	Toxicité pour les invertébrés aquatiques moyennement élevée à élevée. Moyennement toxique pour les poissons. Faible toxicité pour les hyménoptères pollinisateurs.	Sa concentration décroît rapidement dans l'eau. Dans des milieux riches en matières organiques, les effets biologiques persistent toutefois pendant 2 mois. Peut entraîner la disparition de populations de crustacés cladocères en milieu naturel.
Spinosad	Mélange de composés (spinosines) isolés à partir de produits de fermentation d'une bactérie du sol (<i>Saccaropolyspora spinosa</i>) (Agit sur le système nerveux central des insectes).	Par voie orale, respiratoire ou cutanée, toxicité aiguë faible. Considéré comme ni mutagène, ni cancérigène, ni toxique pour la reproduction, ni tératogène.	Légèrement ou modérément toxique pour les poissons. Toxicité aiguë variable pour les invertébrés aquatiques, mais toxicité chronique élevée pour certaines espèces. Très toxique pour les abeilles.	Risques importants pour diverses espèces non-cibles d'invertébrés aquatiques dans les zones humides littorales.
Diflubenzuron	Benzoylurée (action sur l'activité de la chitine synthétase, provoquant des anomalies du développement des insectes).	Peu toxique. Non oncogène, non tératogène, non mutagène, et pas d'effet sur la reproduction.	Effets variables sur les invertébrés aquatiques. Sensibilité importante des daphnies et des larves d'éphémères. Absence d'effet chez les mollusques. Très peu toxique pour les oiseaux. Faible toxicité sur les abeilles.	Suite à des traitements aériens contre des insectes forestiers, effets négatifs chez diverses espèces d'insectes aquatiques (cours d'eau). Toxique pour les crustacés du zooplancton (mares en zone aride). Effets négatifs sur zooplancton et insectes en mésocosmes lenticques. Dans le cadre d'études en zones humides littorales, observation de risques importants pour diverses espèces d'invertébrés aquatiques non-cibles.

Tableau 9 (suite) – Carte d'identité des substances actives biocides*

Substance	Famille (mode d'action)	Toxicité	Écotoxicité	Impact environnemental
Larvicides Téméphos L'autorisation d'utilisation de ce produit est prolongée jusqu'au 14 mai 2009 pour « usage essentiel » (voir le paragraphe sur le droit communautaire, dans « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »). L'évaluation a été réalisée par l'Afsset (voir CD-ROM).	Organophosphoré (neurotoxique)	Par voie orale et cutanée, toxicité aiguë généralement faible mais après exposition répétée, inhibition de l'activité cholinestérasique. Pas d'effets carcinogènes, ni mutagènes, ni neurotoxiques, ni sur la reproduction (mais études rares et parfois peu fiables).	Large éventail d'effets toxiques sur les organismes aquatiques, notamment sur les invertébrés Toxicité aiguë importante pour les arthropodes (crustacés et insectes). Importants effets subtils : baisse de la production d'œufs chez les poissons, effets sur les déplacements chez les crustacés et les poissons, etc.	Littérature importante sur les effets environnementaux du téméphos qui sont très discutés, notamment en raison de la grande variété des formulations et des doses d'emploi. Les effets les plus fréquemment rapportés concernent les insectes non-cibles et les autres arthropodes (voir les différentes études de cas sur CD-ROM).

*Quelques éléments sur la toxicité, l'écotoxicité et l'impact environnemental de quatre adulticides (deltaméthrine, perméthrine, pyréthre, naled) et de cinq larvicides (Bti, pyriproxyfène, spinosad, diflubenzuron, téméphos), au terme d'une revue de la littérature (pour en savoir plus sur chaque substance, voir CD-ROM).

Résultat d'une évolution réglementaire européenne souhaitable, le retrait du marché, déjà décidé ou prévu, des organophosphorés pose la question de leur remplacement (exemple : cas du malathion en Guyane et en Guadeloupe, du fénitrothion à la Réunion, en Corse, en Languedoc-Roussillon). Les principales molécules candidates (spinosad, pyrèthre ou diflubenzuron) présentent par ailleurs des profils toxicologiques et/ou écotoxicologiques peu favorables pour une utilisation généralisée en lutte antivectorielle.

Certaines substances actives pyréthrinoïdes présentent l'intérêt d'être actives à faible dose et peu persistantes (pas d'effet résiduel), mais demeurent peu sélectives. Une étude d'impact est en cours à l'EID Méditerranée. Son objectif : mesurer les effets sur l'entomofaune non-cible d'une formulation type émulsion aqueuse à base de deltaméthrine appliquée par voie terrestre au moyen d'un nébulisateur à froid en conditions naturelles. Les conditions d'utilisation sont, par ailleurs, contraignantes : délai de réintroduction du bétail d'au moins 24 heures en cas de traitement sur des marais ou prairies pâturés, respect de zones non traitées à proximité de points ou de cours d'eau, risque pour les pollinisateurs. En l'absence d'alternative (nouvelle substance active plus spécifique ou plus sélective), ce mode d'épannage spatial en milieu naturel reste donc problématique et à évaluer.

RÉPULSIFS ET ATTRACTIFS

De nombreuses questions concernant les avantages et les risques liés à l'utilisation de ces substances actives et produits restent en suspens. Ces substances actives ont fait l'objet d'une notification pour le type de produit n° 19 dans le cadre de la directive 98/8/CE (voir le paragraphe sur le droit communautaire dans le chapitre « Cadre législatif et réglementaire de la lutte antivectorielle »), et sont actuellement en cours d'évaluation au niveau communautaire. Ces produits, comme tout produit biocide, seront à terme soumis à une autorisation de mise sur le marché, après évaluation préalable.

Répulsifs corporels

Les répulsifs corporels ont donné lieu, suite à l'épidémie récente de chikungunya à la Réunion (2005-2006), à une saisine de l'InVS et des CAPTV par la DGS, l'objectif étant d'évaluer les risques d'intoxication liés à l'usage de ces produits. Cet usage avait en effet été fortement encouragé par les

autorités sanitaires. L'étude a notamment permis de montrer que les conséquences d'une telle exposition restent modérées (voir CD-ROM).

Ce type d'étude permet d'apprécier les risques aigus liés à l'utilisation de cette catégorie de substances, mais il ne permet pas d'appréhender les risques chroniques ou sub-chroniques. À ce jour, les données sur ces biocides restent parcellaires pour un certain nombre de substances et des incertitudes subsistent notamment en ce qui concerne les populations sensibles comme les jeunes enfants et les femmes enceintes.

Quoi qu'il en soit, il est justifié de considérer les avantages directs de l'emploi de ces produits en fonction de la maladie (fréquence, gravité), d'une part, et de réduire les incertitudes relatives à la toxicité des produits, d'autre part. Par ailleurs, les recommandations françaises existantes ont été délivrées dans un contexte de protection sanitaire des voyageurs plus que pour les populations résidant dans des zones où certaines maladies vectorielles sont endémiques. Les effets de l'utilisation répétée et sur de longues périodes de ce type de produits sont mal connus. Il est enfin nécessaire de disposer de données concernant leur efficacité sur les autres arthropodes d'intérêt médical (tiques...) contre lesquels cette protection individuelle constitue parfois la principale action de prévention.

L'amélioration des connaissances sur tous ces aspects devrait permettre d'adapter les messages de prévention individuelle destinés au public.

Spirales antimoustiques

Les spirales antimoustiques (ou tortillons fumigènes) semblent constituer un risque sanitaire non négligeable s'ils sont utilisés en intérieur, en raison de la dégradation de la qualité de l'air lors de leur combustion, du moins au vu de certaines études. Par ailleurs, une enquête de la DSDS de la Guyane a montré une incohérence des recommandations d'utilisation selon les fabricants (usage extérieur seulement, ou efficace également en intérieur), alors que les recommandations sanitaires pour les voyageurs telles que publiées dans le *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* (BEH) du 24 juin 2008 préconisent leur utilisation à l'extérieur ou dans une pièce aérée. Ces différents éléments ont conduit le ministère en charge de la Santé (Direction générale de la santé, DGS) et le ministère en charge de l'Environnement (Direction générale de la prévention des risques, DGPR) à saisir l'Afsset pour réaliser une évaluation simplifiée des risques, dont les résultats sont attendus en 2009.

Attractifs

Les attractifs, comme les répulsifs, sont considérés comme des biocides à part entière. L'un des principaux produits auxquels les opérateurs de lutte ont recours est le dioxyde de carbone (CO_2). Le CO_2 est utilisé dans de nombreux modèles d'appâts, pièges et captureurs plus ou moins sophistiqués destinés à la destruction ou à la capture des insectes hématophages. Ces pièges sont souvent destinés à alimenter des réseaux de surveillance entomologique ou, plus ponctuellement, à vérifier la présence d'une espèce cible ou à en évaluer l'abondance.

Le CO_2 a fait l'objet d'un dépôt de dossier par une *Task Force*. Se pose toutefois la question de la pertinence de ce type d'évaluation pour une substance active intrinsèquement présente dans l'environnement et ne présentant guère de danger lors de son utilisation exclusivement autorisée en plein air ou, plutôt, selon ses différents modes de conditionnement (gaz en bouteille, carboglace, neige carbonique, ou résultat de la combustion de gaz butane/propane en bouteille ou d'une réaction chimique).

Une substance utilisée en complément du dioxyde de carbone et qualifiée de synergisante, l'oct-1-ene-3-ol, renforce son pouvoir attractif pour certaines espèces. Ses propriétés toxicologiques et écotoxicologiques feront prochainement l'objet d'une évaluation communautaire. Autre substance aux propriétés synergisantes : l'acide L-(+)-lactique, qui n'a pas été notifié pour ce type d'usage. Contrairement au CO_2 dont les usages sont par ailleurs multiples, ces produits synergisants sont généralement utilisés en quantité infime, ne justifiant guère d'investir dans un processus d'homologation en vue de leur maintien sur le marché.

EFFETS NON INTENTIONNELS LIÉS AUX MÉTHODES D'APPLICATION

Quel que soit le profil toxicologique et écotoxicologique du biocide utilisé, il importe de ne pas sous-estimer les risques sanitaires liés aux méthodes d'application. De même, les pratiques des services, hétérogènes, peuvent conduire à des différences significatives en termes d'exposition.

Lors des campagnes de démoustication en métropole, les traitements larvicides de plein champ sont réalisés sur des surfaces parfois considérables

(notamment en Languedoc-Roussillon), ce qui nécessite l'intervention de moyens aériens. De telles applications peuvent être sources de dérangement pour la faune aviaire dans les lieux de nidification. Par ailleurs, lors des épisodes de submersion survenant sur le littoral du Languedoc-Roussillon (équinoxes de printemps et d'automne), les traitements antilarvaires à base de *Bti* ne peuvent être faits que par voie aérienne et à ultra bas volume. Pour réduire les effets de la dérive aérienne et l'évaporation des gouttelettes, une huile minérale adjuvante est ajoutée à la bouillie insecticide. S'il s'avérait nécessaire d'en poursuivre à l'avenir l'utilisation, une autorisation en bonne et due forme devra être délivrée pour le produit biocide dans son intégralité dans le cadre de la directive 98/8/CE (en France, Code de l'environnement, articles L. 522-1 et suivant). Des études sont en cours pour évaluer des techniques alternatives (voir CD-ROM).

En ce qui concerne les traitements larvicides par voie terrestre (marais à submersion par pluie, entrée marine ou irrigation artificielle), des engins chenillés amphibies légers sont utilisés pour l'épandage. Ils sont susceptibles de laisser des traces de passage et de provoquer un dérangement dont il reste à évaluer l'impact, en particulier sur la flore et l'avifaune (étude en cours à l'EID Méditerranée). Dans le cadre de la démoustication ou lors de certaines opérations de lutte antivectorielle, le recours à des traitements spatiaux sur des moustiques adultes (traitements adulticides ou imagocides) en milieu naturel s'impose parfois. En termes de risques pour la santé et l'environnement, il n'existe pour l'heure aucun biocide totalement satisfaisant à cet égard.

ÉTUDE DE CAS : **L'ÉPIDÉMIE DE CHIKUNGUNYA À LA RÉUNION**

L'épidémie de chikungunya, qui a sévi à la Réunion en 2005-2006, a été l'occasion d'analyser des données toxicologiques relatives aux produits biocides, d'étudier celles fournies par les dispositifs de toxicovigilance et de faire une évaluation de l'impact environnemental.

Données toxicologiques

Les données toxicologiques pour les produits utilisables dans ce cadre ont fait l'objet d'une évaluation comparée par l'Afsset, saisie à cet effet (résultats publiés en novembre 2007). Il faut rappeler que ces évaluations,

réalisées dans un contexte d'urgence, ne sont valables que dans le cadre de l'épidémie de chikungunya à la Réunion. Une extrapolation à d'autres contextes, certes possible, demanderait une analyse complémentaire. Par ailleurs, elles présentent des limites méthodologiques, en particulier la modélisation de l'exposition : les modèles d'exposition humaine comme les modèles de dérive de pulvérisation dans l'environnement, issus de l'évaluation des pesticides agricoles, s'adaptent mal aux traitements antivectoriels. Enfin, ce travail ne préjuge pas de l'évaluation qui sera réalisée dans le cadre de la directive 98/8/CE.

Deltaméthrine

Les risques liés à l'utilisation de deltaméthrine ont été évalués pour des traitements réalisés avec un atomiseur ou un pulvérisateur portés à dos d'homme, des matériels montés sur des véhicules 4x4 et des moustiquaires imprégnées. En traitement antivectoriel, le risque est acceptable pour les travailleurs et pour la population générale, quel que soit le mode d'application.

Les risques pour les oiseaux, les mammifères et les vers de terre sont acceptables. Le risque est élevé pour les organismes aquatiques ainsi que pour les abeilles lors des traitements en 4x4 (il faudrait préserver une zone non traitée de 100 m). En revanche, il est acceptable dans le cas d'un épandage au moyen d'un pulvérisateur à dos.

L'utilisation de deltaméthrine en imprégnation des moustiquaires ne présente pas de risque inacceptable pour l'homme adulte, l'enfant ou le nouveau-né.

Perméthrine

L'utilisation de vêtements imprégnés de perméthrine ne présente pas de risque inacceptable pour l'homme adulte. Dans le cas de l'enfant, le risque est acceptable pour les enfants de moins de 10 ans et de moins de 3 ans.

Bien que les résultats de l'évaluation des risques liés aux opérations de ré-imprégnation par trempage par un particulier soient favorables, il est recommandé qu'elles soient confiées à des professionnels, en raison d'un certain nombre de risques (voir CD-ROM).

Le risque encouru par un applicateur ré-imprégnant une moustiquaire avec un spray semble acceptable. Toutefois, en cas de traitement important des vêtements, par exemple en début d'épidémie, l'exposition du manipu-

lateur pourrait alors être importante et dépasser la quantité maximale pouvant être ingérée sans effet dangereux pour la santé (*Acute Reference Dose* ou ARfD). De plus, cette technique de traitement ne permet pas de garantir une répartition homogène du produit sur le vêtement. Malgré ces réserves, cette procédure peut être envisagée si des tissus ou vêtements pré-imprégnés ne sont pas disponibles sur le marché, mais des consignes de précautions d'utilisation et de fréquence de traitement doivent être données.

Pyrèthre

Les risques liés à l'utilisation de pyrèthre ont été évalués pour des traitements réalisés avec un atomiseur ou un pulvérisateur portés à dos d'homme et des matériels montés sur des véhicules 4x4.

Le risque pour l'opérateur ne peut être écarté car on ne dispose guère de données permettant d'évaluer son potentiel de pénétration transcutanée. Certaines mesures pourraient faire diminuer les risques (voir CD-ROM). L'absence de risque pour les organismes aquatiques n'a pas pu être démontrée pour la plupart des organismes considérés. Le risque est acceptable pour les oiseaux et les mammifères. Le risque pour les abeilles n'a pas pu être écarté. Des mesures de gestion du risque seraient donc nécessaires : un appareillage plus sélectif, une limitation des périodes de traitement en fonction de la biologie des abeilles... Le risque pour les vers de terre et les micro-organismes du sol n'a pu être évalué en l'absence de données de toxicité sur ces organismes.

Naled

Les risques liés à l'utilisation de naled ont été évalués pour des traitements réalisés avec un atomiseur ou un pulvérisateur portés à dos d'homme et pour des matériels montés sur des véhicules 4x4.

Le risque n'est acceptable ni pour l'opérateur ni pour la population générale, quels que soient les niveaux de protection et les modes d'application. En ce qui concerne les risques pour les animaux, les résultats sont similaires à ceux décrits précédemment pour le pyrèthre.

Bacillus thuringiensis ser. israelensis (Bti)

Les risques liés à l'utilisation du *Bti* ont été évalués pour des traitements avec un pulvérisateur manuel à pression préalable, un pulvérisateur à jet porté monté sur un véhicule, un pulvérisateur à jet projeté (lance) monté sur un

véhicule et un épandage avec un petit appareil porté qui disperse les granulés et un épandage manuel. Pour l'opérateur et la population générale, ils sont acceptables dans tous les cas sans équipement de protection individuelle.

Pyriproxyfène

Les risques liés à l'utilisation du pyriproxyfène ont été évalués pour un épandage avec de petits appareils portés qui dispersent les granulés et un épandage manuel.

Ils sont acceptables pour les épandages manuels ou à l'aide de petits appareils portés par les opérateurs, à condition de porter des gants de protection. Ils sont aussi acceptables pour l'accompagnant et la personne présente à proximité des zones traitées pendant la phase d'application.

Ils sont élevés pour les organismes aquatiques et considérés comme acceptables pour les oiseaux et les mammifères terrestres.

Spinosad

Les risques liés à l'utilisation de spinosad ont été évalués pour des traitements avec un pulvérisateur manuel à pression préalable, un pulvérisateur à jet porté monté sur un véhicule et un pulvérisateur à jet projeté (lance) monté sur un véhicule.

Le risque pour l'opérateur est acceptable dans tous les cas sans équipement de protection. L'absence de risque pour les organismes aquatiques n'a pas pu être démontrée. Le risque est acceptable pour les oiseaux et les mammifères. La forte toxicité intrinsèque du produit envers les abeilles conduit à un risque inacceptable pour cet organisme lors de l'application de produit contenant du spinosad en usage larvicide. Par conséquent, des mesures de gestion du risque seraient nécessaires telles qu'un appareillage plus sélectif, une limitation des périodes de traitement en fonction de la biologie des abeilles. Le risque est considéré comme acceptable pour les vers de terre et les micro-organismes du sol.

Téméphos

Dans le cadre d'une demande de dérogation pour usage essentiel, les risques liés à l'utilisation du téméphos ont été évalués pour l'épandage manuel de granules à la louche, la pulvérisation manuelle avec un appareil portable à pression préalable, la pulvérisation mécanisée terrestre à jet porté (pneumatique) ou à jet projeté (lance) et la pulvérisation aérienne.

L'utilisation de mesures de protection permettant de réduire les risques d'exposition des applicateurs a résulté en une marge de sécurité (MOS) supérieure de 30 à la MOS de référence pour tous les scénarios d'épandage. L'évaluation n'a pu être faite pour le scénario de l'épandage manuel à la louche.

Pour l'exposition de travailleurs pénétrant sur une parcelle traitée, l'exposition est considérée comme nulle dans le cas des granules et de la pulvérisation manuelle et comme acceptable dans le cas de la pulvérisation en pick-up 4x4. Elle est, par contre, inacceptable dans le cas des traitements à jet porté en quad ou en chenillés. L'exposition directe à un traitement aérien présente un risque jugé à la limite de l'acceptable, mais une exposition à la dérive reste acceptable.

Les effets sur les organismes aquatiques sont jugés préoccupants. Toutefois, une exposition chronique n'est pas à craindre et le risque d'un empoisonnement secondaire des oiseaux ou des mammifères consommant des poissons exposés au traitement est très limité. À la dose de 125 g/ha, il n'y a pas de risque potentiel pour les abeilles.

L'autorisation d'utilisation du téméphos a été accordée jusqu'au 14 mai 2009 à des fins de lutte antivectorielle, mais uniquement dans les quatre départements d'outre-mer (Guadeloupe, Guyane, Martinique et la Réunion). Hors de ces départements, la mise sur le marché de produits insecticides à base de téméphos est interdite depuis le 1^{er} septembre 2006, et leur utilisation depuis le 1^{er} septembre 2007¹².

Toxicovigilance

Les dispositifs de toxicovigilance ont permis de recueillir un certain nombre de données sur les cas pathologiques résultant de l'exposition aux bio-cides. L'InVS a été saisi à trois reprises par la DGS : d'abord pour évaluer les dangers du fénitrothion, ensuite pour évaluer les dangers de la deltaméthrine, et enfin pour envisager la mise en place d'un système de surveillance des intoxications imputées aux actions de lutte antivectorielle.

Ces saisines ont été traitées par le Comité de coordination de toxicovigilance (CCTV) animé par l'InVS. Les réponses aux deux premières saisines ont

¹² Arrêté du 10 mai 2007 concernant la mise sur le marché et l'utilisation de certains produits bio-cides, contenant des substances actives non notifiées au titre du règlement (CE) 2032/2003 de la Commission du 4 novembre 2003.

notamment permis de préciser les dangers de chacune des substances utilisées, de guider le choix des produits (la deltaméthrine a ainsi remplacé le fénitrothion à partir de février 2006) et de définir des recommandations à l'attention des applicateurs et de la population. Ces recommandations constituent encore la base de l'information délivrée par le service de lutte antivectorielle de la Réunion dans le cadre de ses interventions.

En réponse à la troisième saisine, un système de surveillance a été mis en place afin de recenser les cas d'intoxication imputés à une exposition à des biocides utilisés pour la lutte antivectorielle, d'une part, et de décrire les circonstances d'exposition les favorisant, d'autre part, dans le but de détecter des écarts aux protocoles. À cet effet, la Cire Réunion-Mayotte s'est dotée d'une cellule de toxicovigilance depuis février 2006.

Au vu des informations collectées (voir CD-ROM), il est apparu que les symptômes étaient pour la plupart bénins et transitoires. Les symptômes apparus à la suite d'une exposition directe aux insecticides pulvérisés ont permis de détecter des écarts aux recommandations encadrant leur utilisation.

Un suivi environnemental a été organisé, à l'initiative de la Direction régionale de l'environnement (Diren-Réunion), pour évaluer les effets indésirables des traitements de lutte antivectorielle.

Même s'il semble que ces traitements à grande échelle n'ont pas eu de conséquences graves sur les milieux et la faune terrestre et aquatique (voir CD-ROM), il faut insister sur les limites de ce suivi. Dans le temps qui lui était imparti, il ne pouvait prendre en compte que les effets létaux et sublétaux à court terme, en aucun cas les effets indirects à long terme. Dans le cadre d'une généralisation de la lutte antivectorielle à la Réunion, les protocoles d'observation mis en œuvre au cours du premier semestre 2006 devraient être poursuivis par l'organisation d'un suivi régulier et le lancement de recherches approfondies sur l'impact des pesticides en milieu tropical. Un programme de recherches pluripartenaires piloté par l'Inra (EnviroChik) a d'ailleurs été élaboré dès le mois de mai 2006 pour répondre spécifiquement à ce besoin. Il n'a, à ce jour, pas trouvé les financements nécessaires. En revanche, les insecticides utilisés pour la LAV à la Réunion ont été intégrés dans un programme d'étude des effets de pesticides sur les récifs coralliens (Ericor) piloté par l'Arvam (Association de recherche pour la valorisation de la mer) et financé par le programme « Pesticides » (APR 2006) du Meeddat.

RECOMMANDATIONS

Évaluer le risque lié à l'emploi des produits biocides : caractérisation préalable et suivi écologique

Les expertises antérieures des effets non intentionnels des produits biocides utilisés en lutte antivectorielle se sont heurtées à certaines limites (manque de connaissances, absence d'outils adaptés, contexte d'urgence).

Diverses dispositions doivent donc désormais être prises :

- mieux caractériser les expositions des agents chargés des opérations de lutte antivectorielle afin de minimiser les éventuelles conséquences (traitement spatial, traitements intradomiciliaires), en développant des modèles et des scénarios d'exposition spécifiques aux usages en lutte antivectorielle ;
- mieux caractériser les expositions de la population générale ;
- prévoir une évaluation *a posteriori* des substances utilisées, au-delà de l'évaluation *a priori*, en utilisant et développant des méthodologies adaptées ;
- mieux caractériser les expositions environnementales en réalisant des campagnes régulières de mesure des conditions environnementales et d'échantillonnage des communautés d'invertébrés dans les différents sites traités comparativement à des zones non traitées ;
- identifier les espèces indicatrices de la qualité du milieu ;
- dans une optique d'analyse rétrospective et prospective, assurer une traçabilité des actions de lutte antivectorielle par un enregistrement rigoureux de l'ensemble des activités ;
- accompagner systématiquement la mise en œuvre des programmes de démoustication par un suivi écologique, fondé notamment sur la caractérisation de la dynamique de fonctionnement du système dans son ensemble et une évaluation (semi-)quantitative de l'efficacité des traitements sur les espèces cibles.

Les outils d'anticipation

Le concept d'analyse de risque trouve toute sa pertinence dans le cadre de la lutte antivectorielle. Elle n'en sollicite pas moins la coopération de nombreuses disciplines, étant donné la multiplicité des paramètres en jeu (entomologiques, épidémiologiques, environnementaux, humains...). En particulier, s'il est possible et nécessaire de disposer de méthodes standardisées de recueil et d'archivage de données, l'évaluation du risque doit tenir compte des situations spécifiques, que ce soit à l'étape d'interprétation de ces données ou de celle de la modélisation. Le chapitre 1 rend compte des différentes méthodes mises en œuvre en la matière.

Pour mieux anticiper les risques, un certain nombre de coopérations régionales ou internationales existent ou se mettent en place (« Des coopérations régionales et internationales »). Elles mériteraient de se multiplier afin, entre autres, de pouvoir mutualiser les ressources humaines et matérielles. Mais deux des outils majeurs qui permettront d'anticiper et, si possible, d'éviter à l'avenir des épidémies de maladies à transmission vectorielle, restent la formation (« De la formation initiale à la formation continue ») et, bien entendu, la recherche (« La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle »). Un grand nombre d'inconnues subsiste en effet concernant le fonctionnement et le comportement des vecteurs, notamment à la faveur des changements globaux (climatiques, environnementaux, sociétaux).

De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique¹³

Quels sont les objectifs, les principes, les méthodes et le dispositif d'analyse du risque vectoriel ? Une alerte entomologique implique-t-elle une alerte épidémiologique ? Quel peut être l'apport de la modélisation ? Est-il possible de prédire l'ampleur et la sévérité d'un risque d'épidémie ? Autant de questions qui intéressent au premier chef les pouvoirs publics, dont le public attend qu'ils anticipent au mieux ce type de risques et qu'ils réagissent au plus vite en cas d'alerte.

ANALYSE DU RISQUE VECTORIEL : OBJECTIFS ET MÉTHODES

Née aux États-Unis à l'aube des années 1980, l'évaluation des risques a été développée par le *National Research Council* qui l'a définie en 1983 comme étant « l'utilisation de faits scientifiques pour définir les effets sur la santé d'une exposition d'individus ou de populations à des matériaux ou à des situations dangereuses ». Il s'agit donc d'utiliser méthodiquement les résultats de la recherche pour une gestion scientifique du risque et de prendre en compte les lacunes dans les connaissances en suivant une démarche aussi structurée et quantifiée que possible. L'évaluation des risques présente les résultats de la caractérisation du (des) risque(s) assortis d'une discussion des incertitudes qui les accompagnent. Formellement, l'analyse du risque regroupe l'ensemble des actions d'évaluation, de gestion et de communication autour des risques.

Appliquée aux infections transmises par les vecteurs (risque vectoriel, voir l'encadré), elle consiste à analyser les indicateurs et les caractéristiques du « système vectoriel » à l'intérieur d'un contexte complexe (hôtes, agent, environnement, société...), à comprendre la dynamique de transmission et

¹³ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 10 : « Quelle est la contribution de l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique ? ».

Champ d'application de l'analyse de risque

- Anticipation par l'analyse des conséquences potentielles de l'introduction d'un vecteur compétent dans un environnement donné.
- Analyse de l'introduction de sujets infectieux dans un environnement où les conditions théoriques de transmission sont ou pourraient être réunies.
- Analyse des conséquences à moyen ou long terme de modifications d'un écosystème pouvant permettre l'extension d'une endémie.
- Analyse des facteurs et conditions permettant à un système vectoriel de générer une épidémie.
- Évaluation des options de gestion d'une épidémie sur son importance potentielle.

les conséquences des modifications d'un ou de plusieurs éléments du système vectoriel et/ou de ses interactions. De manière complémentaire, il s'agit aussi d'analyser les conséquences positives mais aussi, potentiellement, négatives d'actions susceptibles d'être mises en œuvre dans une perspective d'aide à la décision, en amont des conséquences sanitaires (anticipation) ou au cours d'une alerte, voire d'une épidémie (analyse des options de gestion). Cette démarche, multidisciplinaire par essence, peut susciter en retour de nouvelles questions de recherche.

Il n'existe en France ni agence ni ministère ni organisme en charge de cette expertise spécifique. Il a néanmoins été procédé à de telles analyses à diverses reprises : plusieurs plans de lutte ont ainsi pu voir le jour, comme le plan *West-Nile* dans le pourtour méditerranéen (début des années 2000), le plan antidiffusion chikungunya-dengue en métropole (2006), réactualisé sur la base de l'évaluation de risque réalisée suite à l'épidémie italienne de 2007.

Plan antidissémination dengue-chikungunya

Afin d'établir un plan, l'InVS a été chargé par le ministre de la Santé de piloter une mission d'évaluation du risque d'introduction du chikungunya et de déclenchement de telles épidémies en France métropolitaine et dans les départements d'outre-mer non touchés. Au terme d'une approche qualitative, un certain nombre de conclusions ont été tirées, notamment en ce qui concerne le territoire métropolitain : il est apparu qu'un risque de diffusion du virus existait en période estivale (pour en savoir plus, voir CD-ROM).

Cette évaluation a permis d'élaborer des mesures de surveillance et d'alerte mises en œuvre dans le cadre d'un plan antidissémination. Elle s'est en outre avérée prédictive à la fois du risque d'extension du moustique, que l'on constate actuellement, et du risque de diffusion du virus comme en atteste sa circulation autochtone, observée pour la première fois en 2007 en Italie.

Analyse du risque d'épidémie de chikungunya et de dengue

Dans les zones européennes d'implantation d'*Aedes albopictus*, l'analyse conduite au niveau national, comme celle, similaire, conduite au niveau européen par l'*European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) en 2006, ont abouti à des conclusions analogues, dans les zones où *Aedes albopictus* est implanté, en termes de potentiels d'introduction et de transmission autochtone du chikungunya. L'épidémie italienne de 2007 a donné lieu à une mise à jour de cette évaluation de risque, notamment sur la base de travaux de modélisation du potentiel de diffusion et d'implantation de ce vecteur au Royaume-Uni, lesquels ont été étendus au niveau européen (voir plus loin dans ce chapitre « Apport de la modélisation »).

Dans le cadre d'une collaboration entre l'ECDC, l'InVS et l'*Istituto Superiore di Sanita* (Italie), cette nouvelle évaluation s'est concrétisée par une estimation quantitative du risque d'introduction de personnes virémiques pour le virus du chikungunya et de la dengue en zone où *Aedes albopictus* est présent. Pour l'année 2006, il a été estimé que 565 « jours de personnes virémiques » pour le virus de la dengue ont été introduits dans les régions européennes infestées par *Aedes albopictus*, dont 228 au premier trimestre. Il apparaît qu'en Europe, l'Italie concentre la majorité du risque de diffusion de ces deux virus au moment où le vecteur est actif, du fait de la présence de ce dernier sur la majorité de la péninsule.

Limites de l'anticipation des risques

L'anticipation des risques a des limites : le cas de la fièvre catarrhale ovine (FCO) est illustratif. Jusqu'à il y a peu, cette maladie, largement répandue dans le monde, avait épargné l'Europe (hors Chypre), même si des incursions avaient été observées ici ou là. Or, à partir de 1998, différents sérotypes sont transmis dans tout le bassin méditerranéen. En 2000, pour la première fois, une épizootie de FCO est détectée en France métropolitaine (Corse), peu de temps après que la présence de *Culicoides imicola* y a été confirmée. La trans-

mission de ces sérotypes est associée à la remontée vers le nord de la limite de distribution du vecteur, éventuellement liée aux changements des écosystèmes méditerranéens sous l'effet de l'augmentation globale des températures. Néanmoins, il apparaît clairement que la FCO est transmise par des vecteurs autochtones dans des zones où *Culicoides imicola* est absent, comme dans les Balkans, ou rare, comme dans certaines zones d'Italie.

Dès 2002, un dispositif de surveillance entomologique a été mis en place dans le cadre d'une convention entre le ministère de l'Agriculture et le Cirad. Ce dispositif a montré son efficacité : il a notamment permis de détecter l'installation de *Culicoides imicola* dans le Var en 2004. Il a été renforcé en 2005 dans des départements devenus à risque (Var, Alpes-Maritimes, Pyrénées-Orientales, Pyrénées-Atlantiques). En 2006, le sérotype 8 du virus de la FCO, inexistant dans le bassin méditerranéen, a été introduit en Belgique avant de s'étendre rapidement à de nombreux pays d'Europe où *Culicoides imicola* est absent. Il provoque en particulier des formes cliniques de FCO chez les bovins. De plus, fin 2007, le sérotype 1 est introduit et transmis dans le Pays basque espagnol et français.

Ces épisodes montrent indiscutablement que les espèces de *Culicoides* européens sont capables de transmettre intensément le virus de la FCO. Mais surtout, ils montrent les limites de l'anticipation du risque : difficulté de prévoir une émergence d'un sérotype dans une zone qui n'avait jamais connu la maladie, transmis par des vecteurs jusque-là considérés comme secondaires. Plus largement, ils illustrent la difficulté d'envisager ou d'imaginer des risques qui s'éloignent des schémas conceptuels établis.

ENTRE ALERTE ENTOMOLOGIQUE ET ALERTE ÉPIDÉMIOLOGIQUE

Si la présence du vecteur d'un agent responsable d'une maladie à transmission vectorielle est évidemment une condition nécessaire à la transmission effective de cette maladie, elle est loin d'être suffisante. D'autres conditions doivent être réunies :

- présence de l'agent infectieux ;
- possibilités de contacts efficaces entre vecteur et réservoir de l'agent ;
- possibilités de contacts efficaces entre vecteur et amplificateur (si celui-ci est différent du vecteur dans le cycle de transmission) ;

- possibilités de contacts efficaces entre vecteur et hôtes ;
- susceptibilité suffisante de la population hôte.

Rôle du vecteur

Dans la transmission, il est lui-même dépendant de nombreux paramètres. Il s'apprécie en effet au-delà de la réponse à la simple question de sa présence ou non. Plus précisément, la mise en place d'un mode de circulation de l'agent infectieux à partir de l'introduction du vecteur dans un territoire donné peut être analysée suivant différentes étapes (pour des exemples concrets de chacune de ces étapes, voir CD-ROM).

Son introduction puis son installation dépendent de conditions climatiques, hydriques, biologiques (capacité d'adaptation à de nouveaux écosystèmes)... Cette installation est également dépendante des compétitions avec d'autres espèces vectrices (par exemple, *Aedes aegypti* vs *Aedes albopictus* dans le sud du continent nord-américain ou à Mayotte pour la dengue) ou de la confrontation avec des prédateurs et des parasites. Des études entomologiques menées lors de l'épidémie de chikungunya ont en outre montré qu'*Aedes albopictus* bénéficiait sur l'île de la Réunion d'une grande plasticité écologique lui permettant une installation dans différents écosystèmes.

Une fois que le vecteur est installé durablement, le risque de voir une chaîne de transmission de l'agent s'amorcer dépend de sa compétence vectorielle, autrement dit du niveau de coadaptation pathogène/vecteur, mesurable en laboratoire et dépendant essentiellement de facteurs génétiques. Par ailleurs, l'effet de compétition entre espèces peut influencer positivement ou négativement la transmission de pathogène.

Dès lors que la chaîne de transmission est amorcée, l'ampleur de la transmission chez l'homme ou l'animal dépend de la capacité vectorielle (nombre quotidien moyen de piqûres infectantes secondaires à partir d'un cas infecté). Celle-ci est elle-même conditionnée par la densité vectorielle, la préférence trophique, la durée du cycle gonotrophique, le taux de parturité et la durée de la période d'incubation extrinsèque. Du niveau de capacité vectorielle, il pourra résulter soit une épidémie massive comme celle du chikungunya en 2005-2006 à la Réunion, soit une bouffée épidémique comme l'épidémie modérée de dengue de 2004 à la Réunion également, soit un foyer circonscrit comme le récent foyer de dengue survenu à nouveau sur ce territoire (Saint-Louis).

Enfin, lorsque la transmission est établie, le mode de circulation varie en fonction de nombreux paramètres, le plus souvent extrinsèques au vecteur : facteurs environnementaux et de relation entre l'hôte et le vecteur, susceptibilité et immunité acquise de la population et actions engagées pour réduire la pression vectorielle... Des paramètres dépendant des compétences du vecteur peuvent également intervenir. Ainsi, lors de l'épidémie de chikungunya à la Réunion, un génotype mutant du virus a été sélectionné. L'hypothèse a été avancée selon laquelle la compétence accrue du moustique pour le virus muté expliquerait en partie la plus grande intensité de la seconde vague épidémique.

Surveillance des paramètres entomologiques

Quels paramètres entomologiques surveiller pour quelle alerte ? Deux types de paramètres sont à considérer : ceux évaluant la part du vecteur dans le risque vectoriel et ceux propres à prédire ce risque vectoriel.

Les premiers visent donc à appréhender la part du vecteur selon les différentes étapes décrites précédemment :

- présence ou non du vecteur recherchée dans les endroits où son introduction est plausible, sachant que l'augmentation des échanges en multiplie les opportunités ;
- son installation durable et ses préférences écologiques ;
- sa compétence vectorielle vis-à-vis des pathogènes avec lesquels il est susceptible d'être en contact à l'occasion de repas sanguin (cas humains ou animaux d'importation) ;
- sa capacité vectorielle dans la situation étudiée.

Leur appréciation suppose observations et mesures sur le terrain, celles de la compétence et de la capacité vectorielle étant parfois complexes à mettre en œuvre et nécessitant que des équipes de recherches travaillent sur le sujet.

L'appréciation des paramètres permettant de prédire le risque vectoriel sur de vastes territoires suppose, quant à elle, de cibler des zones à risques pour l'introduction, l'implantation ou la pullulation du vecteur. Ce ciblage fait appel à des outils de cartographie et/ou de modélisation, utilisant ou non les données satellitaires. Exemples : modélisations de l'abondance du *Culex* (afin d'anticiper l'apparition de la circulation du virus *West Nile*) en Colombie-Britannique ou à New York, de la densité des nymphes d'*Ixodes pacificus* (vecteur de la maladie de Lyme) dans les étendues boisées de Californie, etc.

Pertinence des paramètres entomologiques

Comme critères d'alerte épidémiologique, la pertinence des paramètres entomologiques diffère selon le cycle de transmission vectorielle des maladies et, pour une même maladie, selon la situation endémo-épidémiologique et les écosystèmes.

Pour la dengue, par exemple, la situation se présente différemment en territoire métropolitain et dans les départements français d'Amérique. En métropole, zone *a priori* indemne, la présence du vecteur est un critère pertinent pour le passage à une surveillance renforcée et à des actions visant à éviter l'installation d'une chaîne de transmission (de la dengue et du chikungunya puisque c'est le même vecteur, *Aedes albopictus*). Dans les départements français d'Amérique, la surveillance entomologique est, en revanche, peu utilisée pour l'alerte épidémiologique. Mais on y surveille le niveau de sensibilité aux insecticides, un paramètre clé pour caractériser l'efficacité de la lutte antivectorielle. Même contraste pour la fièvre de la vallée du Rift entre Mayotte et la métropole (voir ces exemples et d'autres sur CD-ROM).

Pour des vecteurs autres que les moustiques, les paramètres entomologiques sont peu ou pas utilisés comme critères d'alerte, mais ils pourraient l'être à l'avenir. Ainsi, si des programmes de vaccination réussissent à réduire fortement l'incidence des encéphalites à tiques en Europe, il faudra trouver d'autres indicateurs que les cas humains pour surveiller la présence du virus dans les tiques ou les réservoirs animaux (pour les vecteurs de la maladie de Chagas et de *Bartonella quintana*, voir CD-ROM).

APPORT DE LA MODÉLISATION

D'une manière générale, la modélisation repose sur une simplification de la réalité. Dans le cas de la transmission d'une maladie infectieuse par un vecteur, elle s'appuie donc sur une simplification biologique, épidémiologique et/ou sociale du problème, dans une perspective de prévision mais surtout d'évaluation *a priori* de scénarios et de mesures de lutte ou de prévention. Les premières tentatives de modélisation de la dynamique des maladies infectieuses dans la population humaine et animale, que l'on doit au médecin et mathématicien suisse Daniel Bernoulli, remontent à la seconde moitié du XVIII^e siècle. Et c'est au XX^e siècle que furent introduits les principes fondamentaux de la modélisation des risques infectieux à transmission vecto-

rielle, grâce aux travaux pionniers (1911) du Britannique Ronald Ross (prix Nobel de médecine 1902) et ceux publiés en 1957 par G. MacDonald (alors directeur de l'institut Ross d'hygiène tropicale, à Londres). Le modèle de Ross et MacDonald a défini les fondements de la lutte contre les infections vectorielles, incluant les mesures de lutte antivectorielle.

Différents types de modèles

On distingue deux types de modèles : les modèles qualitatifs (conceptuels) et les modèles quantitatifs dont font partie les modèles statistiques (empiriques) et les modèles théoriques.

Ces derniers incluent les modèles déterministes qui se fondent sur une hypothèse forte d'homogénéité d'interaction entre les individus (ce qui n'est généralement pas le cas dans la réalité), et les modèles stochastiques qui permettent de prendre en compte les hétérogénéités entre individus mais au prix d'une complexité beaucoup plus grande. Ces hétérogénéités peuvent cependant être également prises en compte, du moins en partie, par des modèles déterministes stratifiés.

À la faveur du développement d'outils informatiques puissants, la modélisation est devenue incontournable face aux risques infectieux émergents (grippe pandémique, Sras...) et elle donne lieu à de nombreuses publications dans des revues scientifiques prestigieuses.

Pour les risques vectoriels, l'une des principales applications concerne l'évaluation de la diffusion spatio-temporelle d'un vecteur compétent ou potentiellement compétent pour transmettre un agent infectieux. L'autre porte sur l'évaluation de la transmission d'une infection à transmission vectorielle, et en particulier :

- compréhension de la dynamique de transmission et identification des lacunes en termes de connaissances pour la surveillance et la recherche ;
- estimation des paramètres de transmission fondamentaux (taux de reproduction, intervalle sériel...) avec des applications rétrospectives, voire quasi-temps réel ;
- évaluation de risque ;
- évaluation *a priori* (ou « prospective » au sens *assessment* des Anglo-Saxons) d'actions de santé publique et de lutte antivectorielle et de leur combinaison ;
- évaluation de l'impact d'une mesure de lutte antivectorielle ;

Pour en savoir plus sur les principes de ces modèles, leur mise en œuvre et la bibliographie, voir CD-ROM.

La modélisation spatio-temporelle d'un vecteur

La modélisation a donné lieu à un certain nombre d'applications portant sur la fièvre catarrhale ovine, la dengue, le paludisme, ainsi que sur la diffusion d'*Aedes albopictus* en Europe, des triatomas, des vecteurs du virus *West Nile*. L'objectif de ces modèles statistiques, parfois qualifiés de « géographiqués », est de décrire et prédire la distribution spatiale des vecteurs afin d'identifier et de cartographier les zones à risque et de suivre leur évolution. L'hypothèse sous-jacente est que la présence des arthropodes vecteurs et leur écologie ainsi que la distribution spatiale de la maladie transmise dépendent de l'environnement. L'interaction hôtes/vecteurs correspond aussi à des conditions environnementales favorables (pour une revue de ces modèles, voir CD-ROM).

Fièvre catarrhale ovine (FCO)

D'abord développés à partir de données météorologiques et satellitaires à basse résolution spatiale, les modèles ont permis d'obtenir des cartes de probabilité de présence de *Culicoides imicola* à une échelle continentale. Avec les progrès de l'imagerie satellitaire (résolution spatiale de plus en plus fine), on est en mesure de produire une prévision de distribution des vecteurs à une échelle locale (à l'échelle d'une région comme la Corse...). Pour un vecteur de faible dispersion active tel que *Culicoides imicola*, l'analyse à petite échelle contribue à l'élaboration d'hypothèses sur la localisation des gîtes larvaires et des gîtes de repos et oriente donc les recherches entomologiques.

Toutefois, les modèles à l'échelle continentale ne permettent pas d'expliquer des différences de distribution au niveau local observées sur de petites zones (Corse, Var...), ni de caractériser de manière fine l'habitat favorable à *Culicoides imicola*. Inversement, la généralisation des résultats obtenus à une échelle locale sur de plus vastes zones est difficile ou nécessite l'acquisition et la standardisation de données souvent coûteuses.

***Aedes* et potentiel épidémique de la dengue**

La transmission de la dengue est soumise aux facteurs climatiques. Le couplage de modèles climatiques à l'équation de la capacité vectorielle de la dengue a conduit à l'identification d'un indicateur de potentiel épidémique. L'augmentation de cet indicateur signifie qu'une densité moindre de moustiques peut maintenir un état d'endémie de la maladie quand le virus est introduit ou circule.

Sur la base de données historiques (climat de 1931 à 1980) et d'une prévision d'augmentation de température de 1,16 °C d'ici à 2050, il apparaît que l'indicateur de potentiel épidémique augmente, avec une plus grande progression en zones tempérées. Les modèles indiquent qu'avec un réchauffement climatique, l'incidence augmentera d'abord dans les régions limitrophes des zones endémiques et que, dans ces zones, l'incidence de la dengue augmentera également. Ces modèles demeurent toutefois un sujet d'incertitudes et de discussion scientifique nécessitant des travaux complémentaires. En effet, ils ne prennent pas en compte d'autres critères pouvant influencer sur le taux de reproduction de base (contact homme-vecteur, déplacement des vecteurs, lutte antivectorielle, etc.). Rappelons, par exemple, que la dengue a déjà sévi en Europe, par exemple en Grèce, en 1927-1928 : on dénombra un million de cas à Athènes.

Un certain nombre d'autres modèles sont publiés dans la littérature, dont l'objectif est de décrire la dynamique de dispersion d'*Aedes aegypti* (modèle d'invasion biologique), ou d'évaluer des stratégies pour contenir l'invasion et prédire l'évolution de *Aedes albopictus*, ou encore de prédire l'abondance d'un vecteur en tenant compte des fluctuations climatiques... (pour en savoir plus, voir CD-ROM).

Potentiel de diffusion d'*Aedes albopictus* en Europe

Dans une perspective d'analyse de risque et dans le but de proposer des mesures d'anticipation, un modèle qualitatif associé à un système d'information géographique a été utilisé au Royaume-Uni pour évaluer la capacité d'*Aedes albopictus* de s'établir et sa période d'activité saisonnière probable pendant l'année. Une analyse similaire a été lancée au niveau européen. Cette analyse montre un fort potentiel d'implantation de ce vecteur en Europe, bien au-delà des pays méditerranéens déjà touchés.

Anophèles et paludisme

Les prédictions d'un modèle de distribution spatiale d'*Anopheles hyrcanus* en Camargue et de son évolution avec les paramètres environnementaux, sur la base de données satellitaires, ont été confrontées avec les observations de terrain, montrant une bonne concordance. Un index d'adulte, dérivé de l'index larvaire, s'est, en outre, avéré être très bien corrélé avec l'abondance du vecteur observé. Ce travail indique que dans certains écosystèmes, il est possible et faisable de prédire la distribution d'un vecteur de

paludisme en utilisant des données satellitaires, une première étape de l'évaluation du risque de ré-émergence de paludisme dans le sud-est de la France.

Triatomes

Un modèle de la distribution géographique de triatomes dans l'État du Puebla (Mexique) permet, pour chaque espèce de triatome, d'identifier les conditions géographiques et climatiques favorables. Il permet, entre autres, de corrélér la présence potentielle d'espèces de triatome avec la population à risque de maladie de Chagas.

Vecteurs du virus West Nile

Un modèle de la dynamique des populations de *Culex tarsalis* et *Culex pipiens*, développé dans une perspective d'analyse spatiale de risque de transmission du virus *West Nile* (avant son implantation en Colombie-Britannique), a permis d'identifier les zones les plus à risque d'infection par le virus avant son introduction, mais aussi de mettre l'accent sur certains manques importants de connaissances (écologiques, écosystémiques...). La distribution des vecteurs du virus *West Nile* a également fait l'objet d'un modèle statistique prévisionnel.

Fonctionnement du modèle

Un modèle de la dynamique d'une infection à transmission vectorielle vise à reproduire par des méthodes numériques la transmission de l'agent infectieux au sein d'un système vectoriel. Un tel modèle, qu'il soit statistique ou théorique, doit donc intégrer de multiples paramètres concernant l'histoire de l'infection chez l'hôte, le vecteur, l'interaction vecteur-hôte, le réservoir, l'environnement et les facteurs influençant la transmission.

Modèles statistiques

Ces modèles permettent de proposer des prévisions d'évolution ou de contribuer à l'évaluation du risque, voire de l'impact de mesures de lutte antivectorielle, sur la base de relations statistiques établies au préalable. Ils peuvent être appliqués à la détection d'épidémies, comme c'est le cas dans les départements français d'Amérique, à la prédiction d'épizootie (fièvre de la vallée du Rift), à la prévision de la dynamique d'une maladie (leishmaniose) dans une perspective d'évaluation de l'impact de mesures de lutte...

De tels modèles ont été mis au point pour prédire la fièvre de la Vallée du Rift, en particulier au Kenya dans une région de mares temporaires (pour en savoir plus sur ces modèles, voir CD-ROM). Dans cette région, une cor-

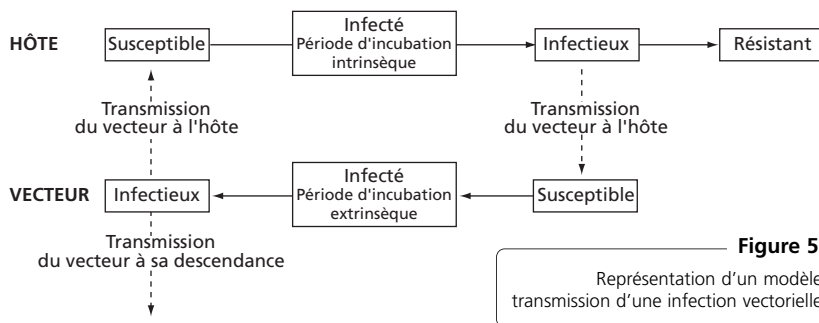
relation est établie entre les épisodes pluviométriques exceptionnels, eux-mêmes associés aux épisodes el Niño, et les épidémies de fièvre de la vallée du Rift. Ces pluies exceptionnelles inondent les *dambos* qui constituent alors un gîte de choix pour les moustiques vecteurs (*Aedes*). Au Kenya, par exemple, les prédictions de l'épidémie ont atteint une précision de 95 à 100 %, deux à cinq mois avant sa survenue, en s'appuyant sur des mesures relatives à la végétation et à la pluviométrie (mesures satellitaires, sur le terrain...). Elles peuvent permettre de mettre en place des mesures préventives (vaccination de cheptels sensibles, contrôle des larves de moustiques...). Autre exemple, au Sénégal : un modèle stochastique a permis de simuler les densités d'*Aedes vexans* et de *Culex poicilipes* en fonction des précipitations.

Parallèlement, des modèles de séries chronologiques (modèle de Chaves) suggèrent, avec une forte probabilité, un lien entre la dynamique de la transmission (par exemple, de la leishmaniose) et les facteurs climatiques. Le rôle de la température a pu être en effet observé il y a peu dans la recrudescence d'une épidémie de leishmaniose dans la région de Jérusalem. Des travaux similaires ont été conduits pour le paludisme et la dengue.

Modèles théoriques

Ces modèles se fondent sur une représentation *a priori* du phénomène étudié, sur la base de modèles déterministes des différents éléments du système au niveau de population tout entière et de modèles stochastiques permettant d'introduire une part d'aléatoire donc une composante individuelle (voir les principes en détail sur CD-ROM). D'une manière générale, ils reposent sur la modélisation de la transmission de l'infection entre les différents éléments du cycle épidémiologique, ce qui nécessite une représentation schématique de la transmission entre les différentes populations impliquées et ses différents stades pertinents (voir la figure 5).

Dans le cas particulier des infections à transmission vectorielle, l'hôte réservoir et malade peut être purement animal (fièvre catarrhale ovine) ou humain (dengue, chikungunya...), ou bien l'infection peut toucher l'animal et l'homme (infection par le virus *West Nile*, fièvre de la vallée du Rift, leishmaniose, encéphalites à tiques, maladie de Lyme). La figure 5 concerne essentiellement les deux premières catégories. Quoi qu'il en soit, deux paramètres jouent un rôle déterminant dans les modèles de transmission (voir l'encadré) : le taux de reproduction de base et l'intervalle sériel, ou intergénérationnel (intervalle moyen entre deux cas successifs).



Exemple de représentation d'un modèle en compartiment de transmission d'une infection vectorielle (adapté de Tran *et al.*, 2005). Les flèches pleines indiquent les flux d'état des hôtes et des vecteurs entre les compartiments de l'histoire de l'infection ; les flèches en pointillés concernent la transmission de l'agent infectieux entre l'hôte et le vecteur et inversement.

Un modèle simple *a*, par exemple, été utilisé pour analyser le risque de transmission du virus *West Nile* aux États-Unis. Les résultats, encore sujets à discussion dans la communauté scientifique, suggèrent que le changement climatique agira sur l'abondance et sur la distribution géographique du vecteur, sur sa compétence vectorielle... Appliqué à une situation donnée, ce modèle constitue donc un outil de base d'analyse de risque.

Applications des modèles théoriques

Plus généralement, une part de ces modèles est à but essentiellement cognitif, que ce soit sur la dengue, la leishmaniose, la fièvre de la vallée du Rift... Certains de ces travaux s'intéressent à l'effet seuil et à l'état d'équilibre entre les compartiments du modèle dans la transmission, et/ou aux phénomènes de compétition entre sérotypes, d'autres aux conditions d'application, à l'impact de l'hétérogénéité des conditions de transmission de l'infection sur les modèles et les prédictions en particulier (voir l'abondante littérature scientifique sur ces sujets sur CD-ROM).

Une autre catégorie de modèles vise à estimer les paramètres fondamentaux de transmission (force d'infection, taux de reproduction, intervalle sériel...) avec des applications rétrospectives, voire quasi-temps réel. L'estimation du taux de reproduction par la formule de Ross et MacDonald (évoquée plus haut) pose des problèmes pratiques car on ne dispose généralement pas, pour un agent infectieux donné et dans une situation donnée,

Les paramètres clés de la transmission : taux de reproduction et intervalle sériel

Le taux de reproduction (R_0) mesure le nombre moyen de cas d'infections, dans une population susceptible, résultant du contact avec un individu déjà infecté (hors toute mise en œuvre d'une stratégie de lutte). Un taux inférieur à 1 signifie une diminution du nombre de cas au fur et à mesure du processus de transmission, un taux supérieur à 1, une expansion de la maladie et une situation épidémique. Dans la réalité, il se peut que seule une proportion de la population soit susceptible (non immune). Pour prendre en compte ce dernier élément dans la transmission, on parle alors de taux de reproduction « net » (R), produit de R_0 et de cette proportion de la population sensible. C'est alors R qui doit être inférieur à 1 pour que le risque épidémique régresse et s'éteigne. La connaissance de R_0 revêt un intérêt majeur car il permet d'en déduire la proportion d'individus qui doivent être immunisés ou protégés ou d'estimer les efforts de lutte antivectorielle à conduire pour empêcher la survenue d'une épidémie.

Quant à l'intervalle sériel, il rend compte de la rapidité de survenue de cas dans la chaîne de transmission. Dans une chaîne de transmission, l'intervalle sériel est fonction de plusieurs paramètres : intervalle de temps T_V entre la date d'infection et le début des symptômes chez l'hôte (1 à 2 jours pour le chikungunya), intervalle de temps T_B entre l'apparition du fait infectieux et la piqûre par un moustique compétent (1 à 6 jours pour le chikungunya), intervalle de temps T_M entre la piqûre responsable de la contamination du moustique et de celle qui contaminera (4 à 6 jours pour le chikungunya), intervalle de temps T_I entre la date d'infection du nouvel hôte et l'apparition de ses symptômes (2 à 7 jours pour le chikungunya). Pour une infection transmise par un vecteur, ce dernier intervalle de temps dépend du vecteur et de l'interaction de l'agent infectieux avec ce dernier. D'une manière générale, plus l'intervalle sériel est court, plus la diffusion de l'infection (la multiplication du nombre de cas) s'accélère, cette accélération étant de caractère exponentiel.

de l'ensemble des paramètres nécessaires. Un grand nombre de travaux sont publiés (voir CD-ROM), mais il importe d'en vérifier les conditions d'application au cas par cas. À noter que des travaux biomathématiques récents, menés en 2004 suite à l'épidémie de Sras, permettent par exemple une application en quasi-temps réel dès l'instant où l'on dispose des données sur les cas par unité de temps et sur le lieu de survenue ainsi que d'une estimation de la distribution de l'intervalle sériel.

L'une des applications importantes de tels modèles portent sur l'évaluation des risques. Par exemple, c'est ainsi que l'ECDC, en collaboration avec l'InVS et l'*Istituto Superiore di Sanita* (Italie), a évalué le risque potentiel de voir s'installer une transmission de chikungunya et de dengue dans les régions d'Europe où le vecteur *Aedes albopictus* est présent, à l'aide d'un modèle théorique simple (voir plus haut le paragraphe sur l'« analyse du risque de chikungunya et de dengue » et les détails sur CD-ROM).

Un autre type d'applications concerne les évaluations *a priori* et *a posteriori* des actions de santé publique et d'impact des mesures de lutte antivectorielle. Les premières se sont beaucoup développées au cours des dernières années, et on recense plusieurs travaux de modélisation spécifiques de la dengue, de l'onchocercose, du paludisme, du chikungunya et de la filariose lymphatique. Le projet OnchoSim, fruit d'un partenariat entre l'université Erasmus de Rotterdam et l'OMS, est à ce titre très illustratif puisqu'il fait partie intégrante du programme de lutte de l'OMS contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest. Il a servi à évaluer *a priori* diverses interventions médicales et entomologiques ainsi que leur combinaison, montrant que l'élimination de l'onchocercose par le traitement de masse est possible, avec toutefois une durée de traitement variable selon le niveau d'infestation et d'hétérogénéité de l'épidémie.

Quant aux évaluations *a posteriori* des impacts de la lutte antivectorielle, elles permettent de reproduire (simuler) l'épidémie sans mesures de contrôle, puis de comparer ces prévisions avec les observations, avec l'application de mesures (voir détail sur CD-ROM). Ainsi, les travaux menés à la Réunion suggèrent qu'en l'absence de mesures de contrôle efficaces, 70 % des Réunionnais, voire plus, auraient dû être touchés par l'épidémie de chikungunya de 2005-2006. Le fait que l'épidémie se soit limitée à un taux d'attaque d'environ 38 % suggère que les mesures de lutte ont contribué à réduire la transmission de manière suffisante pour altérer le taux de reproduction net et à circonscrire l'importance de l'épidémie.

FORCES ET LIMITES DES MODÈLES

À la lecture de la littérature scientifique, on constate donc un foisonnement de modèles. Toutefois, si quelques-uns des travaux évoqués plus haut sont dès le départ intégrés dans un programme de prévention (comme c'est le cas d'OnchoSim cité précédemment), ce n'est pas le cas de la majorité.

À signaler également qu'un modèle de transmission d'une infection vectorielle doit intégrer les aspects sociocomportementaux : comportements de la population, contexte social, dynamique de l'immunité, effet des traitements et prophylaxies médicales... L'exemple de la transmission de la dengue à Singapour est emblématique : on a observé une discordance significative entre les succès de lutte antivectorielle (en termes d'indicateurs entomologiques) et son relatif échec en termes cliniques. Il faut en effet tenir compte de la dynamique de l'immunité de la population, suite à une réduction de la transmission du fait de la lutte antivectorielle. Ainsi, la recrudescence enregistrée aurait résulté, paradoxalement, de l'efficacité de cette lutte. Il faut être d'autant plus attentif à cet aspect qu'il existe un vaccin en développement contre la dengue.

Cette dernière remarque, qui peut également s'appliquer à la lutte contre les vecteurs du paludisme, suscite néanmoins des controverses. Des recherches complémentaires doivent être menées afin d'affiner les relations entre le risque vectoriel et le risque épidémiologique en fonction des systèmes vectoriels.

Enfin, la majorité des modèles théoriques sont de nature déterministe, donc fondés sur une hypothèse d'homogénéité très peu réaliste. Par ailleurs, peu d'entre eux concernent les infections vectorielles zoonotiques (*West Nile*, fièvre de la vallée du Rift...).

Forces

L'apport de la modélisation tient à sa capacité à améliorer la compréhension de phénomènes complexes et à éclairer les options de gestion. Les modèles permettent en effet de comparer aux plans qualitatif et quantitatif les prévisions de la dynamique de la maladie selon différents scénarios de conditions d'interaction entre l'hôte, l'agent et l'environnement, et en fonction des mesures de lutte, même s'ils ne donnent pas la possibilité de prévoir exactement le nombre de personnes affectées ou susceptibles de l'être.

Par exemple, lors de la dernière épidémie de chikungunya à la Réunion, on est en droit de penser qu'une analyse de risque fondée sur un modèle compartimental très simple et le modèle de Ross et MacDonald aurait permis, dès l'hiver austral 2005, d'identifier la vague épidémique du début 2006 comme faisant partie des scénarios très probables. De ce point de vue,

la modélisation n'est pas et ne peut rester l'apanage des seuls modélisateurs et biomathématiciens. Elle devrait au contraire impliquer une approche et des équipes multidisciplinaires (entomologistes, virologues, épidémiologistes, biomathématiciens, ainsi que spécialistes de l'environnement, de la santé humaine et animale, de la santé publique, etc.).

Limites

Il n'en reste pas moins que les modèles doivent toujours être interprétés avec beaucoup de prudence et après que l'on en a analysé avec soin les hypothèses et les conditions d'application. En outre, il faut garder en mémoire que les conclusions des modèles mathématiques sont très conditionnées par la validité des valeurs et de la distribution des paramètres utilisés (période d'incubation, de latence, et d'infectiosité, capacité et compétences vectorielles, taux de contact et hétérogénéité, force d'infection, taux d'infection pour une exposition à un vecteur infectieux, efficacité et durée de l'immunité acquise...). Nombre de ceux-ci sont souvent mal estimés et imprécis. Ils sont quelquefois inconnus, comme dans le cas d'une infection émergente. De la même manière, l'efficacité des mesures envisagées pour le contrôle doit avoir pu être estimée lors d'études spécifiques.

La validation d'un modèle vis-à-vis de données observées est une condition importante d'application plus large. Cependant, et même quand la validité interne du modèle est jugée bonne, sa validité externe (performance dans une autre population/environnement ou autre système vectoriel) n'est pas nécessairement acquise.

RECOMMANDATIONS

■ Promouvoir une structure de santé pour coordonner l'analyse de risque

Il n'existe à ce jour aucune structure organisée spécifiquement pour piloter ce type d'analyse. En revanche, des travaux d'analyse de risques sont conduits dans les agences (Agence française de sécurité sanitaire des aliments, InVS), dans les instituts de recherche (IRD, CNRS, Inra, Cirad, Inserm), dans les universités et dans les grandes écoles. L'application du concept d'analyse de risque aux infections vectorielles apparaît tout à fait pertinente et utile pour l'aide à la décision (anticipation d'un risque, risque avéré...). Du fait de la complexité de l'analyse des systèmes vectoriels, elle implique une approche multidisciplinaire rigoureuse, qui a d'ailleurs été mise en œuvre ces dernières années au sein de plusieurs structures de santé publique.

■ Développer des méthodes standardisées de recueil de données communes à l'épidémiologie humaine et animale, à l'entomologie et à la lutte antivectorielle, le tout synthétisé au sein d'un système d'information géographique

L'apport de l'entomologie dans l'alerte épidémiologique relève principalement des connaissances issues de la recherche sur la biologie des populations et les interactions pathogènes-vecteurs-hôtes, et de la performance de la surveillance entomologique mise en œuvre. Beaucoup reste à faire, en particulier : évaluation et validation des indicateurs entomologiques les plus pertinents et adaptés pour l'alerte épidémiologique.

Ce type d'outil facilitera par ailleurs le suivi des indicateurs pertinents et permettra de générer des signaux d'alerte dans une perspective d'action.

■ Développer et intégrer la modélisation dans les plans d'anticipation, de gestion, de développement des systèmes de surveillance et/ou d'alerte précoce pour optimiser l'action des décideurs et des opérationnels

Pour cela, il est nécessaire d'impliquer des équipes de recherche pluridisciplinaire, à objectifs fondamentaux ou finalisés, de manière à pouvoir analyser les systèmes vectoriels dans toute leur complexité, y compris dans leurs composantes environnementales et humaines (dont l'immunité).

Les modèles ne sont pas une finalité, mais des outils d'aide à la compréhension des observations, à la prévision et à la décision. Il importe donc de disposer d'évaluations et de validations des modèles vis-à-vis de données d'observation, afin d'assurer l'interface entre le développement conceptuel d'un modèle et son éventuelle application opérationnelle : la validité interne d'un modèle n'implique pas nécessairement sa validité externe.

Il s'agit là d'un objectif opérationnel très important qui implique un rapprochement entre les acteurs de la veille et de la recherche dans une perspective de développement et de validation d'outils opérationnels.

Des coopérations régionales et internationales¹⁴

Les vecteurs, comme les agents pathogènes, vivent ou survivent dans des zones biogéographiques qui se jouent des frontières nationales. L'introduction d'une espèce ou de populations à phénotypes particuliers (tels que la résistance à un insecticide) se fait d'ailleurs le plus souvent depuis un pays voisin. Surveillance des vecteurs et lutte antivectorielle doivent donc impérativement être réalisées à l'échelle régionale. Les tentatives d'éradication d'un vecteur dans un pays seraient vaines si le même vecteur infeste un pays proche en toute impunité.

De même, les systèmes d'alerte précoce seront d'autant plus efficaces qu'ils tiendront compte des informations recueillies au niveau de toute la région concernée par un risque vectoriel donné. Les coopérations régionales, mais aussi internationales, offrent en outre l'opportunité de partager des expériences, voire de mutualiser les moyens, tant logistiques que de formation.

En France, la lutte antivectorielle s'organise dans le cadre de quatre grandes régions : région Antilles-Guyane, région océan Indien, région Pacifique, région Europe continentale.

COOPÉRATIONS DANS LA RÉGION ANTILLES-GUYANE

Les départements et collectivités concernés sont les suivants : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Saint-Martin, Saint-Barthélemy. L'essentiel des efforts en lutte antivectorielle porte sur *Aedes aegypti* et sur les *Culex* (*Culex quinquefasciatus*). À signaler également une surveillance des *Anopheles*, vecteurs potentiels de *Plasmodium*, et de la possible introduction de *Aedes albopictus*. En revanche, les phlébotomes et les triatomes ne font l'objet d'aucune lutte organisée en Guyane, bien que vecteurs de maladies. Les tiques du bétail sont parfois soumis à des actions de lutte.

¹⁴ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 11 de l'expertise : « Quelles sont les coopérations régionales et internationales concernant la lutte antivectorielle ? ».

Les cinq départements et collectivités

Entre ces départements et les collectivités, il n'existe pas à ce jour de collaboration formalisée, que ce soit en matière de surveillance, de formation, de recherche opérationnelle, d'échanges réguliers d'expériences... On note seulement des échanges informels, assez nombreux, et quelques projets de recherche (voir CD-ROM). La mise sur pied récente d'un Psage de dengue dans chaque département contribue à améliorer les choses, en fonction des niveaux de la situation épidémiologique, mais chaque département garde encore son indépendance. Les problèmes rencontrés et lacunes observées dans les DFA ont déjà été abondamment décrits dans la littérature (voir notamment l'expertise collégiale de l'IRD, *La dengue dans les départements français d'Amérique. Comment optimiser la lutte contre cette maladie ?*, 2003).

Quelques pistes mériteraient d'être explorées pour l'avenir. Une partie de la formation des cadres pourrait, par exemple, se faire via l'université Antilles-Guyane, à vocation interrégionale. Par ailleurs, la Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane (Cire-AG) et les CVS des DSDS participent activement à la surveillance entomo-épidémiologique, à la réflexion sur une meilleure réponse face au cas de dengue et à la diffusion d'informations. Ces échanges devraient bénéficier d'un cadre plus formel et structuré à partir de 2009, dans le cadre des échanges inter-DSDS.

Les pays voisins

Avec les pays voisins, on ne relève pas non plus de relations réellement formalisées, que ce soit avec le Brésil et le Suriname, pour la Guyane, ou avec les autres îles des Caraïbes, pour les DFA. L'épidémie de dengue de 2006 avait pourtant sonné comme une alerte, mais sans que les recommandations d'alors ne se traduisent dans les faits. Pour l'instant, les coopérations amorcées avec le Brésil concernent principalement le domaine épidémiologique. Avec le Suriname, rien n'est encore engagé sur la dengue. Des données sont en revanche échangées sur la surveillance des cas de paludisme, le Suriname étant en outre favorable à une homogénéisation de la stratégie de lutte antipaludique (pour plus de détails sur le contexte de collaboration, voir CD-ROM).

Le Centre de démoustication de la Martinique s'est, pour sa part, lancé il y a quelques années dans une action de coopération sur « les aspects

entomologiques de la dengue dans la Caraïbe ». Financée par le Fonds de coopération régionale (FCR), cette action visait notamment à établir une cartographie de la typologie des principaux gîtes d'*Aedes aegypti* et des niveaux de résistance aux insecticides utilisés par les différentes équipes nationales. L'institut Pasteur de Guyane et le Centre de démoustication de Martinique ont de leur côté des échanges ponctuels avec Haïti (notamment pour le paludisme).

Quoi qu'il en soit, il y a une réelle demande d'échanges sur la lutte antivectorielle de la part de tous les techniciens de la Caraïbe (y compris de Cuba).

Le domaine vétérinaire

Dans le domaine vétérinaire, différentes actions concertées sont menées pour assurer une meilleure collaboration des différents acteurs de la surveillance entomologique. Exemple dans la région Caraïbes : le réseau CaribVET (pour *Caribbean Animal Health Network*). Ce dernier associe des institutions et des professionnels dont le but est d'améliorer la santé animale ainsi que la qualité et la sécurité des produits d'origine animale, en particulier : des laboratoires vétérinaires, des agences gouvernementales, des instituts de recherche, des associations d'agriculteurs, des organisations non gouvernementales (ONG) et des universités, principalement des Caraïbes, mais aussi de pays d'Amérique du Nord, centrale et du Sud.

Les institutions internationales

Des institutions internationales ont également vocation à intervenir en zone Caraïbes, dans le secteur de la santé publique comme dans le domaine vétérinaire. C'est notamment le cas de la communauté caribéenne (Caricom, une quinzaine d'États membres plus cinq membres associés), de la *Pan American Health organization* (Paho, le bureau de l'OMS pour les pays d'Amérique), de l'OIE, de la FAO, de la Coopération française (via l'Agence française de développement – AFD – et le FCR), de l'Union européenne (programme Interreg de coopération transfrontalière), de la Coopération américaine (via l'Usaid, l'*United States Agency for International Development*) et de la Coopération canadienne.

Ces réseaux ne se sont pas encore mobilisés sur la lutte antivectorielle, mais les choses pourraient évoluer, en particulier dans le cadre du nouveau RSI.

COOPÉRATIONS DANS LE SUD-OUEST DE L'Océan Indien

Le département français de la Réunion et la collectivité départementale de Mayotte font partie de cette région. À la Réunion, l'essentiel des efforts de lutte antivectorielle porte sur *Aedes albopictus* et *Anophele arabiensis*, accessoirement sur *Culex quinquefasciatus*. Dans le strict domaine vétérinaire, les tiques du bétail ne sont soumises à aucune lutte organisée. La mouche hémaphage *Stomoxys calcitrans* peut faire l'objet d'un contrôle. À Mayotte, la lutte antivectorielle porte sur *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, *Anophele gambiae* et *Anophele funestus*, éventuellement sur les *Culex quinquefasciatus*. Comme à la Réunion, rien n'est fait dans le domaine vétérinaire.

Dans cette zone de l'océan Indien, qui inclut Madagascar, la République islamiste des Comores, l'île Maurice, les Seychelles et, en Afrique de l'Est, le Mozambique, la Tanzanie et le Kenya, il n'y a, à ce jour, aucun réseau ni aucune coopération formalisée en matière de lutte antivectorielle. Pourtant, à diverses reprises, l'OMS a insisté sur la nécessité de mettre en place une stratégie régionale de surveillance et de réponse aux épidémies, avec surveillance et contrôle des vecteurs. L'organisation mondiale a notamment mis en place depuis 1996, avec la Commission de l'océan Indien (COI), un réseau de veille épidémiologique (Reve) sur les maladies transmissibles comprenant cinq pays (Madagascar, Comores, Seychelles, Maurice, France). L'une comme l'autre souhaitent développer cette approche.

De son côté, le rapport d'information sur l'épidémie de chikungunya à la Réunion et à Mayotte (commission des affaires culturelles familiales et sociales de l'Assemblée nationale, juillet 2006) préconisait de « poursuivre l'engagement politique fort tendant à la mise en place d'un système d'alerte et de veille à l'échelle de l'océan Indien ».

L'une des réponses à cette demande a été la création du Centre de recherche et de veille sur les maladies émergentes dans l'océan Indien (CRVOI) qui fonctionne depuis 2007. Dans le cadre de ses premières missions, il a été réalisé un inventaire des capacités, des compétences et des plates-formes dans les pays du sud-ouest de l'océan Indien, y compris en entomologie médicale. Des réseaux d'expertise, de formation, d'échanges d'expérience pourraient naître de cette initiative, bien qu'elle soit davantage ciblée sur la recherche que sur l'opérationnel.

En ce qui concerne l'absence de coopération entre la Réunion et Mayotte (hormis quelques missions d'appui technique en 2008), deux grandes raisons peuvent être invoquées : les services de lutte de ces deux entités sont très jeunes, d'une part, et les priorités définies au niveau régional visent la veille épidémiologique plus que la lutte antivectorielle, d'autre part (pour plus de détails, voir CD-ROM).

COOPÉRATIONS DANS LA RÉGION PACIFIQUE

À Wallis-et-Futuna, les vecteurs d'intérêt sont *Aedes aegypti* et *Aedes polynesiensis*. Ce sont l'Agence de santé des îles Wallis-et-Futuna et le Service territorial de l'environnement qui y conduisent la lutte antivectorielle.

Les relations régionales s'organisent essentiellement avec la Polynésie française et la Nouvelle-Calédonie. Il existe également des relations formelles avec les autres communautés du Pacifique, via le secrétariat général de la Communauté du Pacifique, mais elles ne concernent pas directement la lutte antivectorielle. Ces relations s'expriment dans deux réseaux de santé publique : le *Public Health Surveillance & Communicable Disease Control* (PHS & CDC) et le *Pacific Public Health Surveillance Network* (PPHSN).

COOPÉRATIONS DANS LA RÉGION EUROPE

Les coopérations s'organisent via des associations et des sociétés professionnelles plus qu'au travers de réseaux opérationnels communs. Les opérateurs se rencontrent régulièrement lors des congrès annuels de ces associations ou sociétés.

La France

Elle occupe une place pionnière en matière de déoustication grâce à la mise en place, dès la fin des années 1950, d'organismes publics tels que les EID. Trois EID ont été créées (EID Méditerranée, EID Atlantique, EID Rhône-Alpes), chacune bénéficiant de l'expérience acquise tout en développant sa propre expertise. La mise en place de ces structures a elle-même contribué à la création, le 4 juillet 1996, de l'Agence nationale pour la déoustication et la gestion des espaces naturels déoustiqués (Adege, voir l'encadré).

L'Adege en bref

L'Adege regroupe, outre les trois EID, d'autres structures publiques : le Syndicat intercommunal à vocation unique (Sivu) de Lauterbourg (Alsace), le Centre de démoustication de la Martinique et les services de démoustication de la Corse-du-Sud. L'association entretient également des liens étroits avec ses partenaires espagnols, catalans en particulier, et italiens. Elle offre un espace de concertation entre organismes partenaires sur les stratégies, techniques, méthodes et outils propres à la démoustication ou à la lutte antivectorielle et à la gestion des espaces démoustiqués, ainsi qu'une plate-forme pour se porter candidate à des projets transversaux. L'Adege est aussi le relais privilégié des sollicitations ou des propositions des représentants élus.

Elle organise parallèlement, avec le concours du Centre national de la fonction publique territoriale (CNFPT), des formations régulières ou occasionnelles à l'usage d'agents des services publics de démoustication. Des échanges techniques, voire des conférences à thème, ont également lieu à diverses occasions. Des démonstrations ou des essais de terrain réunissent parfois des techniciens des EID pour décider du choix d'engins ou de matériels de traitement, de techniques d'épandage et d'insecticides. Les personnels administratifs des EID se rencontrent épisodiquement pour échanger et se former sur les règles administratives.

C'est en particulier à l'Adege que la Direction générale de la santé a confié, en avril 1998, la mise en place d'une mission de surveillance de l'introduction de *Aedes albopictus* en territoire métropolitain. Par ailleurs, l'Adege a été à l'origine de la naissance, en mai 1999, de l'Association européenne des opérateurs publics de démoustication et de la gestion des zones humides démoustiquées (Eden), dont les objectifs et le fonctionnement lui sont comparables. Très active au moment de la mise en application de la directive européenne 98/8/CE, l'Eden ne s'est toutefois guère mobilisée depuis.

Le domaine vétérinaire

Dans ce domaine, le réseau MedReoNet doit servir à améliorer la surveillance des maladies transmises par les Culicoïdes (fièvre catarrhale ovine, peste équine et maladie hémorragique du daim). Cette action concertée financée par l'Union européenne consiste à favoriser le partage et l'échange des données, des expertises, des expériences et de l'information. Des réunions régulières sont organisées pour maintenir et améliorer les systèmes de

surveillance en Europe et ainsi permettre une anticipation du risque de transmission. Les partenaires sont des instituts de recherche, des services vétérinaires ou des agences nationales impliqués dans la surveillance et le diagnostic des maladies transmises par les Culicoïdes.

Des coopérations scientifiques

Des coopérations scientifiques européennes ou internationales portent sur les différents aspects de la lutte antivectorielle.

C'est ainsi que les outils spatiaux commencent à trouver des applications en la matière. Le Cnes a, par exemple, mis en place des coopérations bilatérales ou avec des organismes internationaux (voir le chapitre « La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle »).

De son côté, l'IRD s'est engagé dans diverses collaborations sur des projets de recherche opérationnelle (matériaux imprégnés, répulsifs, lutte génétique...) avec interventions en Amérique du Sud (Argentine, Bolivie, Brésil) et en Afrique (Bénin, Burkina Faso, Cameroun, Togo).

Au niveau de l'Europe, un appel d'offres a été lancé en 2008 par l'*European Center for Disease Prevention and Control* (ECDC) pour une revue sur la surveillance et le contrôle des vecteurs au niveau du continent. À signaler également, outre l'association Eden, l'*European Mosquito Control Association* (Emca), créée le 28 mars 2000 et réunissant plus de 170 membres venus de 19 pays européens et de 5 pays hors Europe sur des objectifs scientifiques et techniques communs autour de la lutte antivectorielle. Par ailleurs, les acteurs scientifiques et techniques communs autour de la lutte antivectorielle se retrouvent tous les deux ans à la conférence de la branche européenne de la *Society of Vector Ecology* (Sove), en alternance avec celle de l'Emca.

Enfin, des collaborations épisodiques ou lors d'épidémies sont menées avec l'OMS, via son bureau Europe en particulier. Par ailleurs, la DGS est de fait impliquée dans un réseau international en tant que contact français pour la mise en place et l'application du RSI, en vigueur depuis juin 2007.

RECOMMANDATIONS

- **Développer les coopérations régionales** (françaises mais aussi avec les pays voisins) afin d'améliorer la surveillance des vecteurs et l'échange d'informations, mais également pour favoriser la formation.
- **Soutenir la création de centres régionaux (océan Indien, Caraïbes, Europe) d'expertise et de formation** en relation avec un centre national (de type vectopôle).
- **Renforcer les échanges entre associations professionnelles** et créer des espaces interactifs d'information (forums sur les sites Internet dédiés, centres de documentation virtuels...) sur les activités opérationnelles, sur la répartition des vecteurs potentiels...

De la formation initiale à la formation continue¹⁵

En 2005, on évaluait à une centaine seulement le nombre d'entomologistes médicaux français, dont la moitié était âgée de plus de 50 ans. La diminution du nombre de spécialistes en ce domaine et en lutte antivectorielle a conduit à délaisser des pans entiers d'activités où la France bénéficiait d'une expertise internationalement reconnue. Aujourd'hui, plus un seul entomologiste ne se consacre à temps plein à la systématique des insectes d'intérêt médical, alors que la taxonomie, même celle des groupes d'insectes *a priori* les plus connus, doit être profondément révisée (sur cette situation alarmante, voir en particulier les rapports de l'Académie des sciences de 2000 et de 2006, non suivis d'effets à ce jour).

Plusieurs raisons peuvent être invoquées : réorganisation de l'enseignement et de la recherche en sciences de la vie, désengagement des recherches sur les vecteurs dans les pays tropicaux, manque de financements. Au plan scientifique, les travaux sur les arthropodes d'intérêt médical ou vétérinaire sont devenus, à la fin du xx^e siècle, un objet d'étude relevant de la biologie intégrative, de la génétique et plus récemment de l'immunologie, de la génomique, des sciences de l'évolution, etc. Dans la foulée, l'entomologiste « filet à papillon » s'est vu affublé d'une image péjorative tandis que, parallèlement, l'offre d'emploi se réduisait du fait d'une réduction drastique des collaborations avec les pays du Sud et d'une sous-estimation des problèmes sur le territoire national.

Néanmoins, la France conserve un potentiel de recherche et opérationnel performant, essentiellement dans différents instituts de recherches œuvrant dans les pays tropicaux : IRD, Cirad, réseau des instituts Pasteur, Institut de médecine tropicale du service de santé des armées (IMTSSA). Un potentiel existe également dans les universités, dans quelques entreprises privées et dans des agences opérationnelles : certains conseils généraux ou Ddass, EID...

¹⁵ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 12 de l'expertise : « Quelles sont les formations existantes et les besoins en formation ? ».

LES FORMATIONS EXISTANTES EN FRANCE

Une lutte antivectorielle efficace doit être conçue dans un cadre épidémiologique et dans un contexte organisationnel précis. Elle doit, ensuite, être mise en application et évaluée. Les compétences requises à ces différents stades ne sont pas les mêmes et ne relèvent pas toujours des mêmes parcours de formation.

Formation initiale

La formation initiale comprend des cursus conduisant à l'obtention d'un master, d'un diplôme d'ingénieur ou d'un grade de technicien.

Les masters

Le master international d'entomologie médicale et vétérinaire (MIE) offre la formation de haut niveau la plus complète en France et dans les pays francophones. Ses objectifs sont d'assurer aux étudiants du Nord comme du Sud un enseignement ouvrant sur la recherche en biologie, en systématique des vecteurs, en écologie vectorielle, en génétique des populations, en génomique et postgénomique et en contrôle des vecteurs. Le MIE associe désormais deux universités : celle d'Abomey Calavi (Bénin) et Montpellier-II. Il est soutenu par l'IRD, porteur du projet, l'Institut régional de santé publique (IRSP) de Ouidah (Bénin) et le Centre de recherche en entomologie de Cotonou (Crec). Entre 2005 et 2008, 45 étudiants de diverses nationalités venus de trois continents (Afrique, Europe et Amérique du Sud) ont suivi ce master, développant ainsi une culture commune, à l'instar de formations similaires à l'étranger (voir l'encadré).

Toujours à Montpellier, des modules ou séminaires spécialisés sont, par ailleurs, proposés dans le cadre d'autres masters de la spécialité « biodiversité et interactions microbiennes et parasitaires » (BIMP) du master Sciences pour l'environnement : santé animale et épidémiologie-surveillance dans les pays du Sud (SAEPS) organisé avec le Cirad et l'École vétérinaire de Toulouse ; maladies infectieuses, vectorielles et alimentaires (Miva) à l'université de Kasetsart (Thaïlande), en partenariat avec les instituts Pasteur et le Cirad ; surveillance épidémiologique des maladies humaines et animales (Semha), en collaboration avec l'université Paris-XI, le Cirad et l'École vétérinaire de Maisons-Alfort ; dynamique des interactions parasite-hôte-environnement.

Formations à l'étranger

■ Un master anglophone en *Medical Entomology and Vector Control* a démarré en juin 2008. Il se tient à l'université de Gezira (Soudan) avec le concours du *Blue Nile National Institute for Communicable Diseases* (BNNICD). Avec le soutien du bureau régional de l'OMS basé au Caire (Égypte), ce master vise à couvrir les besoins en formation dans le domaine de l'entomologie médicale et de la lutte antivectorielle des pays nord et est-africains, ainsi que du Proche et Moyen-Orient ayant en commun la langue anglaise ou arabe.

■ Un master hispanophone en *Medical Entomology and Vector Control* de douze mois se tient chaque année à l'institut Pedro-Kouri de La Havane (Cuba). Il couvre les besoins en formation dans le domaine de l'entomologie médicale et de la lutte antivectorielle des pays d'Amérique centrale et du Sud ayant en commun le castillan. Il reçoit le soutien du bureau régional *Pan American Health Organization* (PAHO) de l'OMS.

■ Plusieurs universités européennes proposent des modules, stages, *training courses* en entomologie médicale (voir détails sur CD-ROM).

■ Aux États-Unis, l'investissement très important dans la lutte antivectorielle et contre les nuisances se traduit par une multiplicité des formations. Celles-ci vont du niveau master en entomologie médicale (universités de Floride, de Californie, de Louisiane...) à des cours de quelques heures théoriques et pratiques pour les particuliers (application d'insecticides...) organisés par l'*Environmental Protection Agency* (EPA), les *Centers for Disease Control* (CDC)... L'*American Mosquito Control Association*, très présente sur le terrain, accorde en outre des bourses en partenariat avec les États impliqués dans la lutte antivectorielle (Californie, Floride, New Jersey, Louisiane...).

Quant à l'université de Tours, elle propose un master 2 (Contrôle et conservation de populations d'insectes) au sein duquel quelques heures sont consacrées à l'entomologie médicale et vétérinaire ainsi qu'à la lutte antivectorielle (voir détails sur CD-ROM).

À signaler également un master Maladies transmissibles et pathologies tropicales comprenant un volet d'entomologie médicale, à l'université de Marseille et un cours théorique approfondi sur les vecteurs de deux mois proposé par l'Institut Pasteur (Paris) et l'IRD. Ce dernier, dont le recrutement est international, s'adresse à des titulaires d'un master ou d'un doctorat.

Autres formations de niveau master ou ingénieur

Outre l'enseignement optionnel proposé en école doctorale à Montpellier (30 heures d'entomologie médicale), trois types d'écoles intègrent quelques aspects d'entomologie et/ou de lutte antivectorielle, en particulier : les écoles vétérinaires, les écoles agronomiques et agricoles, les écoles d'ingénieurs sanitaires.

Dans les écoles vétérinaires, les étudiants reçoivent un enseignement de base en entomologie vétérinaire concernant les principes de la lutte antivectorielle, la bio-écologie et l'identification des vecteurs. À cela s'ajoutent des enseignements sur les maladies vectorielles mais aussi sur les différentes classes d'insecticides. Il serait toutefois utile de compléter par une formation spécifique d'entomologie vétérinaire ciblée sur les problématiques françaises.

Les écoles agronomiques et agricoles ne dispensent pas de formations sur la lutte antivectorielle. Certaines d'entre elles abordent les pesticides, y compris les insecticides et leurs modes d'action et d'application, mais contre des arthropodes ravageurs des cultures et non pas des vecteurs.

En ce qui concerne les écoles d'ingénieurs sanitaires, elles n'abordent que rapidement la lutte antivectorielle et dans le cadre d'autres disciplines en santé publique. Exemple : 8 heures sur les risques vectoriels et la lutte antivectorielle dans la filière sanitaire de l'École des hautes études en santé publique (EHESP).

Pour sa part, L'IMTSSA, à Marseille, organise chaque année une formation de 40 heures en entomologie médicale, ainsi qu'un cours de lutte antipaludique.

Il est important enfin de noter qu'aucun module ni séminaire ne traite des aspects juridiques de la lutte antivectorielle.

Formation de techniciens

À ce jour, aucune formation spécifique n'existe en France pour former des techniciens (bac professionnel) ou des techniciens supérieurs (DUT, BTS, licence professionnelle) sur les vecteurs et la lutte antivectorielle.

Reste que depuis le 1^{er} janvier 1996, un agrément professionnel est obligatoire pour tout établissement effectuant des prestations de service (distribution, application) dans le secteur des produits phytosanitaires ou des bio-cides (décret du 5 octobre 1994, arrêtés des 6 et 13 mars 1995). Délivré par les Services régionaux de la protection des végétaux (SRPV), cet agrément

suppose que soient réunies deux conditions : l'entreprise dispose d'au moins un agent permanent certifié sur dix affectés à ce type de services, et elle peut justifier d'une assurance de responsabilité civile professionnelle.

Le certificat d'applicateur de produits antiparasitaires et assimilés (Capa), ou certificat de distributeurs et applicateurs de produits antiparasitaires (Dapa), est une attestation nominative. Ce dernier peut être obtenu sur diplôme ou après validation d'acquis et d'expérience (VAE) de cinq ans minimum, dans le secteur d'activité concerné ou dans un Centre de formation professionnelle et de promotion agricoles (CFPPA) habilité. Il doit être renouvelé tous les cinq ans sur la base d'un dossier et d'une réactualisation des connaissances.

Par ailleurs, certaines entreprises privées intervenant en désinsectisation-dératisation-désinfection (3D) dispensent des modules ciblés à destination de professionnels du secteur.

Formation continue

La formation continue se fait au coup par coup. Aucune formation ou remise à niveau sur les maladies vectorielles, les méthodes de lutte, les moyens de protection, les résistances aux insecticides, le cadre législatif... n'est organisée de manière concertée au niveau national. Suite à une nouvelle sollicitation de la DGS, l'EHESP devrait mettre en place une telle formation à partir de 2009. En attendant, les services de lutte « se débrouillent » pour former leurs agents et/ou chefs d'équipes ou de services, en leur permettant de suivre des modules de master ou d'école doctorale, des stages dans des services ou des laboratoires...

On note toutefois l'existence, depuis quelques années, d'un cycle de formation spécifique (deux sessions annuelles d'une semaine) proposé par l'Adege avec le concours du CNFPT. Cette formation est exclusivement destinée aux agents techniques et techniciens de la démoustication (pour d'autres formations sporadiques, voir CD-ROM).

Enfin, depuis 2005, la mise en place plus formelle des procédures d'hygiène et de sécurité, conformément aux règles en vigueur, s'accompagne d'actions de formation : en 2006, une vingtaine de modules d'enseignement ont été organisés au siège et dans les différentes agences de l'EID Méditerranée sur la sécurité des produits chimiques, le secourisme du travail, les gestes et les postures, la conduite d'engins de traitement, etc.

LES BESOINS EN FORMATION

Les besoins concernent autant les techniciens que l'encadrement.

Formation des cadres

Au niveau des cadres, les offres comme les masters de Montpellier et de Tours devraient répondre en partie à la nécessité de renforcer l'encadrement technique supérieur. Toutefois, l'expertise locale serait significativement améliorée par quelques bourses de master et de thèse fléchées sur la lutte antivectorielle, en particulier dans les départements français tropicaux, comme cela avait déjà été suggéré dans plusieurs rapports précédents (voir par exemple le rapport de mission 2006 de l'épidémiologiste Antoine Flahaut). Des enseignements plus fournis de lutte antivectorielle devraient, par ailleurs, être introduits dans les écoles d'agronomie, d'agriculture et vétérinaire et dans les formations de cadres en santé publique (type celles de l'EHESP).

Formation des techniciens

Au niveau des techniciens, les manques sont considérables. Les techniciens sanitaires des Ddass, recrutés par concours, ont tous des formations initiales très différentes. Peu d'entre eux ont passé des concours de technicien sanitaire. Dans l'ensemble, les techniciens du ministère de la Santé sont insuffisamment formés à la santé environnementale. La situation est identique dans les Directions des services vétérinaires (DSV). Il est donc indispensable de mettre en place des formations continues axées sur l'opérationnel et des modules de formation dans les cursus existants ainsi qu'en formation continue, de préférence à des formations type baccalauréat professionnel, DUT...

Ce constat ressortissait déjà de l'expertise collégiale de l'IRD (2003) relative à la dengue dans les DFA. Si cette recommandation générale reste d'actualité, il semble tout aussi fondamental que ces formations permettent aux agents, non seulement d'améliorer leur pratique, mais aussi de bénéficier d'évolutions de carrière (vu la pénibilité, parfois, de cette activité). Il en résultera la possibilité d'élaborer de véritables stratégies de recrutement qui font aujourd'hui trop défaut dans les services de lutte antivectorielle.

Le contenu des enseignements devrait porter sur : vecteurs et maladies, hygiène et sécurité, techniques de lutte antivectorielle, communication sociale,

cartographie (systèmes d'information géographique...). Une fois formées, certaines personnes pourront servir de relais (formateurs à leur tour) pour initier des agents communaux ou des personnels de complexes hôteliers.

Formation continue

Au niveau de la formation continue, le Capa/Dapa relève d'une bonne idée de départ mais son contenu, actuellement trop général, devrait être davantage ciblé par métier et harmonisé au travers des divers centres de formation. En outre, pour la réactualisation des connaissances, le renouvellement tous les cinq ans est sans doute insuffisant. De même que la demande d'un agent certifié seulement sur dix affectés à la lutte antivectorielle est loin d'être suffisant.

Il serait par ailleurs utile que le CNFPT, sous l'impulsion conjointe de la DGS, de la DGAL, des conseils généraux et des communes concernées, développe une offre de formation continue adaptée aux agents des services de lutte antivectorielle, avec le concours éventuel de l'EHESP.

Les initiatives prises en Martinique pourraient servir d'exemple. Des sessions de formations sont en effet organisées depuis quelques années à l'attention des personnels municipaux (« relais municipaux démoustication ») par le service de lutte antivectorielle (une semaine de formation initiale puis remise à niveau permanente). Ensuite, ces « relais municipaux » interviennent sur le terrain, seuls ou en association avec les agents de lutte antivectorielle. Des contacts sont en cours avec le centre de gestion et le CNFPT local afin que de telles formations puissent être validées et prises en compte dans les parcours professionnels.

En termes d'organisation, les formations pourraient être envisagées par grandes régions (océan Indien, Antilles-Guyane...), tandis qu'il serait fait appel à des experts de réseaux scientifiques (vectopôle de Montpellier, Adege...).

RECOMMANDATIONS

■ **Veiller** à ce qu'au moins un cadre de chaque opérateur de la lutte antivectorielle (EID, conseils généraux, grandes collectivités, services de l'État) suive une formation de haut niveau, type master en entomologie, ou bien recruter une personne l'ayant suivie.

■ **Promouvoir** une meilleure formation théorique et pratique sur tous les aspects de la lutte antivectorielle parmi les cadres de santé publique et vétérinaire (médecins, vétérinaires, agronomes, ingénieurs sanitaires, infirmiers). La formation continue des cadres de santé publique pourrait être prise en charge par l'EHESP, avec l'aide d'experts français (vectopôle de Montpellier, cadres de structures opérationnelles...) ou internationaux.

■ **Renforcer et structurer** la formation continue des agents techniques afin de prendre en compte les évolutions de techniques, des réglementations et des risques vectoriels et épidémiques. Elle peut être organisée régionalement par le CNFPT en s'appuyant sur les compétences locales, elles-mêmes renforcées par les réseaux professionnels de type Adege et les centres d'expertise. L'impulsion et l'évaluation doivent être sous le contrôle de la DGS et de la DGAL.

La recherche : un gage de succès pour la lutte antivectorielle¹⁶

L'histoire de la recherche en lutte antivectorielle est parsemée de succès et d'échecs dont il serait utile de tirer les leçons. L'un des principaux succès est le programme de lutte contre l'onchocercose, en Afrique de l'Ouest. À l'origine de cette réussite : des recherches intensives sur les espèces de simules vectrices et sur leur biologie, sur les insecticides utilisables et sur les stratégies de rotation de produits, le tout accompagné d'efforts financiers et humains considérables pendant plus de trente ans. Une approche pionnière, car très multidisciplinaire, a permis de contrôler la transmission de la maladie, au point qu'à ce jour, elle ne constitue plus un problème de santé publique.

Inversement, la tentative d'éradication mondiale du paludisme par la lutte antivectorielle conduite de 1955 à 1968 s'est soldée par un échec en zone tropicale (voir CD-ROM). Plus récemment, l'introduction et la diffusion du virus du Nil occidental (VWN) aux États-Unis ont révélé le déficit de connaissances. Il en va de même en ce qui concerne l'épidémie récente (2005-2006) de chikungunya à la Réunion.

D'une manière générale, la lutte antivectorielle s'appuie sur des recherches finalisées, mais suscite parfois des questions plus fondamentales. Les outils performants aujourd'hui mis en œuvre (moustiquaires imprégnées d'insecticides, pièges visuels à glossines...) sont souvent le fruit de recherches menées en amont dans de nombreuses disciplines. Elles relèvent des sciences de l'ingénieur, des sciences biologiques, de la chimie, de l'épidémiologie, des biomathématiques... mais aussi des sciences humaines et sociales ainsi que des sciences économiques et politiques.

¹⁶ Dans ce chapitre, les références au CD-ROM concernent la question 13 de l'expertise : « Comment la recherche contribue-t-elle à l'amélioration de la lutte antivectorielle ? ».

DE LA CONNAISSANCE DES VECTEURS AUX OUTILS DE LUTTE

Si l'on en croit l'adage selon lequel il faut connaître ses ennemis pour les combattre efficacement, les recherches sur la surveillance des vecteurs, sur les produits biocides et sur les équipements et matériaux doivent évidemment s'appuyer sur une bonne connaissance de la biologie des vecteurs.

La biologie des vecteurs

La biologie des vecteurs comporte des recherches « systématique » et en « biologie des populations ».

Systématique

L'un des préalables à la lutte antivectorielle est de savoir identifier les vecteurs et de les situer dans un contexte évolutif. Pour fixer les idées, rappelons que près de 900 000 espèces d'insectes sont aujourd'hui répertoriées, soit plus de 80 % des espèces animales décrites à ce jour. Près de 10 000 nouvelles espèces d'insectes sont publiées chaque année, et l'on estime entre deux et trente millions le nombre d'espèces encore à découvrir. Or, au fur et à mesure des observations, il est apparu que la plupart des vecteurs appartenaient à des complexes d'espèces morphologiquement similaires mais génétiquement différentes et isolées au plan de la reproduction.

En matière de taxonomie, des logiciels d'identification à entrées multiples pallient désormais aux déficiences et à la subjectivité des clés dichotomiques classiques. Il a également été mis au point des outils moléculaires, essentiellement fondés sur la PCR, qui permettent d'identifier la majorité des taxons. Ainsi, en Tanzanie et en Afrique du Sud, alors que la présence de moustiques persistait après traitement insecticide, il s'est avéré (au vu de tests par PCR) que seuls des individus d'*Anophele parensis*, d'*Anophele rivulorum* ou d'*Anophele vaneedeni*, du même groupe que *Anophele funestus* mais exophiles et non vecteurs, s'étaient maintenus alors que *Anophele funestus* avait bien été contrôlé. La pratique du séquençage d'ADN ribosomique, d'ADN mitochondrial, ou d'intron et exons de gènes nucléaires permet d'affiner la phylogénie et la phylogéographie de nombreuses espèces de vecteurs. Il a ainsi été montré qu'en Camargue, les populations d'*Anophele hyrcanus* et d'*Anophele pseudopictus* constituaient une seule espèce.

Biologie des populations de vecteurs

Aujourd'hui, les mécanismes génétiques de la compétence vectorielle commencent aussi à être connus, grâce à la génétique quantitative appliquée aux insectes et aux outils de génomique fonctionnelle. C'est chez *Anophele gambiae*, vecteur majeur de *Plasmodium* humain en Afrique, que les connaissances progressent le plus vite. Les études ont montré que ce moustique, comme les autres insectes, développe une immunité cellulaire impliquant des processus de mélanisation et de phagocytose par des hémocytes, ainsi qu'une immunité humorale via des peptides antimicrobiens. Son génome complet a été séquencé et en partie annoté (voir CD-ROM pour d'autres vecteurs et agents infectieux).

Mais une avancée conceptuelle majeure en entomologie est la prise en compte de la dynamique du système vectoriel dans son ensemble, autrement dit du système composé des populations de vecteurs, de parasites et d'hôtes, tous adaptés à un moment donné à un environnement lui-même changeant. L'étude des vecteurs devient alors une composante de l'éco-épidémiologie. Les progrès considérables en génétique des populations de vecteurs accomplis récemment ont permis de mieux comprendre les liens entre chacun des acteurs du système et de mieux appréhender l'importance de phénomènes de co-adaptation et de co-évolution.

De nombreuses recherches ont notamment été conduites sur l'adaptation physiologique, génétique, morphologique et comportementale des vecteurs à des environnements en évolution, en particulier suite à des changements climatiques et environnementaux. Les résultats obtenus portent, entre autres, sur le choix du partenaire sexuel des vecteurs, le choix du gîte de repos et du gîte larvaire des moustiques, l'identification de gènes impliqués dans ces comportements et la compréhension des mécanismes de leur expression. Ils doivent pour une grande part aux nouveaux outils de biologie moléculaire, mais aussi au regain d'études descriptives et explicatives sur les comportements et les traits de vie des vecteurs (voir CD-ROM).

La composante socio-anthropologique est également mieux intégrée. Il apparaît, par exemple, que le développement et l'expansion de la dengue en Asie, en Amérique du Sud et dans les Caraïbes sont fortement corrélés à l'urbanisation et au niveau de vie. De même, les phénomènes de recolonisation des habitations par des triatomes sylvestres, vecteurs de la maladie de Chagas, permettent d'expliquer la persistance de la transmission après lutte antivectorielle.

La surveillance des vecteurs

La surveillance des vecteurs, grâce à des pièges de capture notamment, vise à détecter la présence d'un vecteur ou d'une population donnée (introduction d'un vecteur exotique dans une zone jusque-là « indemne »...) ou bien à déterminer l'abondance des vecteurs dans le but d'estimer le risque de transmission (voir l'encadré sur « Les paramètres clés de la transmission » dans le chapitre « De l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique »). Dans le premier cas (détection de présence), les pièges doivent être aussi sensibles que possible. Dans le second (évaluation d'abondance), les pièges doivent refléter la diversité et la quantité d'insectes se gorgeant naturellement sur les hôtes d'intérêt.

La littérature est très riche de descriptions de méthodes de piégeage. L'histoire de celles utilisées pour les glossines africaines (mouche tsé-tsé), vecteurs de la maladie du sommeil, illustre parfaitement la manière dont la recherche permet de progresser (voir l'encadré).

Évolution des pièges à glossines

- Les premières méthodes de captures des glossines étaient rudimentaires, mais relativement efficaces : captureurs, écrans imprégnés de glue.
- 1930 : premier piège à glossine. Ce piège Harris est une enceinte surmontée d'une cage pourvue d'un dispositif antiretour.
- Années 1970 : les pièges vont fortement évoluer grâce à des études sur le comportement des glossines vis-à-vis des animaux, des odeurs, des couleurs... Les observations révèlent notamment que : la forme et la taille du piège influent sur la capture (une seule forme ne peut être efficace pour toutes les espèces de glossines), certaines espèces sont sensibles aux mouvements (d'où l'utilisation de véhicules porteurs de grilles électrifiées), les glossines sont capables de distinguer les couleurs (certaines étant attractives, comme le bleu royal), certaines glossines sont sensibles aux odeurs (différentes substances peuvent être utilisées)...
- Ces observations vont aboutir, entre autres, au piège biconique bleu et noir de Chailier-Laveissière, simple, léger, pliable, bon marché et efficace surtout pour les glossines des galeries forestières, et au piège cubique bleu de Flint utilisable à poste fixe contre les glossines de savane.

Les travaux des scientifiques permettent notamment de concevoir des pièges les mieux adaptés aux objectifs de surveillance : pièges avec ou sans appât animal, pièges ciblant seulement les femelles, pièges à oviposition... (voir détails sur CD-ROM).

Les produits biocides

Les produits biocides, pour être efficaces, doivent évoluer en permanence du fait des résistances ou de l'adaptation des vecteurs. La législation impose également l'abandon d'un certain nombre d'entre eux.

Les nouveaux insecticides

Suite à la mise en application de la directive 98/8/CE, la plupart des anciens biocides efficaces et peu coûteux (les organophosphorés et les carbamates en général), non notifiés ou non soutenus par leur fabricant, ont disparu (le téméphos, le malathion) ou sont en passe de l'être (fénitrothion). Quant au développement de nouveaux produits, l'un des freins semble tenir au caractère non prioritaire de ce marché aux yeux des fabricants, du fait de sa faible rentabilité.

Des considérations de coût, d'acceptabilité, de sécurité et plus récemment de respect de l'environnement ont toutefois conduit les industriels, les instituts de recherche et les agences internationales à proposer de nouvelles molécules telles que des insecticides d'origine biologique : *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*), efficace contre les simulies et certains moustiques, *B. sphaericus* (*Bs*), actif contre les moustiques du genre *Culex*, le spinosad, de la famille chimique des naturalites issues de bactéries actinomycètes, ou encore des pyréthrinoides, peu toxiques contre les homéothermes, et enfin des régulateurs de croissance, mimétiques d'hormones d'insectes (voir l'encadré).

Reste qu'à ce jour, peu de pistes réellement innovantes sont explorées. On note quelques essais en cours sur des substances naturelles telles que des huiles essentielles ou des extraits de plantes (géraniol). Des laboratoires de recherche travaillent sur de nouveaux biocides (chimiques ou bactériens) issus de criblage sur des cibles spécifiques d'arthropodes nuisibles. Quelques-uns ont donné lieu à des dépôts de brevets. Mais le lien entre la recherche en laboratoire et les industries agrochimiques ne s'établit pas facilement. En outre, le développement et la mise sur le marché d'un nouveau produit sont très chers et pas nécessairement rentables pour l'industriel.

Insecticides utilisables en France en bref

Le malathion, le téméphos et le fénithrotrion ne sont plus autorisés en Europe.

Larvicides

■ *Bti* et *Bs*

- Utilisation : un spectre toxicologique très favorable et d'une grande sélectivité.
- Limites : le *Bti* agit sur la majorité des espèces de Culicidés, le *Bs* est plus spécifique des *Culex* et des *Anophèles*.
- Évolutions : diversification des formulations en fonction de la diversité des situations de terrain.

■ Diflubenzuron

- Action : inhibiteur de développement.
- Utilisation : peu ou pas utilisé jusqu'à présent, en raison de son mode d'action ne se manifestant qu'au moment des mues.
- Limites : effets non négligeables invertébrés.
- Usages potentiels : plutôt contre les espèces vivant en milieu urbain, mélanges extemporanés avec d'autres larvicides à évaluer.

■ Pyriproxifène et S-méthoprene

- Action : mimétiques de l'hormone de croissance.
- Utilisation : efficace à très faible concentration. Peu ou pas utilisé jusqu'à présent en raison de leur mode d'action ne se manifestant qu'au moment de l'émergence.
- Limites : effets à évaluer sur les invertébrés aquatiques non-cibles en cours de développement.
- Évolution : plutôt en milieu urbain (longue persistance d'action), mélanges extemporanés avec d'autres larvicides à évaluer.

■ Spinosad

- Action : altérations du système nerveux de nombreux insectes.
- Utilisation : homologué dans certains États membres contre les insectes déprédateurs (agriculture), usage comme larvicide anticulicidien en cours d'évaluation.
- Limites : premières évaluations peu encourageantes pour un usage en milieu naturel en raison des effets sur les invertébrés aquatiques non-cibles.

[...]

suite

[...]

Imagocides

- Usages éventuels : dans les programmes de démoustication ou de lutte anti-vectorielle.
- Limites : peu sélectifs de l'entomofaune non-cible.
- Évolutions : plus d'une vingtaine de molécules soutenues au niveau communautaire (Union européenne).

■ Deltaméthrine

- Usages : pour le traitement spatial et le traitement résiduel.
- Évolutions : une formulation sous forme d'émulsion aqueuse est commercialisée. Essais d'efficacité et de sélectivité en cours en vue de remplacer le fénitrothion.

■ Autres pyréthrinoides notifiés

- Usages : pourraient entrer dans la composition de produits destinés à des traitements imagocides intradomiciliaires non spécifiés (insectes/arthropodes nuisants, commensaux de l'être humain).
- Limites : coût de leur homologation, résistance croissante aux pyréthrinoides (Kdr, résistance croisée avec celle du DDT).

Produits nécessitant des recherches

Pyrèthre naturel (très photolabile et allergisant), étofenprox (un pyréthrinoides non esterifié), naled, un des rares organophosphorés notifié (adulticide en traitement spatial), extraits naturels de plantes et huiles essentielles comme répulsifs ou insecticides...

Sensibilité et résistance aux insecticides

De nombreux vecteurs sont devenus résistants aux insecticides. La gestion des résistances aux insecticides passe par leur caractérisation. La résistance est un phénomène adaptatif. Elle apparaît généralement dans une zone restreinte, mais elle peut s'étendre rapidement par migration active et, surtout, par migration passive puisque les moustiques peuvent se propager très loin de leur habitat via les avions ou bateaux. Leur adaptation génétique est plus ou moins efficace selon les gènes mutés, la nature des mutations et la pression de sélection exercée.

Des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années concernant la compréhension des mécanismes génétiques, dont deux grands types

ont été mis en évidence au sein des populations de moustiques. Le premier, appelé résistance métabolique, correspond à une détoxification accrue de l'insecticide par des enzymes qui le piègent et/ou l'inactivent avant qu'il n'atteigne sa cible. Le second correspond à la mutation des cibles du produit qui modifient leur conformation et leur affinité pour celui-ci.

L'élucidation de ces mécanismes ne peut qu'améliorer la lutte antivectorielle. En particulier, la construction de souches résistantes en *insectarium* à fond génétique contrôlé permet d'attribuer, à une mutation contrôlée, des niveaux de résistance à différents insecticides. La mise au point de tests de détection de ces mutations (détection biochimique ou moléculaire) offrira la possibilité de mesurer leur fréquence en populations naturelles. Ces fréquences seront corrélées à des facteurs environnementaux (traitements biocides, données écologiques...) et à des facteurs génétiques (voir détails sur CD-ROM).

Répulsifs et associations insecticides-répulsifs

Le caractère polluant des insecticides et le développement de résistances aux insecticides ont conduit les industriels, les instituts de recherche et les agences internationales à s'intéresser aux répulsifs. Ces molécules, couramment utilisées pour la protection personnelle contre les piquûres d'insectes, font l'objet d'un regain d'intérêt en santé publique. Trois stratégies de lutte sont actuellement étudiées : l'utilisation des répulsifs en application cutanée seuls ou en complément de l'utilisation communautaire de moustiquaires ou de matériaux imprégnés, l'imprégnation de matériaux avec des répulsifs seuls, et l'utilisation de combinaisons répulsifs-insecticides à des doses réduites pour l'imprégnation de matériaux (pour en savoir plus sur les résultats obtenus, voir CD-ROM).

Néanmoins, la recherche concernant les répulsifs et leur utilisation en santé publique n'en est qu'à ses débuts. Des recherches fondamentales concernant l'olfaction et les effets des répulsifs sur le système nerveux des insectes s'avèrent indispensables et urgentes. Des études sont actuellement menées sur des petites molécules qui fonctionneraient comme antagonistes des récepteurs chimio-sensoriels des moustiques et qui seraient ainsi en mesure de détruire leur système olfactif. Ces répulsifs de deuxième génération pourraient remplacer le DEET et la Picaridine, utilisés depuis des années. Parallèlement, l'identification de molécules agonistes ou antagonistes aux récepteurs à CO₂ présents chez les moustiques ouvre la voie à la mise au point de nouvelles substances.

Par ailleurs, les répulsifs étant extrêmement volatiles, le problème se pose de leur rémanence sur les matériaux imprégnés. Une étroite collaboration entre chimistes, biologistes et industriels s'impose pour entreprendre des recherches visant à formuler des substances qui répondent à des caractéristiques de rémanence bien définies, notamment à longue durée d'action. Il est en outre indispensable, comme pour toute nouvelle molécule, d'étudier la toxicologie des produits, seuls ou en combinaison. Enfin, leur efficacité, seule ou en combinaison avec d'autres moyens de lutte, doit être mesurée au niveau des populations sur le terrain. Il s'agit de questions de recherche en santé publique qui impliquent, lors de la mise en œuvre d'un programme de lutte, des protocoles d'évaluation comparatif expérimental ou quasi expérimental. Un groupe de travail a été mis en place en 2008 par la DGS pour aborder ces questions.

Effets indésirables

Les biocides sont évidemment susceptibles d'entraîner des effets néfastes non intentionnels sur l'environnement, dont l'étude relève de l'écotoxicologie, mais aussi sur l'homme et sur l'animal, dont l'analyse nécessite notamment des recherches en toxicologie. On peut en particulier voir apparaître des phénomènes de résistance à certaines familles d'insecticides ou, encore, de changement de comportement (évitement). Parallèlement, la pression exercée par l'emploi intensif d'insecticides et la diminution d'abondance d'un vecteur peuvent entraîner une augmentation de la sévérité des maladies du fait de la perte d'immunité. Tous ces aspects sont abondamment traités dans le chapitre « Effets non intentionnels ».

Pesticides en agriculture versus résistance des vecteurs

L'utilisation d'insecticides en agriculture peut se traduire par deux effets directs sur les populations d'insectes vecteurs : par une action non spécifique, ces insecticides tuent également les vecteurs, mais, de manière plus préoccupante, ils sélectionnent l'apparition de résistances chez ces derniers en créant une pression de sélection.

Après quarante ans d'utilisation intensive d'insecticides organochlorés (OCs) et organophosphorés (OPs) en agriculture (coton notamment), les experts de l'OMS et de la FAO reconnaissaient à la fin des années 1980 l'évidence d'une sélection des insectes vecteurs de maladies par les pratiques phytosanitaires agricoles. Typiquement, sur les 48 espèces d'anophèles deve-

nues résistantes, des populations appartenant à treize d'entre elles étaient présumées avoir été sélectionnées par les insecticides agricoles (voir d'autres exemples sur CD-ROM). En outre, lorsque les traitements agricoles co-existent avec des opérations de lutte antivectorielle, leur importance relative sur le processus de sélection n'est pas toujours évidente.

L'identification puis le suivi du gène de résistance aux organochlorés et aux pyréthrinoïdes (gène *kdr*) dans les populations anophéliennes ont confirmé la continuité du processus de sélection des anophèles par les traitements agricoles en Côte d'Ivoire et au Burkina Faso (voir d'autres exemples et la littérature sur le sujet sur CD-ROM). Il existe aujourd'hui des alternatives chimiques aux pyréthrinoïdes en agriculture (spinosad, indoxacarb, régulateurs de croissance), mais aussi d'autres stratégies de protection (coton biologique, variétés génétiquement modifiées), susceptibles de réduire considérablement l'impact des pratiques agricoles sur la sélection des vecteurs du paludisme. Une cartographie régionale de la résistance des populations anophéliennes en fonction des stratégies utilisées dans les différents systèmes de culture permettrait de confirmer cette hypothèse.

En ce qui concerne les engrais, notamment les engrais modernes de type NPK (azote, phosphore, potassium), ils peuvent posséder des propriétés attractives vis-à-vis des femelles gravides d'*Aedes aegypti* à certaines concentrations : il semblerait que le pouvoir attractif induit par la combinaison NPK repose sur une proportion précise de ses éléments constitutifs. La vigilance à exercer concerne aussi les zones résidentielles où jardins, plantes en pot... sont nombreux et reçoivent des engrais. Ainsi, pour *Aedes albopictus*, vecteur du virus chikungunya, les gîtes de prédilection en milieu urbain sont précisément les soucoupes situées sous les pots de fleurs. Sur toutes les cultures, l'utilisation des engrais se combine aux traitements insecticides.

Les principaux mécanismes de résistance aux insecticides sont soit des mutations de cible, soit des résistances métaboliques, lesquelles correspondent à une détoxification accrue des pesticides et polluants par des enzymes (pour en savoir plus, voir CD-ROM). Il ne faut donc pas s'étonner que dans les grandes métropoles tropicales, *Culex quinquefasciatus*, observé dans les gîtes les plus pollués, soit devenu fortement résistant à la plupart des familles d'insecticides chimiques, alors qu'il ne fait généralement pas l'objet de campagne de lutte par des pesticides et polluants. Cela est d'autant plus préoccupant que l'on assiste depuis peu à une colonisation croissante de

gîtes anthropiques et pollués en milieu urbain tropical par certains vecteurs majeurs comme *Anophele gambiae*, vecteur du paludisme en Afrique.

Équipements et matériaux

Chaque élément matériel utilisé pour la lutte antivectorielle doit soigneusement être étudié et dimensionné à des fins d'efficacité, mais aussi de limitation des effets non intentionnels.

En ce qui concerne les équipements de pulvérisation et les conditions de traitement, les recherches visent notamment à les optimiser au regard des nouvelles exigences en matière d'hygiène et de sécurité. Pour les EPI, des améliorations possibles concernent leur ergonomie, compte tenu de la pénibilité du travail en zones humides ou en milieux confinés (voir CD-ROM). Une autre amélioration, fruit d'une collaboration entre l'EID Méditerranée et l'Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et de l'environnement (Cemagref, Montpellier) porte sur la mise en place de DGPS (*Differential Global Positioning System*) embarqués et l'enregistrement des débits avant la sortie de la buse. Ces deux organismes associent également leurs efforts pour développer des générateurs de gouttelettes susceptibles d'optimiser l'épandage de *Bti* par voie aérienne.

Les épandages aériens sont toutefois confrontés à l'image défavorable de leur usage dans l'agriculture. Ils ne pourront donc être maintenus qu'accompagnés de mesures rigoureuses (preuve de leur efficacité, meilleure maîtrise possible des paramètres de traitement). Des essais sont ainsi en cours, sous la houlette de l'EID Rhône-Alpes et de l'EID Méditerranée (voir plus de détails sur CD-ROM). En tout état de cause, que les traitements se fassent à partir de véhicules bâchés ou par voie aérienne, leur efficacité doit faire l'objet d'une évaluation, dans le temps et dans l'espace (voir le chapitre 3 sur l'évaluation de la lutte antivectorielle).

En ce qui concerne les matériaux imprégnés (rideaux moustiquaires...), ils semblent encore être, à ce jour, les plus efficaces (et d'un coût modique), notamment dans le cas du paludisme. Des vêtements imprégnés de pyrèthroïdes ou de répulsifs et résistant à plusieurs lavages en sont au stade de l'évaluation. Plusieurs essais réalisés à l'échelle opérationnelle ont, par exemple, montré que les moustiquaires imprégnées réduisent d'environ 50 % la morbidité palustre et de 20 % la mortalité des enfants de moins de 5 ans. L'utilisation des matériaux imprégnés à grande échelle est largement soute-

nue par l'OMS et est intégrée dans la quasi-totalité des programmes nationaux de lutte contre le paludisme.

Parmi les thèmes de recherches actuels : des moustiquaires de troisième génération (d'efficacité insecticide pendant toute leur durée de vie), mais aussi des produits de substitution aux pyréthrinoides (les seuls usités car peu toxiques pour l'homme), vis-à-vis desquels les vecteurs ont développé des résistances. Il s'agit également de mieux comprendre le comportement du vecteur (identification de l'hôte et piqure) pour développer des outils plus efficaces.

MÉTHODES ET STRATÉGIES DE LUTTE

Comment évaluer les risques d'épidémie ? Quelles stratégies adopter (lutte génétique, biologique...) ? Pour répondre, il faut là encore s'appuyer sur des résultats de recherches ou en engager de nouvelles.

Les indicateurs entomologiques et épidémiologiques

Les relations entre indicateurs entomologiques et épidémiologiques fournissent des informations indispensables pour l'amélioration de la gestion des plans de lutte, pour l'alerte et pour la planification de la réponse. D'où la nécessité de programmes de recherche visant à évaluer et à valider différents indicateurs, ce qui suppose une collaboration très étroite entre les services d'entomologie, les organismes de surveillance et des équipes de recherche en épidémiologie, en biostatistique et en modélisation. À terme, l'idée est de partager des outils communs de collecte d'informations géoréférencées.

Les outils de télédétection peuvent aujourd'hui contribuer au suivi d'indicateurs. Par exemple, le ministère de la Santé argentin a donné mandat à son agence spatiale nationale, la *Comisión Nacional de Actividades Espaciales* (Conae), pour développer des applications de télé-épidémiologie, en collaboration avec le Cnes, France, et pour intégrer les produits spatiaux dans le système de surveillance des épidémies. L'objectif est de les utiliser dans un système d'alerte précoce, c'est-à-dire d'être capable de détecter une évolution des conditions environnementales et climatiques éventuellement propices à la production de vecteurs et de produire des cartes de risques (à destination des décideurs et opérationnels). Le Cnes est également impliqué dans le suivi de la fièvre de la vallée du Rift au Sénégal, ainsi que dans un

programme sur le paludisme urbain à Dakar, sur le suivi de la dengue en Argentine et sur la détection de zones impaludées au Brésil (pour en savoir plus, voir CD-ROM).

L'évaluation des risques

L'évaluation des risques doit, entre autres, tenir compte de ceux liés aux changements climatiques globaux, mais aussi des risques d'importation, via les transports notamment. Actuellement, les indicateurs de risque sont mal définis, ce qui empêche d'anticiper des épidémies éventuelles (voir CD-ROM). D'où l'intérêt du projet européen Eden qui associe plusieurs équipes de l'IRD, du Cirad, de l'EID, du CNRS et des universités pour réaliser des études et pour développer des modèles de risque (par exemple, pour le paludisme en Camargue). Une étude de risque de fièvre de la vallée du Rift (RVF) à Mayotte et à la Réunion a été conduite en 2008 à l'initiative de l'Afssa. Un groupe d'experts coordonné par l'Afssa donne des avis, sur saisine ou auto-saisine, sur les réglementations, les risques et les interventions liées à la fièvre catarrhale ovine en France. L'ECDC a commandé une étude des risques de maladies vectorielles au niveau européen et un rapport réalisé par un consortium international a été remis fin juillet 2008.

La lutte génétique

Elle a déjà donné lieu à quelques succès (mouche myasigène *Cochliomyia hominivorax*, par exemple, à Zanzibar). De nouveaux projets de recherche visant à évaluer la faisabilité de lâcher des mâles stériles d'*Anophele arabiensis*, vecteur du paludisme, et d'*Aedes albopictus*, vecteur de la dengue, et du chikungunya sont en cours d'élaboration à l'île de la Réunion, ainsi qu'au Soudan et en Italie. Par ailleurs, la maîtrise récente de la transgénèse chez les moustiques, l'identification progressive de gènes d'intérêt et le développement de colonies d'insectes génétiquement réfractaires à divers agents pathogènes laissent entrevoir l'utilisation possible de moustiques génétiquement modifiés incapables de transmettre des virus ou des parasites à l'Homme. D'autres pistes sont également explorées, en particulier des techniques de paratransgénèse, mettant à profit la présence de bactéries symbiotiques (par exemple, de type *Wolbachia*). L'utilisation de moustiques transgéniques nécessite évidemment des recherches approfondies en amont pour s'assurer de la faisabilité de l'approche.

Les moyens

L'utilisation des *Wolbachia*, des protéobactéries endocellulaires très répandues chez les arthropodes, a été expérimentée pour la première fois dans les années 1970. Chez les moustiques, elles provoquent des incompatibilités cytoplasmiques (IC) qui conduisent à une mort prématurée des embryons (voir les mécanismes sur CD-ROM). Des expériences sont actuellement en cours pour infecter des moustiques qui ne le sont pas naturellement dans le but de les rendre incompatibles avec les populations naturelles.

Les recherches en la matière permettent d'envisager, à terme, une lutte génétique fondée sur les incompatibilités cytoplasmiques, au moins contre certaines espèces et dans certaines régions du monde. Le séquençage du génome de *Wolbachia* de différentes espèces contribuera à améliorer notre connaissance des gènes impliqués dans les phénomènes d'incompatibilité. Ces études génomiques pourraient ainsi conduire à identifier de nouveaux produits biocides.

La lutte biologique

La lutte biologique consiste à utiliser des ennemis naturels des insectes. Ils comprennent les poissons et insectes prédateurs, et les parasites ou agents entomopathogènes. Parmi les premiers, on trouve les poissons larvivores et certains insectes aquatiques entomophages (voir CD-ROM). Parmi les seconds, on peut relever certains nématodes parasites (*Ramanormis cuilcivorax* essentiellement, d'autres étant en évaluation) ou des virus entomopathogènes, mais dont l'utilisation en opérationnel est difficile à mettre en place. Les microsporidies ne présentent en revanche pas de réel intérêt. Quant aux champignons, plusieurs espèces font figure de candidats potentiels pour la lutte contre les moustiques. Restent les bactéries entomopathogènes qui possèdent un pouvoir entomopathogène si élevé que leur action peut être assimilée à celle d'un insecticide : elles sont utilisées depuis plusieurs années (voir CD-ROM).

LES RECHERCHES EN SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES

Les recherches en sciences humaines et sociales dans le domaine de la lutte antivectorielle englobent de très nombreuses disciplines. La plupart du temps, elles sont d'ailleurs conduites dans le cadre de programmes à carac-

rière interdisciplinaire. Les grandes disciplines des sciences humaines et sociales convoquées sont essentiellement la géographie, l'histoire, les sciences sociales et politiques, la psychologie, l'anthropologie, l'économie.

Géographie, histoire, psychologie...

Autant d'approches disciplinaires à ne pas négliger. La géographie, en liaison avec l'aménagement des territoires (urbains ou agricoles), intervient de manière essentielle : inscription dans l'espace des processus biologiques et humains, notion de territoire, d'échelles, de méthodes d'analyse spatiale, de disparités, de ruptures, de continuités, etc. L'histoire également (connaissances d'épidémies passées et des actions de lutte déployées), de même que la mémorisation de catastrophes épidémiques passées, doivent être prises en considération : en particulier, de quoi se souviennent les populations et comment ces souvenirs sont-ils transmis ?

Enfin, les aspects sociopolitiques, notamment dans ce qu'ils impliquent en termes de gouvernance et de débat social, sont au cœur de la gestion de crise : rôle de la presse, stratégies d'euphémisation selon la proximité du risque ou à l'inverse de minimisation... (pour en savoir plus, voir CD-ROM). Les travaux sur la lutte antivectorielle gagneraient d'ailleurs à intégrer ceux des psychologues, qui pourraient apporter un regard pertinent sur les niveaux d'implication personnelle des individus.

La psychosociologie

Les recherches en psychosociologie sont relativement rares. Elles visent surtout deux objectifs principaux. Le premier consiste à identifier les perceptions de l'acceptabilité et de l'efficacité de la lutte antivectorielle en fonction des caractéristiques sociodémographiques des personnes. Le second se propose de mettre en évidence un lien, s'il existe, entre ces perceptions, croyances, sentiments, etc. et les comportements des acteurs exposés au risque vectoriel et à la lutte antivectorielle. Ces recherches gagneraient à être menées dans des contextes d'exposition différents et face à divers niveaux de risque.

Autres recherches

Les recherches socio-épidémio-entomologiques, lorsqu'elles sont possibles, complètent les précédentes en y ajoutant un volet entomologique qui regroupe les données d'observation (gîtes, capacité et densité vectorielles...)

ainsi que les données géoréférencées de la lutte antivectorielle, essentiellement celles concernant les luttes chimique et mécanique.

La dimension anthropologique

Cette dimension est, d'une manière générale, trop absente des recherches sur la lutte antivectorielle. Or, des travaux récents mettent en lumière la valeur des savoirs et pratiques dites « indigènes ». Celles-ci sont porteuses de sens, un sens qu'il faut décrypter pour être en mesure d'agir auprès des populations. Les anthropologues considèrent que la distinction entre sens commun et sens savant, entre perceptions ordinaires et mesures scientifiques n'est pas synonyme d'univers étanches. En ce qui concerne les risques sanitaires liés aux problèmes environnementaux, il n'y a pas de frontières imperméables entre discours savants et discours populaires.

Or les travaux en anthropologie de la santé montrent qu'il y a souvent une tendance forte à stigmatiser les populations (qui n'auraient pas compris, qui ne seraient pas assez observantes...), tout en omettant de considérer les perceptions et pratiques des professionnels dans leur rapport à leurs patients par exemple. En matière de lutte antivectorielle, il serait intéressant, à côté d'études sur les connaissances et comportements des populations (adhésion ou pas aux mesures de protection, usage ou pas de ces mesures collectives et individuelles...), de prendre aussi en compte le rôle des acteurs de la lutte antivectorielle (agents de la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales, responsables...) et du corps médical en situation épidémique ou endémique.

Au vu de ces remarques, il apparaît également que les notions de zones à risque ou de groupes à risque sont insatisfaisantes pour rendre compte de la diversité des situations et des échelles d'étude. Celle de vulnérabilité, qui associe conditions naturelles et conditions humaines, semble plus adéquate.

Enfin, ces quelques réflexions conduisent à penser qu'il y a lieu d'appréhender les problèmes dans un contexte plus général et notamment d'examiner les interfaces environnement/santé en s'appuyant sur des approches conceptuelles et méthodologiques plus appropriées (pour en savoir plus, voir CD-ROM).

L'économie théorique et appliquée

Les avancées en économie théorique et appliquée enregistrées au cours des dernières années vont avoir un certain nombre de retombées significa-

tives dans le domaine de la lutte antivectorielle. D'une part, il sera désormais possible d'accéder à une meilleure évaluation économique des stratégies de prévention ou de traitement des maladies. D'autre part, ces avancées vont permettre de mettre en évidence les mécanismes par lesquels on peut agir sur les incitations des agents économiques (publics ou privés) et donc sur leurs comportements dans le cadre de la lutte antivectorielle.

En ce qui concerne l'évaluation des politiques ou des stratégies de lutte antivectorielle, l'une des difficultés est d'estimer les coûts directs mais surtout indirects (voir aussi le chapitre « Évaluation économique : le retard de la France »). Ces derniers sont principalement supportés par les malades, leur entourage et les employeurs (absentéisme ou perte de productivité des malades). À cet égard, des développements méthodologiques semblent prometteurs : l'approche par la disposition à payer, la mesure de coûts d'externalités positives ou négatives, ou encore la normalisation des méthodes de mesures des coûts.

Par ailleurs, dans le cadre des règles actuelles de gouvernance de la lutte antivectorielle et de leurs applications, on observe des défauts de comportements susceptibles de porter préjudice à la délégation de gestion (collectivités publiques ou organismes de droit public) ou à la mise en œuvre des mesures de prévention et de lutte contre les vecteurs. Sur l'amélioration de la relation de délégation, il existe une littérature abondante, mais les travaux qui y sont décrits doivent être adaptés au contexte français de santé publique. Pour ce qui est des comportements des agents privés et de leur implication dans la lutte, l'un des enjeux est d'induire une plus grande responsabilité des ménages et des entreprises dans un cadre de bien public global. Au-delà des campagnes de sensibilisation et d'information, cela signifie qu'il faut trouver des mesures incitatives liant les acteurs de la lutte antivectorielle et les agents privés ou les communautés d'agents privés, c'est-à-dire établir des relations contractuelles sur un objectif de résultat sanitaire (pour en savoir plus, voir CD-ROM).

LES ACTEURS DE LA RECHERCHE

En France, et plus généralement en Europe et dans le monde, les recherches sur la lutte antivectorielle sont très peu coordonnées. Elles relèvent le plus souvent d'initiatives individuelles d'équipes du secteur public ou privé.

Des orientations ou incitations sur certains thèmes sont parfois données par le marché (forte demande de répulsifs) et par des bailleurs de fonds : la *Fondation Gates* et l'OMS sur la lutte contre les vecteurs du paludisme et de la dengue, le CRVOI sur la lutte contre les vecteurs de chikungunya, l'Union européenne sur la lutte contre le paludisme... Certaines recherches peuvent trouver leur place dans des appels d'offres nationaux de l'Agence nationale de la recherche (ANR), dans le cadre plus large des maladies infectieuses ou de l'environnement, mais l'aspect finalisé est dans ce cas un handicap plus qu'un atout.

L'industrie

L'industrie est peu présente dans le secteur de recherche en lutte antivectorielle. Les grandes firmes de l'industrie chimique telles que BASF ou Bayer conduisent ou financent des recherches pour l'agriculture essentiellement, très peu pour la santé publique. Certaines sociétés, comme *Bayer Environmental Science*, ont la volonté de développer leurs activités dans le secteur de l'hygiène publique, mais en ce qui concerne les biocides, elles se bornent à proposer de nouvelles formulations ou conditionnements de substances actives anciennes (généralement de la famille des pyrèthroïdes). Les biocides (larvicides et adulticides) restent majoritairement des sous-produits de la recherche agro-pharmaceutique. Le *Bti* et le *B. sphaericus*, exclusivement spécifiques, ou presque, des larves de *Culicidae* ou de *Simulidae*, restent parmi les rares exceptions du genre.

Certains industriels se sont engagés sur le créneau des moustiquaires, en particulier imprégnées d'insecticides, mais leurs recherches consistent essentiellement en des améliorations de l'existant. Enfin certaines entreprises conduisent des études, avec des protocoles parfois non standardisés, sur l'efficacité de substances réputées répulsives.

Les instituts de recherche et les universités

Les instituts de recherche et les universités sont nombreux à s'impliquer sur l'ensemble des thèmes abordés précédemment, depuis les aspects fondamentaux (biologie des vecteurs...) jusqu'aux sciences sociales. Parmi les instituts ou centres de recherche, on peut citer l'IRD, le CNRS, le Cirad, l'Inra ou encore l'Institut Pasteur. La plupart du temps, ces recherches souffrent d'un manque de coordination, chaque équipe répondant, selon sa propre

stratégie, aux appels d'offres régionaux, nationaux, internationaux ou aux demandes de l'industrie (voir la liste sur CD-ROM).

Des opérateurs de lutte

Des opérateurs de lutte tels que les EID, le conseil général de la Martinique ou encore le GIP de la Réunion, conduisent des recherches appliquées sur l'écologie des vecteurs, sur la résistance aux insecticides, sur de nouveaux insecticides ou de nouvelles méthodes d'utilisation et d'épandage des biocides, souvent en collaboration avec des instituts de recherche. Naturellement au contact des populations, ils réalisent également, ou font réaliser, des études sur l'acceptabilité des méthodes et sur les effets non intentionnels, en particulier sur l'environnement.

Les agences

Les agences telles que l'InVS, l'Afssa et l'Afsset n'ont pas mission de mener des recherches. Néanmoins, dans le cadre de leurs fonctions de surveillance et de veille sanitaire, elles collectent et analysent de nombreuses informations sur les risques infectieux humains et animaux, dont ceux liés aux vecteurs (zoonotiques ou non), et les risques pour l'environnement.

Par exemple, l'InVS coordonne, anime et soutient financièrement un réseau de 47 centres nationaux de référence, dont plusieurs concernent les infections transmises par les vecteurs, et dispose d'antennes régionales (cellules interrégionales d'épidémiologie, dont l'une au niveau des départements français d'Amérique et une autre pour la Réunion et Mayotte). C'est le partenaire national désigné de l'ECDC pour la surveillance et l'alerte au niveau européen et il conduit une veille internationale très active sur les risques émergents. Il s'agit donc d'un partenaire important de la recherche en santé publique, que ce soit pour des projets planifiés ou des situations d'urgence.

Pour le développement et l'adaptation de ses systèmes de surveillance, l'InVS collabore également avec des équipes académiques. Ces activités ont un intérêt particulier pour la recherche appliquée, en particulier sur la question du lien entre indicateurs entomologiques et épidémiologiques, sur le monitoring, sur l'évaluation des programmes de lutte antivectorielle et sur la modélisation.

L'Afssa, pour sa part, s'implique directement dans le cadre d'équipes mixtes, par exemple avec des chercheurs de l'Inra.

Les bailleurs de fonds

Les bailleurs de fonds jouent bien sûr un rôle essentiel dans l'orientation et la réalisation des recherches. Il ne saurait être question ici de les citer tous. Les principaux, pour les programmes français, sont : l'OMS, la FAO, l'Union européenne, les agences nationales ou régionales de financement (ANR, CRVOI, Afsset), les conseils régionaux, des industriels, les fondations telles que *Bill et Melinda Gates*, *Wellcome Trust*, etc.

RECOMMANDATIONS

À la faveur des changements globaux (climatiques, environnementaux, sociétaux), des maladies émergent, d'autres voient leur aire de distribution se modifier, certaines maladies historiques comme le paludisme sont en recrudescence au niveau mondial. Les recherches doivent donc s'articuler autour de quelques grands thèmes :

- connaissance des mécanismes de la transmission vectorielle ;
- évaluation du risque entomologique ;
- stratégies de contrôle de la transmission moins polluantes, plus ciblées et plus durables.

■ Comprendre ce qu'est un vecteur

Au regard du nombre d'espèces d'arthropodes, les vecteurs d'agents pathogènes ne constituent qu'une infime minorité. Les études sur la systématique, sur la biologie et sur les interactions vecteur-agent pathogène qui utilisent les données morphologiques, morphométriques, biologiques, comportementales, génétiques et génomiques, devront se poursuivre, en particulier à l'intérieur des complexes d'espèces. Les interactions vecteur-parasite, qui restent une immense boîte noire, doivent être particulièrement investiguées.

■ Évaluer et prédire les risques de transmission vectorielle

Les changements globaux modifient ou vont modifier la densité et la distribution des vecteurs, leur capacité vectorielle et leur contact avec les parasites et les hôtes. Ces changements peuvent augmenter ou diminuer l'incidence d'une maladie à transmission vectorielle. La première étape doit [...]

RECOMMANDATIONS

[...] consister à entreprendre un travail de fond sur les indicateurs de risque. Ces recherches doivent ensuite se matérialiser par le développement d'outils d'évaluation de risque fondés sur des modèles statistiques et théoriques validés. Un effort particulier doit porter sur les modèles de transmission impliquant un réservoir zoonotique, plus complexes que dans le cas d'un seul hôte impliqué.

■ Améliorer les méthodes de lutte actuelles et développer de nouvelles approches

La lutte biocide doit être plus spécifique, moins polluante, plus efficace. Les recherches associant entomologistes et spécialistes en sciences humaines et sociales devront s'intensifier afin d'optimiser l'acceptabilité des méthodes proposées et la participation des communautés. En ce qui concerne la lutte biologique, même si elle s'est révélée décevante dans la majorité des cas, il est nécessaire de poursuivre les recherches (autres bactéries, virus, champignons, parasites, prédateurs). Quant à la lutte génétique, elle ouvre des voies prometteuses pour le contrôle. Les équipes de recherche françaises doivent s'engager sur cette voie dans le cadre de collaborations internationales.

■ Coordonner les efforts de recherche multidisciplinaire

Les vecteurs ne connaissent pas les frontières. Les recherches doivent être conduites au niveau européen, ou méditerranéen, et parfois mondial. À l'échelle de la France, il n'y a pas pour le moment de véritable coordination nationale sur la lutte antivectorielle. Une structure telle que le vectopôle à Montpellier pourrait jouer ce rôle de pôle fédérateur de recherche, d'expertise et de formation au niveau national, voire européen. Un appel d'offres spécifique de l'ANR sur le thème de la lutte antivectorielle en France, pourrait être mis en place conjointement par les ministères de la Recherche, de la Santé, de l'Agriculture et de l'Écologie.

Recommandations générales

Huit grandes priorités

Créer un Centre national d'expertise Vecteurs et risque vectoriel (Cnev)

La création d'une structure d'expertise multidisciplinaire permettant de mobiliser rapidement et efficacement l'ensemble des compétences dans les domaines opérationnels et stratégiques, ainsi qu'en matière de réflexion et proposition sur la lutte antivectorielle en France, apparaît comme une nécessité. Le terme expertise doit ici être pris dans son acception la plus large dans le sens d'une mise à disposition de connaissances et compétences. Ces compétences sont actuellement dispersées dans des établissements de recherche (Cirad, CNRS, Institut Pasteur, Inra, IRD), des universités, des agences ou établissements publics administratifs (Afssa, Afsset, Inpes, InVS), ainsi que dans des structures opérationnelles (services des conseils généraux, EID, Adege). Cette structure pourrait prendre la forme d'un Centre national d'expertise sur les vecteurs et le risque vectoriel de maladies humaines et animales (Cnev), placé sous tutelle de la DGS et de la DGAL, sur un modèle proche des Centres nationaux de références (CNR) et des Laboratoires nationaux de références (LNR).

Le Cnev devrait devenir l'outil de pilotage de la LAV en France, en jouant le rôle de récepteur de connaissances et d'informations émises par les acteurs pertinents (recherche, opérationnels, agences et autres) et, après analyse, d'émetteur de connaissances et recommandations sur le risque vectoriel et les moyens de le contenir. Le Cnev aura un rôle de premier plan à jouer dans l'expertise, l'évaluation, l'aide à la décision, la formation, le conseil, l'échange d'informations et l'incitation à la recherche, non seulement au niveau français mais également au niveau européen et circumméditerranéen. Il devra être un interlocuteur du Centre européen pour le contrôle et la prévention des maladies (ECDC) et des organismes internationaux (voir annexe : proposition d'arrêté et de cahier des charges).

En raison de la dispersion actuelle des compétences en France, le Cnev ne peut être construit que sur un réseau. Cependant, afin que les ministères, les

collectivités territoriales et les opérateurs puissent s'appuyer sur le Cnev, celui-ci ne peut être un réseau informel. Les liens, droits et obligations entre les commanditaires et les partenaires du réseau doivent être contractualisés. Ce type de structure n'existe pas en France actuellement.

Ce centre pourrait reposer sur un laboratoire central reconnu dans plusieurs des champs de la lutte antivectorielle, dépendant d'un établissement de recherche ou d'une université, et sur un groupe de laboratoires aux compétences complémentaires reconnues, associés par convention au Cnev. Le directeur du laboratoire central, ayant une compétence indiscutable dans le domaine des vecteurs, sera le directeur du Cnev. Ce modèle diffère légèrement des CNR en raison de son champ thématique plus large, nécessitant de mobiliser des compétences en entomologie médicale sur de nombreux groupes d'arthropodes, en lutte antivectorielle, en environnement, en santé publique et santé vétérinaire, en économie, en sociologie et anthropologie, en étude de risque, etc.

Un statut de type GIS ou GIP paraît peu approprié. Une modalité de conventionnement de type CNR serait plus pertinente. Il est proposé, à cette fin, que les tutelles du Cnev, ministère de la Santé et ministère de l'Agriculture, identifient le laboratoire central ou lancent un appel d'offres national pour la constitution du Cnev, selon un cahier des charges précis, comme cela se fait pour les CNR.

Il est proposé en annexe, pour réflexion, une première version d'un possible arrêté de création du Cnev et une ébauche de cahier des charges.

Redéfinir le cadre juridique et la gouvernance

Le cadre juridique et la gouvernance de la lutte antivectorielle (LAV) contre les vecteurs de maladies touchant l'homme doivent être revus, en particulier l'article L 3114-5 du code de la santé publique (réécrit après la loi du 13 août 2004 qui dans son article 72 organise le transfert de compétences de l'État).

La prévention des maladies à transmission vectorielle est une question de santé publique relevant, à ce titre, de la compétence générale de l'État. Il convient donc de créer, dans un souci de meilleure lisibilité, un dispositif législatif unique pour encadrer la lutte contre les insectes et autres arthropodes hématophages, vecteurs de maladies touchant l'homme. Devront ainsi être reprises ou aménagées toutes les dispositions antérieures, en particulier celles de 1964 visant les seuls moustiques. Ceci suppose une révision législative et une nouvelle codification homogène (CSP, CGCT, Code rural). Il importera de bien faire la distinction entre la politique de prévention, d'une part, et la mise en œuvre de la lutte antivectorielle, d'autre part, notamment le déploiement des opérations de démoustication. Il sera important en ce sens de laisser la possibilité aux agents des services de lutte antivectorielle de pénétrer sur les propriétés privées afin d'accomplir leur mission.

La lutte antivectorielle doit être intégrée dans les missions des futures Agences régionales de santé (ARS), et en particulier dans les dispositifs de sécurité sanitaire dont elles auront la charge. Il appartiendra à chaque directeur général d'ARS d'arrêter un schéma d'organisation de la lutte antivectorielle, en relation avec les préfets, les collectivités territoriales (conseil général, communes) et les acteurs (EID, GIP).

Il doit être précisé qu'en situation de gestion de crise, le préfet est l'autorité compétente et que les moyens humains et matériels dont dispose le directeur général de l'ARS sont mis à sa disposition.

Le Collège des experts insiste sur le fait que l'État ne peut à lui seul assumer la lutte antivectorielle et que des outils juridiques de coopération doivent être proposés pour associer les collectivités territoriales, en particulier les communes (en vertu de leurs obligations en matière d'aménagement de l'espace).

En métropole, les Ententes interdépartementales de démoustication (EID) devront disposer d'un cahier des charges résultant d'un contrat pluriannuel d'objectifs et de moyens passés avec le directeur général de l'ARS.

Dans les départements et territoires d'outre-mer, il est recommandé de mettre en place des Groupements d'intérêt public (GIP) en laissant la possibilité aux conseils généraux qui le souhaitent d'avoir d'un droit d'option pour continuer à bénéficier des moyens dont ils disposent, dans le cadre d'une délégation de gestion. En santé animale, la lutte antivectorielle doit être placée sous l'autorité du ministère de l'Agriculture, de sa Direction générale de l'alimentation (DGAL) et de ses services déconcentrés, et des Directions départementales des services vétérinaires. Elle devrait s'appuyer sur une collaboration avec les services de l'ARS lorsque la nature de la maladie ou des vecteurs le justifie.

Préciser les stratégies d'intervention

Les stratégies d'intervention et les objectifs à atteindre dans le cadre d'épidémies, d'épizooties, d'espèces envahissantes, mais également en surveillance et lutte antivectorielle de routine pour maintenir le risque épidémique/épizootique et endémique/enzootique à un niveau minimum méritent d'être mieux définis. L'élaboration de plans et scénarii sur le modèle des plans *West Nile* et *chikungunya/Aedes albopictus* en métropole et Psage dans les DFA exprimera ces stratégies et objectifs sur les différents niveaux d'action concernés : conduite quotidienne des opérations (assainissement, choix des produits biocides et du matériel, mobilisation sociale, communication, recueil de données, retour d'expérience), suivi de la résistance aux insecticides, qualification des intervenants, encadrement des équipes, participation des partenaires et des populations, financements. La rédaction de ces plans, sous la responsabilité de l'État, nécessite d'associer des experts de compétences complémentaires, par exemple membres du Cnev. La définition et l'amélioration des stratégies nécessitent de repenser les modes de gestion des personnels, en termes de compétence, de formation continue, d'évolution de carrière.

Évaluer les interventions

Le Collège des experts a mis en évidence des lacunes importantes dans l'évaluation des actions opérationnelles, l'évaluation économique et l'évaluation des effets non intentionnels. Il n'y a pas d'évaluation possible sans indicateurs. Il y a véritablement urgence à initier un travail sur les indicateurs (opérationnels, économiques, écologiques, sociologiques) par la création d'un comité *ad hoc* de professionnels (comprenant des membres du Cnev) à l'initiative des ministères de la Santé, de l'Agriculture et de l'Écologie.

Une fois les indicateurs standardisés définis, communs à l'épidémiologie humaine et animale, il conviendra de veiller à instiller une culture de l'évaluation dans les services en permettant à chaque service de s'approprier les concepts et méthodologies de l'évaluation et de mesurer l'intérêt de cette démarche.

Soutenir la recherche

Le développement d'une recherche innovante permettant d'appliquer des méthodes de lutte antivectorielle alternatives ou complémentaires des méthodes actuelles, mieux ciblées, moins polluantes, pérennes, acceptées par les populations et à un coût supportable est plus qu'essentiel.

Ces recherches fondamentales et finalisées seront développées dans les trois domaines suivants :

- connaissance des mécanismes fins de la transmission vectorielle (recherches en systématique, biologie des vecteurs, interactions vecteur-agent pathogène, génomique de la transmission) ;

- évaluation du risque entomologique, en particulier dans le cadre des changements climatiques et environnementaux (recherches en indicateurs de risque, modélisation du risque et de l'efficacité des interventions) ;

- stratégies de contrôle de la transmission moins polluantes, plus ciblées et plus durables (recherches sur les méthodes et l'intérêt d'une lutte par bio-cides alternatifs, gestion des résistances, lutte biologique, lutte génétique, lutte communautaire).

Un financement incitatif conjoint des ministères de la Recherche, de la Santé, de l'Agriculture et de l'Écologie pourrait permettre de mobiliser des chercheurs et étudiants de haut niveau en France et à l'étranger.

Améliorer la communication

L'élaboration de programmes et actions de communication sur la lutte antivectorielle fondée sur l'identification des perceptions, croyances et pratiques tirées d'enquêtes représentatives réalisées préalablement auprès des populations exposées au risque vectoriel est trop souvent négligée. La communication devra tenir compte des contextes socio-culturels, épidémiologiques et vectoriels afin de bien cibler les groupes sociaux en fonction de leur niveau de vulnérabilité et de leur degré de réticence identifié à l'adoption de comportements protecteurs. L'Inpes pourrait jouer un rôle fédérateur dans ce domaine.

Améliorer la formation

L'amélioration du dispositif global de lutte antivectorielle nécessite très en amont une meilleure formation théorique et pratique sur tous les aspects de la lutte antivectorielle parmi les cadres de santé publique et vétérinaire. La formation continue des agents techniques doit être structurée et renforcée afin de prendre en compte les évolutions des techniques, des réglementations et des risques vectoriels et épidémiques. Au moins un cadre de chaque opérateur de la lutte antivectorielle doit avoir suivi une formation de haut niveau en entomologie appliquée. Selon les objectifs, ces formations pourront être proposées par le CNFPT, les réseaux professionnels de type Adege, des universités, l'EHESP ou le Cnev.

Sortir les services de leur isolement

La communication, l'échange d'informations, de données et la mise en commun de questionnements entre les services, entre les partenaires et avec le Cnev doivent être généralisés.

Le développement de réseaux régionaux et internationaux sera fortement appuyé afin d'améliorer la surveillance des vecteurs et la réponse opérationnelle (par exemple, en mutualisant des moyens lors d'épidémies), mais aussi pour favoriser la formation et la recherche opérationnelle. Le soutien à la création ou au développement de centres régionaux (océan Indien, Caraïbes, Europe) d'expertise, de formation et de recherche en relation avec le Cnev sera également recherché, en veillant à la lisibilité et à la visibilité du dispositif national mis en place.

Le renforcement des échanges entre associations professionnelles de type Adege et la création d'espaces interactifs d'information (forums sur les sites Internet dédiés, centres de documentation virtuels) portant sur les activités opérationnelles et la répartition des vecteurs potentiels seront, de la même façon, fortement promus.

Créer un Centre national d'expertise Vecteurs et risque vectoriel (Cnev)

Comme pour les CNR et les LNR, les ministères de tutelles contribueront au financement du Cnev pour lui permettre de remplir ses missions. Le budget permettra de rétribuer au minimum un secrétaire, un ingénieur d'étude et un ingénieur de recherche entièrement dédiés au centre, et de réaliser, ou faire réaliser par les laboratoires associés, les expertises demandées. Les experts du laboratoire central et des laboratoires associés, y compris le directeur, consacreront une partie de leur temps au Cnev selon une quotité fixée par leurs instituts, universités ou agences, après discussion avec les tutelles. Le Cnev fonctionnera donc en réseau autour d'un nœud constitué du laboratoire central. La contribution globale annuelle pour le fonctionnement (salaire d'un secrétaire et de deux ingénieurs, frais de fonctionnement, frais d'expertise) sera versée annuellement par le ministère de la Santé et le ministère de l'Agriculture.

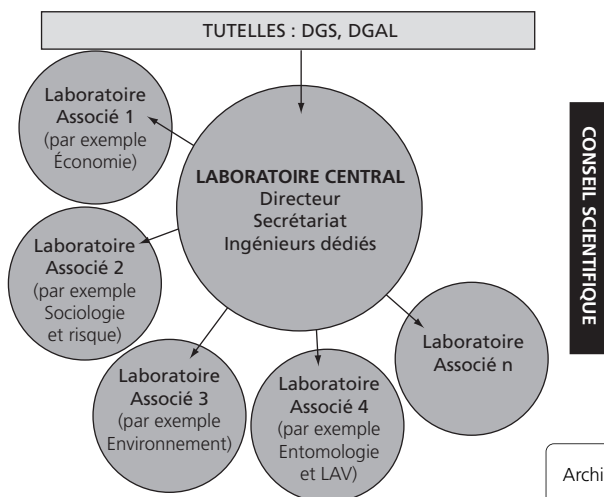


Figure 6
Architecture institutionnelle
du Cnev

Proposition d'arrêté

ARTICLE 1

Dans le cadre de la lutte contre les maladies transmissibles transmises par arthropodes vecteurs, une structure fédérant les compétences issues d'établissements d'enseignement supérieur ou de recherche, d'agences nationales d'expertise et de structures d'opérateur de la lutte antivectorielle est créée. Elle est désignée sous le nom de « Centre national d'expertise sur les vecteurs et le risque vectoriel de maladies humaines et animales » (Cnev).

Le Cnev a pour missions :

1° L'expertise concernant la systématique et la surveillance des vecteurs en France, la lutte antivectorielle.

2° La surveillance des vecteurs, notamment l'harmonisation des indicateurs et des méthodes, dans une optique d'évaluation de la lutte antivectorielle.

3° La contribution à la surveillance épidémiologique des maladies à vecteurs.

4° L'alerte, par information immédiate de l'InVS, la DGS et de la DGAL lors de toute constatation pouvant avoir des répercussions sur l'état sanitaire de la population humaine et animale.

5° La contribution aux investigations des émergences vectorielles.

6° Le conseil technique aux pouvoirs publics, aux agences de sécurité sanitaire et aux professionnels de santé humaine et vétérinaire.

7° L'interface avec la recherche dans une perspective d'aide à la décision et de sollicitation de travaux de recherches appliqués ou cognitifs sur de la lutte antivectorielle.

8° La contribution à la formation sur le risque vectoriel et la lutte antivectorielle.

9° L'interaction avec d'autres structures équivalentes en Europe, sur le pourtour méditerranéen, dans le reste du monde, et avec les organismes internationaux, en particulier le centre européen pour le contrôle et la prévention des maladies (ECDC), l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'Organisation mondiale de la santé animale (OIE).

Ces missions font l'objet d'un cahier des charges spécifique.

Pour assurer ses missions, le Centre national d'expertise sur les vecteurs de maladies humaine et animale est constitué d'un laboratoire central hébergeant le directeur, le secrétariat, une équipe technique permanente, et de plusieurs laboratoires à compétences complémentaires dits « Laboratoires du centre national d'expertise associés » pouvant relever des établissements de recherche (Cirad, CNRS, Institut Pasteur, Inra, IRD), des universités, des agences ou établissements publics administratifs (Afssa, Afsset, Inpes, InVS), de structures opérationnelles (services des conseils généraux, EID, Adege).

ARTICLE 2

Les ministres chargés de la Santé et de l'Agriculture désignent pour quatre ans le laboratoire en charge du Cnev et les laboratoires associés après appel à candidatures.

ARTICLE 3

Le Cnev et les laboratoires associés exercent leurs missions dans le cadre de conventions passées avec la DGS et la DGAL et établies en fonction :

- d'un programme de travail quadriennal élaboré dans le respect du cahier des charges spécifique prévu à l'article 1^{er} du présent arrêté ;
- du descriptif des moyens de la structure : nombre et qualification des personnels et nature du plateau technique, moyens financiers propres et fournis par les ministère de la Santé et de l'Agriculture ;
- le cas échéant, des bilans d'activité de l'organisme au cours des quatre années antérieures, dont la liste de ses publications.

Le directeur du Cnev adresse chaque année un rapport d'activité aux ministres chargés de la Santé et de l'Agriculture. Lorsque les missions du Cnev sont exercées en relation avec un ou plusieurs laboratoires associés, le responsable du centre national de référence est chargé de la coordination de l'ensemble des activités et mentionne dans le rapport annuel les activités réalisées par les différents laboratoires.

ARTICLE 4

L'organisme gestionnaire du Cnev et les laboratoires associés reçoivent annuellement, pour l'exercice des missions qui leur sont confiées, une subvention de la DGS et de la DGAL.

ARTICLE 5

Un Comité scientifique est constitué et a pour mission :

- d'élaborer les cahiers des charges spécifiques mentionnés à l'article 1^{er} du présent arrêté ;
- d'analyser les projets et classer les candidatures de laboratoires associés dans le cadre d'un appel à candidatures ;
- d'évaluer le Cnev annuellement et à l'issue des quatre années d'activité ;
- de faire des recommandations concernant les activités d'expertise, de formation et de recherche.

ARTICLE 6

Le comité est composé de représentants de la DGS, de la DGAL, du ministère de la Recherche, du ministère de l'Écologie, d'experts en entomologie, lutte antivectorielle, épidémiologie, microbiologie, infectiologie ou santé publique nommés en raison de leurs compétences.

Deux tiers de ses membres n'appartiennent ni à la DGS ni à la DGAL. Les membres du comité sont nommés pour quatre ans conjointement par la DGS et la DGAL.

Proposition de cahier des charges du Cnev

Les missions du Centre national d'expertise sur les vecteurs sont définies à l'article 1^{er} du présent arrêté. Ces missions concernent l'expertise biologique, la contribution à la surveillance épidémiologique, la contribution à la formation, la contribution à la recherche, l'alerte et le conseil technique.

ACTIVITÉ

Expertise

- Identification d'arthropodes hématophages adressés par les services de LAV.
- Maintien, détention et diffusion des techniques de diagnostic et/ou d'identification et de typage : collections d'espèces type, séquences génétiques de référence.
- Participation à la mise au point, à l'évaluation et aux recommandations concernant les techniques de LAV.
- Contribution à l'évaluation de la sensibilité aux insecticides.
- Contribution à la définition et l'évaluation des indicateurs de surveillance entomologique.
- Contribution à l'évaluation de l'efficacité de la LAV.
- Information, formation et, le cas échéant, contribution à l'élaboration et à la publication de guides techniques.
- Interface lutte antivectorielle opérationnelle et recherche sur les vecteur et la LAV.

Contribution à la surveillance

- Participation à la rédaction des plans d'intervention dans le cas de maladie vectorielle (type plan *West Nile*, plan chikungunya, Psage).
- Participation à la surveillance de la résistance des vecteurs aux insecticides
- Participation à l'investigation de phénomènes épidémiques de maladies vectorielles.

- Contribution aux réseaux de surveillance internationaux, en particulier européens.

- Contribution à des enquêtes ponctuelles à la demande du ministère chargé de la Santé et de l'Agriculture.

- Incitation à développer des programmes de recherche opérationnelle liés à la surveillance des vecteurs.

Alerte

Signalement de phénomènes anormaux ou nouveaux en termes de santé publique à l'InVS, l'Afssa, la DGS et à la DGAL, voire à d'autres agences relevant de champs complémentaires (environnement, législatif), par exemple :

- identification d'un nouveau vecteur ou vecteur potentiel ;
- pullulation anormale d'un vecteur ou vecteur potentiel ;
- apparition de résistance aux insecticides ;
- informations concernant des événements de même nature dans des pays étrangers.

Conseil

Auprès du ministère chargé de la Santé, du ministère de l'Agriculture, de l'Institut de veille sanitaire, des agences de sécurité sanitaire par :

- la participation à l'élaboration de mesures de lutte contre les vecteurs ;
- la réponse aux demandes d'expertise ;
- les conseils techniques aux professionnels ;
- les recommandations sur les recherches à développer sur la lutte antivectorielle et sur les vecteurs.

Formation

Organisation de sessions de formation continue de différents niveaux sur la lutte antivectorielle, les vecteurs et le risque vectoriel, en lien avec la DGS, la DGAL, l'EHESP, les écoles vétérinaire et d'agriculture, les organismes de lutte antivectorielle de type Adege.

Recherche

- Identification de questions de recherche pertinentes dans le domaine des vecteurs et de la lutte antivectorielle.

- Participation, dans la mesure de ses possibilités, à des projets de recherche.
- Interlocuteur privilégié pour les ministères de la Recherche, de la Santé, de l'Agriculture et de l'Écologie, pour la constitution d'appels à proposition de recherche.

COMPTE RENDU DES ACTIVITÉS

Rapport annuel

Un rapport annuel doit être adressé aux ministres chargés de la Santé et de l'Agriculture avant la fin du premier semestre de l'année suivante et doit comporter :

- une description des différentes activités conformément au plan du cahier des charges et un résumé sur la contribution à la surveillance épidémiologique. Les informations recueillies pourront faire l'objet de publications dans les revues spécialisées des ministères de la Santé et de l'Agriculture ;
- une liste des publications ou communications réalisées au cours de l'année en rapport avec les missions du Cnev ;
- les perspectives du centre pour les années à venir.

Un retour d'information doit être adressé systématiquement aux laboratoires correspondants

Annexes



*Le ministre d'État, ministre de l'Écologie,
du Développement et de l'Aménagement durable*

Le ministre de l'Agriculture et de la Pêche

*Le ministre de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche*

*Le ministre de la Santé, de la Jeunesse
et des Sports*

Le secrétaire d'État chargé de l'Écologie

CAB2-TLL/D-28-379

Paris, le 18 JAN. 2008

Monsieur le Président,

Ces dernières années ont été marquées par l'extension parfois extrêmement rapide de plusieurs maladies transmises par des insectes vecteurs : implantation du virus West Nile sur le continent Nord-Américain, épidémie de chikungunya à La Réunion, diffusion très large de la fièvre catarrhale ovine en Europe de l'Ouest, ... On note, en outre, une extension progressive qui semble inexorable de l'aire de répartition de certaines espèces de vecteurs comme l'*Aedes albopictus*, responsable du récent épisode épidémique de chikungunya en Emilie-Romagne, qui pourrait constituer une porte d'entrée pour d'autres arboviroses (dengue en particulier). La menace que constituent les maladies vectorielles s'impose donc aujourd'hui comme une préoccupation majeure de santé publique, tant dans sa composante humaine que dans sa composante animale, et il paraît désormais nécessaire de procéder à une véritable « refondation » de la politique de lutte anti-vectorielle en métropole comme dans les régions ultra-marines.

C'est dans cette optique que nous vous demandons de mener une réflexion très large sur les évolutions indispensables dans ce domaine. Dans un premier temps, vous procéderez à un état des lieux des moyens actuels de surveillance entomologique et de leurs points critiques, des méthodes existantes et opérationnelles, ainsi que des modalités de lutte anti-vectorielle actuellement utilisées. Sur la base de cet état des lieux et d'une hiérarchisation des risques pour la santé humaine et animale conduite par les organismes compétents, vous formulerez des recommandations afin d'améliorer la politique actuelle de lutte anti-vectorielle en métropole et dans les régions ultra-marines, portant notamment sur :

- la nature des vecteurs, des habitats et des écosystèmes particuliers qui justifient une surveillance spécifique et les critères sur lesquels devra s'appuyer cette surveillance,

and ...

Monsieur Jean-François GIRARD
Président de l'Institut de recherche pour le développement
213, rue La Fayette - 75480 PARIS Cedex 10

- l'amélioration ou la mise en place de systèmes de surveillance des populations vectorielles et d'alerte tant en termes de méthodes, d'outils et de moyens qu'en termes organisationnels,
- les besoins de recherche, d'expertise et de formation en entomologie et la fédération des compétences existantes,
- les stratégies de lutte qu'il conviendrait d'investiguer ou de développer, tout en prenant en compte le caractère humain ou animal des maladies potentiellement transmises par les vecteurs. Les stratégies comprendront le volet communication et les modalités d'appropriation par la population.

Une attention particulière sera portée sur les risques liés à l'implantation de l'*Aedes albopictus* dans le sud de la France.

Vous associerez à vos travaux, d'une part, l'ensemble des établissements et organismes publics impliqués dans l'étude et la surveillance de ces vecteurs, qu'ils soient investis dans la recherche et l'expertise comme le CIRAD, le CNRS, l'INRA, le muséum national d'histoire naturelle et l'AFSSA ou qu'ils soient acteurs de l'action régionale et locale et, d'autre part, l'AFSSET en charge de l'évaluation des risques et de l'efficacité des substances et produits biocides utilisés dans le domaine de la lutte anti-vectorielle, ou le centre national d'études spatiales qui développe des applications en télé-épidémiologie.

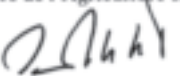
Les résultats de vos travaux, qui constitueront la base d'une nouvelle stratégie globale de lutte anti-vectorielle préventive à visée de santé publique humaine et animale, sont attendus dans le courant du premier semestre 2008.

Nous vous remercions de bien vouloir accepter cette mission et vous prions de croire, monsieur le Président, à l'assurance de nos sincères salutations.

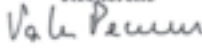
Le ministre d'Etat, ministre de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durable


Jean-Louis BORLOO

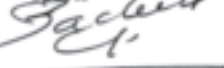
Le ministre de l'Agriculture et de la Pêche


Michel BARNIER

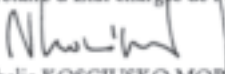
La ministre l'Enseignement supérieur et de la Recherche


Valérie PECRESSE

La ministre de la Santé, de la Jeunesse et des Sports


Roselyne BACHELOT-NARQUIN

La secrétaire d'Etat chargée de l'écologie


Nathalie KOSCIUSKO-MORIZET

Cahier des charges de l'expertise collégiale

INTRODUCTION

Le contexte de la saisine

L'extension rapide de plusieurs maladies transmises par des insectes vecteurs concomitante à une extension progressive de l'aire de répartition de certaines de ces espèces a provoqué une recrudescence des maladies vectorielles au cours de ces dernières années. Cette menace constitue une préoccupation majeure de santé publique, tant dans sa composante humaine qu'animale, et rend nécessaire de procéder à une véritable « refondation » de la politique de lutte antivectorielle.

Quatre ministères et un secrétariat d'État – le ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire ; le ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ; le ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports, et le secrétariat d'État chargé de l'Écologie – ont, par lettre en date du 18 janvier 2008, saisi conjointement l'Institut de recherche pour le développement (IRD) afin de mener une réflexion très large devant déboucher sur des propositions pour une refonte de la politique de lutte antivectorielle en France (régions métropolitaines et régions ultra-marines). Le ministère de l'Intérieur, de l'Outre-mer et des Collectivités territoriales s'est associé secondairement à la saisine.

La demande porte sur deux formes classiques d'une expertise en santé publique avec, d'une part, une expertise des connaissances et, d'autre part, une expertise des décisions possibles et des conditions de mise en œuvre. Il s'agira de procéder à un état des lieux des structures, des pratiques, des moyens actuels de surveillance entomologique et de leurs points critiques, des méthodes existantes et opérationnelles, ainsi que des modalités de lutte antivectorielle actuellement utilisée. Sur la base de cet état des lieux et d'une hiérarchisation des risques pour la santé humaine et animale, des recom-

mandations seront formulées afin d'améliorer la politique actuelle de lutte antivectorielle en métropole et dans les régions ultra-marines.

Le résultat de ces travaux constituera la base d'une nouvelle stratégie globale de lutte antivectorielle préventive à visée de santé publique humaine et animale.

La méthode de l'expertise collégiale à l'IRD

L'IRD assure, au titre de ses missions, la réalisation d'expertises scientifiques collectives dites « expertises collégiales ». Outil original de transfert des connaissances scientifiques vers la sphère des décideurs et dirigeants, l'expertise collégiale permet de fournir en un délai bref, à la demande d'un ou plusieurs commanditaires, et dans le cadre d'une relation contractualisée, une analyse scientifique pluridisciplinaire sur un sujet déterminé à partir d'une revue complète et ciblée de l'état de l'art, assortie de conclusions et recommandations.

En tant que telle, et c'est en particulier ce qui la différencie de l'activité *stricto sensu* de production de la connaissance scientifique, elle est appelée à venir à l'appui d'une prise de décision, le plus souvent dans le domaine des « politiques publiques ». Elle constitue donc une forme originale de valorisation de la recherche.

L'expertise collégiale telle que conçue et mise en œuvre à l'IRD par son Département expertise et valorisation (DEV), relève d'un modèle méthodologique désormais assez éprouvé (9 expertises publiées, 2 en cours), certifié ISO 9001.

Elle est conduite par un collège d'experts de compétences complémentaires placé sous la responsabilité d'une coordination scientifique, et suivie par un comité de pilotage rassemblant les représentants du (des) commanditaire(s). Au terme de l'expertise, le rapport final et ses recommandations sont remis au(x) commanditaire(s). Dans les mois qui suivent, l'expertise est publiée aux éditions de l'IRD dans la collection « Expertise collégiale » sous la forme d'une synthèse, assortie des contributions intégrales des experts.

DÉFINITION ET OBJECTIFS DE LA LUTTE ANTIVECTORIELLE (LAV)

Définition

La lutte antivectorielle, dans son acception la plus large, comprend la lutte et la protection contre les arthropodes (insectes et acariens), vecteurs d'agents

pathogènes à l'homme et aux vertébrés, et leur surveillance. Elle inclut les arthropodes nuisants lorsque ceux-ci sont des vecteurs potentiels ou lorsque la nuisance devient un problème de santé publique ou vétérinaire.

La lutte antivectorielle s'appuie sur des méthodes de lutte variées en fonction des vecteurs, des contextes épidémiologiques et socio-économiques. Elle inclut la lutte chimique, biologique, génétique, l'action sur l'environnement, l'éducation sanitaire, la mobilisation sociale, ainsi que l'évaluation permanente des méthodes.

Objectifs

L'objectif de la lutte antivectorielle est de contribuer, aux côtés d'autres acteurs de la santé publique, à minimiser les risques d'endémisation ou d'épidémisation, à diminuer la transmission d'agents pathogènes par des vecteurs, à gérer les épidémies de maladies à vecteurs, dans un cadre stratégique formalisé.

OBJECTIFS DE L'EXPERTISE

Les résultats de l'expertise collégiale doivent permettre de mieux prévenir et de mieux gérer les épidémies à venir. Le but est de travailler en amont de la maladie sur la lutte antivectorielle. En conséquence, les objectifs de l'expertise seront de :

- Éclairer la réflexion sur les évolutions indispensables dans ce domaine.
- Réaliser un état des lieux des méthodes et moyens actuels.
- Formuler des recommandations sur les méthodes, les moyens et l'organisation, pour améliorer la politique actuelle de lutte contre les vecteurs.

CONTEXTE

Le contexte synthétisera les principales données épidémiologiques :

- pathologies actuellement transmises par les vecteurs en France ;
- prévalence des infections par zone géographique ;
- liste des épidémies humaines et animales survenues au cours des dix dernières années en France et dans les pays frontaliers ;
- établissement de fiches sur les maladies anthro-p-zoonoses ainsi que sur les maladies animales ;

- hiérarchisation des risques : classement en trois niveaux sur les critères de morbidité, mortalité et conséquences socio-économiques ;
- du nuisant au vecteur.

LISTE DES QUESTIONS DE L'EXPERTISE COLLÉGIALE

La présente expertise collégiale s'articulera autour de cinq grands thèmes majeurs, eux-mêmes déclinés en un ensemble de questions.

Thème 1 – Périmètre de l'analyse

Question 1 « Quel est le cadre législatif et réglementaire ? »

■ Au niveau français : sur le territoire métropolitain, des DOM-ROM (Guadeloupe, Guyane, Martinique et Réunion), de la collectivité départementale de Mayotte et de la collectivité d'outre-mer Wallis-et-Futuna

■ Au niveau européen ?

■ Au niveau international ? (règlement sanitaire international (RSI) établi par l'OMS, législation en vigueur dans les pays frontaliers des COM et des DOM¹⁷ et Mayotte)

■ Quelles sont les similitudes et divergences entre les différents dispositifs ?

■ Existe-t-il des dérogations et pourquoi ?

■ Quel est le droit des assurances ?

Question 2 « Comment s'organise la gouvernance ? »

■ Quelles sont les modalités d'application des textes et des politiques aux différents niveaux chargés de la lutte antivectorielle en France ?

■ Quels sont les différents acteurs de la lutte antivectorielle ainsi que leurs rôles et responsabilités ?

■ Comment organiser une gouvernance capable de répondre aux objectifs de la lutte antivectorielle ?

■ Quelles coordination des acteurs et adaptabilité en cas d'alerte ?

| ¹⁷ Départements d'outre-mer : Guadeloupe, Guyane, Martinique, la Réunion.

Thème 2 – Mise en œuvre

Question 1 « Quelles sont les stratégies de la lutte antivectorielle en France ? »

- Identification des zones géographiques, des types de vecteurs ou de maladies.
- Quelles sont les capacités d'anticipation et de réponse à une émergence ?
- Comment s'organise le contrôle sanitaire aux frontières (mise en place du règlement sanitaire international) ?

Question 2 « Quelles sont les modalités organisationnelles et les ressources humaines ? »

- Quelle est l'interaction des acteurs de la lutte antivectorielle avec le réseau d'épidémiologie-surveillance ?
- Quels sont les seuils de déclenchement d'une intervention spécifique ?
- Quel cadre d'emploi pour les personnels de terrain : personnels sédentaires ou personnels actifs (on entend par « actifs » des métiers de terrain à caractère pénible, à risque ou dangereux...) ?

Question 3 « Quels sont les réseaux d'information, d'éducation et de communication ? »

- Quelles sont les modalités et les cibles de la communication publique ?
- Comment la communication agit-elle sur la participation communautaire ?
- La communication et l'éducation à la santé induisent-elles une meilleure participation communautaire ?
- Comment obtenir une mobilisation pérenne des communautés ?
- Comment coordonner les moyens d'information, d'éducation et de communication en cas d'alerte ?

Question 4 « Quelles sont la perception et l'acceptabilité de l'efficacité de la lutte antivectorielle par les populations ? »

- Quels sont les niveaux de perception des différentes populations lorsqu'elles sont touchées par l'épidémie ?
- Quels sont les facteurs anthropologiques qui expliquent ces différentes perceptions ?
- Comment peut-on évaluer le niveau de satisfaction et d'adhésion des populations ?

Thème 3 – Évaluation de la lutte antivectorielle

Question 1 « Quelles sont les pratiques et les modalités d'évaluation de la lutte antivectorielle ? »

- Pourquoi faut-il évaluer la lutte antivectorielle ?
- Comment évaluer la lutte antivectorielle ?
- Quelles sont les difficultés de la mise en place de la lutte antivectorielle ?
- Pourquoi l'évaluation de la lutte antivectorielle est-elle peu développée en France ?
- Existe-t-il des rapports d'évaluation de la lutte antivectorielle publiés dans le monde ?
- Quels sont les outils d'évaluation : indicateurs et unités de mesure ?

Question 2 « Quelles sont les approches économiques de la lutte antivectorielle ? »

- Quels sont le coût et le financement de la lutte antivectorielle et de la lutte contre les nuisants ?
- Quels sont les coûts comparés de la lutte antivectorielle et de la prise en charge d'une épidémie ?
- Quelle est l'efficacité de la lutte antivectorielle ?

Question 3 « Comment peut-on évaluer les effets non intentionnels ? »

- Quelles sont les différentes pratiques de lutte suivant les territoires (comparaison) ?
- Quels sont les effets non intentionnels des insecticides ?
- Quels sont les effets non intentionnels de l'usage répétitif des répulsifs ?
- Quels sont les effets sur le comportement humain ?
- Les assurances couvrent-elles les préjudices éventuels ?

Thème 4 – Les outils d'anticipation

Question 1 « Quelle est la contribution de l'évaluation des risques vectoriels à l'évaluation du risque épidémique ? »

- Quels sont les dispositifs d'évaluation des risques sanitaires ?
- Peut-on prédire l'ampleur et la sévérité d'un risque d'épidémie ?
- Une alerte entomologique implique-t-elle une alerte épidémiologique ?
- Quel peut être l'appui de la modélisation ?

Question 2 « Quelles sont les coopérations régionales et internationales ? »

■ Quels sont les mécanismes de coopération régionale et internationale existants à l'heure actuelle en France métropolitaine et en régions outre-mer ?

Question 3 « Quelles sont les formations existantes et quels sont les besoins en formation ? »

■ Quelles sont les formations initiales et continues offertes actuellement ?
■ Quels sont les niveaux de formation en matière de lutte antivectorielle au sein des structures ?

■ Existe-t-il une adéquation entre les formations et les besoins ?

■ Quels sont les manques ?

Question 4 « Comment la recherche contribue-t-elle à l'amélioration de la lutte antivectorielle ? »

■ Comment mesurer l'efficacité et la sélectivité des insecticides utilisés ?

■ Quels sont les mécanismes de résistance aux insecticides ?

■ Quels sont les nouveaux insecticides utilisables ?

■ Quels sont les moyens alternatifs de lutte ?

■ Comment améliorer la connaissance de la biologie des vecteurs ?

■ Quel est l'appui de la recherche en sciences sociales et des comportements ?

Thème 5 – Les exemples non français**Question 1 « Quels sont les modèles d'action à l'international ? »**

■ Quels sont les différents modèles opérationnels ?

■ Quels enseignements peut-on en tirer ?

Présentation du collège des experts

Thomas BALENGHIEN

Chercheur

Cirad

TA A-15/G

Campus international de Baillarguet

34398 Montpellier cedex 5

thomas.balenghien@cirad.fr

Daniel BLEY

Directeur de recherche

CNRS

UMR 6012 Espace-Desmid

1, rue Parmentier – 13200 Arles

danielbley@aol.com

Xavier CABANNES

Maître de conférence

Université Paris-Descartes

Institut de Droit et Santé

10, avenue Pierre Larousse – 92245 Malakoff

xavier.cabannes@univ-paris5.fr

Jean-Claude DESENCLOS

Responsable du département des Maladies infectieuses

InVS

12, rue du Val d'Osne – 94 415 Saint-Maurice cedex

jc.desenclos@invs.sante.fr

Didier FONTENILLE

Directeur de recherche

IRD

911, avenue Agropolis – BP 64501 – 34394 Montpellier cedex 5

didier.fontenille@ird.fr

Laurent LAGADIC

Directeur de recherche

Inra

65, rue de Saint-Brieuc – F-35042 Rennes cedex

laurent.lagadic@rennes.inra.fr

Christophe LAGNEAU

Directeur de recherche et développement

EID Méditerranée

165, avenue Paul Rimbaud – 34184 Montpellier cedex 4

clagneau@eid-med.org

Sylvie LECOLLINET

Chargée de projets scientifique et technique

Afssa

UMR 1161 de virologie

23, avenue du Général de Gaulle – 94706 Maisons-Alfort

s.lecollinet@afssa.fr

Régine LEFAIT-ROBIN

Représentante

IRD

29, Thanon Sathorn Tai – 10120 Bangkok

regine.lefait-robin@ird.fr

Éric MALIN

Professeur des universités

Université Rennes-1

7, place Hoche – CS 86154 – 35065 Rennes cedex

eric.malin@univ-rennes1.fr

Michel SETBON

Directeur de recherche

CNRS

Laboratoire d'Économie et de Sociologie du travail

35, avenue Jules Ferry – 13626 Aix-en-Provence cedex

michel.setbon@univmed.fr

Bernard TIREL

Directeur d'hôpital, enseignant-chercheur en droit de la santé
EHESP

Avenue du professeur Léon Bernard – CS 74312

35043 Rennes cedex

bernard.tirel@ehesp.fr

Ohri YAMADA

Chargé de projets scientifiques

Afsset

58, avenue du Général de Gaulle – 94700 Maisons-Alfort

ohri.yamada@afsset.fr

André YÉBAKIMA

Chef du service de démostication

Centre de démostication

Conseil Général de Martinique

37, avenue Pasteur – 97200 Fort-de-France

yebakima@cg972.fr

Présentation du comité de pilotage

Le comité de pilotage constitué pour permettre le suivi de l'expertise collégiale par les ministères commanditaires a rassemblé à quatre reprises les représentants des départements ministériels concernés. Le président du collège des experts, Didier FONTENILLE, ainsi que quelques experts, ont été conviés à deux de ces réunions, en tant que de besoin.

Lors de sa dernière réunion, le 5 février 2009, le comité a donné acte de la remise du rapport final en présence d'un directeur général de chacune des administrations.

Le comité, animé par le président de l'IRD ou le directeur du Département expertise et valorisation de l'IRD, était composé comme suit :

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SPORTS

M. Didier Houssin,

directeur général de la Santé,

représenté par **Mme Dominique BESSETTE**

Direction générale de la Santé

Sous-direction de la Prévention des risques infectieux

Bureau des Risques infectieux et de la Politique vaccinale

14 avenue Duquesne, 75350 Paris

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,

DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE

M. Laurent MICHEL,

directeur général de la Prévention des risques,

représenté par **Mme Sylvie DRUGEON**

DGPR - Bureau des Substances et préparations chimiques

92055 La Défense cedex

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR, DE L'OUTRE-MER ET DES COLLECTIVITÉS TERRITORIALES

M. David Anthony DELAVOËT,

directeur adjoint du cabinet du Secrétariat général

Place Beauvau, 75008 Paris cedex 08

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PÊCHE

M. JEAN-MARC BOURNIGAL,

directeur général de l'Alimentation,

représenté par **M. Nicolas PONÇON**

Direction générale de l'Alimentation

Sous-direction de la Santé et de la Protection animale

251 rue de Vaugirard, 75732 Paris cedex 15

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE

M. DIDIER HOFFSHIR,

directeur adjoint de la Recherche et de l'Innovation,

représenté par M. **Christian DEVAUX**

Direction générale de la Recherche et de l'Innovation

1 rue Descartes, 75231 Paris cedex 05

Glossaire

Les termes en gras dans les définitions renvoient à une autre entrée du glossaire.

Arboviroses : maladies virales dues à des arbovirus. Cette définition est épidémiologique et non virologique.

Arbovirus : ensemble des virus ayant pour vecteur les arthropodes hématophages. Ce terme ne fait pas partie de la classification taxonomique des virus (il rassemble différentes classes de virus). Ce nom provient de la contraction de l'expression anglaise *Arthropod – Borne Virus*.

Arthralgie : douleurs articulaires.

Arthropodes : embranchement parmi les Invertébrés (du grec *arthron* « articulation » et *podos* « pied »). Le corps des arthropodes est formé de segments (ou métamères) articulés, recouverts d'une cuticule rigide, qui constitue leur squelette externe, dans la plupart des cas, constitué de chitine. Les insectes font partie de cet embranchement et appartiennent au sous-embranchement des hexapodes (trois paires de pattes).

Arthropodes hématophages : groupe rassemblant l'ensemble des arthropodes ayant besoin d'un repas sanguin qui leur fournit les protéines nécessaires à la formation des œufs. Ainsi, dans beaucoup de cas, seule la femelle prend un repas de sang. Les principaux arthropodes hématophages appartiennent au sous-embranchement des hexapodes (insectes). On y retrouve les puces (ordre des Siphonaptères), les moustiques, mouches et mouches-rons (ordre des diptères, famille des Culicidés, Phlébotomidés, Cératopogonidés, Simuliidés, Glossinidés et Tabanidés), les poux (ordre des Phthiraptères) et les punaises (Hémiptères). Les tiques dures (famille des Ixodidés) ou molles (familles des Argasidés) sont également hématophages mais font partie du sous-embranchement des Arachnides.

Arthropodes vecteurs : arthropodes hématophages assurant, par un comportement spécifique, la **transmission biologique** (cycle indispensable de développement dans le vecteur) et active (le vecteur va jouer un rôle actif, c'est-à-dire qu'il amène l'agent à un vertébré réceptif) des agents pathogènes.

nes d'un hôte vertébré donneur à un autre hôte vertébré réceptif. On parle de spécificité parasitaire. Cet agent infectieux peut être une bactérie, un virus, un protozoaire ou un helminthe. N.B. : on distingue la transmission biologique de la **transmission mécanique**.

Audit interne : activité indépendante et objective qui donne à une organisation une assurance sur le degré de maîtrise de ses opérations, lui apporte ses conseils pour les améliorer, et contribue à créer de la valeur ajoutée. Il aide cette organisation à atteindre ses objectifs en évaluant, par une approche systématique et méthodique, ses processus de management des risques, de contrôle et de gouvernement d'entreprise, et en faisant des propositions pour renforcer leur efficacité (Institut français de l'audit et du contrôle internes).

Auto-évaluation : évaluation conduite par ceux qui gèrent un programme et/ou y participent sur le terrain.

Biocides : substances actives et préparations contenant une ou plusieurs substances actives présentées sous la forme dans laquelle elles sont livrées à l'utilisateur, qui sont destinées à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de tout autre manière, par une action chimique ou biologique.

Capacité vectorielle : aptitude du vecteur à s'infecter sur un hôte vertébré, à assurer le développement d'un agent pathogène et à transmettre cet agent à un autre hôte dans les conditions du milieu naturel. Cet indice indique le nombre d'infections qu'un vecteur donné va occasionner par malade (cas index ou nouveau cas autochtone) et par jour dans une population non immune. Ce paramètre dépend de la compétence vectorielle, du taux de contact vecteur-hôte, lui-même dépendant de la préférence trophique (choix de l'espèce de vertébré pour le repas sanguin) et de l'abondance (densité de vecteurs), ainsi que de la longévité du vecteur (plus la longévité d'un vecteur est importante, plus il aura eu de chances de s'infecter lors d'un repas sanguin). La capacité vectorielle exprime également le degré de coadaptation parasite-vecteur et le fonctionnement du système dans un environnement donné à une saison précise. La capacité vectorielle se mesure pour une population donnée (dans un lieu et un temps donnés).

Compétence vectorielle : aptitude intrinsèque du vecteur à s'infecter sur un hôte vertébré, à assurer le développement d'un agent pathogène et à transmettre cet agent à un autre hôte. Ce paramètre se mesure en laboratoire et est déterminé génétiquement. Il dépend de la population d'arthropode.

Contrôle : évaluation de la conformité par observation et jugement accompagné, si nécessaire, de mesures, d'essais ou de calibrage (ISO 9000). Vérification de la validité.

Culicidés : famille d'insectes communément appelés « moustiques », appartenant à l'ordre des diptères (deux ailes), et au sous-ordre des nématocères (antennes longues). Les femelles de la plupart des espèces possèdent de longues pièces buccales de type piqueur-suceur. Il s'agit d'une longue trompe ou proboscis. Le cycle de vie du moustique est composé de différents stades : l'œuf, la larve (4 stades larvaires) aquatique et la nymphe également aquatique. L'adulte émerge de cette nymphe et ne s'accouple qu'une seule fois (les spermatozoïdes du mâle sont conservés dans la spermathèque de la femelle). Durant sa vie, la femelle culicidée va piquer plusieurs fois afin d'amener ses œufs à maturité. Ceux-ci seront fécondés via la spermathèque au moment de la ponte. L'espace-temps entre deux pontes est appelé cycle trophogonique ou gonotrophique.

Critères : variables capables de rendre compte, de manière pertinente et fiable, soit de l'atteinte des objectifs, en particulier des variations de l'état de santé, des connaissances ou des attitudes, soit des différentes composantes du programme.

DFA : Départements français d'Amérique. Il s'agit de la Guadeloupe, la Guyane et la Martinique.

Diapause : période d'inactivité durant laquelle le métabolisme est ralenti et le développement ou la croissance des insectes est suspendu. Les œufs de certaines espèces peuvent passer l'hiver en diapause et éclosent au printemps lorsque les températures et la photopériode sont de nouveau favorables au développement.

Diptères : ordre d'insectes caractérisés par la présence de deux ailes (la deuxième paire d'ailes est transformée en balancier) et de pièces buccales servant à sucer ou à piquer.

Diurne : qui présente une activité le jour.

Économétrie : ensemble des techniques statistiques destinées à mesurer des grandeurs économiques et à pratiquer la recherche en économie.

Efficacité : niveau de réalisation des activités planifiées et d'obtention des résultats escomptés (selon ISO 9000).

Endémie : se dit d'une situation de transmission d'un agent pathogène à un niveau constant au cours du temps ; niveau qui peut être élevé ou bas. Rigoureusement, ce terme est réservé aux maladies humaines.

Endémisation : est utilisé pour caractériser le processus par lequel une maladie nouvellement apparue se maintient dans la zone à un niveau constant.

Enquête : démarche intellectuelle qui a pour but la découverte de faits, l'amélioration des connaissances ou la résolution de doutes et de problèmes.

Enzootie : terme équivalent à **endémie**, mais réservé aux maladies animales.

Épidémie : se dit d'une situation de transmission d'un agent pathogène caractérisée par une augmentation rapide du nombre de cas dans un temps relativement court. Après l'apogée de la transmission, on constate une diminution du nombre de cas. Rigoureusement, ce terme est réservé aux maladies humaines.

Épidémisation : est utilisé pour caractériser le processus par lequel une maladie **endémique** devient **épidémique**.

Épizootie : terme équivalent à **épidémie**, mais réservé aux maladies animales.

Gîtes larvaires : expression largement utilisée dans la littérature scientifique pour désigner les plans d'eau abritant des moustiques immatures (œufs, larves et nymphes).

Gravide : se dit d'une femelle arthropode, ayant amené ses œufs à maturité, en recherche d'un (de) site(s) de ponte.

Hématophage : caractérise les arthropodes dont le régime alimentaire est en partie constitué de sang afin d'assurer la maturation de leurs œufs.

Hématozoaire : parasite protozoaire (constitué d'une seule cellule) des hématies (globules rouges du sang).

Imago : désigne le stade final du développement d'un insecte ayant effectué sa métamorphose (adj. imaginal). Il s'agit du stade adulte reproducteur, par opposition aux stades larvaires ou nymphaux qui ne sont pas capables d'effectuer la reproduction.

Indicateurs : données concrètes et variables, simples ou complexes, quantitatives ou qualitatives dont le suivi et/ou la comparaison dans le temps (ou dans l'espace) permet d'apprécier ou mesurer des changements intervenus

(ou des différences). Dans la réalité, ils rendent compte du critère choisi. Exemple : la densité ou l'abondance en vecteurs est un critère, les indices entomologiques sont des indicateurs. Il faut généralement plusieurs indicateurs pour traduire un critère donné.

Larve : forme immature des insectes subissant une métamorphose complète, située entre l'œuf et la nymphe. Les larves de moustiques sont aquatiques.

Larvivore : qui se nourrit de larves d'arthropodes.

Lutte biologique : utilisation d'un « ennemi naturel » d'un arthropode pour en diminuer les populations et ainsi réduire les risques de transmission du pathogène. On peut séparer les agents de lutte biologique en prédateur (poissons prédateurs de larves de moustiques) et pathogène (champignon, parasitoïde).

Lutte chimique : techniques utilisant des produits d'origine végétale ou de synthèse en tant que répulsifs, attractifs (couplés à des pièges) ou insecticides.

Lutte environnementale : regroupe toutes les actions menées sur l'environnement pour rendre ce dernier hostile au développement des populations de vecteurs.

Lutte génétique : consiste en l'emploi de toutes les conditions et méthodes de traitement susceptibles de réduire le potentiel reproductif des formes nuisibles par une altération ou un remplacement du matériel héréditaire.

Lutte mécanique : on peut regrouper sous ce vocable les méthodes de capture des vecteurs (dans un but de diminution de l'abondance), celles qui s'opposent au contact hôte/vecteur et, par extension, les méthodes d'évitement du contact avec l'hôte.

Maladie émergente : une maladie émergente est une maladie dont l'incidence réelle augmente de manière significative dans une population donnée, dans une zone géographique donnée et pendant une période définie par rapport à la situation épidémiologique habituelle de cette maladie (inconnue, rare, hypoendémique, etc.).

Cette définition s'applique aussi bien aux maladies de l'Homme qu'à celles des animaux ou des végétaux.

Cette émergence peut être liée soit à l'apparition d'un nouvel agent infectieux, soit à une modification d'un agent connu, cette modification le rendant pathogène ou résistant aux traitements habituellement efficaces.

Moustiques ornithophiles : moustiques effectuant leurs repas sanguins préférentiellement sur les oiseaux.

Norme : valeur associée aux critères (ou à l'indicateur) considérés comme acceptables en l'état actuel des connaissances.

Nuisant : se dit d'un arthropode qui incommode par ses piqûres ou sa présence sans transmettre des maladies. Il provoque gêne et inconfort (par exemple, *Aedes caspius* en Camargue ou *Culicoides impunctatus* en Écosse).

Nymphe : stade immature intermédiaire entre la larve et l'adulte chez les insectes subissant une métamorphose complète.

Organochloré : produit chimique de synthèse, dérivé de molécules de chlore et utilisé comme solvant, insecticide, fongicide ou réfrigérant ou molécules intermédiaires de synthèse en chimie et pharmacie.

Organophosphoré : qualifie des produits chimiques de synthèse, dérivés de molécules de phosphore et utilisés à diverses fins, comme insecticides, fongicides, réfrigérants, etc.

Perception du risque : jugement subjectif porté sur une menace dans lequel interagissent une évaluation de sa probabilité/susceptibilité/gravité et des sentiments/émotions qui lui donnent une valeur.

Période d'incubation extrinsèque : dans une **transmission biologique**, laps de temps qui sépare le repas de sang infectant du moment où le vecteur, une fois infecté, devient à son tour infectant. On devrait dire période de développement extrinsèque. Suite au repas de sang infectant, l'agent pathogène n'est pas tout de suite transmissible et ne peut pas être inoculé à un nouvel hôte lors d'un nouveau repas de sang. L'agent pathogène doit franchir plusieurs barrières afin de passer, dans le cas général, du tractus digestif aux glandes salivaires pour être inoculé. La période d'incubation extrinsèque revêt une grande importance en épidémiologie. En effet, sa durée dépend de l'espèce, de la souche du parasite, de l'arthropode et de facteurs liés au milieu (température, humidité...). Le cycle extrinsèque varie entre 2 et 15 jours en milieu tropical. N.B. : si la durée est trop longue, l'insecte meurt avant de devenir infectant. À l'inverse, si la durée du cycle extrinsèque est courte, la piqûre du vecteur infecté devient infectante, soit dès la piqûre suivante si cette durée est plus courte que la durée du cycle trophogonique, soit lors de la suivante. Plus le vecteur est âgé, plus celui-ci

est dangereux car il aura fait plusieurs repas sanguins en augmentant le risque de s'infecter, on parle d'âge épidémiologiquement dangereux.

Piège à adultes : piège destiné à évaluer la densité d'arthropodes adultes en recherche de repas sanguin. Le piège est généralement composé d'un élément attractant (appât vivant, oiseaux, mammifères), d'attractifs chimiques ou source lumineuse de longueurs d'onde plus ou moins spécifiques et d'un système de capture par aspiration. La capture peut également se faire directement sur appât homme ou animal.

Piège pondoir : outil permettant la détection d'espèces de moustiques ayant comme sites de pontes des petits récipients, des feuilles engainantes ou des creux d'arbres. Le but est de fournir un site de ponte artificiel attractif pour l'espèce cible, stable (restant en place) et régulièrement en eau, localisé dans un environnement lui-même attractif (végétation dense, proximité d'hôtes). Par exemple, pour *Aedes albopictus* le piège est constitué d'un seau noir, étiqueté, contenant de l'eau (infusion préalable de bois sec), d'une pastille d'insecticide et d'un support de ponte constitué d'un carré de polystyrène. Ce piège permet avant tout de détecter la présence d'une espèce dans une zone indemne. Il peut éventuellement fournir des données sur la densité de l'espèce en zone colonisée si l'échantillonnage est correctement réalisé. Les pièges pondoirs sont souvent utilisés dans la surveillance des *Aedes*.

Pour-on : formulation insecticide utilisée en médecine vétérinaire qui s'applique le long de la ligne du dos des animaux et qui, par la suite, est supposée diffuser sur l'ensemble du corps de l'animal.

Processus : système d'activités corrélées ou interactives qui utilise des ressources pour transformer les éléments d'entrée en éléments de sortie (définition issue des normes ISO).

Résistance : mécanisme génétique de tolérance de doses de substances toxiques qui exerceraient un effet létal sur la majorité des individus composant une population normale de la même espèce. Ou bien :

« Apparition dans une population d'insectes de la faculté de tolérer des doses de substance toxique qui exerceraient un effet létal sur la majorité des individus composant une population normale de la même espèce » (OMS, 1957).

Risk Trade-offs : échange de risque, traduit le transfert des événements dommageables d'une source à une autre à partir d'une action visant à réduire ces derniers (la LAV qui vise à réduire le risque vectoriel peut être la source de nouveaux risques, réels ou perçus).

Solénophage ou « capillary feeding » : arthropodes hématophages ayant une trompe longue, perforante et cathétérisant les capillaires veineux pour absorber le sang. Ce groupe rassemble les punaises, les culicidés et les poux.

Stade larvaire : période de développement pendant laquelle se succèdent les différentes mues larvaires chez les insectes.

Suivi-Évaluation : combinaison du suivi et de l'évaluation qui permet d'obtenir les informations requises et de conduire la réflexion critique nécessaire à la bonne gestion du projet, à la satisfaction des obligations de redevabilité.

Tableau de bord : représentation synthétique d'un ensemble d'indicateurs donnant à un responsable tous les éléments lui permettant de prendre visuellement et rapidement des décisions.

Telmophage ou pool feeding : arthropodes hématophages ayant une trompe courte destinée à lacérer, dissocier puis absorber le sang accumulé dans un micro-hématome. Ce groupe rassemble les taons, les simulies, les cératopogonidés, les phlébotomes et les tiques. Ce processus permet également le prélèvement d'agents infectieux se trouvant hors du sang circulant, au niveau du derme.

Transmission biologique : phénomène biologique impliquant la réalisation d'une phase du cycle évolutif d'un agent pathogène.

Transmission mécanique : transmission se faisant lors de deux repas sanguins successifs séparés par un intervalle de temps très court (en général des repas interrompus). L'agent prélevé au cours de ce premier repas demeure au niveau des pièces buccales et est aussitôt réinjecté lors du second repas sanguin. Chez les vecteurs d'agents pathogènes de plantes il a été montré, dans le cas de la transmission non circulante (équivalent de la transmission mécanique), que la fixation de l'agent pathogène sur les pièces buccales était relativement spécifique, intervenant parfois par l'intermédiaire d'une protéine de la plante détournée par l'agent pathogène. Cette spécificité n'a pour l'instant jamais été recherchée chez les vecteurs d'agents pathogènes de vertébrés, et le dogme actuel suppose l'absence de spécificité. Ce méca-

nisme de transmission est très dépendant de la survie de l'agent pathogène dans les pièces buccales. Le virus du VIH-Sida n'est, par exemple, pas transmis mécaniquement par les arthropodes hématophages.

Transmission verticale : décrit la transmission, en général de type trans-ovarien, d'un agent pathogène, en général un virus, d'une femelle à sa descendance. Cette transmission possède une grande importance épidémiologique car elle permet le maintien d'un virus dans un environnement défavorable à la transmission (saison froide en zone tempérée, saison sèche en zone tropicale) ; elle se produit pour de nombreux arbovirus. Elle est à opposer à la **transmission horizontale** « traditionnelle » : hôte-vecteur-hôte. N.B. : il existe également des cas de transmission trans-stadiale (persistance de l'infection malgré un changement de stade chez certaines tiques, par exemple). Dans quelques rares cas, il existe aussi une transmission sexuelle (infection d'une femelle par un mâle infecté, lors de l'accouplement). Les mâles ne prenant pas de repas sanguin chez les moustiques, la transmission sexuelle implique une transmission verticale.

Ultra-Bas Volume : méthode d'épandage basée sur la dispersion d'un volume de bouillie ou de granulé insecticide inférieur à 5 l/ha.

Virémie : période pendant laquelle l'agent pathogène est présent dans la circulation sanguine de l'hôte vertébré. Pour qu'un arthropode vecteur s'infecte lors d'un repas sanguin, la dose virale dans le sang doit atteindre un seuil d'infectivité donné. On peut parler aussi de bactériémie ou de parasitémie pour une bactérie ou un parasite.

Zoonose : maladie animale transmissible à l'homme et inversement (c'est-à-dire maladie humaine transmissible à l'animal).

Liste des abréviations

Adege	Agence nationale pour la démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués
AFD	Agence française de développement
Afssa	Agence française de sécurité sanitaire des aliments
Afsset	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
AMM	Autorisation de mise sur le marché
Anaes	Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé
ANR	Agence nationale de la recherche
ARH	Agence régionale de l'hospitalisation
ARS	Agences régionales de santé
Arvam	Association de recherche pour la valorisation de la mer
Atuss	Association technique d'utilité sanitaire et sociale
Basag	Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles-Guyane
BEH	Bulletin épidémiologique hebdomadaire
CAPTV	Centres antipoison et de toxicovigilance
Carec	Centre d'épidémiologie des Caraïbes
CaribVet	Réseau caribéen de santé animale
CCTV	Comité de coordination de toxicovigilance
Cemagref	Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts
CGCT	Code général des collectivités territoriales

Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
Cire-AG	Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane
Cnes	Centre national d'études spatiales
CNFPT	Centre national de la fonction publique territoriale
Coderst	Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques
COI	Commission de l'océan Indien
Conae	<i>Comisión Nacional de Actividades Espaciales</i>
COP	Centre opérationnel de préfecture
Crec	Centre de recherche en entomologie de Cotonou
CRVOI	Centre de recherche et de veille sur les maladies émergentes dans l'océan Indien
CSP	Code de la santé publique
CTO	Comité technique opérationnel
CVS	Cellule de veille sanitaire
Dass	Direction des affaires sanitaires et sociales
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DDSV	Direction départementale des services vétérinaires
DFA	Départements français d'Amérique
DGAL	Direction générale de l'alimentation
DGD	Dotation générale de décentralisation
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé
Diren	Direction régionale de l'environnement

DOM	Départements d'outre-mer
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
DSDS	Direction de la santé et du développement social
DSS	Direction de la solidarité et de la santé
DSV	Directions des services vétérinaires
ECDC	<i>European Centre for Disease Prevention and Control</i>
Eden	Association européenne des opérateurs publics de démoustication et de la gestion des zones humides démoustiquées
EHESP	École des hautes études en santé publique
EID	Entente interdépartementale pour la démoustication
Emca	<i>European Mosquito Control Association</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
EPI	Équipement de protection individuelle
FCR	Fonds de coopération régionale
GDS	Groupements de défense sanitaire
GIP	Groupement d'intérêt public
GRDSBR	Groupement régional de défense sanitaire du bétail de la Réunion
IGA	Inspection générale de l'administration
Igas	Inspection générale des affaires sociales
IGE	Inspection générale de l'environnement
IMTSSA	Institut de médecine tropicale du service de santé des armées
IPG	Institut Pasteur de Guyane
InVS	Institut de veille sanitaire
IRSP	Institut régional de santé publique

OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OIE	Organisation mondiale de la santé animale (anciennement Office international des épizooties)
OMC	Organisation mondiale du commerce
OMS	Organisation mondiale de la santé
ONG	organisation non gouvernementale
OPS	Organisation panaméricaine de la santé
PCA	Poste de commandement avancé
PHS & CDC	<i>Public Health Surveillance & Communicable Disease Control</i>
PMI	Protection maternelle et infantile
Poseidom	Programme d'opération spécifique à l'éloignement et à l'insularité des DOM
PPHSN	<i>Pacific Public Health Surveillance Network</i>
Psage	Plan de surveillance, d'alerte et de gestion des épidémies
Rese	Réseau d'échanges santé environnement
RSD	Règlement sanitaire départemental
RSI	Règlement sanitaire international
SCHS	Service communal d'hygiène et de santé
SDD	Service départemental de désinfection
SIG	Système d'information géographique
Sivu	Syndicat intercommunal à vocation unique
Sove	<i>Society of Vector Ecology</i>
SPR	Service de prophylaxie renforcée
SRPV	Service régional de la protection des végétaux

Personnes à remercier pour leur contribution au document

Mathilde ALEXANDRE, vétérinaire, directrice de la fédération régionale des groupements de défense sanitaire du Languedoc-Roussillon

Jean ALFONSI, responsable du service de démoustication et de la lutte antivectorielle du Conseil général de Corse-du-Sud

Alexis ARMENGAUD, cellule interrégionale d'épidémiologie Provence-Alpes-Côte d'Azur, Institut de veille sanitaire

Christine AZNAR, LHUPM-Char, Cayenne

Odile BAIN, directeur de recherche, Centre national de la recherche scientifique FR 101 et Muséum national d'histoire naturelle de Paris, USM 307, Parasitologie comparée et modèles expérimentaux

Hélène BARRÉ, entomologiste à la Direction de la santé et du développement social de Corse et de Corse-du-Sud

Stéphanie BAUD, ingénieur du génie sanitaire, réseau d'échanges en santé environnement, Direction générale de la santé

Alain BLATEAU, cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles/Guyane

Édouard BOURGUET, entomologiste à l'Institut Pasteur à la Nouvelle-Calédonie

Emmanuel BREARD, Agence française de sécurité sanitaire des aliments, Maisons-Alfort

Philippe BROUQUI, Centre national de la recherche scientifique UMR 6436, Marseille

Isabelle CAPEK, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Thierry CAQUET, directeur de recherche, Institut national de la recherche agronomique, Rennes

Fabrice CHANDRE, chargé de recherche, Institut de recherche pour le développement, Montpellier

Ludovic CHATELIN, chargé de mission, ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Sébastien CHOUIN, directeur technique adjoint de l'environnement et de l'aménagement de l'Entente interdépartementale de démoustication Atlantique

Vincent CORBEL, chargé de recherche, Institut de recherche pour le développement, Bénin

Daniel COURET, responsable de système d'information géographique, Institut de recherche pour le développement, Montpellier

Frédéric DARRIET, ingénieur d'étude, Institut de recherche pour le développement, Montpellier

Jean-Pierre DEDET, Centre national de référence des *Leishmania*, Montpellier

Jean Sébastien DEHECQ, entomologiste à la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de la Réunion

Dominique DEJOUR-SALAMANCA, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Pierre DELTOUR, Réseau d'échanges en santé environnement, Direction générale de la santé

Marc DESTENAY, secrétariat général des affaires sociales

Joëlle DOP, vétérinaire conseil à la Fédération nationale des groupements de défense sanitaire

Aymeric DOPTE, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail

Éric D'ORTENZIO, Cellule interrégionale d'épidémiologie Réunion-Mayotte, Institut de veille sanitaire

Sylvie DRUGEON, chargé de mission, Direction de la prévention des pollutions et des risques, ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Céline DUPUY, vétérinaire inspecteur, chef du service Santé et Protection animale de la Direction départementale des services vétérinaires de Guyane

Gérard DUVALLET, professeur émérite, université de Montpellier, Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive

Nohal ELISSA, docteur en entomologie médicale, Direction des affaires sanitaires et sociales, Mayotte

Christine JESTIN, Institut national de prévention et d'éducation pour la santé

Philippe ESTERRE, Institut Pasteur, Cayenne

Julien FECHEROLLE, étudiant à l'École des hautes études en santé publique, formation Ingénieur en génie sanitaire

Gaëlle FOHR, ingénieur sanitaire, Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de la Réunion

Rémi FOUSSADIER, directeur général de l'Entente interdépartementale de démoustication Rhône-Alpes

Alain FROMENT, anthropologue biologiste, directeur de recherche, Institut de recherche pour le développement

Guillaume GERBIER, vétérinaire inspecteur, chef du service Santé et Protection animale de la direction départementale des services vétérinaires de Guadeloupe

Dominique GINDRE, coordinatrice opérationnelle de démoustication, l'Entente interdépartementale de démoustication Méditerranée

Romain GIROD, entomologiste médical, Institut Pasteur, Guyane

Jean-Luc GRANGEON, directeur de la santé et du développement social, Guyane

Joël GUSTAVE, ingénieur du génie sanitaire à la Direction de la santé et du développement social Guadeloupe

Lénaïg HALOS, vétérinaire, enseignant-chercheur à l'unité de Parasitologie, École nationale vétérinaire, Maisons-Alfort

Thomas HÜE, vétérinaire, la Réunion

Françoise JABOT, enseignant-chercheur à l'École des hautes études en santé publique

Dominique JEANNEL, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Charles JEANNIN, chargé d'études entomologiques, Entente interdépartementale de démoustication Méditerranée

Christine JESTIN, coordinatrice du programme Maladies infectieuses et vaccinations, Institut national de prévention et d'éducation pour la santé

Frédéric JOURDAIN, Direction générale de la santé, ministère chargé de la Santé

Said KARCH, entomologiste médical, Siapp, agence régionale de développement, Paris

Murielle LAFAYE, responsable du développement de nouvelles applications dans le domaine Environnement-climat-santé, Centre national d'études spatiales

P.-J. LAMMIE, *Center for disease control*, Atlanta

Jacques LAMOTHE, vétérinaire

Anne LAPORTE, Samu Social, Paris

Guy LA RUCHE, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Martine LEDRANS, Institut de veille sanitaire

Thierry LEFRANÇOIS, responsable de site, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement Guadeloupe, UMR 15

Michèle LEGEAS, enseignant-chercheur à l'École des hautes études en santé publique

A.-M. LEGRAND, Institut Louis Malardé, Tahiti

Lucien LUCIANI, responsable du Service communal d'hygiène et santé, Bastia

Alexandra MAILLES, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Atoloto MALAU, service territorial de l'environnement de Wallis-et-Futuna

Philippe MALFAIT, Cellule interrégionale d'épidémiologie Sud-Est, Institut de veille sanitaire

François MANSOTTE, ingénieur du génie sanitaire, Direction de la santé et du développement social de Guyane

Jérôme MARIE, ingénieur de recherche, Institut de recherche médicale Louis-Malardé de Papeete

Coralie MARTIN, docteur Institut national de la santé et de la recherche médicale IFR 113 et Muséum national d'histoire naturelle, USM 307, Parasitologie comparée et modèles expérimentaux

Thibaut MARTIN, Centre de coopération internationale en recherche agromomique pour le développement, Bénin

Joseph MATTEI, ingénieur du génie sanitaire à la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de Haute-Corse

Michel-Henri MATTERA, inspecteur à l'Inspection générale des affaires sociales

Philippe MURATI, responsable du service de démoustication et de la lutte antivectorielle du département de Haute-Corse, Conseil général Haute-Corse

Salim MOUHOUTAR, ingénieur d'études sanitaires, Direction départementale des affaires sanitaires et sociales Mayotte

Danielle MOUFFARD, directrice de la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales Mayotte

Rachel MUSSARD, ingénieur d'études sanitaires à la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales Mayotte

Olga ODINETZ, géographe de la santé, chargée de recherche, Institut de recherche pour le développement

Alain PARODI, directeur, Direction de la santé et du développement social Guadeloupe

Nicole PASTEUR, Centre national de la recherche scientifique, UMR 5554

Thierry PAUX, Direction générale de la santé, ministère chargé de la Santé

Lara PAYNE, *European Centre for Disease prevention and Control*, Stockholm

Cédric PENNETIER, docteur en biologie des populations

Michel PEPIN, Agence française de sécurité sanitaire des aliments, Lyon

François-Xavier PERNICE, technicien sanitaire, Direction de la santé et du développement social de Corse et de Corse-du-Sud

Anne PFANSTIEL, Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de Nouvelle-Calédonie

Françoise PFIRSCH, directrice du service de démoustication du Sivu du Bas-Rhin

Nicolas PONÇON, chargé d'étude, Direction générale de l'alimentation, ministère de l'Agriculture et de la Pêche

Aurélia PONSICH, Direction départementale des services vétérinaires, Martinique

Philippe QUENEL, Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane, Institut de veille sanitaire

Patrick RABARISON, médecin entomologiste, directeur du service départemental de désinfection du Conseil général de Guyane

M. RAIMONDEAU, Direction générale de la santé, ministère de la Santé

Paul REITER, Institut Pasteur

Philippe RENAULT, Cellule interrégionale d'épidémiologie Réunion-Mayotte, Institut de veille sanitaire

Philippe SAVIUC, Unité de toxicologie, CHU de Grenoble

André SPIEGEL, directeur de l'Institut Pasteur, Guyane

Arnaud TARANTOLA, Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice

Flore TAURINES, ingénieur d'études sanitaires, Direction départementale des affaires sanitaires et sociales Val-de-Marne

Isabelle THIERY, ingénieur de recherche, Institut Pasteur

Julien THIRIA, ingénieur du génie sanitaire, Direction des affaires sanitaires et sociales de Mayotte

M. TIEN LONG, président du Conseil général de Guyane

Réda TOUNSI, chargé du suivi environnemental, Entente interdépartementale de démoustication Méditerranée

M. VENTURA, Conseil général Guyane

Nicole VERNAZZA-LICHT, anthropologue, chargée d'étude, université Méditerranée

Mylène WEILL, directeur de recherche, Centre national de la recherche scientifique, UMR 5554

Marie-Michelle YP-TCHA, ingénieur territorial, Conseil général de Martinique

Jean-François YVON, service de santé de Wallis-et-Futuna

Stephan ZIENTARA, Agence française de sécurité sanitaire des aliments, Maisons-Alfort

English
version

Disease vector control in France

Scientific coordinators

**Didier FONTENILLE, Christophe LAGNEAU, Sylvie LECOLLINET,
Régine LEFAIT-ROBIN, Michel SETBON, Bernard TIREL, André YÉBAKIMA**

*The first part of the review (synthesis report and recommendations)
is presented in printed form, first in French and then in English.
The second part (analyses) is presented on the enclosed CD-Rom.*

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

collection Expertise collégiale

Marseille, 2009

Coordination

Département Expertise et Valorisation, IRD

Editorial preparation

Marion Enguehard

Correction

Yolande Cavallazzi

English translation

Nicholas Flay

Page makeup, cover and interior

Pierre Lopez

Layout

Bill Production

Production monitoring

Catherine Plasse

*This expert group review was performed at the request
of four French ministries and one Secretary of State
– the Ministry of Ecology, Energy, Sustainable Development and Planning;
the Ministry of Agriculture and Fisheries;
the Ministry of Higher Education and Research;
the Ministry of Health, Youth and Sport;
the Ministry of the Interior, Overseas Territories and Local Authorities,
and the Secretary of Ecology.*

Composition of the expert group

SCIENTIFIC COORDINATION

Didier FONTENILLE,

Chairman (IRD, Institut de recherche pour le développement)

Christophe LAGNEAU (EID-Méditerranée,

Entente interdépartementale de démoustication Méditerranée)

Sylvie LECOLLINET

(Afssa, Agence française de sécurité sanitaire des aliments)

Régine LEFAIT-ROBIN (IRD, Institut de recherche pour le développement)

Michel SETBON (CNRS, Centre national de la recherche scientifique)

Bernard TIREL (EHESP, École des hautes études en santé publique)

André YÉBAKIMA (Département Council, Martinique)

MEMBERS

Thomas BALENGHIEN (Cirad, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement)

Daniel BLEY (CNRS, Centre national de la recherche scientifique)

Xavier CABANNES (Université Paris-Descartes)

Jean-Claude DESENCLOS (IVS, Institut de veille sanitaire)

Laurent LAGADIC (Inra, Institut national de la recherche agronomique)

Éric MALIN (Université Rennes-I)

Ohri YAMADA (Afsset, Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail)

Other contributions to this expert group report

RAPPORTEUR

Dominique CHOCHAN (Independent scientific journalist)

SCIENTIFIC EDITORS

Jean-Paul BOUTIN

(Institut de médecine tropicale du service de santé des armées)

François VIALLA (Université Montpellier-I)

IRD - DEPARTMENT OF EXPERTISE AND VALORIZATION

Anne GESLIN-FERRON (Information officer)

Stéphane RAUD (Director)

Sylvain ROBERT (Head of expertise and consultancy Unit)

Contents

IRD Department of expertise and valorization and the Expertise collégiale report series	287
Objectives and methods of the Expert Group Review	289
Foreword	291
Introduction	293



Review and recommendations

FROM LEGAL FRAMEWORK TO GOVERNANCE	307
<i>Legislative and regulatory framework for vector control</i>	309
Vector control against human health risks	309
Vector control against animal health risks	319
Insurance law and vector-borne diseases	322
<i>How is governance organized?</i>	324
Reunion Island	324
Guadeloupe	327
Martinique	330
French Guiana	333
Mayotte	334
Corsica: Haute-Corse	336
Corsica: Corse-du-Sud	337
IMPLEMENTATION OF VECTOR CONTROL	343
<i>Strategy variations between regions</i>	345
Human health	346
Animal health	355
<i>Organization and human resources for vector control</i>	360
Animal health	360
Human health	362

<i>Perception of risk in relation to vector control communication</i>	371
Overview of prevailing concepts	371
Message definition	372
Different types of vector control and associated perceptions	373
Case histories	374
Communication: about what and how?	378
Field campaigns	379
ASSESSMENT OF VECTOR CONTROL	385
<i>Practices and methods</i>	387
Theoretical framework	388
Assessment of vector control in France	390
Lessons from the situation in France	394
<i>Economic assessment: France lags behind</i>	398
Objectives and methods	398
Economic situation and vector control	400
Assessment of vector control in France	405
<i>Unwanted side-effects of vector control</i>	409
Toxicity and ecotoxicity of biocidal products	409
Overview of biocidal substances	413
Repellents and baits	418
Unwanted side-effects of application methods	420
Case study: Reunion Island chikungunya epidemic	421
TOOLS FOR RISK MANAGEMENT AND ANTICIPATION	429
<i>From vector risk assessment to epidemic risk assessment</i>	431
Vector risk analysis: objectives and methods	431
Entomological and epidemiological early warning	434
Contribution of modelling	437
Strengths and limitations of models	445

Regional and international cooperation	448
Cooperation in the Antilles-French Guiana region	448
Cooperation in the south-west Indian Ocean	451
Cooperation in the Pacific region	452
Cooperation in Europe	452
From initial training to career-long training	456
Existing training in France	457
Training needs	460
Research: a key to successful vector control	463
Knowledge on vectors leads to control tools	464
Control methods and strategies	473
Human and social science research	476
Actors in vector control research	479
GENERAL RECOMMENDATIONS: EIGHT GREAT PRIORITIES	483
<i>Priority recommendation n° 1:</i>	
Create a National Centre of Expertise on Vectors and vector risk (CNEV)	485
<i>Priority recommendation n° 2:</i>	
Reset the legal framework and governance	487
<i>Priority recommendation n° 3:</i>	
Determine the intervention strategies	489
<i>Priority recommendation n° 4:</i>	
Assess the operations conducted	490
<i>Priority recommendation n° 5:</i>	
Support research	491
<i>Priority recommendation n° 6:</i>	
Improve communication	492
<i>Priority recommendation n° 7:</i>	
Improve training	493
<i>Priority recommendation n° 8:</i>	
Bring vector control services out of isolation	494

■
Appendices

Appendix 1 – Ministerial commissioning letter	505
Appendix 2 – Terms of reference for the expert group report	507
Appendix 3 – Expert group	514
Appendix 4 – Steering Committee	517
Appendix 5 – Glossary	519
Appendix 6 – Abbreviations list	528

■
Report chapters (CD-ROM)

1- The context

Editors: J.-C. DESENCLOS, S. LECOLLINET

Experts: T. BALENGHIEN, D. FONTENILLE, L. LAGADIC,

C. LAGNEAU, R. LEFAIT-ROBIN, A. YÉBAKIMA

CD-ROM

2- What is the legislative and regulatory framework?

Editor: B. TIREL

Experts: T. BALENGHIEN, X. CABANNES, E. MALIN, O. YAMADA

CD-ROM

3- How is governance organized?

Editor: B. TIREL

Experts: T. BALENGHIEN, X. CABANNES, E. MALIN, O. YAMADA

CD-ROM

4- What are the vector control strategies in France?

Editors: T. BALENGHIEN, A. YÉBAKIMA

Expert: C. LAGNEAU

CD-ROM

**5- What are the forms of organization used
and the human resources available?**

Editor: A. YÉBAKIMA

Experts: T. BALENGHIEN, J.-C. DESENCLOS, C. LAGNEAU, S. LECOLLINET

CD-ROM

**6- Perceptions and information-education-communication (IEC)
on vector control: current state of the issue,
problems raised and proposals**

Editors: D. BLEY, M. SETBON

CD-ROM

7- What are the vector control assessment processes and approaches used?

Editor: D. FONTENILLE

Experts: T. BALENGHIEN, J.-C. DESENCLOS,

S. Lecollinet, E. Malin, Y. Yébakima

CD-ROM

8- What economic approaches are used in vector control?

Editors: C. LAGNEAU, E. MALIN

CD-ROM

9- What are the unwanted side-effects of vector control?

Editors: L. LAGADIC, C. LAGNEAU

Experts: S. LECOLLINET, O. YAMADA

CD-ROM

10- What contribution does vector risk assessment make to epidemic risk assessment?

Editors: J.-C. DESENCLOS, D. FONTENILLE

Expert: T. BALENGHIEN

CD-ROM

11- What regional and international cooperation can be envisaged for vector control?

Editor: D. FONTENILLE

Experts: T. BALENGHIEN, S. LECOLLINET, A. YÉBAKIMA

CD-ROM

12- What are the existing training programmes and further training needs?

Editor: D. FONTENILLE

Experts: C. LAGNEAU, T. BALENGHIEN, A. YÉBAKIMA

CD-ROM

13- How does research contribute to improving vector control?

Editor: D. FONTENILLE

Experts: T. BALENGHIEN, D. BLEY, J.-C. DESENCLOS,

C. LAGNEAU, E. MALIN, M. SETBON

CD-ROM

IRD Department of expertise and valorization and the Expertise collégiale report series

The Department of Expertise and Valorization (DEV) of the Institut de recherche pour le développement (IRD) is in charge of activities to further the valorization for the benefit of the countries of the South of the results of scientific research projects focused on the relation between humans and their environment in the tropical areas and with the social and economic world.

The IRD's collegiate expertise is in this perspective conceived as a form of research valorization, founded on well proven system of methods. The DEV leads and organizes all the constituent stages and guarantees the quality of the entire process, from treatment of the information acquired to publication of the report of the group of experts in the IRD "Expertise collégiale" report series. Nine such reports have been published since 2001:

J. MARIE, P. MORAND, H. N'DJIM, 2007 – *The Niger River's Future*. Paris, IRD Éditions, 288 p.

M.-L. BEAUVAIS, A. COLÉNO, H. JOURDAN, 2006 – *Invasive Species in the New Caledonian Archipelago*. Paris, IRD Éditions, 260 p.

A.-M. MOULIN, J. ORFILA, J.-F. SCHÉMANN, 2006 – *Trachoma control in sub-saharan Africa*. Paris, IRD Éditions, 296 p.

J. GUÉZENNEC, C. MORETTI, J.-C. SIMON, 2006 – *Natural substances in French Polynesia*. Paris, IRD Éditions, 302 p.

M. FRANCOIS, R. MOREAU, B. SYLVANDER, 2005 – *Organic agriculture in Martinique*. Paris, IRD Éditions, 304 p.

R. CORIVEAU, B. PHILIPPON, A. YÉBAKIMA, 2003 – *Dengue in Martinique, Guadeloupe and French Guiana*. Paris, IRD Éditions, 208 p.

R. BARRE, V. HERNANDEZ, J.-B. MEYER, D. VINCK, 2003 – *Scientific diasporas*. Paris, IRD Éditions, 198 p.

A. SAMÉ-ÉBOKO, E. FONDJO, J.-P. ÉOUZAN, 2001 – *Grands travaux et maladies à vecteurs au Cameroun*. Paris, IRD Éditions, 222 p.

J.-P. CARMOUZE, M. LUCOTTE, A. BOUDOU, 2001 – *Le mercure en Amazonie*. Paris, IRD Éditions, 494 p.

Objectives and methods of the Expert Group review

The expert reviews are launched and conducted by the *Institut de recherche pour le développement* (IRD) “to order” in response to commission requests, to shed light on major issues of society in order to enlighten political decisions and public debate. It is an integral aspect of a public research establishment’s mission to make research findings and researchers’ knowledge available for society at large.

Taking as basis a well-proven methodology adopted for the expert review procedure, the IRD sets out, to exacting standards, to gather together and analyse the knowledge on a set subject available in specialist literature, bring out the important points and their significance, draw conclusions and propose firm recommendations on which the scientists can agree. They then identify the points still subject to controversy and specify the fields for which the available works are found to be insufficient .

Three considerations are taken into account to accomplish this type of review:

- The time for making a decision is not the same as that for doing research: it is often much shorter. Leading officials are often called upon to take decisions rapidly– sometimes highly pressurized under an emergency. The expert review is organized so as to conduct a state-of-the-art study of existing knowledge in the international literature: it does not entail data collection or making complex new derivations from information.

- The question a commissioning body asks rarely concerns a single discipline: light must be shed simultaneously on all facets of the set of problems presented, taking account of the most recent literature. This is why a multi-disciplinary group, comprising a dozen or so specialist experts, is set up to investigate. The conclusions and recommendations are discussed and taken collectively by the experts, under the terms of a “collegiate” responsibility. The IRD has the report read through by qualified figures external to the expert group to verify that the account is complete, check that it is clearly expressed and that it conforms to the standards of international literature. The expert group retains authority over its conclusions.

- Finally, to ease understanding of the analyses, conclusions and recommendations formulated by the experts from different disciplines, the summarized overview of their contributions must be written in concise lan-

guage, accessible to non-specialists. To this end, the IRD publishes it in its "Expertise collégiale" report series intended for a fairly wide audience, indeed beyond the region or country concerned by the review.

The exact terms of the questions formulated with the commission request are defined as precisely as possible by holding a preliminary workshop in order to have detailed consultations between the commissioning bodies, representatives of the scientific communities concerned and, possibly, the various parties involved. Agreement must be reached on exactly what each side expects of the other. For instance, some questions, however crucial for the particular decisions concerned, cannot be dealt with through the scientific approach and it is therefore advisable to leave them aside. Whereas the scientists involved, in order to target their conclusions effectively, must be guided by a sound knowledge of the context in which the decisions must be taken.

To conduct this expert review, a group of 15 experts, researchers and specialists, was constituted under the chairmanship of Didier Fontenille (see the "Composition of the expert group" in Appendix 3). The result of the collegiate work conducted, presented in this book, is a scientific response to the questions that the five commissioning ministries put before the IRD by joint commission request on 18 January 2008.

We must express our deep gratitude to Didier Fontenille, who has chaired and led the expert group with unstinting commitment and a great openness of mind, which ensured the accomplishment of this indispensable comprehensive review of knowledge.

The IRD also wishes to thank the different participants in this expert review and, first of all, the members of the Steering Committee who maintained the crucial relationship that must exist between the commissioning bodies and the experts throughout the process. Next the Institution thanks all the experts who had the responsibility and the merit of bringing a collective investigation to its conclusion, and more especially to the members of the Scientific Coordination Committee.

Finally, warm thanks must go to the *Pôle expertise et consultation* of the IRD Department of Expertise and Valorization which, under the responsibility of Sylvain Robert, successfully guided, accompanied and ensured the smooth operation of this expert group review to a very tight schedule.

Stéphane RAUD

Director of the Department of Expertise and Valorization

Foreword

By a joint commission request issued on 18 January 2008, four French Ministries – Health, Research, Agriculture and Environment – with which the Ministry of the Interior also became associated, asked the *Institut de recherche pour le développement* (IRD) to conduct a wide-ranging examination of the imperative changes to be made in the field of vector control. On the basis of a state-of-the art study of the existing system, the expected recommendations would show ways towards devising a thorough reform of policy on vector control.

It seemed possible to accept this inter-ministerial commission with keen interest. First and foremost, because, within its own resources and through the interaction of its strong relations with its partners in France and in the tropical regions, the IRD is equipped with the necessary scientific and methodological competence for successfully accomplishing a task of such great size and scope. The strong resurgence recently observed of insect vector-borne diseases infecting humans and animals (chikungunya, dengue, bluetongue disease and so on), repeatedly confirmed or found to be even more intense, made it imperative to call for a review of the issue by involving a range of different disciplines. Further, the system of vector control, borne by the State and conducted in liaison with local authorities and the operational organizations, is an intricate response to a major public health problem. It was therefore well worth investigating with searching scientific questioning taking into account the most recent results of research.

In this context, the IRD responded to this commission request by launching a procedure that its Department of Expertise and Valorization masters well: the expert group review or “collegiate expertise”. The whole expert group exercise finds its full vocation and gives its true added value when the task is to assemble widely dispersed elements of knowledge that are relevant for enlightening and providing bases for political decision-making and reorienting public policies. Such an expert review had after all been conducted by the IRD in 2003 on *Dengue dans les Départements français d’Amérique* (“Dengue in the French Departments of America”).

In line with the initial theme and the IRD's well-established methodological model, a multidisciplinary group was constituted bringing together researchers and specialists hailing not only from scientific communities primarily distant from each other, but also from all the public organizations involved in the study and surveillance of vectors, risk and anti-vector substance assessment and operational activities (research establishments, universities, agencies, vector control operators). I must emphasize the remarkable work of this expert group which, under the chairmanship of Didier FONTENILLE, director of research, successfully accomplished the task in a very short time. Finally the exercise would not have been possible without the finance allocated by the Ministry of Health, Young People and Sport.

I now therefore have the pleasure of handing over to the reader the final report of this expert group review. This consists of a part presenting a summarized overview, developed according to the initial list of questions submitted for review, complemented by the contributions in full of the report authors compiled on the accompanying CD-ROM. The reader who wishes to gain rapid access to the main conclusions of this work will find the eight priority recommendations formulated by the expert group, at the end of the summarized report. Readers keen to find more detail need not hesitate to refer to the full contributions.

This review report is the tenth of its kind that the IRD has produced and published in its *Expertise collégiale* report series. This anniversary will, I hope, give the opportunity to ensure that the results of this work are transformed into real beneficial consequences.

Jean-François GIRARD

Chairman of the IRD

Introduction

Each year dengue virus infects around 50 to 100 million people in the world. Malaria kills nearly one million per year. To this tally should be added the morbidity linked to other diseases transmitted by organisms such as mosquitoes (like chikungunya, Rift Valley fever, yellow fever, West Nile virus), ticks (such as Lyme's disease, rickettsioses, tick-borne encephalitis) or lice (exanthematic typhus, borreliosis, bartonellosis). Animal health is affected, with bluetongue in ovines which recently expanded into southern, then northern Europe, plus tick-borne diseases (babesiosis, anaplasmosis, rickettsiosis and so on), or by fly vectors (tsetse fly for sleeping sickness, trypanosomiasis¹). Optimism that reigned in the late 1960s had led to slackening of vigilance on the pretext that most vector-borne illnesses (apart from malaria) did not pose a threat. However, the past 20 years have seen their resurgence, re-emergence or emergence in areas previously spared. This changed the situation radically: with events such as chikungunya outbreaks in Italy in 2007, West Nile virus in Italy, Romania, Hungary and Austria in 2008.

Vector-borne diseases have returned to the forefront. Their resurgence is all the more significant in that their spread is favoured by such factors as intense circulation of people and goods, human activity-linked environmental changes plus climatic factors. Global climate change will foreseeably have a significant impact on the dynamics of these infections in the coming decades, as diseases respect no borders. Such shifts are already suspected of modifying the distribution of vectors, their transmission ability and their contact with parasites and hosts.

France is faced with a number of vector-borne diseases (see Maps in Appendix of this Introduction), especially at the heart of its tropical territories: malaria in French Guiana and Mayotte; dengue in the French *Départements* of the Americas (FDA: Martinique, Guadeloupe, French Guiana), Reunion

¹ See the overview of human and animal infections (vectors, epidemiology, transmission, surveillance and so on) on the CD-ROM: "The context of vector control in France", edited by J.-C. Desenclos, S. Lecollinet and T. Balenghien and elaborated by a team of some 30 specialists.

What is a vector?

A vector is a haematophage (blood feeding) arthropod that ensures active biological transmission of a pathogen (virus, bacterium, parasite) from one vertebrate to another.

However, "the vector is not just a 'transporter' of pathogens. It becomes infected itself by taking up virus, bacterium, rickettsia, protozoan, helminth from an animal carrier, during a blood meal. At the end of a period of extrinsic development, generally about 5 to 15 days, during which the pathogen proliferates or undergoes changes, the vector transmits it to a new vertebrate host. The vectors will therefore only transmit blood or skin parasites. Only a limited number of invertebrate families among the haematophage insects and acarids are concerned. However, transmission modes are varied, the most frequent being through bites (malaria, dengue, bluetongue in ovines, chikungunya), excrement (Chagas disease, rickettsiosis) or by regurgitation (plague). These vectors form the core study focus of medical and veterinary entomology."²

Island and the Pacific; chikungunya in the Indian Ocean; Bancroft's filariasis in Polynesia, Wallis-and-Futuna and Mayotte; Rift Valley fever in Mayotte; Chagas disease in French Guiana; and Lyme disease and tick-borne encephalitis in metropolitan France. In animal health, bluetongue in ovines or babesioses generate enormous economic losses. Moreover, new vectors are spreading into French territory (for example, *Aedes albopictus*), creating a risk of chikungunya and dengue epidemics.

Today, control of vector-borne disease by attacking the vectors is therefore a major public issue for human and animal health, for countries of both North and South. Such control is evidently exercised by implementing legislative and/or regulatory tools, readily available or needing improvement, and through well-defined systems of governance (see "From legal framework to governance"). It also requires careful consideration of the strategies for vector control and for communication and winning-over of communities exposed to such risk (see "Implementation") and also their assessment in biological, technical, economic and environmental terms (see "Assessment of vector control"). Vector control is a truly multidisciplinary field, yet success

² D. Fontenille, Écosystèmes, entomologie et lutte antivectorielle, *Annales des Mines. Responsabilité & Environnement*, 58 : 55-60, 2008.

What is vector control?

In its broadest sense, vector control includes control of and protection against haematophagous arthropods (insects and acarids), vectors of human and vertebrate animal pathogens, and their surveillance. It includes control of insect pests when these are potential vectors or when the nuisance becomes a public or animal health problem.

Vector control is founded on a variety of methods depending on the vector organisms involved and the prevailing epidemiological and socio-economic situations. It includes biocide-based, biological and genetic control, individual protection, action on the environment, health education, social awareness-raising and rallying and continuous assessment of all these methods.

The objective is to work in conjunction with other public health actions to reduce the risks of endemization or epidemization to a minimum, decrease pathogen transmission by vectors, and contribute to management of vector-borne disease epidemics, all within a planned strategic framework.

can be achieved only by dint of reliable evaluation of epidemic risks, setting-up and provision of appropriate training, regional and/or international cooperation schemes as often as possible. And through real support for both fundamental and applied research (see "Tools for risk management and forecasting"), including work on human and social sciences aspects.

VECTOR SYSTEMS: A PERPETUAL STATE OF CHANGE

A vector system involves populations of vectors, pathogens and vertebrates in a given environment. A population consists of a set of individuals of the same species located at the same place at the same moment, reproducing randomly between them (by panmixia). The success of a system, here meaning the transmission of a pathogen (virus, bacterium, protozoan, nematode), results from the encounter and compatibility between the different partners of the cycle.

Such an encounter depends on the ability of individuals of a species to live in a given ecosystem, characterized by a set of biotic and abiotic components, including climatic factors. For example: the encounter between the protozoan *Trypanosoma cruzi*, responsible for Chagas disease in French

Guiana, and its vector, a triatom, can only take place in the Americas, as the triatom vectors only occur on that continent. Meeting also depends on the behaviour of each of these actors: it is not fixed within one species of vector, pathogen, or vertebrate host, but is usually specific to a population. Thus, in Polynesia, the agent of lymphatic filariasis or elephantiasis (the thread-like filarial worm *Wuchereria bancrofti*) circulates in the surface capillaries of humans during the day, its vector being the diurnal mosquito *Aedes polynesiensis*, yet in Mayotte, where its vector (*Anophele gambiae*) is nocturnal, this parasite circulates at night in the cutaneous blood vessels.

Compatibility comes from a complex mechanism which can involve responses of the all-or-nothing type or indeed graded ones. For example, human *Plasmodium* are only transmitted by mosquitoes of the genus *Anopheles* (15% of mosquitoes); the genera *Aedes*, *Culex*, *Culiseta*, *Mansonia*, *Haemagogus* represent blockages for these pathogens. However, only about 60 out of more than 450 described anopheles species on Earth are really effective vectors, even though experimentally none of them seem completely inactive in this domain. Within a particular species, the levels of vector competence are highly variable and depend, among other things, on the adaptation of the vector-parasite or vector-virus couple. This adaptation is the result of co-evolution between populations of pathogens, vectors and vertebrates. Thus, anopheline populations of metropolitan France, which were probably good vectors of European *Plasmodium* in the xxth century, show very low competence for African *Plasmodium* that are currently being introduced.

Vector systems are in any case far from being fixed: they are in perpetual evolution whereas the three populations of actors involved (vectors, pathogens, vertebrates) themselves respond to the changes that occur. Typically, a genetic change in chikungunya virus populations was observed when it was spread to Reunion by *Aedes albopictus*, whereas previously, in the Comoro Islands and East Africa, it had been transmitted by *Aedes aegypti* (see Box). The selection of insecticide resistance mechanisms by the vectors (or of resistance to medicines by the pathogens) is none other than an adaptation of the system to a new environment. A change of any sort whatsoever (in components of the vector system, or in their biotic or abiotic environment) inevitably alters the risk of transmission. One of the objectives of vector control stems from this: act on the vector system in order to lower the probability of transmission.

Particular case of the *Aedes albopictus* vector

Aedes albopictus has long been known in Reunion Island. It recently colonized Mayotte, where it was first reported in 2001. It has been present in mainland France since 2005, in the départements of Alpes-Maritimes (2005), Var (2008), Haute-Corse (2005) and Corse-du-Sud (2008), coming from Italy where it was introduced in the 1990s. *Aedes albopictus* was responsible for the chikungunya epidemic in Reunion and Mayotte. The mosquito is capable of transmitting a range of viruses, including dengue. It therefore has vector status in the Indian Ocean, but nuisance status in metropolitan France which raises the question of how control systems can be organized (see chapter "Legislative and regulatory framework for vector control" and "How is governance organized?"). Several entomological indicators concern this mosquito in particular, but they must be validated in the perspective of vector control assessment (see "Practices and methods" and "From vector risk assessment to epidemic risk assessment"). Models also exist for predicting its distribution (see "From vector risk assessment to epidemic risk assessment"), even if it is always wise to handle modelling with prudence. The effectiveness of control methods, notably the efficacy of biocides on the vector's density, is still in need of assessment (see "Practices and methods") and research is conducted on new control strategies (see "Research: a key to successful vector control"). Concerning the cost for society of vector-borne diseases and vector control, economic assessment exercises have been carried out for a certain number of pathologies, in particular for chikungunya (see "Economic assessment: France lags behind"). As for the acceptability of vector control methods by communities concerned and the social cost of vector presence (in terms of image of an area and its governing authorities), these questions should be given particular attention in future studies (see "Perceptions of risk in relation to vector control communication", especially its recommendations).

TRANSMISSION OF VECTOR-BORNE INFECTIONS

One of the major scientific challenges is therefore to understand the mechanisms behind this transmission, from animal to animal, animal to humans and humans to humans. The difficulty lies in the number of players in the system (several vectors, several hosts, and the presence of a vertebrate or invertebrate reservoir). As with any infectious disease, the probability of

transmission of a vector-borne disease will depend on the duration of the host's infectivity (length of time during which the infectious agent is present in the host): the longer it is, the greater the probability that the individual affected will be bitten by a vector and that the latter becomes infected, which increases the probability of transmission to other individuals.

Immunity evidently plays a highly significant role in transmission dynamics. For example, for malaria in an endemic zone, a balance is slowly established between the parasite and the organism. However, immunity is only partially effective, even after several years, and it rapidly disappears if the organism is no longer infected. The protection acquired coexists with the presence of a low parasitaemia, which in theory allows transmission towards the vector to continue. In such a case there is a state of premunition or semi-immunity. In places hit by malaria throughout the year, semi-immunity is a protection against severe forms of the disease. In such regions, it is infants, pregnant women or new arrivals who are the most severely hit. Where malaria is seasonal, with low transmission level (as in the Sahel), this premunition is low because the protection acquired during the transmission period is quickly lost. This paradox raises questions about the situations that require vector control and the strategies that should be implemented to reduce malaria transmission without lowering immunity.

VECTOR RISK: FROM WARNING SIGNS TO EPIDEMIC

At what point does a situation become cause for concern? Any given vector system needs the presence of a competent vector, but the simple presence of such a vector capable of transmitting a pathogen in a specific environment does not necessarily signal a risk of epidemic or even a situation of alert: a particular set of conditions must coincide. The pathogen must be present. Suitable contacts for effective transmission must be established between the vector and the reservoir of infectious agents, but also between the vector and the possible amplifying host. Lastly, contacts must be possible between the vector and the susceptible hosts.

Passage to an effective phase of transmission itself depends on a large number of factors: ability of the vector to become established durably after its introduction, its vector competence and capacity, the host population's relative susceptibility or immunity. Any arthropod early warning system must

therefore be based at once on parameters relative to the vector, the environment and the host, particularly its level of immunity and its ability to protect itself.

It remains that the suitability of using entomological parameters to warn about epidemic risk differs depending on the vector-borne disease's transmission cycle and, for the same disease, the endemo-epidemiological situation and the ecosystem. For example, the presence and expansion of a dengue virus vector in metropolitan France, an area unaffected until recent years, are justified as a criterion for strengthening surveillance and devising action plans taking into account, among other factors, the incoming of viraemic subjects from epidemic areas. In the French départements of America (FDAs) (areas of endemization of this disease), surveillance is also based on epidemiological aspects (suspected cases, confirmed cases).

VECTOR CONTROL IN FRANCE

More generally, vector risk assessment essentially entails analysis of indicators and characteristics of the "vector system" (including hosts, pathogens, environment, society). The procedure aims to gain understanding of the dynamics of transmission and the effects of changes to one or more components of the vector system and/or to its interactions. In a complementary way, vector control demands study not only of the positive consequences but also of potential negative effects that could be set off well before consequences for health come into play (anticipation), or during a warning situation, even an epidemic (analysis of management options).

In France, as elsewhere, vector control therefore does not just boil down to implementing assumedly universally applicable formulae. The anophelines in Mayotte cannot be controlled in the same ways as *Aedes albopictus* in Corsica. Moreover, "people's claims for a world without risk, the aspiration for reducing use of pesticides in the context of the [French national environmental agreement] '*Grenelle de l'environnement*' and for sustainable development must lead to the development of research on the risks, early warning systems and new control strategies against different types of vector" (see note 2, p. 294). The challenges are taking on even more complexity with the considerable influence global changes (climatic, environmental, societal) exert on vector systems.

Table 1 – Main vector-borne infections in France *

Human diseases

Disease	Vector	Reservoir	Distribution	Status	Morbidity	Incidence	Fatality	Trends
Dengue	<i>Ae. aegypti</i> <i>Ae. albopictus</i>	Human/ vectors	DFAs, (French Caribbean & American Departments), Reunion, Mayotte, Pacific	Endemo-epidemic	High	High	Yes, if different serotypes are in circulation	Expansion
Chikungunya	<i>Ae. aegypti</i> <i>Ae. albopictus</i>	Human, Monkey/vectors	Reunion-Mayotte Potential: DFAs, Pacific, metropolitan France	Epidemic	High	High	Low	Recurrent epidemics every 10-20 years
Toscana virus infection	Phlebotominae (sandfly)	Human/ vectors	Mediterranean rim	Endemic	Moderate	Low	Zero	Stable but better recognized
Malaria	<i>Anopheles</i>	Human	French Guiana, Mayotte. Potential: DFAs, Reunion, Corsica	Endemo-epidemic	High	High	High for <i>P. falciparum</i> 5-10 deaths/year	Tending to decrease in French Guiana & Mayotte
<i>Bartonella quintana</i> infection	Body lice	Human	Cosmopolitan	Endemic	High	High	Yes	Expansion among homeless and deprived populations
Lymphatic filariasis	<i>Aedes</i> , <i>Anopheles</i> <i>Culex</i>	Human	Mayotte, French Polynesia Wallis-and-Futuna	Endemic	Can be high and disabling	Low	No	In regression

*The main vector-borne infections that occur in French territory with their principal characteristics (vector; reservoir; geographical distribution; epidemiological status). Its significance for public health has been treated qualitatively in terms of morbidity (severity of the clinical picture: high, moderate and limited, with a more detailed commentary for certain diseases); incidence (high, moderate, low or to be determined); fatality (high, low or zero) and trends (expansion; regression and, where applicable, the place or population concerned by this trend). The diseases have been classified into three groups (human diseases, zoonoses, animal diseases).

Table (continuation) – Main vector-borne infections in France

Zoonoses

Disease	Vector	Reservoir	Distribution	Status	Morbidity	Incidence	Fatality	Trends
West Nile virus infection	<i>Culex</i>	Birds	All continents including Europe, and Mediterranean rim Circulates in metropolitan France: (Mediterranean rim) and Guadeloupe	Endemo-epidemic	Potentially high if epidemic occurs (see United States)	Low	High if encephalitis develops	Expansion in North America
Lyme borreliosis	Tick: <i>Ixodes ricinus</i>	Rodents, red deer, roe deer/vector	Metropolitan France except South-East	Endemic	High	High	Very low	Expansion
Tick-borne encephalitis	Tick: <i>Ixodes ricinus</i>	Wild mammals/vector	Eastern Europe East of metropolitan France	Endemic	High	Low	Moderate to high if encephalitis develops	Expansion in East Europe. Stable in metropolitan France
Tick-borne rickettsiosis	Tick	Vectors	Varies with type of rickettsiosis, Mainly South-East of France, tick typhus	Endemic	High	Moderate	Limited	Possible extension
Rift Valley fever	<i>Culex</i> , <i>Aedes</i>	Ruminants/vectors	Indian Ocean, Mayotte	Endemo-epidemic	High	Documentation under way in Mayotte	Low	Expansion
Leishmaniasis	Phlebotominae (sandfly)	Dogs in metropolitan France Wild reservoir	Metropolitan France, French Guiana and Martinique	Endemic	High	Low	Potential in visceral form	Expansion in French Guiana. Climate change Influence in metropolitan France?
Chagas disease	Reduviids	Wild mammals	French Guiana	Endemic	High	To be determined	High	Expansion
Yellow fever	<i>Ae. aegypti</i>	Monkeys/vector	French Guiana	Isolated cases	High	Low	High	Tending to disappear (vaccination)

Table (continuation) – Main vector-borne infections in France

Animal diseases

Bluetongue	Culicoides (<i>Culicoides imicola</i> <i>Culicoides</i> of the <i>Obsoletus</i> group)	Bovines, ovines/vectors	Metropolitan France and overseas territories	Endemic (overseas territories) Epidemic (metropolitan France)	Limited in overseas territories, high in metropolitan France)	High	Moderate (ovines) to low (bovines)	Emerging in metropolitan France, serious economic effects
Piroplasmosis, anaplasmosis	Ticks	Vectors/ bovines, dogs equines, dogs	Metropolitan France, overseas territories	Endemic	Moderate	High	Moderate	Stable
Cowdriosis (heartwater disease)	<i>Amblyomma variegatum</i>	Wild ruminants?	Guadeloupe	Endemic	High	High	Low to high	Risk of introduction into Martinique
Trypanosomiasis	Tabanids, stomoxes	Ruminants, equines	French Guiana	Endemic	Loss of economic value	High	Low to high	Stable (French Guiana); infection zone in metropolitan France
Besnoitiosis	Mechanical transmission (Tabanids, stomoxes, Hypoboscidae)	Felids, bovines	Outbreaks in metropolitan France	Endemic	Loss of economic value	Seem to be pseudo- contagious	Death or loss of economic value	Renewed upsurge in metropolitan France
Equine infectious anaemia	Tabanids, stomoxes	Equids	Outbreaks in metropolitan France: Eure-et-Loir, Ardèche, French Guiana	Endemic	Moderate	Low	Low	Regression



Figure 1 Martinique, Guadeloupe, French Guiana

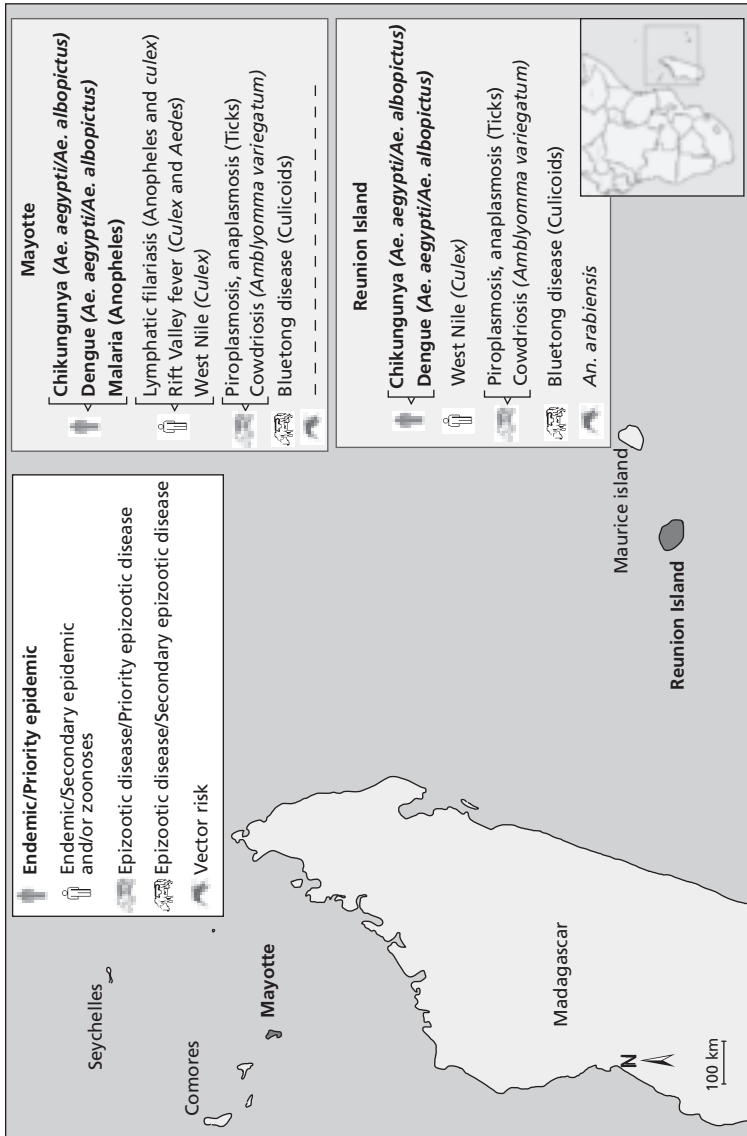


Figure 2

Mayotte, Reunion Island

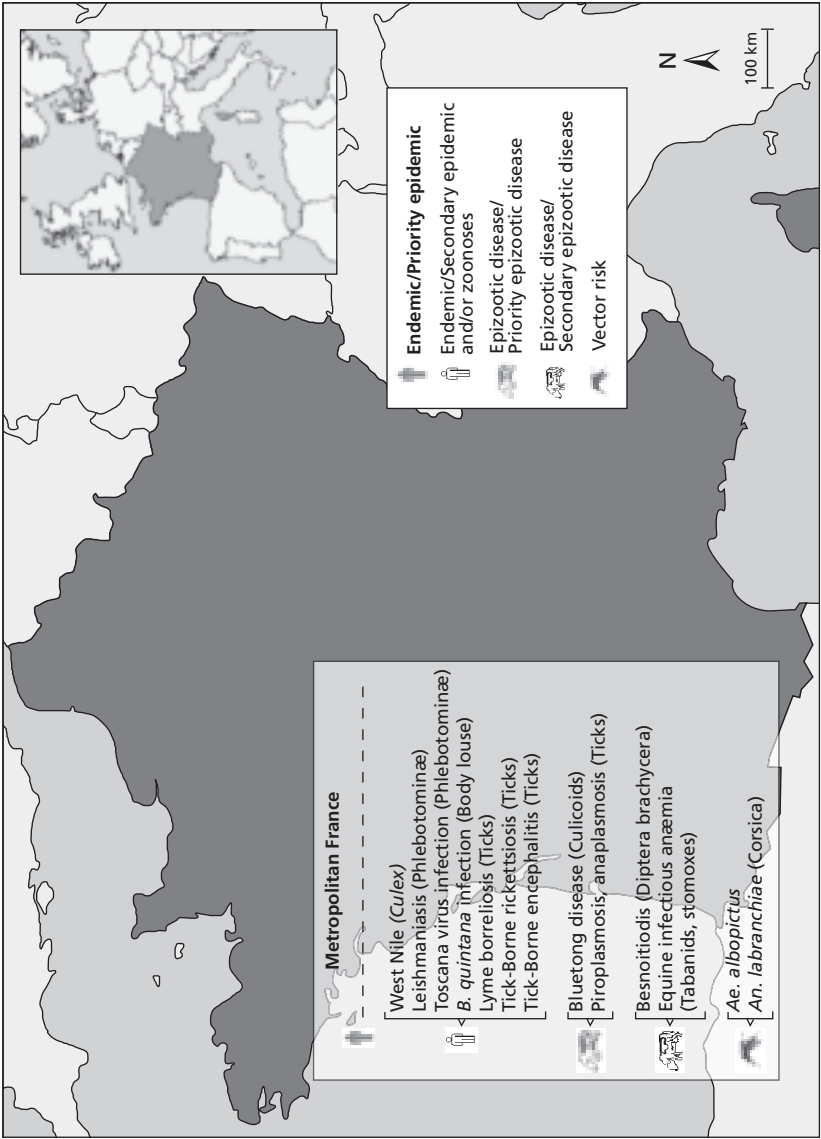
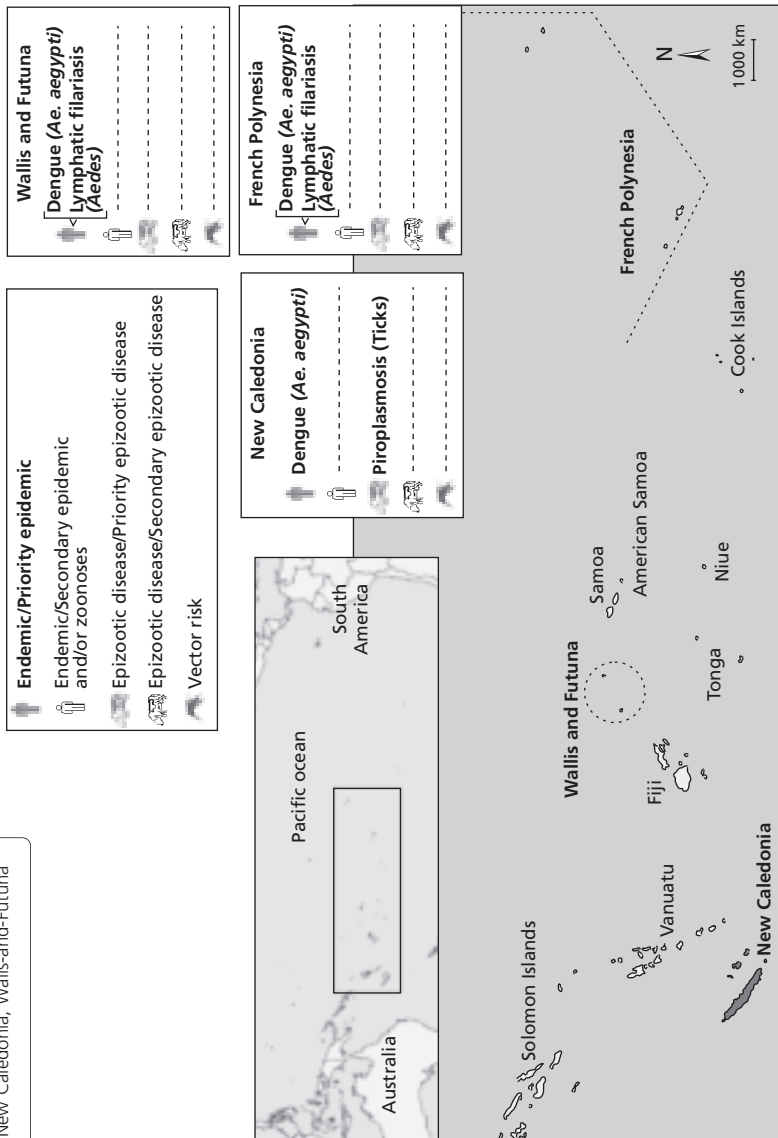


Figure 3

Metropolitan France

Figure 4

New Caledonia, Wallis-and-Futuna



From legal framework
to governance

The first legal framework aiming to establish a real mosquito control system dates back to 1964, discounting the order issued by the French Committee for National Liberation in April 1944 on malaria control (a text which has not been abrogated but has fallen into abeyance). At the time it was a move towards the development of tourism in the coastal fringe of the Languedoc-Roussillon region. The main purpose of the mosquito eradication measures introduced by law n° 64-1246 of December 1964 was therefore to further a development planning objective (to support tourism).

After a variety of legislative reforms the scope and spirit of the 1964 text were changed, and the specific legislative provisions explicitly concerning insect-vector control were adopted. A highly significant change was introduced by the law of 13 August 2004 relating to local liberties and responsibilities, in particular by its article 72 which broadened the State's competence in human-disease vector control to include all insects. That text was not sufficient to make the system any clearer in that it did not rescind the measures specifically aimed at mosquito control that had been defined by 1964 legislation. A succession of additions rendered the standardization machinery difficult to understand and made it a source of uncertainties.

Moreover, it must be emphasized that since the order of 23 April 1987, the départements concerned by the control measures against insect-borne human disease, in the sense of the amended law of 1964, are: Haute-Corse, Corse-du-Sud, Guadeloupe, French Guiana, Martinique and Reunion Island (Mayotte is in a different situation).

It appears that although the legislature intended to adopt general measures concerning vector control in favour of human health, it was a different story for animal health. It would therefore be timely to think about the implementation of a specific mechanism to cover this.

Analysis of the situation in France brings out a number of questions and/or proposals concerning: unification of the legislative system for human health, clarification of the present provisions and standards for the conservation of the flora, development of an overall legislative mechanism for animal health. Finally, as far as governance is concerned, great disparity between the different départements is observed, whose strengths and weaknesses will be examined in "How is governance organized?" page 324.

Legislative and regulatory framework for vector control³

This review aims to shed light on the respective responsibilities and competences of the country's different institutional levels by examining the statutory texts: international health regulations; European directives; Community decisions; the French Public Health Code, General Code for Local Authorities, Rural Code, Environmental Code, Construction and Housing Code, Insurance Code, département-level health regulations, ministry circulars, and case law.

VECTOR CONTROL AGAINST HUMAN HEALTH RISKS

International law

The principal provisions stem from the International Health Regulations (IHR, 2005), whose objective is to limit international propagation of diseases. It constitutes a constraining instrument of law with binding power, in particular for all World Health Organization (WHO) member States. Currently 194 States, France included, are parties concerned by these regulations. Vector-borne diseases are in this framework mainly dealt with by measures geared to limiting the spread of potentially infected vectors, whether in means of transport and goods, at entry points, or alongside the health control certificate delivery procedure (for further details on each of these aspects, see CD-ROM).

An alert prompts the issue by WHO of temporary or permanent recommendations (heading III, IHR). The organization also regularly publishes the list of areas from which any means of transport must undergo disinsection procedures, and which defines the methods to apply (IHR, Appendix 5, point 1).

³ In this chapter, references to the CD-ROM concerning question 2: "What is the legislative and regulatory framework?".

Specific prevention and warning measures

The order of 9 September 1987 fixes the regulations applicable to border health controls:

- any person more than one year of age coming from a yellow-fever infected area or having travelled there without fulfilling the conditions provided for by the International Health Regulations (IHR), is obliged to produce a yellow fever vaccination certificate on his or her arrival in the départements of Guadeloupe, Martinique and Reunion Island;
- any person more than one year of age, whatever his or her place of departure, is obliged on arrival in the département of [French] Guiana to have a valid yellow fever vaccination certificate.

The IHR provisions are as a matter of course implemented in the framework of the national regulations: health checks at the borders of French territory, in terms of article R. 3115-8 of the Public Health Code (CSP), and border controls of international vaccination certificates, as is the case, for example, for yellow fever in some overseas départements (see Box).

The 2001 Stockholm Convention gives details on the production and utilization of chemical substances, in its Appendix B. The International Charter for Major Disasters (20 October 2000) is also pertinent. This was signed by many agencies and organisations from over the world, including the *Centre National d'Études Spatiales* (CNES) in France. If a disaster occurs, it can provide access to satellite images of the areas affected and thus contribute to the effectiveness of the ways and means to be deployed.

European Community law

European Commission decision 2007/875/EC (18 December 2007), which amended decisions 2119/98/EC of the European Parliament and Council and 2000/96/EC, emphasizes the prominent role mosquitoes play in the transmission of certain diseases. It added vector-borne diseases to the list of transmissible disease categories inscribed in decision 2119/98 EC. Also applicable to vector-borne diseases is the Commission's decision 2000/57/EC (22 December 1999), which relates to early warning and quick-response systems for transmissible disease prevention and control (European Parliament and Council decision 2119/98/EC).

However, the core reference text within Community law is the Biocidal Product provision (European Parliament and Council directive 98/8 EC). This community biocide regulation delimits the use of insecticides, repellents and baits in the context of vector control. Its mainstay is Directive 98/8/EC, due for revision from 2009, which concerns the marketing of biocides and is transcribed into the French Environmental Code (articles L. 522-1 to L. 522-19). Its objective is to subordinate marketing authorization (MA) of such a product to an acceptable level of human and environmental risk and to the absence of unacceptable effects (resistance development, suffering of target organisms and so on) and a sufficient level of efficacy.

The assessment is made in two stages: a Community evaluation of the active substance contained in the product which, if favourable, leads to its inscription on the Community "positive" list of authorized active substances, and a national one conducted in view of the delivery of an MA. This procedure distinguishes existing active substances, in other words present on the Community market on 14 May 2000, from new ones, introduced since that date. Among the existing substances, two biocide product types (PT) from the list of 23 inscribed concern vector control: PT 18 (insecticides, acaricides, other anti-arthropod products) and PT 19 (repellents, baits).

The first MAs will be delivered in 2009 or in 2010. Once the Community assessment has finished, incorporation of existing active substances (see Box) on the European list of authorized active substances will be valid for ten years. At national level, the MA will be delivered by the Ministry for Ecology if these substances are intended for vector control. In the meantime (a transition period before the new MA system has completely brought its benefits), the old MA delivery system can continue to be applied by waiver, provided that the substance in question is genuinely one that already exists.

For products containing a new active substance, a provisional selling authorization for a maximum of three years can be granted, with possible extension for one year, awaiting its inscription on the Authorized Substances list. In any case it must have undergone assessment by the competent national authority.

A special procedure also exists: application for *essential usage*. Member-States can call on this when they consider a substance to be essential in their case for reasons of health, safety or protection of cultural heritage, or indeed if the substance is indispensable for the good running of the com-

Status of active biocidal substances

Biocide substance status is decided according to the following categories:

- *non identified* as an existing active substance already on the Community market on 14/5/2000: marketing of this active substance and the biocidal products containing it became unauthorized on 14 December 2003. It does not appear in Annex I of EC regulation n° 1451/2007;
- *identified but not notified*: the substance and the biocidal products containing it had to be withdrawn from the market on 1st December 2006. It appears in Annex III of EC regulation n° 1451/2007;
- *identified and for which the Intention to Support has not been followed up by the filing of a dossier*: the substance and the biocidal products containing it can in the long term no longer be placed on the market or used as insecticides. These provisions came into force in 2008;
- *identified, notified and for which a dossier has been filed*: the substance and the biocidal products it contains remain authorized as far as the Community assessment has not been completed and until the products have been assessed at national level.

pany. France drew on this in order to extend authorization of temephos in the overseas départements (DOM) until 14 May 2009.

National law

Vector control is an integral part of public health policy.

What vectors are considered?

The general legislative framework for vector control is given by article L. 3114-5 CSP, amended by law 2004-809 of 13 August 2004. Among other provisions, the text states: "An order from the Ministry of Health establishes and keeps updated the list of départements where conditions occur carrying a risk of development of human diseases transmitted by public-health threatening insects. In these départements, identification of the control measures necessary falls within the jurisdiction of the State". This provision therefore concerns all the insect vectors of disease, including mosquitoes. In parallel, law 64-1246 of 16 December 1964, amended notably by laws 2004-809 and 2004-1343, deals solely with control of mosquitoes.

Two questions are raised. First, would it not be more reasonable to have a single piece of legislation embracing control measures against all insects, even if it means integrating specific provisions for mosquitoes control? Secondly, shouldn't the law go beyond dealing only with insects in the zoological sense of the term and include the haematophage arthropods? The latest edition of the *Académie française* dictionary gives a clear reminder that "in common usage, the word 'insect' is sometimes used, improperly, to designate animals belonging to other classes (such as arachnids, myriapods)". Ticks, for example, are highly significant vectors. Yet they are not insects but acarians, an order of arachnids and therefore arthropods. Legal doubt on this question could seriously jeopardize the efficacy of vector control.

Article L. 3114-5 CSP and its grey areas

Four observations arise from reading this Article:

- the text concerns all insects. It therefore has a much wider scope of application than the law of 1964 on its own;
- it is the Minister of Health who must draw up the list of départements at risk;
- the départements concerned are only those where there are situations creating a risk of insect-borne human diseases and therefore a threat to people;
- in these départements, definition of appropriate control measures falls within the jurisdiction of the State.

Two sets of questions stem from this. One applies to the third observation: what are the conditions that lead to risk and what are the governing criteria? From what point does a threat emerge? What margin for judgment should be left to the State?

The other bears on the fourth observation: what is the appropriate level of government for implementing the chosen control measures? Logically, as soon as the legislature has stipulated that solely the definition of control measures was under the jurisdiction of the State, it implies that the implementation role falls to another body. But which? It must be said that the CSP does not offer any solution. Indeed, article R. 3114-9 CSP provides for the prefect to take certain steps. On one hand, he can launch information and health education actions for the general public, or surveillance measures in order to reduce the proliferation of insect vectors. On the other, when the insects involved are mosquitoes, he can order (in the areas delimited in accordance

with 1° of article 1 of the amended law n° 64-1246 of 16 December 1964) measures involving prospecting, treatment, works and control in the sense of the last paragraph of this article.

Article R. 3114-9 CSP thus well distinguishes insects in general from the particular case of mosquitoes, but it gives no indication as to who is competent to implement the State-defined measures to combat insects other than mosquitoes (the law of 1964, for its part, does lay down a division of competences regarding mosquitoes). Logically then, seeing that such competence has not been attributed explicitly to a designated level of government, two public authorities could intervene if necessary: the State, under the principle of its competence in matters of public health protection, and the municipal council, because according to article L. 2212-2 of the General Code for Local Authorities (CGCT), the municipal police have the duty to ensure good public health conditions. The mayor can therefore order any measures that can stop, "by suitable precautions", "epidemic or contagious diseases". If things had to be done in a different way, that should be stipulated by the legislature.

The law of 1964 and mosquito control policy

This law, intended at first only for mosquitoes as nuisance insects, is now applicable to mosquitoes in general, whether categorized as just nuisances or true vectors. For the purposes of mosquito control, the amended law of 1964 provides for the situation where municipal councils are located in one of the three categories of département defined by its article 1 (see Box). The amended 1964 text therefore groups together notions of control against mosquitoes transmitting human diseases (category 1) and those with just nuisance status (category 3). Category 2 appears to concern a more uncertain threat situation. The difference between départements in the first and second categories needs clarifying. Once again, at what point does a "threat" begin to arise?

Three categories of département

1. "*Départements* where conditions are observed, under the terms defined in article L. 3114-5 (CSP), leading to the development of human diseases transmitted by insects the list of which is fixed by order of the Minister of Health."
2. "*Départements* where mosquitoes are a threat to public health the list of which is fixed by joint order of the Minister of Health and the Minister for the Environment."
3. "Where necessary, *départements* whose Councils make a claim for it."

For département category 1, at present there is a Minister of Health order taken in the framework of control against potential insect vectors (under the terms of article L. 3114-5 CSP): order of 23 April 1987 concerning Corsica (Haute-Corse, Corse-du-Sud), Guadeloupe, French Guiana, Martinique and Reunion Island.

Concerning the second département category, only the Var is on the list fixed by the order of 26 August 2008 establishing the list of départements where mosquitoes are a threat to the health of the public.

Division of competences

Article L. 3114-5 CSP, which relates to the control of insects including mosquitoes, states indirectly that only the definition of control measures comes within the State's jurisdiction, as soon as a Minister of Health order is issued declaring the necessity for control of insect-borne diseases in the département. In the opposite case, the State remains competent for the whole of the operations, in view of its competence in public health protection.

There are some ambiguities, however. Article 1 of the law of 1964 seems not to make any distinction between the three categories of département having mosquito control areas. The département services can intervene as a matter of course in all three categories. They therefore have the jurisdiction to implement a range of measures (surveys, treatment, works, inspections). But only the first category of *départements* enters into the framework of article L. 3114-5 CSP (list fixed by order of the Minister of Health). The other two categories do not come into the scope defined by article L. 3114-5 CSP. Only the prefectural orders provided for by the 1964 law embrace mosquito control in such cases. In substance no competence is assigned to the State concerning entomological-arthropod surveillance or specifically for insect surveillance. Under points 2° and 3° of article 1 of the law of 1964, it is the public authority's task to identify the objectives to achieve. Is the competence of the State – as defined in article L. 3114-5 CSP – applicable here? Certainly. But the limitations of the wording of provisions currently laid down for mosquito control (law of 1964) show up clearly here, the département prefect being responsible for defining the organization and ways of implementing control measures (areas concerned, operations necessary, schedule). Similarly, it transpires from article R. 3114-9 CSP that the prefect decides and assesses the strategy for control against insect-borne diseases (article R. 3114-9 CSP). Furthermore, in the départements “where conditions are observed leading to the development of human diseases transmitted

by mosquitoes constituting a threat to public health", prefects have the power to order the necessary measures (article 7-1 of the law of 1964).

The State is therefore going to define the départements at risk, the measures that must be taken there and the areas of intervention in which the prefect can decide on the operations to conduct and the schedule. The départements concerned will carry out the operations within these areas: surveys, location, surveillance, treatment, conducting necessary work, and inspections. This is the way competences in mosquito control are divided, since the law of 13 August 2004.

This real transfer of competences in judicial terms (law of 13 August 2004) implies reorganization and career restructuring for agents involved in vector control, on the one hand, and financial compensation (for the département) in the sense of article 72-2 of the Constitution, on the other. The question then arises of knowing if the share of financial costs between the département and the municipal councils concerned (article 65 of the law on finances 1975, already referred to) is still appropriate.

At municipal council level, some measures of the CGCT stipulate responsibilities of the mayor. The latter has power to order measures against "epidemic or contagious diseases" or against mosquitoes "in virtue of his police powers regarding hygiene".

The mayor is also charged with the task of applying the Departmental Health Regulations (RSD), the reference text for matters of hygiene and health (for activities not relating to the field of application of the law of 19 July 1976). These regulations are still relevant and valid in many circumstances (involving rainwater collection tanks, ponds, watering places and so on).

Concerning hygiene and cleanliness, the Council of State decrees in line with article L. 1311-1 of the CSP should be mentioned. These fix the general rules of hygiene and other measures suitable for preserving human health (salubrity of housing, built-up areas and so on). These measures can be complemented by prefectural or municipal orders (article L. 1311-2 CSP).

On top of the legal grey area of the division of competences as just briefly described (see CD-ROM), specific provisions could further confound the issue. This has been the case with circulars referring to the ways and means of implementing the chikungunya and dengue anti-propagation plan in metropolitan France (see CD-ROM).

**Division of competences in overseas local authorities
[other than overseas Départements (DOM)]**

Vector control in overseas local authorities is regulated by order 2003-462 of 21 May 2003 which led to article R. 3114-9 CSP, except for Mayotte.

■ Mayotte: the département council is not the decision-making power for vector-borne disease control (see particularly article LO 6161-CGCT of 21 February 2007), which is the sole responsibility of the State (article 3811-7 CSP). The Order of 12 January 1988 defining the competences of the regional or departmental health and social services has not been cancelled in Mayotte. There is nothing to prevent the municipal councils from taking initiatives in mosquito control, which must figure among the mandatory costs (L. 2572-52 CGCT).

■ Saint-Barthélemy and Saint-Martin: both have been attributed the same competences as the overseas département of Guadeloupe (articles LO 6214-1 and LO 6314-1 CGCT).

■ Saint-Pierre-et-Miquelon: competence regarding vector control is exclusively a matter for the State (article LO 6414-1 CGCT, created by law 2007-223 of 21 February 2007 and article LO 6461-11 CGCT).

■ Wallis-and-Futuna Island: the State is responsible for hygiene and public health (article 7 of law 61-814 of 29 July 1961).

The question of division of competences now comes within the General Public Policy Revision (RGPP). The most recent developments have introduced some new elements:

■ the “hospital, patients, health, territorial divisions” bill presented to the Council of Ministers on 22 October 2008;

■ implementation of the territorial reorganization of the State brought before the Council of Ministers on 17 December 2008, supplemented by a Prime minister’s circular of 31 December 2008;

■ DGS/DSC circulars of 7 and 12 January 2009 relating to organization for defence and safety in the health field.

One of the most important points to consider lies in the setting-up of Regional Health Agencies (ARS), which should come into operation from the beginning of 2010 (recruitment drives for the first director generals have already been launched). The director general of each of these agencies will have the competence for defining and organizing the vector control strat-

egy. His or her action should be extended to departmental level by a delegation positioned "alongside the département prefect". The Prime minister's circular of 31 December 2008 clearly stipulates that in a confirmed risk period, the prefect takes charge again and draws on the human and material means "made available" by the ARS director general.

Standardization framework for vector-favourable environments

There are few specific provisions concerning treatment of environments favourable for insect vector propagation, even if a certain number of arrangements for general insalubrity control are of course applicable. The bulk of them are inscribed in amended law 64-1246 of 16 December 1964 and in order 2005-1763 of 30 December 2005 which deals only with mosquitoes.

For matters concerning the agents involved (surveillance professionals, treatment personnel), the law of 16 December 1964 gives details on their rights, roles and responsibilities, including coercive measures (drawing up reports in the event of infringement, for example). As for owners, tenants, business operators and so on it is essentially the order of 1 December 1965 that gives clarity to their obligations, especially where breeding sites are present in mosquito control areas, all parties involved (occupants or operators) being obliged to get rid of these breeding sites (see CD-ROM). Examination of some foreign examples, even a brief one, is informative on this question (see Box).

Non-compliance with requirements concerning either built-up or non-developed sites in urbanized areas, or regarding disposal sites and depots located outside, or even within, irrigated crop areas, is covered by quite a well-developed system of enforcement which bears heavily on infringing parties. The approach appears strongly inspired from the provisions laid down by the order of 3 April 1944 on malaria control, which has never been rescinded. Order 2005-1763 of 30 December 2005 stipulates the applicable fines (4th and 5th category contraventions, 750 Euros and 1,500 Euros respectively). Reoffending is punished more severely still. The standardization framework of inspection and treatment operations is also well developed, and so is the system of penalties applicable to agents guilty of negligence. A shortfall in the number of agents nevertheless remains a problem.

However, there is no truly systematic measure, intervening for example in property transactions, such as the one applied for termites. It may be possible and useful to introduce a report stating the levels of vector risk and of conditions favourable for their occupation of a site.

Summary of legislation in certain foreign States

■ Cayman Islands: under the terms of the *Mosquito (research and control) Law* (19 June 2007), the agents in charge of inspections have access at any time to all premises, including household and trade waste disposal sites, to inspect or watch over them; the owners and occupiers of housing or commercial premises must allow easy access, for inspection purposes, to reservoirs, drums, tanks and other storage receptacles for water and other liquids.

■ Comoros Islands: articles 70 and 71 of the Comorian Public Health Code (law 95-O13/A/F) bear upon the standards governing the importation, distribution, use and certification of pesticides employed for vector control. According to article 109 “any individual having observed the presence [...] of insects in his or her home must call for their complete destruction by contacting the Public Health and Sanitation Services and the vector-borne disease control services”. Article 137 lays down that “all steps must be taken to prevent vector breeding sites [...]”.

■ Sri Lanka: prevention measures against mosquitoes are governed by a law, *Prevention of mosquito breeding Act*, n° 11 (2007). As in the Cayman Islands, this imposes a range of obligations on owners or occupiers of premises, including: closing up and covering of all types of water reserve installation, inspection and monitoring of air conditioning equipment, reduction of shrub growth, scrub and other types of vegetation.

VECTOR CONTROL AGAINST ANIMAL HEALTH RISKS

The regulatory framework functions along four main lines: the regulations issued by the World Organization for Animal Health (OIE), by the World Trade Organization (WTO), European Community and national regulations. Yet none of them is exclusively aimed at vector control for animal health.

The OIE – World Organization for Animal Health

This organization (formerly the International Office of Epizootics) draws up Standards which include references to vectors concerning three fields of action:

- determination of the health status of countries and regions: depending on the diseases concerned, this can be based on vector surveillance programmes;
- determination of the conditions in which animals are transferred between countries: depending on the health status of the country, this can

be geared to the periods of vector activity or inactivity ascertained by entomological watch programmes;

■ protection of animals against vectors: this can be managed either by quarantine protocols, or at time of loading and transport of the animals.

The provisions OIE has defined are taken up in book II of the Rural Code (heading III, chapter 6, article L. 236-4): "When they originate or are departing from non European Community States, live animals [...] undergo [...] a qualitative, zootechnical veterinary, or animal protection related inspection, depending on the case, systematic or otherwise."

WTO

This organization resulted from a number of agreements, including some concerning specific provisions relating to health and plant health issues, regarding the risks presented by trade in animals (and derived products). The OIE standards, guiding principles and recommendations are considered as international references in the field of animal diseases and zoonoses. However, in this context neither the introduction of a pathogen by a vector, nor of an exotic species of vector are taken into consideration.

Community regulations

The Community regulatory system determines the list of diseases that must be reported to the Commission in directive 894-EC of 21 December 1982. Vector-borne diseases figure among these. On this aspect, regulation 2007/1266/EC (26 October 2007), for example, bears on the ways and means of applying Council directive 2000/75/EC concerning bluetongue virus control in sheep, follow-up action, surveillance and applicable restrictions on the movement of certain animals of susceptible species.

In the case of bluetongue, European directive 2000/75, transposed into national law by ministerial order of 24 August 2001 (replaced by that of 1 April 2008), imposes that the animals be confined and undergo insecticide treatment if an outbreak is suspected or confirmed. European regulation 2007/1266/EC defines the possible waivers for authorization and export if the animals are "protected from attacks by the Culicoid vector" during transport. This is rather vague wording which France has interpreted in the form of epidermal treatment of animals with insecticide (service note DGAL/SDSPA/N2007-8276).

National regulations

The regulations are largely founded on article R. 3114-9 CSP. One of their stipulations is that the prefect, in départements where the provisions of article L. 3114-5 CSP apply, can take surveillance measures “on animals vulnerable to contamination by pathogens transmitted by insect vectors, according to the ways and means fixed by order issued by the Minister of Agriculture”.

The list of reputedly contagious diseases includes vector-borne diseases. It also determines the diseases which must be covered by health policing measures. The list of diseases subject to compulsory declaration stipulates those for which notification to veterinary services is compulsory (Rural Code book II regarding public veterinary health, article L. 2114-1). In a more general way, article L. 214-1 of the Rural Code lays down that “any animal is a sensitive creature and must be placed by its owner in conditions compatible with the biological requirements for its species”. In consideration of which the references to vector control concern the measures to apply and also requirements governing animal trade and movements (see Box).

Vector control provisions to be implemented

Measures to apply in the event of outbreaks (or suspicious signs of outbreaks), on two essential levels:

- control of and protection against vectors: disinsection of animals, buildings and surrounding areas depending on the circumstances; confinement of animals... (articles L. 223-8 and L 224 of the Rural Code);
- epidemiological surveys aiming to determine the presence and distribution of vectors, breeding sites and so on;

Trade and movements, the references to vectors regarding these aspects concern three types of situation:

- anti-vector protection for animals at time of loading and transport operations (disinsection of both animals and means of transport);
- anti-vector protection for animals as part of protocols designed to provide guarantee of their health status;
- the drawing-up of vector surveillance programmes to determine their periods of activity or inactivity (periods possibly decisive for management of the appropriate timing and conditions for animal trade operations).

The regulatory requirements relating to vector control appear to boil down to just an insistence on disinsection. There is therefore no overall animal-health oriented anti-vector policy, in the sense of a definite operational organization governed by a statutory framework.

The veterinary services competent for dealing with animal health are organized into centralized services (Direction Générale de l'Alimentation, DGAL, the national food agency) and devolved regional and departmental services. The central services are essentially responsible for the preparation, follow-up, monitoring and assessment of the legislation and regulations. The tasks of the devolved services consist of organization and control of the execution of the measures DGAL prescribes. The governing documents drawn up at central level are destined for nationwide application (except in some special cases) with communication links effected by service orders sent to the devolved services.

INSURANCE LAW AND VECTOR-BORNE DISEASES

Two areas are to be considered concerning the insurance.

Vector-borne diseases and animal deaths

Farmers can take out "livestock death" insurance, but this type of insurance is not compulsory. Can losses of livestock owing to a vector-borne disease be considered as a natural disaster or an agricultural calamity?

According to article 1 of law 82-600 of 13 July 1982, a natural disaster is characterized by an abnormally high level of activity of a *natural agent* when the usual measures for preventing such damage either have not checked their development or have not been taken. In the agricultural sphere, the term "natural disaster" includes livestock housed inside buildings. Can an extension be envisaged to take in vector-borne diseases affecting such animals? Up to now, the legislature has in many situations confirmed its adherence to the notion of natural disaster being restricted to events linked to climatic or earth-movement related phenomena.

The notion of natural disaster comes out of the Rural Code. Article L. 361-2 states: "The types of damage considered as agricultural disaster in the sense of this chapter are exceptionally high levels of uninsurable destruc-

tion caused by anomalous variations in intensity of a natural agent, when the use of technical methods of preventive or curative control normally employed in agriculture has not been possible or proves to be inadequate or inoperative" (article L. 361-2). This definition is very close to that for natural disaster. Indeed it embraces livestock kept outside buildings. The causal elements of a natural calamity have the same character as those that provoke a natural disaster. However, the French calamity fund *Fonds national de garantie des calamités* intervenes for all types of damage covered by article L. 361-2 (like drought, floods, frost but also exceptional proliferation of parasites or viruses). But, given the complexity of this compensation procedure, it is highly likely that decisions vary with the circumstances.

Vector-borne diseases and commercial losses

Certain geographical areas can see their economic potential severely jeopardized by the occurrence of a vector-borne disease (fall in tourism, for example). Could such losses be eligible for insurance (in the knowledge that the State, for its part, always holds the possibility of creating a special compensation structure)?

After a disaster, the reconstitution of means of production of companies, craftsmen and so on can typically take months, even years. This severely burdens the financial flow of the concerns involved during such a period. However, whatever the event covered, the *commercial loss* policy applies only if that event is the subject of a *material damage* guarantee. Now an epidemic or endemic situation does not in itself lead to material damage to the property insured (for instance hotel facilities, shop premises). The commercial loss itself constitutes the *damage*. Consequently, a *commercial loss* guarantee, as provided for and applied at present, appears difficult to conceive in the case of a commercial loss resulting from a vector-borne disease. It remains that any *product* that does not contravene the Insurance Code can be invented, in the same way as some insurance companies launch products providing guarantees against climatic variations (cases of excessively cool summers, abnormally warm winters and so on).

How is governance organized?⁴

Local constraints have often led to adaptations of the legal and regulatory machinery deemed to govern vector control. This has generated a certain disparity of situations which the reform introduced by article 72 of the law of 13 August 2004 should remedy. The départements concerned are inscribed on the list established by order of 23 April 1987, which is still in force: Reunion Island, Guadeloupe, Martinique, French Guiana, Mayotte, Corsica (Haute-Corse and Corse-du-Sud).

REUNION ISLAND

Situations here are clear-cut between the times pre- and post-chikungunya epidemic of 2005-2006.

Organization up to 2005

Reunion Island has been equipped with a vector-control service since 1914. named the Service de Prophylaxie, it is mainly aimed at anopheline control owing to a strong malaria mortality rate (2,000 deaths per year in the mid xxth Century). In 1977-1978, it was a severe dengue epidemic that hit the island (affecting nearly 150,000 people) whereas in the late 1970s malaria was considered as eradicated.

As time progressed, vigilance gradually slackened, especially over the 20 years after the decentralization laws began to be applied (1985). This trend prevailed until the 2004 dengue epidemic. The vector control service, which had shrunk from a 230 strong staff to just 40 or so in the early 2000s, then decided to favour work with municipal councils (communes) and groupings of municipal councils. For this purpose the service trained 250 environment mediators.

| ⁴ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 3: "How is governance organized?".

During the chikungunya epidemic (2005-2006)

At the height of the epidemic, the law of 2004, which recommended transfer of competence to the département, appeared difficult to put into practice. On 23 February 2005, the Minister of Health agreed to postpone the date of enforcement to 1 January 2006, which was again put back when the epidemic continued. It was October 2005 before a strengthened control protocol was set in place. This reinforced control system consisted of rallying municipal councils and the public to engage in mechanical control schemes. A communication campaign was also organized along with training of 400 municipal agents who were kitted out with the necessary equipment. In addition the Regional Health and Social Services Department (DRASS) was expanded with the recruitment of 20 agents working under contract.

In the face of the sheer size of the epidemic (45,000 cases recorded just for the fifth week of 2006), vector control became a systematic operation from February 2006 in all urban districts, with personnel involved constantly increasing (up to 3,000). Between June and November 2006 (southern winter), thanks to the immunity the population had acquired combined with the effects of the control campaign against the insect vector, the epidemic lost its virulence. A protocol known as "Reinforced vigilance" has been implemented to reduce vector density, intervene in reported cases and keep up a general state of mobilization. The communication campaigns are being continued, the DRASS is training instructor-communication workers, partnership is opening up to associations and treatments becoming weekly for the most susceptible areas (ravines, cemeteries).

The return of the southern summer starts in December and brings the fear of a third epidemic peak. This prompted the drawing-up of the *Chik plan* which aims to prevent such a resurgence of epidemic, assess it, control the vectors and intervene for each case.

Renewal of the vector control service

The vector control service of the DRASS currently has a force of about 200 agents (compared with 45 in June 2006). Its major tasks are: control malaria; also control the expansion of arbovirus epidemics, with the setting in place of a structured strengthened system for gaining knowledge about the vector and share out the available resources according to a graded reactive intervention system.

Table 2 – Structure and means

Structure	Means
Central Unit	– Unit management determines the strategy and means, logistics, finance – The entomology laboratory
Operational Units	At Saint-Denis, Saint-Benoît, Saint-Pierre and Saint-Paul: Anti-mosquito actions, vector surveillance, epidemiological data compilation, health education
DRASS Social service and communication department	Implementation of community mobilization campaigns (activities during public events, training and informing school students and so on)
Means	Large stock of material and insecticide products dating from the chikungunya epidemic

Reinforced prophylaxis service (SPR) within the Public Interest Group (GIP)

The SPR was founded in 2006 by prefectural order on 11 October and put in place on 30 October. Its assigned tasks are three-fold: day-to-day coordination of the different partners' actions; have available for epidemic situations a clearly identified organization to conduct mosquito extermination and health education actions; engage the municipal councils in durable mosquito control schemes. The service is constituted without capital: its means of action are supported exclusively by the State, which also assigns a controller to monitor its financial management (article n° 6-1 of decree 88-1034 of 7 November 1998).

The members of this GIP, whose director is appointed by the prefect, are the State (which takes the chairmanship role), the regional council, the département council, the mayors' association, the municipal councils and Public Intercommunal Cooperation Establishments (EPCI). Its constitutional convention was approved by the prefect of Reunion Island on 31 October 2006. The SPR is doted with an Operational Technical Committee (CTO) gathering together the officers of the municipal technical services and those in

charge of vector control. It is the CTO's responsibility for preparing decisions to put before the administration board concerning equipment and materials, human resources, the operational control methods and intervention protocols.

At first (up to 15 August 2007), the GIP operated in the context of the overall *Chik* system with a Prefecture Operations Centre (COP) and, in sub-prefectures, Advanced Command Posts (PCA) to coordinate operations between the various partners: the DRASS vector control service (the only permanent staff of the SPR), the département council and the municipalities, and also the regional council and EPCIs, the latter to a lesser extent.

When the crisis measures are launched, leadership and coordination of the SPR are entrusted to the DRASS, whereas the assisted posts of the département council are placed at the municipalities' disposal (extra to their own personnel), the regional council and the EPCI withdrawing from operations. The département council's involvement was therefore greatly reduced. Moreover, its GIP membership was valid for only two years. From the human resources point of view, it was temporary personnel (under assisted contracts), for crisis situations only, who were engaged. Municipal councils' involvement proved to be intensified, however. They now appear to be the most active and legitimate partners.

A comprehensive array of legal instruments enables them to engage in insect vector control, owing in particular to the general policing power conferred on mayors (see CD-ROM), but also to the sound grassroots knowledge of their areas and populations. Municipalities also draw on clubs and societies and their local services to spread information and raise awareness among the public. Most treatment operations targeting districts or ravines are performed by the DRASS and the municipalities as a joint effort, which makes immediate intervention possible if necessary.

GUADELOUPE

Guadeloupe was equipped with a vector control service much earlier than certain other areas, owing to its location in the tropical Caribbean. This service nevertheless experienced a substantial fall in its personnel (from 125 agents in the 1980s, to 65 at present), largely following the disappearance from the scene of locally contracted cases of malaria transmission in the late 1960s.

Organization of the vector control service

The vector control service used to operate under the authority of the Director of the Department of Health and Social Development (DSDS), until the law of 13 August 2004. The application of that law places it theoretically under the aegis of Guadeloupe département council (agreement signed on 11 April 2006). After a number of reservations (notably about the separation between the power for defining measures and power for execution of these measures, judged to be arbitrary), the département council accepted the principle of this transfer.

The service is under the management of a head of department (a public health officer) who devotes no more than 70% of his time to it, and consists mainly of health assistants. The system is partly installed in premises made available by the département council and partly spread among five technical posts (Marie-Galante, Saint-Martin, Saint-Barthélemy, Baillif, Jarry).

Strategy

A dengue Epidemic Surveillance, Early Warning and Management Programme (PSAGE) was drawn up in partnership with the Antilles-French Guiana Interregional Epidemiology Unit (CIRE) (Fort-de-France), the Martinique mosquito eradication service, Guadeloupe vector control service and Martinique and Guadeloupe Health Watch Units. This PSAGE lays out both the protection strategy and the emergency procedures. A special section is devoted to chikungunya risk. In an epidemic period, the head of the anti-vector service produces bimonthly action plans to adapt the control strategy to the development of the epidemic.

In the context of the application of article 72 of the law of 13 August 2004, a review of the situation has been conducted in view of the prospected transfer to the département council which stipulates the forthcoming duties of the different actors.

However, this true steering role comes against a limit independent of the parties involved. The entomo-epidemiological situation of the island of Guadeloupe prompts efforts largely to focus on *Aedes aegypti*, the vector mosquito of dengue virus. Now, the island of Saint-Martin is divided into Dutch and French parts, and Juliana international airport (in the Dutch area)

Table 3 – Vector control organisation

Structure	Organization
Steering committee	Membership, around the Prefect of Guadeloupe: the Chair of the département council, the Director of Health and Social Development, the Chair of the Mayors' Association, the Commander of the Armed Forces in the Antilles, the Director General of the Regional Hospitalization Agency (ARH), the Director General of the hospital CHU Pointe-à-Pitre, the Directors of the hospital centres of Basse-Terre and Saint-Martin
A chikungunya surveillance system	At Pointe-à-Pitre Airport (Pôle Caraïbes) and involving all actors concerned by air traffic control

is the Caribbean's second busiest airport for traffic. In spite of the International Health Regulations (IHR) specifications, the reliability of information on dengue epidemic development in the Dutch part seems uncertain: too many deviations manifest between their epidemiological data and those of the French part. The DSDS services are seeking to improve this situation by developing a protocol for information exchange with Saint-Martin government health authorities.

Weaknesses

A number of difficulties are directly linked to the geographical configuration: the service's resources and facilities for action must be spread between the different islands, some of which lie several hundred kilometres from 'mainland' Guadeloupe. This raises several questions:

- what can be the future for vector control in the two islands in the North of the area (Saint-Martin, Saint-Barthélemy)? If the draft organic law on overseas territories is passed, will these isles become authorities with no attachment to the département council of Guadeloupe? Their small size would make the existence of an autonomous vector-control service unviable;

■ how can schemes take into account the wide diversity of ways of life between the islands? For example, freshwater is relatively abundant on Guadeloupe, but in Saint-Martin its scarcity and excessively high cost make people resort to rainwater collection tanks. Another example: the question of languages. In Saint-Martin the high proportion of non French-speaking inhabitants (owing to easy passage through the borders between the two parts of the island) makes it imperative that service agents speak English or Papiamentu.

In parallel, the collaboration should be redefined with the Health and Social Service Technical Association *Association technique d'utilité sanitaire and sociale* (ATUSS), whose objective is to promote the economic development of Petit-Canal, Port-Louis, Anse-Bertrand and Morne-à-l'Eau. In accordance with an agreement between the DSDS and ATUSS on mosquito eradication in the northern part of Grande-Terre, the association receives an allocation of anti-vector products from the DSDS. Yet, the 1964 law already explicitly stipulated that mosquito destruction be assigned solely to public organizations. And in its extension to vector control, article 72 of the law of 13 August 2004 confirms this option. The département council in any case does not wish to have ATUSS as a negotiating partner. In law, the agreement would continue concluded with the municipalities concerned.

Furthermore, the département council does not intend to see itself constrained in the role of execution, in spite of the loss of its control over strategy (reserved for the State by the law of 13 August 2004). It hopes to have its own resources to devise its strategy. The setting-up of an inter-department convention between Guadeloupe and Martinique, and even French Guiana, is hardly feasible given the isolation of the different elements (therein lies a weakness of the 2004 law). Whatever happens, the Watch system and the partnerships must be strengthened. Health Watch has hinged on the Antilles-French Guiana CIRE and the Health Guadeloupe Watch Unit (CVS) since 2003, itself underpinned by a 50-strong network of sentinel practitioners. It would be worthwhile to develop the network further in the Pointe-à-Pitre area seeing that the population density is high.

MARTINIQUE

Vector control has essentially been targeting *Aedes aegypti*, the main dengue and yellow fever vector, since the disappearance of epidemic malaria.

Organization of the vector control service

Up to 1990, it was the Departmental Health and Social Affairs Service (DDASS) which ran these vector control operations. The département council for its part undertook complementary mosquito destruction actions in 1990 while equipping itself with the necessary means and personnel. The originality of the Martinique situation lies in the fact that, from 1990, mosquito destruction and vector control activities were brought closer together and coordinated, which materialized a State-département convention (1 November 1990) stipulating the respective modes of action and utilisation of human and material means.

Table 4 – Vector control organisation

Structure	Means
Staffing of the common service	Two agents with departmental status: – a medical entomologist * is in charge of the scientific and technical running in addition to management of the service; – an engineer supports the entomologist with management and logistics tasks and for technical activities;
Strategic Unit	– undertakes entomological surveillance and inquiries into cases reported by Health Watch; – the unit has a common laboratory with insectarium;
Operational Unit	– plans and manages the mosquito destruction interventions; all the operations directed from Fort-de-France; – the unit has at its disposal a fleet of vehicles from the State and the département council, and spraying equipment, tractor-drawn or portable;
Social communication Unit	– takes and coordinates all actions of social mobilization in partnership with the municipalities, district associations, public education establishments...

* The Ministry of Health reimburses the département with the whole of its salarial expenditure by means of the General decentralization endowment (DGD).

On the eve of the transfer of vector control from the State to the département, the mutualization of human resources (48 persons making up 32 from DSDS and 16 from the *département* council) is working perfectly. However, the operating credits are not pooled, which makes day-to-day management complicated. This is why the setting-up of a public interest group (GIP) was envisaged in the 1990s in order to link the involvement of the State, the département council and the municipal councils. This joint project agreement *Entente martiniquaise pour la démoustication* was not retained in the end.

Strategy

An approach was launched to improve the effectiveness of actions undertaken through the setting-up of two bodies: the scientific committee on infectious and tropical diseases, a place for interdisciplinary exchange aiming to lay a scientific basis for dengue control strategies, and the epidemic event management unit whose role is political and decision-making. It is chaired by the Prefect, and it validates the dengue PSAGE. Members of this unit are: the Chairman of the département council, the Chairman of the mayors' association, the director of the Health and Social Development, the director of the ARH, the director general of the CHU Lamentin hospital, the director of the Trinité Hospital Centre, the Commander of the Armed Forces in the Antilles.

The PSAGE was signed by all the partners on 13 July 2006. A similar PSAGE has been devised for chikungunya. There is a dual objective: contractualize the role and tasks of partners involved in dengue control, and provide the tools necessary for running the programme's different actions.

Transfer of vector control to the département council should not present any difficulties owing to the pre-existing organization. The situation of Departmental entomologist remains to be clarified, however, even though the DSDS has not to date called the mutualization of personnel into question (see CD-ROM). The provision of material means should be the subject of later riders.

Strengths and weaknesses

■ **Strength:** the coordination of mosquito destruction and vector-control actions and the pooling of means (State/département) from 1991 are in certain respects exemplary, including a plan of the results. This collaboration was all the

more justified in that the classic distinction between mosquito vector breeding sites and nuisance mosquito breeding sites is less and less relevant. Besides this, the pooling of means helps provide effective continuity between entomological surveillance, early warning and the response brought to a situation.

- Weakness: the statutory double hierarchy creates tensions between personnel. This duality of allegiance also shows through in the field of information and communication, as a 2003 internal communication audit testifies (“Diagnosis of inter-personnel relations-analysis and proposals”).

- Caution: service managers and their hierarchy must take care that the atypical position of the mosquito eradication service does not induce a detrimental effect of distancing it from the other DSDS services whose support is essential.

- Strength: in the late 1980s the vector control service took on a medical entomologist who conducts parallel scientific work in relation to this activity.

- Strength: the proximity of the Antilles-French Guiana CIRE (with headquarters in Martinique) has favoured the process of integration of the entomological surveillance and the vector control. Its principal tool for exchange of epidemiological data, the *Bulletin d’alerte et de surveillance Antilles Guyane* (Basag) is addressed systematically to the Panamerican Health Organization (OPS), the Caribbean Programme Coordination Office of the WHO, the Caribbean Epidemiological Centre (CAREC) and its veterinary equivalent (CaribVet).

- Strength: the distinction applied between the scientific committee and the management unit provides the opportunity for open discussion within the scientific body, free from the constraints of management and power issues.

- Caution: the municipalities’ contribution to the control of mosquito breeding sites must not be neglected. The town of Schoelcher has been used as pilot site for cooperation between the departmental mosquito eradication service and the municipal services. Much remains to be done in public health and hygiene (122 sites have been listed as the most productive sites). Overall, recourse to restringent powers provided for by the 1964 law or departmental health regulations has been exceptional. Moreover, no agent of the mosquito destruction service is sworn by oath.

FRENCH GUIANA

Malaria and dengue have helped govern the organization of the Departmental Disinfection Service.

Organization of the service

This Departmental Mosquito Eradication Service (SDD), run by the French Guiana département council, is responsible for vector control. It operates on behalf of the State on the basis of a convention (article 2 of convention n° 257/DDASS/DIR of 25 October 1993 between the State, the département council and French Guiana Pasteur Institute). It works under the supervision of an administration manager, joined in May 2006 by an entomologist. It comprises several stations spread between French Guiana's different urban areas, but often the personnel have not had the benefit of specific training. Its material resources are notoriously inadequate.

Strategy

The diversity of vectors necessitates a strategy adapted to each case that takes into account the ecology and biology of the vector. The strategy applied appears to be a compromise between mosquito destruction and vector control activities, and actions for *Aedes aegypti* control. The scientific guidance now comes under the State's responsibility, having long been effected by the French Guiana Pasteur Institute.

Operational problems

An old dispute over the amount of reimbursement to be paid by the State for the SDD's vector control mission has still not been settled. The allocation from the State for this (fixed by agreement n° 257 /DDASS/DIR of 28 December 1995) has been transferred only once, even though pre-2006 vector control could not be considered to fall within the competence of the département. The chairman of the French Guiana département council asked the Minister of Health (18 April 2006) for an additional contribution and an exceptional allocation of crisis funds.

MAYOTTE

Vector control essentially targeted anophelines (owing to malaria risk), along with a close watch maintained on other pathologies (filariasis transmitted by mosquitoes of the genus *Culex*), until the chikungunya crisis arrived.

Organization of the service

The vector control and medical entomology service is a department of the Health and Social Affairs Service (DASS) of Mayotte. It is headed by

health and sanitation engineer and has a 74-strong team of agents including one entomologist.

Strategy

A new control strategy was set in place from 2002. It is founded on the mutualization of teams' resources and equipment by concentration of the whole system on one sector. All service personnel work under the responsibility of the team manager in charge of the sector where the intervention is to be executed. The chikungunya epidemic in 2006 demanded the setting-up of a crisis force which concretized as reinforcement of the teams.

Currently the service is up against a difficulty in recruiting permanent agents to replace personnel in the older age group. Mayotte's isolation is penalizing during an epidemic phase of a disease and control methods should be improved more systematically.

Operational problems

One of the problems stems from difficulties with the integration process which should be completed in 2010. A specific status, stemming from special legislative provisions applied to the island, means that the agents made available by the departmental council are in fact being integrated into the State civil service. And this produces a paradox: article 72 of the law of 13 August 2004 provides for the transfer of vector control teams to départements (therefore to Mayotte in this case), and yet at the same time the personnel become civil servants of the State.

Moreover, coordination between action of the vector control service and health watch operations is more difficult in Mayotte owing to its attachment to CIRE of Reunion Island/Mayotte. In addition, the numbers of medical doctors on the island are insufficient for forming a network of sentinel practitioners.

Another point is the irregular standards of vector control in the community in spite of a substantial communication drive led by the DASS.

Cooperation of municipalities is imperative if waste disposal and treatment is to be improved, but the present situation is riddled with problems.

The département council is not favourable to a system in which its role would be limited to one of execution of instructions issued by the State. It demands to be able to take part in the planning and management.

CORSICA: HAUTE-CORSE

The service responsible for vector control, inherited from the antimalaria service set up in 1930, was reactivated from 1972 after a brief membership of Corsica to the Interdepartmental Agreement for Mosquito Eradication (EID) from the Mediterranean coast.

Context and organization of the service

In 1976, Corsica was separated into two départements which led to the creation of Haute-Corse's own malaria control service. It was incorporated into the département council's services in the early 1980s. After the introduction in 1987 of article 18-1 into the Public Health Code, which stipulated that this competence was assigned to the State, the service nevertheless remained attached to the département council by derogation. However, owing to a dispute over the level of costs taken care of by the State, the département council unilaterally declared at the end of 2002 that it was stopping vector control. The département did continue to run a partial system of malaria control but, by precaution, the State services took over between 2003 and 2005 through the intervention in Haute-Corse of the vector control service of Corsica and Corse-du-Sud DSS. Paradoxically, the département council's mosquito destruction service did become involved in surveillance of *Aedes albopictus*, by installing the first egg-laying traps on behalf of the Mediterranean EID.

Table 5 – General organization

Structure	Organization
Decision-making structure	Each département prefect with the technical support of a regional vector assessment unit and epidemiological monitoring unit
Operational structures	For vector control: – the département council mosquito destruction service*: 4 sectors having premises serving as operational base; – the municipal hygiene and health service of Bastia on municipal territory.

* This service consists of 32 agents.

Operational problems

For about 20 years vector control was the centre of a succession of disputes between the State and the département council (see CD-ROM).

Currently, the State's main expectation vis-à-vis the département of Haute-Corse is an improvement in the results of field operations, as the information the vector control service sends is not full or detailed enough.

Another question concerns the place of the city of Bastia and its Municipal Hygiene and Health Service (SCHS). An antimalarial campaign restricted to common sites for mosquito vectors was run from 2003 to 2006. Since 1 January 2006 Haute-Corse département council took up complete control measures again and, in particular, answered State calls after the discovery of the colonization of *Aedes albopictus* in Bastia in May 2006. Article 3 of decree n° 2008-791 of 20 August 2008 activated the transfer of the competent State vector control services to the département (this measure includes Corse-du-Sud).

CORSICA: CORSE-DU-SUD

The vector control service here was also inherited from the departmental malaria control service founded in 1930. The constitution of the two Corsican départements in 1976 led to the setting-up of Corse-du-Sud's own malaria control service.

Table 6 – General organization

Structure	Organization
Decision-making structure	Regional vector assessment and monitoring of operational structures
Vector control	Organization into three sectors with teams assembled in each sector for mosquito destruction (Corsica Environment Agency) *

* The vector control service is composed of 23 agents. Moreover, the sanitation engineer who is in charge of the health-environment service devotes 10% of his time to it.

Operational problems

There are some obstacles in common with those observed in Haute-Corse, for the same reasons: problems linked to application of the 1964 law, lack of contact and liaison between the vector control service and other parties (such as State services, Corsica Environment Agency).

Two zoning orders have been taken (see CD-ROM). However, the département council put forward several reasons for not signing the agreement proposed in June 2006 on the seconding of personnel from vector control (see CD-ROM). It was not hostile to the transfer, but was in dread of taking on a service that was not working optimally without proper staffing, whereas risks of a mosquito vector-related epidemic outbreak could not be excluded. The council were also afraid of seeing the State suddenly ordering new vector control measures (for example, if the mosquito vector of chikungunya appeared) which would entail costs beyond the amounts budgeted to compensate for the transfer. As already indicated, the transfer has however been effective since publication of decree n° 2008-791 of 20 August 2008.

RECOMMENDATIONS

- **Human Health:** envisage a single legislative package to govern control against insect and other haematophagous arthropod vectors of diseases affecting humans.
- **Animal Health:** maintain a specific legislation for control against insect and other haematophagous arthropod vectors of diseases affecting animals. It would be advisable to mutualize competences, particularly those of medical entomologists.
- **Strengthen the message** that the prevention of vector-borne diseases is a public health issue which thus falls within the general competence of the State.
- **Integrate** vector control into the assigned roles of future Regional Health Agencies (ARS) and reiterate that crisis management is the responsibility of département prefects.
- **Make sure** that vector disease control policy is quite clear and **make legislative revisions** of vector control provisions while taking care to homogenize the coding (public health code, general local authorities code, rural code).
- **Formalize** the strategy (objectives to be achieved, result indicators, indicators of means and methods applied) and **define** ways and means of implementing control measures in the plans; the important point being to involve all the actors together, in particular the mayors whose statutory duties include civil engineering actions.
- **Develop** cooperation schemes with the different actors (département councils, mayors, associations and so on) using suitable legal tools (EIDs in metropolitan France, GIPs in overseas départements and territories).
- **Specify** the role and duties of these EIDs and GIPs in the multi-year contracts of objectives and means concluded with the director-general of the ARS and, where necessary, delegate management powers to those who request it.

Table 7 – Chronology of specific texts on vector control and mosquito destruction

Years	Text reference	Comments	Texts for Mayotte
1944	Order of 3 April (malaria control)	Vector control, text not rescinded but fallen into abeyance	
1948	Law n° 64-1246 of 16 December malaria control in Corsica	Vector control, text specific for Corsica	
1964	Law n° 64-1246 of 16 december (mosquito destruction)	Text intended for mosquito control, amended by law 2004-809 of 13 August 2004 and by law n° 2004-1343 of 9 December 2004	
1965	Decree n° 65-1046 of 1 December	Mosquito destruction Decree of application of laws of 2004	
1966	Decree n° 66-244 (swearing-in on oath of mosquito destruction agents)	Mosquito destruction Decree of application of law of December 1964	
1974	Law n° 74-1129 of 30 December, article 5 (financing of mosquito destruction)	Vector control and mosquito destruction Still in force	
1987	Law n° 87-39 of 27 January (coded CSP L. 18-1)	Still in force Fixes the list of <i>départements</i> concerned by vector control	
1987	Minister of Health Order of 13 April	Fixes the list of <i>départements</i> concerned by vector control	
1988	Decree n° 88-49 of 12 January	Vector control. Decree of application of law of 27 January	
1990	Order n° 90-570 du 25 juin	Vector control	Extends provisions of article CSP L. 18-1 to Mayotte
1990	Minister of Health Order of 6 November	Vector control	The local authority of Mayotte returns to the list of <i>départements</i> mentioned by the order of 1987

Table 7 (continuation) – Chronology of specific texts on vector control and mosquito destruction

Years	Text reference	Comments	Texts for Mayotte
2000	Order n° 2000-548 of 22 June (coded CSP L. 3114-5, ex CSP L. 18-1)	Vector control Competence of the State. Deletes the necessity for a decree in EC to fix the nature of measures to take	CSP L. 3811-7 specifically concerns Mayotte
2001	Law n° 2001-616 of 11 July, article 75 (coded CSP L. 3811-7 (revision))	Vector control	Updating of the CSP for Mayotte
2003	Decree n° 2003-462 (coded CSP R. 3114-9)	Vector control	
2004	Law n° 2004-808 of 13 August (article 72)	Vector control and mosquito destruction. Transfer to départements of a proportion of vector control competences	
2005	Decree n° 2005-1763 of 30 December	Vector control and mosquito destruction Decree of application, amended CSP R. 3114-9	
2008	Decree n° 2008-791 of 20 August 2008	Ways and means of transferring devolved services which contribute to the exercise of competences transferred to départements	
2008	Order of 26 August of the Ministries of Health and Ecology	Vector control Classification of the Var with départements potentially at risk	
2008	Prime ministerial circular of 31 December on organization of departmental administration of the State	New departmental managements Link with the ARS	
2009	Circular DGS / DSC of 7 January	Establishment of preparation and response to health emergencies Constitution of the health reserve	
2009	Circular DGS / DSC of 12 January	Organization of the defence and safety in the health field	

Implementation of vector control

It is important to set in place efficient strategies and organization if the legislative and regulatory system described in Part 1 of this report is to be properly put into practice. This efficiency can be measured by the degree to which the scientific and technical aspects of the measures taken meet requirements. The intensity of the Reunion chikungunya epidemic, in 2005-2006, brought back the necessity to strengthen structures for vector control and to develop research. The review of these questions (see "Strategy variations between regions"/page 345 and "Organization and human resources for vector control" page 360) reveals deficiencies in both organizational arrangements and knowledge.

Effectiveness of control measures, however, also depends highly on the understanding people living under the threat of vector-borne diseases have of the importance of the issues, and on the acceptability of strategies adopted. Hence it depends on whether or not communities join in the anti-vector campaigns. Considerable work must be done on the drafting, perception and communication of messages diffused for their benefit, taking successful experiences as model where possible. Read "Perception of risk in relation to vector control communication" page 371.

Strategy variations between regions⁵

Vector control makes use of different tools and techniques depending on the objectives and the group of vectors targeted. It can aim at reducing vector populations to below the thresholds required for transmission (see the chapter “From vector risk assessment to epidemic risk assessment”), or at the avoidance of host/vector contact, or again eradication of populations of a given geographical area. Control methods therefore also differ, depending on the objectives fixed and the vector, ecosystem and environmental context, but also the economic and sociopolitical situation. Generically, five large categories of means can be applied: environmental control, biological control, genetic, mechanical and chemical (see all the control methods in detail on the CD-ROM, also Chapters “Legislative and regulatory framework for vector control”. “Research: a key to successful vector control” and “Unwanted side-effects of vector control”).

The first category groups together the actions conducted in the environment to make it hostile for the development of vector populations. The second consists of using a “natural enemy” of the target vector to reduce the number and thus the risks of transmission of the pathogen (virus, bacterium, rickettsia, fungus, parasite). Genetic control aims especially at lowering the reproductive potential of harmful arthropods by altering or replacing some of their hereditary potential. The term mechanical control embraces the techniques devoted to catching the vectors and those which hinder contact between host and vector. Finally, chemical control draws on the use of chemical products (of plant origin or synthetic) to make insecticides, repellents or bait for insect vectors.

This chapter reports on the different strategies adopted both in French overseas territories and metropolitan France.

⁵ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 4: “What are the vector control strategies in France?”.

HUMAN HEALTH

At present, vector-borne transmissible diseases mainly concern the overseas territories. However, they do not spare metropolitan France, particularly Corsica and the mainland part of the Mediterranean rim.

In the overseas territories

Vector watch and/or early warning plans of varying scope have been put in place.

Guadeloupe

The only currently important disease is dengue. It is transmitted by the vector *Aedes aegypti* and has been raging for some years in an endo-epidemic mode. This vector reproduces mainly in small reserves of clear water, in or around housing: water storage butts (30% of larval development grounds listed), flower vases (10% of breeding grounds), tanks, gutters, a range of objects and waste that could hold rainwater, and so on.

Taking account of the ecology of the vector, the basic strategy consists of making household visits during which vector control agents destroy the breeding grounds for *Aedes aegypti* or treat them chemically. In parallel, these agents contribute to the health education of the people visited. And actions of social mobilization are developed with the municipalities (community-based health projects), as are awareness-raising campaigns in schools or, more occasionally, among associations.

On the technical front, the actors involved in vector control endeavour to establish permanently running, but non chemical, schemes on: lids for water butts, gutter alterations, elimination of old worn tyres. Entomological surveillance also focuses on *Aedes albopictus* (ports, airports) and on the nuisance species such as *Culex quinquefasciatus*. More globally, municipal plans are being devised.

A dengue PSAGE was drawn up in 2006 in the framework of a partnership between the CIRE-AG, the Martinique mosquito destruction service, the Health Watch Units of Martinique and Guadeloupe, and the Guadeloupe vector control service (see "How is governance organized?", part 1). A similar scheme is under way for the French departments of America in the context of chikungunya control.

One of the new features is the growing use of geographical information systems (GIS). One of the major difficulties: other than the social tensions stemming from transfer of personnel to the département council, middle management numbers are insufficient. It cannot be normal that the entire management of a vector control service such as that of Guadeloupe should fall to one part-time person (the entomology officer of this service operates for only 70% of his time in an area greater than Martinique, which is provided with two entomologists and a technical officer working full-time).

French Guiana

There is a monitoring committee on insect-borne human disease, composed of a range of health and vector-control bodies working over the territory: the Department of Health and Social Development (DSDS), the Departmental Mosquito Eradication Service (SDD), the French Guiana Pasteur Institute (IPG), hospitals, university, independent medical practitioners. This committee regularly reviews the epidemiological situation of the different vector-borne diseases (mainly malaria and dengue) and decides on possible improvements to procedures for controlling these diseases.

Dengue, chikungunya and yellow fever are some of these diseases placed under high surveillance. For yellow fever, the last case recorded dates back to 1998. The principal prevention method is vaccination. As for vector control, it can be made part of measures against *Aedes aegypti*, potential vector of this disease in urban areas, as well as its ability to transmit dengue. The entomological watch system for the latter consists in assessing the monthly Breteau indices (BI), by sampling over all the sectors of municipalities of Cayenne Island, and assessing them on systematic household visits in the other municipal areas. True vector control entails several stages depending on the epidemic situation and location:

- systematic household visits, possibly oriented by BI indices, with mechanical destruction of breeding sites and *Bti* treatment of such sites that are impossible to destroy physically;
- insecticide spraying using tractor-drawn machinery [Ultralow Volume (ULV)] in all areas accessible by car according to a pre-established programme;
- actions conducted around cases reported by the DSDS with exact addresses: at the patient's home, deltamethrin spraying inside the home and mechanical elimination of breeding places, even larvicide treatment using

Bti if necessary; around cases in urbanized areas like Cayenne, mechanical elimination of breeding sites, or even if necessary larvacide treatment and spatial spraying with insecticide in the housing block where the case arose; on cases in a residential area (with villas), operation in a 100 metre radius (mechanical elimination of breeding sites and, where necessary, larvacide treatment and spatial spraying with insecticide outside the houses);

- actions where the address is unknown or uncertain: spatial spraying with insecticide over the whole residential block or estate or of the supposed site of case(s) at the rate of one passage per week (two weeks in succession).

Malaria is a serious public health problem in French Guiana, where it rages along the border rivers (with Surinam on the west and Brazil to the east), it is transmitted mainly by *Aedes darlingi* but also by several secondary vectors. A map of risk zones, regularly updated by the monitoring committee, is available on the web site of the French Guiana prefecture. Vector control is essentially based on wall spraying with insecticides (deltamethrin) every three to four months in the endemic areas, an operation carried out by the SDD. Also noteworthy are occasional interventions around recorded cases. Operations promoting long-term impregnated mosquito nets have also been launched, in 2008, with the participation of the Mother and Infant Protection services of the Red Cross, SDD and so on. The major breeding areas (swampy land, canals and so on) are treated with temephos. In parallel a certain number of recommendations are made available for non-residents.

However, no specific vector control is currently applied for West Nile fever (surveillance effort essentially entails checking and monitoring equine health by veterinary services), nor for leishmaniasis (except for advice given to people intending to venture into the forest), nor for Chagas disease. The latter disease is nevertheless the subject of a research programme under the leadership of the laboratory of parasitology of the Cayenne CHU hospital. Added to these activities, actions are conducted against nuisance organisms (see CD-ROM).

Martinique

Since 1991, following an agreement for pooling State and département council human resources and materials, the activities of the vector control are practised as part of a generalized mosquito destruction drive (against both disease vectors and nuisance types). The strategy implemented focuses on:

- information campaign aimed at all sections of the public;

- cleansing of surrounding areas (at individual and collective level);
- development of a community-based approach: intervention of municipal-mosquito eradication relays, 'Toussaint operation' (since 1998), educational tools in partnership with the French National education ministry, Anti-Mosquito Day, mosquito destruction workshops;
- rational use of insecticide substances (chemical and biological).

In parallel, research geared to operational aspects has developed over more than 15 years (ecology of *Aedes aegypti*, resistance to insecticides, entomological indicators and so on).

The vector control actions mainly focus on dengue, malaria and West Nile fever. For dengue, interventions since 2006 have been formalized in the context of the PSAGE already mentioned. For malaria, the imported cases are reported to the SDD which then performs entomo-epidemiological investigations and then possibly sets up vector control action against anophelines (*Anopheles albimanus* in particular). As for West Nile virus, an action was launched in 2003 with the veterinary services even though no case (either human or animal) had been recorded. Mapping of equine or ovine rearing sites is kept updated, as these establishments are kept under entomological surveillance (systematic eradication/treatment of identified breeding sites). An entomological watch on *Aedes albopictus* is also kept. This involves a surveillance network set up in 1987 and reinforced in 2004 for certain particularly sensitive sites (port and airport areas, marinas and so on). Nuisance species are also covered by regular control procedures (see CD-ROM).

Reunion Island

Malaria has been eradicated from the island (malaria eradication label awarded by WHO in 1979). Yet Reunion island is still a vulnerable area owing to the presence of the vector *Anopheles arabiensis* (particularly on the coastal zones) and the intensification of travel and trade with neighbouring countries. The current control strategy aims to prevent the reintroduction and settling of the parasite and to be well prepared to intervene against any cases declared. Practically all cases (between 100 and 150 per year) are imported (48% from the Comoro Islands, 41% from Madagascar). The main breeding sites are mapped, making it possible to trace their locations and hence decide which preventive treatments to employ. The objective is to keep the vector restricted to rural areas, where treatment campaigns have been pursued since the 1980s.

Concerning dengue, yellow fever, chikungunya and Rift Valley Fever (RVF), control efforts rather “benefited” from the resurgence of dengue (2004). The vector control service has started to develop a control strategy against urban vectors and especially targeting *Aedes albopictus*. The first actions (perifocal control, health education) were complemented in the light of experience acquired during the chikungunya epidemic (2005-2006). The omnipresence of *Aedes albopictus* in all the urban areas, up to 1,200 m altitude and throughout the year on the coast, obliges the vector control service to focus its control campaigns on that.

The island’s 28 municipalities are further divided into 1,093 “homogeneous” areas (see details on CD-ROM) grouped into 274 urban districts. Each month, 150 to 200 assessments are conducted on these zones, which allows targeting on those with the highest vector densities. In parallel, actions are performed to reduce the aquatic stages of the vector by acting on the main productive breeding sites whether permanent (cemeteries, ravines, natural basins and so on) or temporary (like waste disposal sites, carcasses, building sites).

Another portion of the adopted strategy is the treatment of cases of arbovirus infections, to prevent transmission of the virus and the appearance of secondary cases. A health watch unit has thus been set in place at the DASS since December 2006, complementary to the surveillance system based on the data collected by the hospitals and analytical laboratories. A community-based approach developed at the same time. It aims to inform the public of measures that can be applied based on the Combi method (see the chapter “Perceptions of risk in relation to vector control communication”, and on CD-ROM). Further, all the actions of the vector control service are georeferenced, recorded and kept in a database and analysed every week.

A public interest group “Reinforced Prophylaxis Service” (RPS) was set up in October 2006 (see chapter “How is governance organized?”), to coordinate public policies. It associates the State and the territorial and local authorities. The actions conducted in the framework of this public interest group enjoy better public visibility and their effectiveness is greatly enhanced by the pooling of human and material resources. This coexistence at the heart of the same reference-structure therefore gives a great advantage and will be of prime importance if the island had to cope with another major epidemic.

Mayotte

This island is an endemic area for malaria. The annual rate of malaria incidence amounts to between 3.1 and 5‰, and shows a fall in the number of cases reported over the past five years (792 cases in 2003, 496 cases in 2006). Imported malaria comes mainly from the Comoro Islands.

The control strategy against plasmodium vectors (*Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*) largely relies on chemical imagocide (against adults) and larvacide methods. Residual-effect treatments are applied inside homes every four to five months, with quite a good coverage rate (about 80%). Organophosphate antilarval treatments are regularly applied in puddles and temporary ruts, stagnant water and so on. The large permanent ponds and hill reservoirs are also treated (seeding with larvivore fish). Entomological surveys are conducted around every declared malaria case, with destruction of possible breeding sites and possible treatment in nearby housing. It must be noted, moreover, that the malaria control strategy in Mayotte will only be fully effective if malaria control effort is also intensified at regional level (notably in the islands of the Comoros archipelago).

Control of arboviruses and their vectors has been developed only recently, for the same reasons as in Reunion Island. Since the 2005-2006 chikungunya epidemic, the vector control service has been conducting a drive for urban vector control, particularly *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. From the southern summer of 2006 a widespread campaign of chemical treatment (using imagocide and larvacide around housing) was organized municipality by municipality, which made extra personnel necessary, nearly 150 temporary agents. The community-based approach was also strengthened by setting up a social mobilization and health education programme using the Combi method (see the chapter "Perception of risk in relation to vector control communication" and on the CD-ROM).

Recently, a dozen human cases of Rift Valley fever were identified, and also some in livestock (cattle and small ruminant). This new risk led to the development of targeted control operations, including entomological surveys and mosquito capture (around the cases found and the affected livestock) and preventive treatments to limit the expansion of the virus. The arbovirus vector control strategy is soon to be revised to integrate the perifocal control around reported cases and develop entomological surveillance to help find the appropriate orientation of control actions. A health watch unit is also being set up.

Metropolitan France

The areas around the Mediterranean, in Corsica and on the mainland are the most exposed to risks. As in overseas territories, control strategies are laid down in the regulatory and legislative framework, determined in particular by laws 64-1246 of December 1964 and August 2004 and also by a number of circulars (see the chapter "Legislative and regulatory framework for vector control").

Corsica

Vector control in Corsica is mainly turned towards nuisance mosquitoes: *Culex* sp., *Aedes (Ochlerotatus) caspius*, *Aedes detritus*, *Aedes vexans* and *Aedes mariaae*. It also targets certain potential arbovirus (*Aedes albopictus*) or *Plasmodium* vectors (*Anopheles* of the *Maculipennis* complex including *Anopheles labranchiae*). The first report of vector *Aedes albopictus* in Corsica was made in 2006. And the last malaria epidemic dates back to 1972. Five organizations are currently involved in nuisance or vector control operations: the département councils of Corse-du-Sud and Haute-Corse, the Corsica and Corse-du-Sud Departments of Social Security and Health (DSS), the Departmental health and Social Affairs Service (DDASS) of Haute-Corse and Bastia Municipal Hygiene and Health Service (SCHS).

The control actions conducted in Haute-Corse more precisely fall within the framework of surveillance and control of vectors of *Plasmodium* (identification and treatment of breeding grounds) and *Aedes albopictus* (antilarval and imagocide treatments). In Haute-Corse, nearly 1,400 *Anopheles* breeding sites are monitored and treated (using anti-larval treatments predominantly). Since the appearance of *Aedes albopictus*, the vector control service's activity has diversified. The nuisance mosquitoes are now under control schemes. In both Haute-Corse and Corse-du-Sud, the actors involved in vector control have taken note of the recent installation of this vector and are working to devise their strategy.

Mainland areas

In both urban and rural environments, the strategic priorities focus on breeding site control. An advantage of this is the possibility of identifying the species to target and the extent of the areas to be treated and, by the same token, make better choice of insecticides while reducing their environmental impacts. In essence, this control effort aims at three species of

mosquito (out of 105 present in France) reputed for causing the greatest nuisance: *Aedes (Ochlerotatus) caspius* and *Aedes (Ochlerotatus) detritus*, also *Culex pipiens molestus* (a commensal species with humans that occurs in urban environments). A little more than 15 others (see CD-ROM), causing differing degrees of nuisance, locally or seasonally, are the focus of specific control measures conducted by the Interdepartmental Mosquito Eradication task forces (EIDs), whereas *Aedes albopictus* has been under surveillance since only recently, notably as part of the chikungunya and dengue antiproliferation plan for metropolitan France.

The antilarval strategy is based on a multi-stage process. The first consists in mapping the larval biotopes and potential hatching areas. This is done at a very small scale using methods and typology defined by the EID for the Mediterranean. It is regularly updated with GIS georeferenced data and is an aid for surveying and for delimiting the exact treatment areas. In a natural environment, the sites are identified and recorded using environment-mosquito-vegetation correlations established by the operator for wetlands in his radius of action (see CD-ROM). This map helps the operator understand the functioning of the natural areas where he is going to intervene. It is a useful tool for training, diagnosis, management and communication for an integrated control effort. In urban areas, the permanent and/or potentially highly productive breeding sites (even occasional ones) in public or private grounds are systematically recorded which can help draw specific maps.

The three main nuisance mosquito species in the Mediterranean

Aedes (Ochlerotatus) caspius and *Aedes (Ochlerotatus) detritus* are halophile species enfeoffed in natural semi-temporary brackish wetlands and particularly well adapted to the Mediterranean climate. Hatching is triggered by submergence yet the eggs remain viable for several years without water cover. The nuisance comes on abruptly, especially at dawn and dusk, away from housing. The water management of natural habitats therefore plays a vital role. For example, irrigation of saltings and temporary marshes are highly favourable for hatching. As for *Culex pipiens molestus*, it colonizes domestic stagnant waters and wastewater. It bites at night in close proximity to breeding sites, mainly inside housing. This species, present in all urban agglomerations, is the cause of local nuisance effects.

For further information: see CD-ROM.

The second stage hinges on observation of water-level variations and identification of hatchings. Its purpose is to detect the areas to be treated and demarcation of exact treatment areas, using the occurrence of water advances observed on larval habitats, with the aid of the map work produced in the first stage. The basic idea is to apply the treatments as far upstream in the process as possible, for maximum effectiveness. Potential biotopes of each wetland area or urban sector are therefore repeatedly studied by field observations, at variable frequencies depending on the species concerned, weather conditions and human water management operations (see CD-ROM). This stage (more than 60% of agents' time) ensures the accuracy of subsequent treatments, especially targeted mosquito destruction that limits environmental impact.

There follows the stage of choice of operation type (physical, chemical etc., terrestrial or aerial). This choice is made following a set of parameters: occurrence or not of water advance onto larval habitats, development stage of larvae and density, probabilities of hatching, meteorological situation and distance between breeding sites and the areas to be protected. Account must also be taken of the availability of equipment and materials, but also of the public's sensitivity to risks for the environment. Other methods, but working over a longer term, can in the end be employed, such as maintenance, prevention work, water management or rehabilitation (dune banks in marshy terrains for instance).

The actual treatment operations depend largely on the surface areas to be treated. Small areas can be dealt with by using various terrestrial techniques. More extensive surfaces (50 to 1,000 ha/day) require airborne treatment. The Mediterranean EID, for example, has been equipped with a supply station (Candillargues aerodrome, Hérault) and a fleet of six aircraft since 2007. The choice of biocides is regulated by the *biocide scheme/system* (directive 98/8 EC) (see CD-ROM and chapters "Legislative and regulatory framework for vector control", and "Research: a key to successful vector control"). *Bti* is the only larvacide in use and it is usually sufficiently effective. As for imagocides, or adulticides, fenitrothion is used (before its final withdrawal from the market at the end of 2009) in natural areas. In urban centres or peripheries, deltamethrin is employed either on its own or associated with esbiothrin.

The efficacy of treatments must also necessarily be checked after application. Such assessment is carried out by new surveys and capture of adults.

These investigations can lead to a repeat larvacide treatment or to application of adulticide in some cases. The emergence of adults on certain sites, even if small in surface area, can considerably reduce the overall success rate of the mosquito destruction system, in particular near urbanized zones;

ANIMAL HEALTH

Tick-borne diseases in the French Departments of America (FDAs), blood parasite diseases (haemoparasitoses) in bovines on Reunion Island, blue-tongue virus in sheep in metropolitan France: these are just some of the diseases that can hit animals.

In the French Departments of America

The tick *Amblyomma variegatum* transmits cowdriosis, or heartwater disease, to a high proportion of cattle in Guadeloupe, Marie-Galante and Antigua, whereas Martinique is unaffected. The babesioses and anaplasmoses, spread by *Boophilus microplus*, however, affect livestock in all three of these départements. Several serotypes of bluetongue virus are also present, although there are currently practically no clinical effects. In French Guiana a high level of trypanosomiasis caused by *Trypanosoma vivax* borne mechanically by stomoxes and tabanids is present.

There is no organized vector control system in French Guiana. Moreover, the veterinary services which provided free care services for livestock keepers shut down in 2007. Also, the absence of a legal base for border control measures means that such procedures are limited to awareness building among stockmen by the Departmental Veterinary Service (DDSV) to dissuade them from importing animals from infected areas.

For the departments of Guadeloupe and Martinique, the State has launched a Specific Operation Programme for distance and isolation of the overseas departments (POSEIDOM) to control tick-borne diseases. From 2000, the planned strategy was to move towards a bimonthly epidermal treatment of livestock by teams from the Health Defence Groups (GDS), first with amitraz (an acaricide), then flumethrin (pyrethrinoid). This treatment is not free (unlike the option adopted by the similar programme in the Caribbean, the Caribbean *Amblyomma* Program (CAP) (see CD-ROM).

However, it is strongly subsidized by the Ministry of Agriculture and Fisheries and by European funds. Prefectoral orders make these measures compulsory. In Martinique, the livestock is classified according to their status regarding the presence of *Amblyomma variegatum*.

Nevertheless, since 2003 political problems within the Health Defence Group in Guadeloupe have held back control operations. Finally, although the strategy determined has proved to be effective for control of tick-borne diseases (eradication of *Amblyomma variegatum* from some Caribbean islands as part of the CAP), its implementation comes up against the extreme intensity of infestation in certain areas (Guadeloupe), the type of husbandry (family-based rearing, tethered cattle system) and the organizational problems of the GDSs (Guadeloupe).

Reunion Island

Other than haemoparasitoses (fourth cause of animal deaths in 2004), the diseases affecting animals are: babesiosis (*Babesia bigemina* and *Babesia bovis* borne by *Boophilus microplus*), anaplasmosis (*Anaplasma marginale* transmitted by *Boophilus microplus* or by stomoxes *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger*), cowdriosis (*Cowdria ruminantium* borne by *Amblyomma variegatum*). Transmission also occurs of several serotypes of bluetongue, although no clinical repercussions have been recorded to date.

The POSEIDOM programme was implemented by the Regional Group for Livestock Health Defence (GRDSBR). At the start, it consisted of free distribution of deltamethrin in the form of a 'pour-on' by veterinary clinics. From 1996, however, control treatments offered were diversified: combination of biological, mechanical, chemical and environmental methods against the *Boophilus* ticks and chemical treatment alone against *Amblyomma* ticks. From 2002 a engagement contract was signed with stock breeders who decided to join the programme, with possibilities for technical and financial aid offered.

An assessment was made by following up autopsy results by a network of epidemiological surveillance and serological assays (data available for *Babesia bigemina* and *Anaplasma marginale*). It was found that seroprevalence between 1994 and 2006 had fallen only slightly for babesiosis and that it had risen for anaplasmosis, with strong interannual variations. This

relative failure could be explained by too small a reduction in numbers to break the transmission cycles. Vector control in this département has suffered from an insufficiency of entomological research on the biology of vectors before the control effort was launched.

Metropolitan France

The main vector-borne disease is bluetongue. Between 2000 and 2004, the only part of the territory concerned was Corsica (serotypes 2, 4, 16) after the presence of *Culicoides imicola*, the main vector of bluetongue virus in the Old World, was confirmed. The transmission of this virus in Corsica and the rest of the Mediterranean Basin is associated with the northward extension of the distribution range of *Culicoides imicola*, which could be linked to changes in Mediterranean ecosystems (for the migration of this vector, see CD-ROM and the chapter "From vector risk assessment to epidemic risk assessment"). In another ecological context, following the unexpected introduction of serotype 8 in the Benelux countries in 2006, a great majority of France was infected by this serotype at the end of 2008. Moreover, at the end of 2007, serotype 1 was introduced into the Spanish and French Basque country, to reach into the whole South-West quarter of France in 2008.

Apart from bluetongue, other diseases affect livestock, like tick-borne diseases (such as piroplasmiasis and babesiosis, in expansion in the Provence-Alpes-Côte d'Azur Region). Also to be pointed out is the first outbreak of *surra*, (*Trypanosoma evansi* trypanosomiasis) on the European continent, detected in a herd of Aveyron dromedaries in October 2006. Finally, a case of high nuisance-level Simuliids (blackfly) was described in Hérault (in the Lodève area), with such effects as falls in milk production. In this respect, Mediterranean EID could not intervene for mainly regulatory reasons (need for a prefectural order, after consultation of the Departmental Council on the Environment and Health and Technological Risks, CODERST).

Vector control against bluetongue is regulated by European directive 2000/75, transposed into national law by Ministerial order of 24 August, itself replaced by that of 1 April 2008 (confinement of animals inside at times of day of vector activity, regular treatment of animals using insecticides). Furthermore, European regulation 1266/2007 defines the waivers for export authorization if the animals are "protected from attacks by the vec-

tor *Culicoides*” during their transport and for a certain number of days before being moved. France translates this rather vague anti-vector protection by treatment of the animals with epidermal insecticide (service note DGAL/SDSPA/N2007-8276).

In Corsica, the product (pour-on solution of deltamethrin) is available free-of-charge by way of GDS branches. On the mainland no measures of this type have been put in place and insecticide buying is still the stock breeders’ responsibility. An enquiry conducted by the National Federation of GDS has shown that few stockbreeders in the North of France had treated their animals in 2007.

The use of pyrethrinoid epidermal insecticides is based on the following observations: absence of detailed knowledge on species of *Culicoides* involved in transmission, absence of identification of breeding sites and the difficulty of treating them, absence of other certified products. Theoretically, treatment may well be compulsory, but it is difficult to persuade stockbreeders to join the scheme owing to a lack of certainty as to the effectiveness of the products available. Also they (and some Health Defence Groups) are wary of the possible harmful effects of the insecticides.

RECOMMENDATIONS**■ Human health**

The control of vectors and nuisance organisms, particularly in French overseas territories and Corsica, comes up against several problems: definition of strategy and objectives, day-to-day running of operations, resistance to insecticides, low qualification level of field agents, insufficient numbers of team management staff, low level of participation of other partners and populations, insufficient cleansing or public-health related works.

■ For human health, it is important to:

- Define clearly the objectives and strategies according to the method of governance proposed (public interest groups and regional health agencies).
- Inscribe in this context all decisions that aim to reinforce structures by appointing highly qualified, competent technical managers, assess strategies and actions regularly, involve communities and municipalities.

■ Animal health

To date, vector control is essentially founded on the administration of insecticides directly onto the animals, with the notable exception of vector control efforts in Reunion Island. This strategy may well be adapted to tick control, but it cannot really be applied against *Culicoides* and mosquitoes.

■ For animal health, it is important to:

- Define clearly the objectives and strategies in relation to the DGAL and the veterinary services supervisory bodies.
- Intensify research in order to have available effective control systems against animal diseases, especially emerging ones.

Organization and human resources for vector control⁶

The organization of vector control, whether geared to animal health or human health, is by no means uniform over France and its territories as a whole. Moreover, the human resources to accomplish the task are seriously insufficient and above all deficient in the necessary training, especially in the decentralized structures of the system.

ANIMAL HEALTH

Book II of the French Rural Code dealing with veterinary public health and animal health protection defines a list of legally recognized contagious diseases (MLRC). Some of them are vector-borne: cowdriosis, equine encephalitis, bluetongue disease in sheep, African horse sickness, epizootic haemorrhagic disease of deer, Rift Valley fever, African swine fever, theileriosis and trypanosomiasis (article L. 214-1). These must be declared and animal health regulations are applied and emergency systems are sometimes made ready. These systems are planned at national level by the Minister of Agriculture and, in each département of France, by the prefect who decides on the measures to be put into execution.

Beyond this, in some cases defined in article L. 224 (whether or not for contagious diseases), the administrative authority can make it compulsory to apply prophylactic or assessment measures, or put into practice preventive or health-risk control actions. Other than these officially regulated diseases, animal health is the responsibility of the owners.

General organization

The general organization of vector control is not built on a specifically established supporting structure. Veterinary services, organized into DDSV

⁶ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 4: "What are the vector control strategies in France?".

(Departmental Veterinary Services), are in charge of animal health and protection. This means in particular the execution of measures taken to protect animals against MLRCs. It is also their job to coordinate and implement compulsory collective prophylaxy operations and health checks in compliance with regulations. These services are founded on a network of veterinary practitioners whose role is to carry out surveillance and disease prevention operations. Yet there is neither a structure nor the personnel with the specific task of performing entomological surveillance of vector control.

The prophylactic operations can be conducted with the GDSs, Health Defence Groups, set up in the 1950s on the initiative of the veterinary services. At the time they were a response to government's need to have available a network within the livestock farming community for better control of the major animal diseases: tuberculosis and brucellosis (transmissible to humans), or foot and mouth disease. This collective form of organization proved to be effective and so was promoted by State and the GDSs were brought in to participate in control measures against the MLRCs. They therefore developed their own disease control plans or certification procedures. Now they hold a technical advice role for livestock farmers on health protection issues.

The GDSs are département-based structures grouped into regional and national federations. They have the status of not-for-profit organizations and are financed by subscriptions paid by farmers and local authorities (mainly département councils). They have established commercial subsidiaries to offer livestock farmers various services (disinfection of buildings, control of nuisance organisms and so on). The subsidiaries of 40 départements of France are themselves grouped into a network, Farago, and have equipment and material and personnel trained in pest control, including anti-insect measures (mainly against flies).

A specific organization

A specific form of organization is applied in French overseas territories and in Corsica. In the overseas territories, the State, working through the DDSVs, is the commanding authority for vector control campaigns (against ticks in the Antilles), the Health Defence Groups (GDSs) are in charge of the operations put in place (Antilles, Reunion Island) and CIRAD (Centre de

Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement) provides scientific and technical assistance. The situation of French Guiana is a particular one, with no Health Defence Group and no independent veterinary practitioners for domestic animals.

In metropolitan France, vector control measures against *Culicoides* are organized only in Corsica, where insecticides are made available by the DDSVs. European regulations (regulation 1266/2007) in fact render *Culicoides* surveillance in metropolitan France compulsory. This involves determination of the beginning and the end of the season of activity of *Culicoides*. During the period of inactivity, the restriction measures on trade in animals are relaxed. The Ministry of Agriculture and Fisheries is the over-seeing authority, concludes an annualized agreement with CIRAD to organize and coordinate entomological surveillance operations. Trap laying is done mainly by veterinary service technicians whereas identification is undertaken by the Université Pasteur of Strasbourg and the EID Méditerranée.

Vector control nevertheless still comes down to individual actions, in that the decision to practise measures in the end falls to the owner of the animals, even if the law imposes it. The degree to which livestock farmers join in the control campaigns depends on the systems of husbandry and the vigour of the GDSs (in awareness raising, making means for control available and so on).

HUMAN HEALTH

The regulatory framework derives from the law of 13 August 2004 (see the chapter "Legislative and regulatory framework for vector control"). A multitude of missions and reports that bear upon vector control for human health reflects the diversity of situations that exist, even though to date, this control only targets mosquitoes and concerns just seven French départements: the four overseas departments, the two in Corsica and Var in metropolitan France. It must be recognized that in reality, article 72 of law n° 2004-809 of 13 August 2004 is only rarely applied to the letter (see the Box regarding the regulations and legislature in the chapter "Legislative and regulatory framework for vector control"). Moreover, for Guadeloupe and Martinique the transfer of competences theoretically stipulated by the law has in fact been suspended.

The structures

Details of the structures are given in the chapter "Legislative and regulatory framework for vector control". The following account will therefore insist on the human resources such structures have within each département concerned.

Guadeloupe

The vector control service has recently endowed itself with a laboratory with the primary task of developing studies on mosquito taxonomy and insecticide resistance.

Currently, the total number of agents charged with conducting the control activities is 65. Just one of these agents is at category B level (assigned to logistics) and most of them are in category C. The average age is higher than 50 years. Most of the personnel work on the main island of Guadeloupe, but they can be assigned for varying durations to other islands of the administrative area when necessary. There are staff based permanently on some of these associated islands: 6 in Saint-Martin, 3 at Marie-Galante, just 1 at Saint-Barthelemy. The only person at manager level A (the entomologist) devotes only 70% of his time to vector control and has also to deal with other health and environmental issues (such as water or noise problems).

French Guiana

Vector control activities here are primarily oriented against dengue and malaria vectors.

Quite recently, the SDD (Departmental Mosquito Eradication Service), which runs these services, was placed under the authority of a manager assisted by an entomologist. The service headquarters is at Cayenne where nearly 60% of its staff live. It is divided into 4 geographical sectors, with 10 branches together covering the whole département. It comprises 3 agents at category A level (including 2 administrative staff and 1 medical doctor-entomologist), 7 in category B (including 2 administrative staff and 7 medical technicians), 148 category C agents (including 12 from administration and 136 in the technical services).

In addition to these agents there is one full-time technician (health and environment) and a medical entomologist at the Pasteur Institute (under a contract with the State).

Martinique

Here, operations of the vector control service (with the status of jointly-run unit since 1991) are led by a medical entomologist of departmental level. He is in charge of scientific and technical orientation but also coordination of staffing and service management. A technical engineer assists the entomologist in management and logistics tasks, but also with technical work. The service has for several years been engaged in research programmes aiming at operational applications. A partnership has been developed with Unit 'Vector population characterization and control' (IRD, Montpellier), the Nicole Pasteur team at the CNRS, Montpellier, and the University of Québec at Trois-Rivières. The service was recently strengthened with the département council's appointment of a second entomologist.

The vector control service consists of 48 staff (32 attached to the State civil service, 16 employed by the département council): 3 are in category A (the 2 entomologists and 1 engineer), 8 in category B and 37 classified in category C.

Reunion Island

The human and material resources are grouped together in a Public Interest Group (GIP) founded in 2006, the SPR (Reinforced Prophylaxis Service). Its major task is to control malaria and the expansion of arbovirus epidemics. Its principal objectives are to ensure the day-to-day coordination of the actions of the various partners participating in anti-mosquito vector operations and, for cases of epidemic outbreaks, have a well-prepared set organization to activate actions of mosquito destruction and health education.

Personnel numbers have risen from 45 before the emergency situation provoked by the chikungunya epidemic to nearly 200 agents after the crisis (4 managers at category A level, 14 category B agents, 180 personnel at category C). The SPR inherited a substantial stock of materials and insecticides dating from the time of the epidemic (Guadeloupe and Martinique have also benefited from these stocks). That is probably an indication of an overestimate of needs, from which lessons can be drawn for the future.

Mayotte

To date malaria is still a public health problem on this island. The vector control service, located at Mamoudzou since 2002, is overseen and oriented

by the State, in conformity with law n° 87/39 of 27 January 1987. Its role was confirmed by organic law n° 2007-223 of 21 February 2007, article 3 of which lays down the statutory and institutional provisions regarding the overseas territories (DSIOM law). This article is codified in the General Local Authorities Code in article LO 61114-1.

The daily work of field operator teams entails conducting comprehensive house-to-house spraying campaigns, within homes, apartments, houses and buildings. The service also includes an entomology laboratory while an operational logistics department specifically geared to vector control is responsible for equipment maintenance and providing the field teams with supplies. The total number of personnel allocated to this control work is 74: 4 agents in category A (1 entomologist, 1 logistics manager working under contract, 2 health engineers), 2 category B personnel and 68 category C staff.

Corsica: Corse-du-Sud

The majority of vector control actions concern control of *Anopheles*, whereas *Aedes albopictus* is steadily colonizing.

In line with the application of the law of 13 August 2004, the State transferred 15 category C personnel to the département council. Added to these are 8 permanent agents recruited by the département council (1 head of department, 1 entomologist, 1 IT manager, 5 operators) and 7 seasonal workers. The total number of personnel therefore amounts to 23 permanent staff. In addition a territorial medical practitioner is in charge of dealing with epidemiological problems.

Corsica: Haute-Corse

The service responsible for vector control has been a structure belonging to the département council since the first decentralization. It operates in the overall framework of mosquito destruction. The number of personnel involved amounts to 32 (including 2 field operators, 2 engineers), most of them in category C.

For both Corse-du-Sud and Haute-Corse, the State has kept the responsibility for defining control and entomological surveillance strategies, in conformity with the circular of May 2008. These actions are conducted by the Vector Surveillance and Epidemiological Monitoring Unit;

Other actors

Actors other than just the vector control services have been starting to become involved over recent years. The control services had been working in isolation for years, unaware of the contribution made by the various partners (municipal services, district associations, Ministry of Education establishments and so on) or of other disciplines (such as social sciences, anthropology, epidemiology).

Efforts have been concentrated on a larger-scale mobilization of communities by means of a range of actions: Reunion Island '*kass-moustique*' operation, Operation 'Toussaint' in the DFAs, Anti-Mosquito Day and municipal mosquito-destruction relay in Martinique. The municipalities' participation is still quite modest, but they are an absolutely indispensable link in the chain of actions in the field.

Metropolitan France

Currently, metropolitan France has no vector control structures akin to those in operation in the overseas territories. The three EIDs (Méditerranée, Atlantique, Rhône-Alpes) and other organizations like the 'Syndicat intercommunal à vocation unique (SIVU) contre les moustiques' of Lauterbourg (Alsace), a single-purpose intermunicipal anti-mosquito structure, have been set up with the aim of controlling the nuisance caused, thus improving both living conditions for people living there and conditions for tourists. This activity, which is run and financed entirely by the local authorities, is a way to support economic development.

EID Méditerranée

The core objective of this EID (see the historical account on CD-ROM) is to control nuisance caused by the main anthropophile species of mosquitoes to maintain an acceptable level that is above all compatible with the major socio-economic issues of the region. The scope of action essentially concentrates on the two species of halophile *Aedes* species in rural areas (*Aedes Ochlerotatus caspius*, *Aedes detritus*), on the anthropophile component of the species *Culex pipiens* (*Culex pipiens molestus*) and, more recently, *Aedes albopictus* in urban areas.

EID Méditerranée staff numbers were at 157 permanent posts on 1 January 2008. Of these, 16 are in the administrative line (1 in category A,

3 in category B, 12 in category C), 135 come from the technical line (7 from category A, 40 in category B, 88 in category C) and 6 personnel are under contract and do not belong to any professional line. The headquarters is located at Montpellier (Hérault). The technical personnel (prospectors and machine operators) are, however, spread over the whole of the area of action, based in operational agencies: 5 agencies in Languedoc-Roussillon region, 1 in the Provence-Alpes-Côte d'Azur region, 1 at Arles and one at Cagnes-sur-Mer.

The headquarters is the centre for the general management and administrative departments, and the communication, environment, research and development departments. The research and development section is supported by a laboratory (labelled ISO9000 version 2000) whose research themes hinge on biocide experimentation, optimisation of treatment methods, environmental impacts, biology of target species, measurement of their sensitivity level to biocidal products, and surveillance of potential vectors. The establishment is also endowed with a documentation centre, a cartographic service, a garage and a fleet of 140 vehicles. The agencies keep on their sites the materials and equipment necessary for terrestrial treatment over their sector. The Montpellier Fréjorgues is certified for the storage of 100 tonnes of biocidal products (the bulk of them based on *Bti*).

EID Atlantique

It became urgent, in order to develop tourism, to seek solutions for controlling the nuisance caused by mosquitoes, especially in summer. The EID Atlantique (see historical account on CD-ROM) covers the area with nearly 200 municipalities. It has 55 agents of the territorial civil service spread along the Atlantic coast, from the Morbihan to the Gironde.

The EID services are distributed over nearly 50,000 hectares of wetlands. They operate throughout the year to manage the marshland, regulate the hydrological system and treat the breeding sites to control mosquito populations. In parallel to these actions in the field, this interdepartmental venture conducts surveillance operations of the important species. It is a member of the Steering and Management Committee of nature reserves (such as Aiguillon Bay, Illeau des Niges). Other activities are simuliid control, participation in entomological surveys, proposals of technical study packs in rural and environmental management, training of local authority technicians, exchanges with academics, and contributions to scientific research on target species.

EID Rhône-Alpes

This interdepartmental venture was set up to fight the mosquito nuisance in the areas bordering the Rhône and the Lac du Bourget (see historical account on CD-ROM). It has developed a strong capability in wetland management recognized by local authorities. It has thus been designated as managing body of the nature reserve of Lavours marsh while it also looks after the conservation of the lles du Haut-Rhône voluntary nature reserve and the management of the Saugey Meander. The mosquito destruction activities take place mainly in spring (March to the end of July): 203 municipalities benefit from these. The EID Rhône-Alpes also participates in research, especially with the alpine ecology laboratory of University Joseph-Fourier in Grenoble.

As far as human resources are concerned, this body comprises 47 permanent agents of the territorial civil service, backed up in summer by 42 seasonal staff. The operational departments have 28 permanent personnel divided between four permanent branches. Urban mosquito eradication is conducted by 40 seasonal staff mobilized in June and July, supervised by a permanent part-time officer. Wetland management is entrusted to 2.5 permanent agents and 2 temporary ones in July and August. Three officers are responsible for research, conservation and management of natural environments and also communication. The central management, administrative departments, departments of cartography and communication, the laboratory and mechanical workshop are made up of 13 persons located at Chindrieux (Savoie).

SIVU of Lauterbourg

The driving objective of this departmental syndicate consists of limiting the nuisance created by river mosquitoes while conserving the protected natural reserves in the Rhine valley. The treatments are exclusively antilarval and based on *Bti*. They are applied either manually on the ground, or by helicopter equipped with a granular spreader. To date, 15 municipalities are members of Lauterbourg SIVU which is 50% financed by the municipalities.

Just one permanent officer, a qualified civil servant (category A), manages a seasonal activity conducted by 25 temporary staff. The syndicate manager maintains a close operational arrangement with the German mosquito destruction services (KABS) which operates on the other side of the Rhine and also fulfils the role of secretary of the European mosquito Control Association (EMCA).

ADEGE

The Agence Nationale pour la Démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués (ADEGE) was set up in 1996. It groups together three EIDs, the Martinique département council, French Guiana département council, the département council of Corse-du-Sud and the SIVU of Lauterbourg. This agency, whose headquarters is in Montpellier, (at the Mediterranean centre of the coastal environment/EID Méditerranée), has undergone two major changes since its last general meeting in November 2008: the change of status to one of association under law of 1901 and the setting-up of a scientific committee.

Its overriding tasks are as follows:

- the identification and recognition by ministries, central administrations and bodies of the European Union, of public establishments for mosquito control (nuisance and vector categories) and management of natural areas freed of mosquitoes (represented in the association);
- public expression of common concerted positions;
- scientific and technical exchanges on the active products used and the methods implemented for mosquito control;
- pooling of logistical and research resources;
- gaining knowledge and following up the progress of applied and development research systems;
- continuous improvement in the environmental quality of mosquito control operations, especially by minimizing unwanted side-effects;
- exchange and contribution of knowledge and joint effort in wetland management (ecological monitoring techniques and environmental education);
- pooling and exchange of resources in documentation, training, information and so on;
- harmonization of consulting procedures and transfer of know-how in response to calls from French local authorities and public establishments located outside the areas of action of association members or from government bodies and foreign public establishments and authorities;

Besides these activities, the EIDs have acquired over the years strong scientific and technical capabilities, in spite of their principal role (control of nuisance organisms). These capacities can be extrapolated to the control of vectors. EIDs have indeed been assigned missions of entomological surveil-

lance aimed at identification of Culicidae that are potential arbovirus vectors, as well as assessment of their presence, their abundance and geographical distribution (see examples on CD-ROM).

RECOMMENDATIONS

■ For vector control concerning human health:

- strengthen the active participation of local authorities (notably the municipalities and intermunicipal authorities);
- reinforce investigations and operations according to epidemiological data;
- systemize the assessment of activities;
- assess regularly the follow-up/response tools such as PSAGE.

■ Recommendations on vector control organization for animal health:

- institutionalise the organization of vector control over the whole of the territory by way of the Ministry of Agriculture through its central management department (DGAL) and its decentralized services (DDSVs);
- formalize a network of actors (operational, scientific and technical support organizations, crisis management units) to be prepared to respond efficiently to an emergency situation;
- train operational personnel in the decentralized structures which will be available to take charge of surveillance and vector control actions if necessary (one person at departmental level or a team at regional level).

■ Common recommendation:

- wherever possible, mutualize the means of operational organizations (human and material resources) for vector control concerning both human and veterinary issues.

Perception of risk in relation to vector control communication⁷

What information, education and communication networks exist concerning vector control? How do communities accept such campaigns and perceive their efficiency? These are two key questions. But they cannot be considered separately owing to their strong interdependence: this is one of the hypotheses set out in what follows.

Vector control is the principal or even the (only) means of protection against any form (whether endemic, epidemic or emergent) of vector transmission of pathogens. However, how it is perceived is greatly dependent on the perception of the risk of vector-borne infectious disease itself. Any kind of communication must take both into account: the way the protective response is perceived is heavily influenced by the perception of the risk itself.

OVERVIEW OF PREVAILING CONCEPTS

Perception of vector control

This relates to two distinct ideas: the perception of its utility/efficiency against the vector and that of its acceptability. Vector control in fact is or can be seen as itself carrying risks to health and the environment or even disadvantages and excessive costs, whatever technique is employed. This touches on the notion in the English-speaking world of risk trade-off, which expresses this link between the risk from the vector and the risk from control measures against it. It is essential to take this element into account for devising any vector control action and associated communication activity. It is still more significant a factor in situations where vector risk has not been proved, even if generally anticipated, and when a vector control campaign is planned in order to prevent.

⁷ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 6: "Perceptions and information-education-communication (IEC) on vector control: current state of the issue, problems raised and proposals".

Communication

Whether its approach is informative, educational or different, communication aims to instil in the target publics effective, efficient protective behaviour in the face of identified risks. With regard to this objective, the juxtaposition of the three notions – information, education, communication – in a single symbolic acronym, IEC, can cause confusion. The ideas of ‘information’ and ‘education’ can be interpreted as knowledge and practices handed down, justified by some cognitive deficiency, not always clearly identified, that has to be filled. Communication refers to an approach or interactive generic method by means of which different messages or incitements can be conveyed, circulated and made significant. In other words, although partly informative, communication can seek to incite feelings (fear, desire, social conformity and so on), arouse interests, without in any way having an “educational” tone. Nevertheless, the objective is the same: win the observance of certain protective behaviour. Nothing can predict in advance the kind of motivation, depending on the situation, that will be the most effective.

MESSAGE DEFINITION

The historical and socio-cultural context of a communication campaign, and also the epidemiological situation in which it is run (emergence, epidemic, endemic, or strong suspicion of disease) and the nature of the vector system concerned play a decisive role in the perceptions held about risks from vectors and from control measures against them. The choice of messages must therefore take them into account.

In general, determination of the objective and content of the communication campaign must be founded on an as accurate a knowledge as possible of the perceptions, representations, knowledge, beliefs, values and practices of the populations exposed to vector risk and affected by vector control. A number of questions must first be answered: What aspect or dimension of the risk is aimed at by the control campaign? Who does it target (target groups or all the public)? How is it intended to achieve the objective of better efficiency/acceptability?

In summary, if communication is to be effective it must be conceived as a product derived from knowledge appertaining to a given risk situation, in a given context. Such knowledge concerns the perceptions of the public, both

of the vector risk and the relative benefits/risks of vector control. It may be, for example, that people's "beliefs" move in opposition to the proven scientific reality. During the chikungunya epidemic in 2005-2006, for instance, a survey done in May 2006 revealed that nearly 25% of the population doubted the assertion that the mosquito was the only cause (for references, see CD-ROM).

DIFFERENT TYPES OF VECTOR CONTROL AND ASSOCIATED PERCEPTIONS

There is no *single* perception of vector control but many different ones attached to each of the methods of action and to which are added other differentiating factors like cost, perceived danger and various constraints (such as environmental, living conditions, level of development).

The approaches or techniques of vector control are, in concrete terms, divided along three main lines:

- environmental prophylactic measures: the approach consists of eliminating the breeding grounds and all physical factors that encourage their presence and proliferation;
- mechanical chemical control: this aims to destroy the mosquito (in aquatic and aerial stages) using chemical tools (insecticides) or biological ones (with bacteria, predators and so on);
- personal protection: mosquito-repellent body creams or other physical means (mosquito nets, air conditioning) or chemical methods (such as room scenters, fly strips).

Each of these techniques, set in operation by different actors, is covered in information, education, awareness-raising and mobilization actions, and also in health education, and by means of communication programmes. This great diversity of tools and actors means that vector control seems largely influenced by the distribution of responsibilities for their implementation (collective and/or individual, institutional or social, local or national)

Individuals in fact choose one or more of the methods available, most often following a subjective assessment of the cost/desired benefits balance, thinking that they are then protected against mosquito bites. Concerning the subjective evaluation of the benefit/risk balance, an abundant literature sheds light on the inverse relationship between judgment of risk and judgment of the benefits of an item of technology, a medicine, for instance (see

Eight questions as a prerequisite for a successful communication campaign

- How is vector control perceived in a situation of vector risk? If there is no proven vector risk, how is the communication action perceived?
- What is the perception of vector risk and of the risks from vector control? And of the different means used? What are the risk trade-offs?
- What relations are there between the perception of vector risk and communication about vector control?
- What are the most promising actions in the field?
- Community participation/mobilization: what are the hopes and practices?
- What is known about communication on vector risk and its impacts?
- Public communication and media communication: complementary or discordant?
- What are the proposals for improving communication on risk in relation to vector control?

CD-ROM). One of the objectives of communication on vector control is precisely to make the benefits more clearly visible, involving: the complementary nature of the three lines of control, the respective specificities, efficiency as a function of the contexts and the risks run by misuses of each.

Conclusion: it is neither appropriate to separate arbitrarily the perceptions of vector risk from the different perceptions of vector control, nor to isolate communication programmes from vector control. Naturally, here it is a matter of arriving at the conditions necessary for obtaining the desired changes in behaviour, but these conditions are not always sufficient.

CASE HISTORIES

In the following examples, a partial response is made to some of the vital pre-campaign questions to be raised (see Box). For other questions, more research is needed. These presentations are based on the literature and on recent surveys (for further information on each example, see CD-ROM).

Martinique

Perception of the effectiveness of the different protective methods (on a scale from 0 to 10) varies in considerable proportions, as shown in Figure 1, which results from a survey published in 2008. In particular, the people

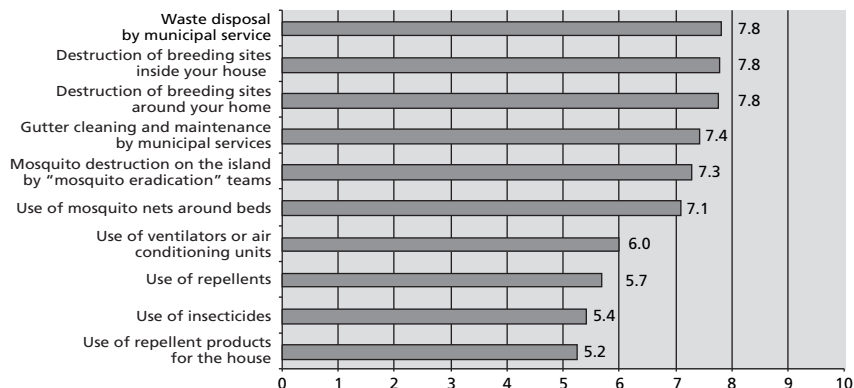


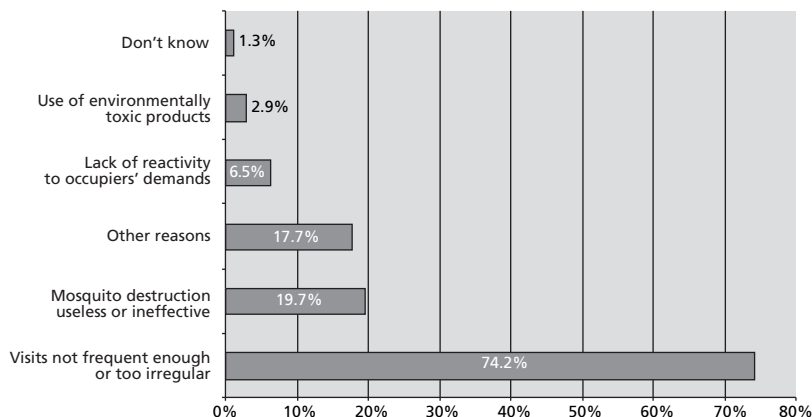
Figure 1

Perceived effectiveness of different protective measures

answering appear to endorse environmental protection methods. Indeed, such techniques probably have considerable influence on the presence of the disease vector in their habitat. However, at the same time they do not depend on them (at least not completely): most prophylactic measures proposed are implemented by the public services. The surveys therefore bring the weight of the responsibility for prevention – not on their own actions but on those of the local authority (mosquito destruction services), at least to a certain extent.

Figure 2

Why are you not satisfied with mosquito destruction?



On the whole, most of the respondents appeared satisfied with the mosquito destruction services (about 2/3 of them). But what were the reasons for the dissatisfaction of the other third of them? The questionnaire included an open question for their intention. As Figure 2 testifies, a large majority criticised mosquito destruction (insufficient frequency or incomprehension of the rules for distribution). A small minority thought it to be useless and/or toxic for the environment. That could be interpreted as a minimization of the mosquito cause.

Reunion Island

A survey report published in 2006 shows that, of the three types of collective measures – vector control by people from metropolitan France/vector control by local people/waste disposal, disposal of bulky waste and scrap cars – the third was perceived as the most effective.

As for their perception of danger of insecticides for humans, the fauna and flora, which is noted on a scale from 0 (not dangerous) to 10 (very dangerous), they find that the risk is highest for animal and human health, and slightly higher for animals (probably stemming from media coverage of many cases of poisoning of domestic or farm animals during the survey period).

Certain human diseases are seen as being associated with insecticides. These include respiratory diseases and skin complaints considered as benign (such as asthma, allergies, dermatosis), serious illnesses such as cancer for only a minority of respondents (23%). However, in general chikungunya seems to cause much more concern than diseases potentially linked to the use of insecticides to control it.

Mayotte

A survey run at the end of 2007 recorded 94.6% of positive replies to the question as to whether or not it is useful to employ insecticides. The comparative study of perceptions to different protection measures showed a clear preference for mosquito nets rather than chemical products (diffusers, repellents and so on), as Figure 3 shows.

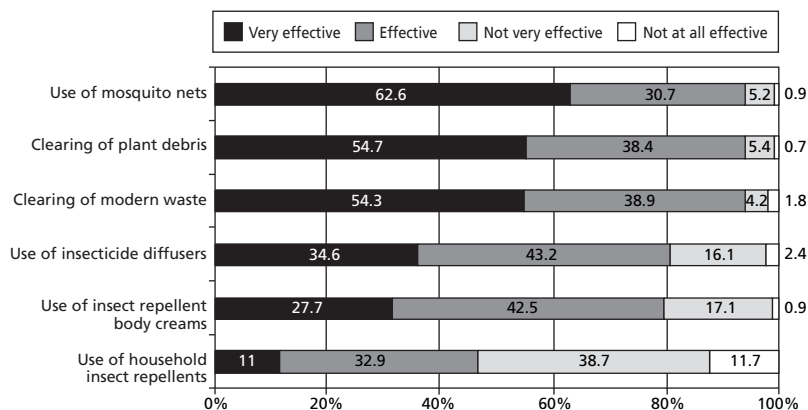


Figure 3

Perception of effectiveness of six protection measures

In the absence of vector risk

A certain number of studies conducted in metropolitan France have shown that, when there is no vector risk, the question of mosquitoes and mosquito destruction is a subject that arouses contradictory arguments among the actors involved. This reveals a complex, changing social reality. The conclusions of these studies showed that while the people questioned admitted to be troubled by mosquitoes they were used to them, that the mosquito was certainly a nuisance, but also useful for nature. They were rather in favour of mosquito destruction but wished to preserve "natural" areas. The authors concluded, underlining this indecisive attitude among a fair majority of respondents, that this opinion "is an indication in individuals of a coexistence between anthropocentric and biocentric references".

The actions taken and the information and communication concerning them are most often conducted in close cooperation between the EID services and the municipal hygiene and health departments of the large towns and cities: see, for example, the Web sites of Lyon, Cannes, Bourg-en-Bresse. These sites generally inform about the implementation of nuisance organism control, pointing out that the animals in question (insects, rodents) can carry diseases and that this control effort is made as part of a "cleanliness and public health" approach.

In the literature

Some studies deal with the role of the media, on the shaping of individuals' judgment in the face of unknown risk like that which is linked to pesticides, or on the impact of communication campaigns (for further information, with references, see CD-ROM).

Concerning the media, an American study (2002) focused on their role in the construction of the perception of risk of insecticides in control of West Nile virus (WNV). The result: there was insufficient information on the risks linked to pesticides and on the risks of exposure to pesticides vs those linked to WNV. The same observation was made for information on the effectiveness of spraying and their cost vs that of WNV encephalitis. The control effort against WNV is a perfect illustration of the risk trade-off and only a comparative assessment could enable the public to judge the pertinence of this anti-vector campaign.

The development of the judgment individuals have about an unknown risk (that is, a new one) is the subject of another study which showed that the subjective assessment of an unknown risk (in this case, risk associated with pesticides) is built up from the association with other risks (known ones): one talks of associated risks. Hence the suggestion to base communication on "mental models".

As for the impact of communication campaigns, a study focusing on the control of proliferation of *Aedes aegypti* breeding-sites brings out a paradox: the impact on breeding sites of an *educational communication* action would be more effective than that of malathion spraying, even when the two methods are combined. The interpretation: the association of insecticide spraying would generate a (false) sense of protection.

COMMUNICATION: ABOUT WHAT AND HOW?

Little or no research deals with communication on vector control. However, publications do exist that concern communication about the risk of infectious diseases or on vector risk, which have the same base.

A British study (2000) demonstrated to what extent the impact of communication (on the perception of risk in general) depends on complex inter-

actions between the audience characteristics, the source of the messages and its content. The content should therefore have the following attributes:

- capable of hooking the attention;
- comprehensible;
- aim to influence the decision;
- free of ambiguities;
- easy to interpret in order to influence the decision of the target.

Confidence also plays an important role in that it is associated with the expertise of the source, with its unbiased character and not aiming for the sensational effect.

Conclusion: the qualities necessary for maximizing the impact of the communication are often difficult to bring together owing to the scientific uncertainty.

The case of SARS, like those of chikungunya and dengue, shows in particular that the public tends to determine its behaviour from its perception of the risk (and not on the real risk) in the context of strong uncertainties regarding the transmission routes of the infection, on its gravity, the treatments available and on the ability for individual control. Individuals often base their decisions on the behaviour of others, especially if the information that reaches them results from opinions rather than science.

An American study (2006) has shown, for example, that Canadian media circulated information that was often contradictory (for example, that SARS is a dangerous threat but a distant one) or confused. Improvement to communication will be made possible by a fine knowledge of the public's perceptions, but also other governmental actors: how do individuals assess their own exposure to risk? In what way do perceptions affect behaviour? What effects do the different strategies implemented have on perceptions?

FIELD CAMPAIGNS

A host of actions have been undertaken in the field, notably at the time of the chikungunya epidemic in Reunion Island (see Box, and for more details or other examples, see CD-ROM)

Networks of information, education and communication on vector control

Following on from the Combi workshop held by WHO in Reunion from 19 to 28 June 2006, the Regional Health and Social Affairs Service (DRASS) devised a Social Mobilization Plan, from September 2006, hinged on five major lines of action: institutional mobilization, community mobilization, public information campaigns, inter-personal communication and promotion of information points. The objectives pursued concern the adoption of three individual behaviours, complementary to the vector control, the epidemiological watch and the offer of health care:

- daily inspection by every household of the immediate vicinity of their home in order to eliminate all potential breeding sites;
- self-declaration by telephone, using a special Green Number, by all persons showing symptoms similar to chikungunya or dengue;
- use of individual protective measures (repellents, long clothes, mosquito nets) including, if infection occurs, in a period of viraemia.

Below is a summary of some strengths and weaknesses of this system:

■ *Follow-up and coordination of the networks*

- The large scale of the chikungunya epidemic prompted the federation of the associations and institutions operating in health education around health messages concerning vector control. The network nevertheless needs to have a stronger structure and activated for inter-epidemic periods.
- The training courses for relay-instructors have not always produced the results expected.
- The chikungunya crisis brought out the importance of the media in the circulation and delivery of messages, and therefore in people's degree of acceptance of vector control measures.

■ *Assessment of awareness-raising actions*

- To date there are hardly any assessment tools for measuring any "growth" in knowledge or change in behaviour.

■ *Competence of the actors of social mobilization*

- Health education cannot rely on amateurism: sessions for continuous training should be set up to consolidate the base for the different messages to be delivered, but also to ensure knowledge is updated.
- The ideal would be to devise a guide for health education on vector control. The National Institute for Prevention and Education for Health (INPES) could be called upon.

■ *Improvement of health education messages*

- Vector control messages, especially after the chikungunya crisis, are sometimes perceived negatively.
- In the field, the messages are well integrated, but they are not applied. Understanding of the message does not imply implementation. What is the solution?

Community participation

The WHO, strongly attached to community-based effort for vector control, has drawn up a social mobilization plan encouraging actions that take into account the public's perceptions and wishes. At present, there are few works that allow impacts to be assessed. However, two studies are worth mentioning: one concerning the assessment of a programme in Porto Rico (2002), the other that of a programme run in Cuba (2004). The first showed a significant increase in knowledge and awareness among the public, but only a small number of changes to behaviour and limited changes in the larval indices. The second (2004) noted some results regarding perception and judgments on the value of community participation: the respondents recognize the utility and the obligation to take part (for social and political conformity?), but they severely criticise their leaders, judged to be more preoccupied by their own well-being than by problems of the community.

A number of criticisms also come out from other publications. For example, expectations would not be translated into the desired effects owing to the weight of the old paradigm (magic bullet). Hence the idea for a new paradigm, founded on a process of iterative learning. Another explanation that has been put forward: the ideological and political opposition between the pragmatists, in favour of utilitarian models of participation, and activists who promote the empowerment model. Finally, a recent article (2007) produced a meta-analysis of assessments published concerning community participation (11 studies selected). Its conclusion: evidence in favour of the effectiveness of a community approach, on its own or combined with other measures, is weak (see "Practices and methods", chapter 3).

Concerning educational communication, some people call for the development of the "science-based communication and assessment for policy making toward sustainable health and ecosystem" by way of the setting-up of Centres of excellence for research and training in ecology and health. As for the question of generalist vs targeted communication, the reply comes out of the identification of the most exposed or the most vulnerable social groups: there would not be much sense in promoting solely generalist (undifferentiated) campaigns if one opted for the paradigm of basing communication on the knowledge of the perceptions and their distribution.

Among the campaigns organized, must be mentioned the annual Kass Moustik Day, the result of the work of a collective of associations, personalities and institutions working to further public participation. This special day is designed to be a high point of education and community mobilization around the destruction of breeding sites. It is considered to be a success by the local parties involved. It takes place on the eve of the Day of the Dead and participates in the same spirit that activates the Toussaint (All Saints)

operation in Martinique. However, assessment of this (on the basis of the Breteau index) shows at once a noticeable effect and a return to the previous situation after a number of weeks.

Moreover, a report on the problem of dengue in the DFAs, produced by the IRD in 2003, emphasizes the necessity now to call upon community participation (see Box). This same report identified some actions considered to be only weakly conclusive: household visits of agents of mosquito destruction services, public information meetings and particularly the pilot mobilization project for municipal managers of the town of Schoelcher, qualified as a failure. Conversely, the presence of information stands in public places or coinciding with events (like the Toussaint operation) and educational campaigns for schools have been shown to be effective;

More generally, it appears more and more essential to associate all the actors involved, set up networks, encourage transverse efforts, develop training and take informal structures into account. When partnerships are established, the classifications must also be rethought. Rather than being based on the categories individual/associative/institutional, it would be preferable to think in terms of strategic issues: partners based on proximity, interest, or opinion. The latter category is becoming inevitable, "in that the mosquito destruction services will be obliged to move up to another scale in terms of communication" (source: expert report 2003).

RECOMMENDATIONS

■ General proposals for structural improvement

- Base vector-control communication programmes on the identification of perceptions, beliefs and practices using data from representative surveys among populations exposed to vector risk, taking into account confirmed existing knowledge.
- Organize vector-control communication to allow better monitoring of the utility/efficacy of the different methods and tools used according to the level of vector risk.
- Decide on the content of the communication programme according to the socio-cultural and epidemiological contexts and the vectors present, so that social groups can be targeted in line with the risk factors and people's vulnerability and possible reservations about adopting protective behaviours.

RECOMMENDATIONS

- Develop interdisciplinary research using a social science basis as the core approach, in particular when studying populations exposed to mosquito bites where there is no vector risk of infectious diseases.
- Assess programmes of health communication and education according to their effect in prompting lasting change in perceptions and behaviour, not only in terms of memorizing information or knowledge gained.
- Assess programmes for developing community participation in vector control, using entomological and epidemiological indicators, and identify any obstacles to their efficacy or durability.
- In the case of the vector *Aedes albopictus*: the above recommendations are especially relevant to this mosquito. There is a risk in the coming years of colonization in French metropolitan departments like Hérault or Bouches-du-Rhône. Beyond purely technical aspects, communication messages and campaigns to prepare the public, political representatives and public health services for this likely colonization, or even a chikungunya or dengue epidemic, in France can be launched only on the basis of prior studies undertaken in the exposed population.

■ Operational proposals

- Establish a central platform (INPES) for developing a set of methods and an approach to communication and health education concerning vector control. This will allow work on the content of model messages, assessment of the best communication vehicles, contribution to be made to training of instructors and provide continuous training for agents working in these areas.
- Set up a social mobilization team attached to the governance structures proposed in this report (GIP/ARS) to achieve better coordination with technical aspects and initiatives engaged in by the associations, to assist with their realization and expansion (finance, message contents and so on).
- Organize regular communication with the media in order to reduce the elements of discord, where possible, by providing real-time information, especially when warnings have been raised or at times of epidemic outbreaks.
- Develop a strategic communication plan that can be used in case of an epidemic, and quickly put into practice to fit the situations created as the outbreak progresses.

Assessment of vector control

There are several definitions of the notion of assessment in public health fields, all of them more-or-less convergent. This is true whether they come from ANAES (French National Health Accreditation and Assessment Agency), WHO, OECD and so on. Generally speaking, assessment takes reference from an approach distinct from follow-up, surveillance and monitoring of activities. It is a "process of quantitative and qualitative analysis which consists in measuring their effects [...] in order to instigate corrections to certain points of the system." (source ANEAS).

The core of the account that follows concerns the operational assessment of the effectiveness of vector control actions concerning their entomological and epidemiological, economic and environmental components, with special regard to their unwanted side-effects. The importance and scope of such an assessment is a response to one of the following assignments (see Fig. 4): either assess the relevance and appropriateness of actions taken, or their consistency, their efficacy, or effectiveness, impact or consequences.

Assessments of health impact are essentially based on quantitative methods (epidemiology, biostatistics). Behavioural and social factors that concern vector control systems also merit assessment, which entails the application of qualitative methods used in human and social science research.

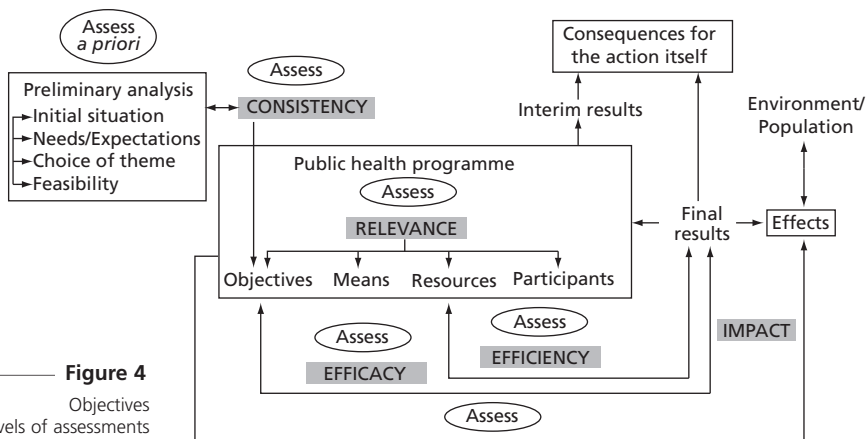


Figure 4

Objectives
and levels of assessments

Practices and methods⁸

Assessment consists of checking that the objectives of actions undertaken are being met, with the aid of the appropriate tools (see Box). The indicators used to assess the impact of vector control can therefore be direct (such as the morbidity index) or indirect ones (decrease in entomological indices, acquisition of protective behaviours), although the latter cannot necessarily be associated with a fall in morbidity;

Therein lies the great difficulty of vector control. The current indicators of effectiveness are not sufficiently well defined for every vector system and often have not been formally validated. The indicators for measuring the process performance and the cover achieved must therefore be adapted to the type of intervention (biomedically based, environmental, educational, behavioural or social). The spectrum of different vectors covered by control operations is wide and hence indicator choice will vary according with the nature of the measures employed.

Objectives of assessment

- Check that the actions undertaken have been carried out exactly as specified (process assessment).
- Check that the target population (human or vector) has been reached (target cover).
- Make sure that the desired health impact among the public (reduction of entomological indices, incidence of the disease and prevalence of parasitaemia and so on) has been produced (impact assessment).
- Verification that no serious undesirable effect (side-effects from insecticide use, for instance) has arisen that could be attributed to the operation conducted.

⁸ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 7: "What are the vector control assessment processes and approaches used?"

THEORETICAL FRAMEWORK

One of the issues concerning the assessment of the entomological and health impact of vector control is to know how much of a desired reduction in morbidity indicators (human or animal) has been achieved in the field, as a result of the actions performed. Another question is the quantification of such a decrease. Moreover, the proportions to which the observed impact is attributable to vector control must be determined.

These issues lead to two major assessment objectives. The first entails following-up a whole series of standardized pre-defined indicators, when the vector control is implemented, to check that the goals of the actions undertaken have been reached (see examples on CD-ROM). The second consists in judging how far the results observed can be attributed to the control programme realized. Therefore it is necessary to draw up a specific, experimental or quasi-experimental, assessment plan in order to answer this question.

These two major objectives relate to two different situations. The first is valid for cases where the action applied has already been drawn up under specific definition and standardization (involving indicators and thresholds) and where it is used regularly according to a definite plan. The second relates to a more experimental situation involving cases and controls, for which broad-scope innovatory actions are put in place (with new techniques, new insecticides or a new strategy) such as for large-scale treatment.

Theoretical model

The ideal theoretical model in epidemiology is the experimental model that allows comparison between two groups of individuals (human or animal) selected following a randomisation principle. Only one of the groups is subjected to the recommended action, so that all the differences between the two groups are then attributed to the action conducted. This ideal set-up is difficult to obtain, especially for vector control investigations. Either a case/control experimental system cannot be developed (an epidemic situation), or the study has to rely on indirect entomological indicators (with no close knowledge of relationships between entomological indicators, incidence and risk).

Table 8 – Basic set-up for experimental model

	Measure before vector control programme	Exposure to vector control programme	Measure after vector control programme
Experimental group	O_1	X	O_3
Control group	O_2		O_4

The values O_i designate observations made before and after programme X. Formulae of the type $O_1 - O_2$ must be interpreted as theoretical indications rather than deviations between the two observations. In the ideal assessment model, the result attributable to the programme is evidently $O_3 - O_4$.

Nevertheless this model is useful for the purposes of comparison and explanation (see Table). It can serve as underlying proof for deciding whether or not results can be attributed to a programme for all the assessment models. If identification of the causal inferences is required, identical groups must be “compared”, except for exposure to a programme (before and after). In experimental (or random) models, an attempt is made to ensure the initial equivalence of the two groups by randomly distributing the individuals into two experimental groups, one of participants and the other a control group. And so the two groups to compare are equivalent ($O_1 = O_2$).

Of course, the validity of the model, in other words its ability to provide elements for drawing conclusions on whether or not the result observed can be attributed to the programme, is strengthened by the fact that there is a control group and “before” and “after” measurements (see the details on the control groups on CD-ROM). If a non-random control group is used, the model is “quasi-experimental”.

Examples of application

Examples of application of this “experimental” model to vector control are the subject of a number of publications (referenced in the database PubMed). This is particularly the case for trials of randomized community operations in the assessment of the health impact of a range of strategies, including assessment of insecticide-impregnated mosquito nets (against malaria, dengue), and an assessment project on a method of household protection by a screen

against mosquito bites in Gambia. Some quasi-experimental assessments have also been conducted: assessment of an aerial adulticide treatment operation against *Culex* during a West Nile virus epidemic, assessment of impregnated and non-impregnated mosquito nets, of an insecticide treatment against malaria for housing, and of a combination of these measures.

Other publications deal with the case where surveillance contributes to the pragmatic assessment (monitoring) in parallel with the implementation of a more-or-less complex control programme (for example, the treatment of bouts of malaria combined with the use of impregnated mosquito nets). Still others focus on the process or on the actions conducted for children (see the details on CD-ROM).

There have also been some systematic reviews of scientific literature regarding vector control strategies (see CD-ROM). The conclusion of one of them challenges the evidence sometimes accepted for the efficacy of a community approach (on this approach, see also the Box on "Community participation" in the chapter "Perception of risk in relation to vector control communication").

ASSESSMENT OF VECTOR CONTROL IN FRANCE

The account that follows is the fruit of a detailed consultation of the scientific literature on the databases (*Current Contents*, PubMed, Medline, *Science direct*) and RESE (Réseau d'échanges santé environnement, 'Health and Environment Exchange Network') and also of an examination of mission reports of the IGAS (Inspection Générale des Affaires Sociales, 'General Inspectorate for Social Affairs' or the IRD group report on dengue in the French Departments of America (2003) and foreign literature. Finally, a report by a public health engineer published in October 2008 (source: Julien Fecherolle) seems to give the most exhaustive and all-embracing review of the French situation.

State of the art

The State of the art of assessments on vector control in French territory shows up a relative paucity of literature. There are many studies on the efficiency of a measure (insecticide, impregnated mosquito net, repellent). The

sector of research on the assessment of new biological means has been developing strongly over the past number of years. However, no article specifies clearly the methods and tools to use for assessing the effectiveness of vector control in the country. The existing documents come from WHO (protocols to follow, relevant indicators). The collaborative centre for WHO on French territory is IRD's unit 'Caractérisation de contrôle des populations de vecteurs'. Its major purpose is to determine, in the laboratory and through field work in Africa, the effectiveness and persistence of insecticides and materials that could be used in public health measures against mosquitoes.

What indicators?

Most of the entomological indicators concern *Aedes aegypti* (and by extension *Aedes albopictus*). No indicator exists for anopheline vectors of malaria, ticks or culicoids and so on. Some RESE documents give reports on assessment practices, but these have often been applied under the pressure of crisis conditions, notably at the time of the 2005-2006 chikungunya epidemic in Reunion Island. However, the IRD group report cited previously gives the basic elements for assessments of control actions against *Aedes aegypti*. Although no detailed methodology is given, the report emphasizes the indicators to be used to measure vector density. In fact, if there are no indications on the epidemic risk, vector abundance estimation and follow-up are essential for subsequent assessment of vector control actions: variations in this parameter then represent a criterion of efficiency.

In order to do this, there remains the question of sampling. Where human pathologies are concerned, sampling of females coming to bite an individual is *a priori* the sole method that enables investigators to count and examine them at the moment they might transmit the virus. Yet there are two major drawbacks to this way of sampling. For one thing, there must be a large number of surveillance points. The other disadvantage is the non-negligible risk of transmission of the dengue virus to the survey operators, hardly acceptable on ethical grounds. Experiments on traps substituting for the "human bait" have therefore been run (CO₂ traps, egg-laying traps, mosquito net traps, and traps with animal baits). Although this is only an approximate form of follow-up, it gives some idea of the densities of populations and their variations in time and space. As for diseases transmitted by ticks to humans, and also especially to livestock, the sampling methods must still be improved and the indicators better defined (in terms of presence, density, threshold).

Another means of assessing vector density is the sampling of pre-imaginal populations. That is possible essentially for mosquitoes. In this regard, exhaustive counting of larvae, even limited to samples from breeding sites, is extremely long and tiresome. The WHO criteria, used throughout the world, lie rather on the assessment of the number of breeding sites harbouring larvae (on the basis of sampling from districts or housing). The three criteria commonly used up to now are the house index, the Breteau index and the container index. Breeding site productivity is nevertheless highly disparate, depending on their location (flower pot, water container). This prompted the proposal of a new index, the productivity index or weighted Breteau index, whose generalized use has been recommended by the IRD expert report.

What regulations?

The reform introduced by article 72 of law n° 2004-803 very precisely confers the responsibility for entomological follow-up to the State. It is moreover stipulated in article R. 3114-5 “the entomological surveillance of insect vectors and in particular the surveillance of resistance of these to insecticide products [...] remains within the competence of the prefect”. It is for the State therefore to ensure the efficacy of these products. Nevertheless, the latter does not always have this competence at its disposal. It can therefore transfer this responsibility by order to the service in charge of control.

An example is: article 11 of the prefectural order of Haute-Corse bearing on the delimitation of mosquito control zones (mainly of *Aedes albopictus*) emphasizes that “the services in charge of mosquito control undertake a follow-up of control actions with monthly checking of the effectiveness of the treatment in terms of breeding site productivity, this information being recorded on the site report sheet. They send the prefect the information necessary for assessing the system and notably, the information [...] regarding vector sensitivity” (source: DASS of Haute-Corse, 2007). Logically, this information must be sent to the Departmental Health and Social Affairs Service (DDASS).

Finally, in the framework of the anti-proliferation plan against chikungunya and dengue in metropolitan France, the objective of entomological surveillance is “in areas where the mosquito has been identified or indeed is installed, to estimate the density of vectors and follow up the effectiveness

of proliferation control actions" (source: sheet 1 relating to entomological surveillance).

What deficiencies?

The report of the interministerial mission, jointly involving the Inspection générale de l'administration (IGA), IGAS and the Inspection Générale de l'Environnement (IGE), which examined the reorganization of the vector control services (2006) observed "the flagrant lack of methods and tools for assessing the effectiveness of vector control". It adds: "To date there is nothing to demonstrate that it is effective".

The same year, and during the chikungunya epidemic, another report from a support mission against the chikungunya epidemic in Reunion Island brought up the difficulty of assessing the effectiveness of the actions undertaken. The authors denounce "the lack of tools for following-up the vector densities" and "the absence of data on the sensitivity of the vector *Aedes albopictus*".

Publication of a specialist review

The first review giving an exhaustive account of the French situation was published recently (October 2008). The enquiry, conducted by Julien Fecherolle in the context of his health engineering report, had the main objectives of asking the services if and how they assessed the effectiveness of their actions, on the one hand, and to learn about their expectations regarding assessment, on the other. This enquiry was based on a questionnaire sent to the persons concerned (about 20 open questions, see CD-ROM) and on telephone interviews. The questions essentially dealt with assessment concerning the entomological aspects. Others related to assessment of the structure (in terms of equipment and facilities, also the level of knowledge of operators) and processes have been added.

The services contacted were those most strongly involved in the operational side of vector control and mosquito destruction (according to the law of 13 August 2004), amounting to 16 in all: public mosquito-eradication organizations in mainland metropolitan France, département councils and bodies belonging to the Ministry of Health for Corse-du-Sud, Mayotte, Guadeloupe, Martinique and French Guiana. French Polynesia, New Caledonia, Wallis-and-Futuna were not called on to participate in the enquiry.

This work was a means of asking services about the frequencies and expected results of effectiveness assessment of actions in favour of the operational objectives of vector control, on assessment methods of the efficacy of actions taken (entomological and sociological indicators, thresholds and measurement methods for *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, the *Anopheles* and nuisance mosquitoes, sensitivity to insecticides and effectiveness of bio-cidal products) and on assessment of personnel and facilities and equipment (see the results of the enquiry by operator and by vector species on CD-ROM).

LESSONS FROM THE SITUATION IN FRANCE

The assessment of public health actions involves a culture of assessment and a specific methodological approach which have always been the prerogative of English-speaking countries. However, in France a structural deficiency exists in this domain, including for vector control.

In the veterinary services field, everything remains to be done: there is no assessment structure for veterinary aspects of vector control. Local or individual vector control actions cannot be assessed, as no national or regional strategy or direction, or indicators, exist.

There is no assessment culture in France, nor any experience sharing in public health, and even less so for vector control which was not a priority issue until recent years. Assessment involves multidisciplinary approaches with an external view: with actors in such fields as vector control, human and animal health, the environment, and also qualitative and quantitative disciplines.

Different services have different conceptions of assessment, as well as widely differing knowledge and interpretations of efficacy assessment. This was one aspect revealed by Julien Fecherolle's enquiry: services do not all use the same terms to explain the same things. Assessment of public health actions requires a culture and method that are not rooted in the vector control services in France.

The actors confuse "follow-up" and "assessment". The same enquiry shows that the actors involved do not distinguish between the continuous follow-up of indicators and the assessment of the effectiveness of actions taken. But the idea is not just to obtain entomological data and collect them,

but also to analyse, compare and interpret them. In other words, it is to make the information “live” so that a judgment can be made. and a certain number of deficiencies are particularly detrimental: few tools exist, and regulatory texts are sometimes difficult to interpret (some talk of an “effectiveness follow-up”, others of “assessment of the system” and so on). In short, it is too rare that the operational objectives are clearly defined and measurable, which makes it difficult to fix a threshold for efficacy. Indicators are sometimes non-existent or unreliable and the degree to which they are really appropriate is rarely checked. They are also as varied as the local entomological and epidemiological situations that occur. Mosquito density and complaints about them are nevertheless relevant criteria, but need improving.

The recommendations are not always applied. This is the case of the recommendations proposed by the group expertise report on dengue in the DFAs which were only partly put into practice. Yet these recommendations were relevant for the follow-up and assessment of the effectiveness of vector control actions against *Aedes aegypti*. The same applies to those put forward by the IGA-IGAS-IGE mission of 2006. For example, the use of the weighted Breteau index has still not been made general practice in the DFAs.

Some encouraging experiences deserve to be mentioned, however. Assessments have been conducted sporadically: on “Kass moustique” in Reunion Island, the “Toussaint” events in Guadeloupe. These assessments have sometimes had an effect. One of them was to create the weighted Breteau index in Martinique. In metropolitan France the EID Méditerranée has promising prospects and is applying considerable means for assessing the efficacy and impact of mosquito destruction operations and as a result some operational research on trapping methods is under way. Another case is in Reunion where the vector control service is currently working on the choice of indicators.

Several services have already practised assessment of the effectiveness of actions and have adjusted their protocols accordingly. Most of them are also aware that assessment is necessary for improving actions, and would like support with the implementation of assessment exercises.

RECOMMENDATIONS

■ Recall the basic rules of assessment

Even if no method of vector control or assessment has any universal value, a generic framework for operations assessment does exist. In particular, it is a three-phase process: information (collecting the information), evaluation (analyse the data, make a judgment), proposal (make recommendations for improvements).

■ Define the clearly measurable objectives and effectiveness indicators

Services cannot assess the efficacy of their actions unless they have clearly defined, measurable points of reference and operational objective, or without criteria or indicators of effectiveness that are recognized and validated by the scientific community. In the short term, the State, which defines the national strategy, should fix, according to the ARSs (and GIPs), priorities, measurable operational objectives that must be achieved, indicators and the means of assessing these actions, by calling on expert opinion. The operational actors must take the same rules and harmonized reference texts.

■ Reinforce research on indicators

The State must organize the setting-up of a multidisciplinary committee of experts in public health, veterinary health and the environment, in order to define the epidemiological and entomological indicators essential for assessing vector control in different vector systems.

■ Improve entomological surveillance tools and the follow-up of effectiveness

Improvement in data acquisition is a major point for optimizing the control of vector-borne diseases. Traceability of vector control actions, rigorous recording of data and their statistical analysis must all be assured.

■ Develop partnerships and networks

The processes involved in defining objectives and indicators, their interpretations, analyses and possible corrections are often complex. Moreover, some kinds of expertise are rare and should be shared. The same applies to training. More strongly formulated networks must therefore be put in place involving actors of research, vector control operators and decision-makers.

[...]

RECOMMENDATIONS

[...]

The Vector Centre currently being founded, on the initiative of the IRD, CIRAD, the University of Montpellier and EID Méditerranée, in partnership with the Department of Health (DGS), the 'Agence Française de Sécurité Sanitaire Environnementale et du Travail, 'French Agency for Environmental Health Security and Safety at Work', (AFSSET) and the Institut de Veille Sanitaire, or 'Health Surveillance Institute' (InVS) should optimize the development of entomological expertise and provide guidance for the services. The ADEGE could also play an important role (in training, information exchange, cross-disciplinary audits).

Economic assessment: France lags behind⁹

Various reports have often stressed that French public and veterinary health policies suffer from a serious deficiency in assessment, especially of the economic dimension. That is particularly true for vector control. The case of bluetongue disease in ovines is a symbolic example. At present it is almost impossible to assess quantitatively the losses linked to the epizootic disease, whether direct (deaths, weight loss, fall in milk production, fertility problems and abortions) or indirect (stemming from circulation or animal trading restrictions, confinement to farms of animals earmarked for export). For this reason, in March 2008, the Ministry of Agriculture and Fisheries set in place a national observatory devoted to ensuring a better follow-up and better assessment of the economic repercussions of bluetongue.

As a prelude to the account that follows, it is important to point out that the notions of “economic assessment of vector-borne disease” and “assessment of vector control”, although closely linked, are not equivalent. The costs of vector control (or direct costs) represent part of the overall costs of the disease. Moreover, when assessment is made of the costs/advantages of vector control, it is important to be able to evaluate the “cost-effectiveness” of the expenditure committed in relation to those that would be required for other public health strategies. Economic analysis of vector control will inevitably therefore make reference to the economic burden imposed by the disease in question.

OBJECTIVES AND METHODS

Both public and private decision-makers have the task of deciding the allocation of resources by definition limited to health actions considered as priority elements. How then are these priorities determined? The economic

⁹ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 8: “What economic approaches are used in vector control?”.

assessment of vector control aims precisely to provide them with a set of criteria so that they can base their decisions on the costs and consequences of the different possible options and finally compare these competing choices.

The purpose of economic assessment

The purpose of economic assessment is to go beyond the straightforward “intuitive” assessment and to bring into evidence the competing strategies, on the one hand, and the influence of the choice of view point of the study, on the other. Strategies can be identified only by means of a systematic description of acts of prevention, treatment, types of organization and so on but, thus far the analyses done in France have not followed this approach. As for the second aspect, it appears that in France only the point of view of public operators is considered, rarely that of the company or other, which would probably lead to a different health strategy.

Finally, economic assessment gives a conclusion in conformity with the principles of economic calculation: the “best” decision is decided on the basis of its opportunity cost and not on its cost purely in the accounting sense (the best decision has the lowest opportunity cost).

The methods of economic assessment

The methods of economic assessment can be grouped into three categories, according to whether the consequences are measured in physical, monetary or subjective terms. Economic assessment of vector control generally consists in establishing for each health strategy a relation between costs and the consequences of this strategy. Cost-effectiveness analysis is probably the simplest to apply and hence the most used.

Cost-effectiveness analysis

The most appropriate strategy is not necessarily the least costly but the one that produces the best effect for the smallest cost. For the different prospective control options, a common measure of effectiveness (number of years of life gained, number of cases avoided, and so on) must be associated to obtain a cost per unit of effect (for example X Euros per year of life gained) or, in an equivalent way, an effect per unit cost (for example, number of years of life gained per Euro spent). The cost-effectiveness analysis allows intra-national and international comparisons to be made if the measure of effectiveness used is the same.

Cost-benefit analysis

If the consequences of the different strategies considered are not identical or if more than one effect is expected for at least one strategy, a cost-effectiveness analysis would not be appropriate (see CD-ROM). The idea is then to incorporate the different criteria by referring to a common monetary denominator (criteria such as the number of years of life gained, cases of disease avoided and so on are converted into a monetary unit). Consequences and costs of the different strategies are thus expressed in one and the same (monetary) unit and either the cost/benefit ratios or the net benefits of implementing the strategies can be used. This approach can prove to be especially suitable for measuring the impact of unwanted side-effects of vector control and its acceptability for the community involved.

Cost-utility analysis

This method expresses the effects of health strategies in terms of preferences for individuals or for society. It is assumed that the economic agents have preferences or reach certain levels of satisfaction or utility regarding the states of health that the various strategies can attain. That comes down to standardizing in non-monetary terms the different effects to which these strategies lead (see CD-ROM). This type of analysis can be particularly well adapted if qualitative effects such as pain or comfort associated with treatments are integrated into the preoccupations of the study.

Prerequisites for application of these methods

The cost-advantage analyses described use measures of the costs and effects of health. Analysis of costs necessitates data on the costs of consumption of resources for medical treatment (medicines, travelling medical service, hospitalisation, equipment and so on) and vector control, but also on costs for the patient and his family. The measure of the efficacy of a strategy is established and measured as physical health effects or in monetary terms or as preferences.

ECONOMIC SITUATION AND VECTOR CONTROL

Before envisaging an economic assessment of vector-borne diseases of vector control, certain characteristics that might influence the way of proceeding must be mentioned.

The externalities and the connected concept of public good

The externalities and the connected concept of public good induce market deficiencies which highlight the importance of individual behaviour for the elaboration of vector control policies. An externality occurs when the activity of consumption or production of certain economic agents influences, positively or negatively, the consumption or production of other agents, without this influence being expressed through prices. In the case of vector control, this can be such factors as the individual use of treated mosquito nets to reduce malaria transmission, poor upkeep of a garden that encourages vector proliferation. The problem comes from the fact that the externalities are not taken into account by the individuals who generate them through their choices. Private benefits and costs are thus not aligned on social benefits and costs (see CD-ROM).

The notion of public good (such as environment, education) can benefit everyone although certain agents cannot be excluded. One of the problems stems from the difficulty of prompting individuals to contribute to its production or its financing ("if I benefit from it anyway, why would I contribute to it?"). Examples of contributions to the public good related to vector control include epidemic surveillance, insecticide spraying, environmental management, or health education. The production of environmental type public goods (global public goods) depends on smaller individual contributions.

Asymmetries of information

Asymmetries of information are also a decisive factor for vector control assessment. Typically, some agents (households, patients, stockbreeders) have less information at hand than others (health professionals, the State, local authorities) on the diverse aspects of such control. This information deficiency can lead households not to adopt sound preventive practices or leave animals unvaccinated.

Public intervention

Public intervention is necessary in order to compensate for the three market deficiencies just mentioned, whether by provision of the vector control service directly by the State, or by delegation of part of the control effort to other agents. Such intervention can also materialize in the form of information and communication campaigns or as regulatory and/or legislative measures.

For private agents, incentive schemes could be offered by the State, especially mechanisms that might encourage their fullest involvement in providing public good (as subsidies for buying mosquito nets for instance). In cases where certain aspects of vector control are delegated to other agents (public or private), this delegation of management can in turn generate situations of ineffectiveness (moral hazard) which necessitates the provision of other incentive schemes.

From the assessor's point of view, the interests of private agents (households, care providers, pest-control companies) must be taken into account in the assessment of control strategies to integrate explicitly the basic economic characteristics that are the externalities, the public good and moral risk. If just the interest of the public financier were taken into account, some effects of the control efforts would be overestimated because these are dependent on the behaviour of private agents.

International standards

Most public studies in academic books and journals and by international organizations (WHO, World Bank) deal with anti-malaria control. Beyond that, economic assessments of vector control also concern dengue, Chagas disease, West Nile virus fever, chikungunya, Lyme disease and trypanosomiasis. Moreover, the studies most often look at countries with lower economic development and standard of living than French regions affected by these same diseases. The methodologies used and the number of lessons drawn from these studies can help improve the assessment of vector-borne diseases and of the systems deployed to control these diseases.

Macro- and microeconomic approaches

The macro- and microeconomic approaches for measuring the cost of disease are complementary. The micro- method is based on econometric study of the GDP growth rate, using vector-borne disease-related health indicators (like morbidity) as explanatory factors as well as the usual variables (location, type of economic organization). The macro- method, however, is founded on the disease's impact on the economic agents, both public and private: the individual effects noted are subsequently combined to obtain the overall effect (at regional level or for a whole country). The micro-economic approach helps grasp better the channels for transferring costs

and strategies to households, businesses and public agents. It is more suitable for examining an improvement of vector control strategies even though it cannot take accurate account of external effects.

Economic impact

Vector-borne diseases have an undeniable economic impact, as all the academic literature on the question shows. Countries affected by this type of disease indeed experience much weaker growth than the others.

Main channels of disease effect transmission to the economy

Humans hit by a vector-borne disease find their productivity weakened (owing to fatigue, absenteeism), and this creates a cost for the employer company. The productivity of a patient's family can also fall (helping the patient). The disease could also affect the accumulation of human capital, particularly in children (cognitive faculties are reduced).

The veterinary sector is subject to similar detrimental effects: animals in poor health, production losses, reproduction problems, but also depreciation in the value of wool or meat produced, fall in pulling power of oxen in areas under the risks from trypanosomes.

Direct investment made in countries affected by such diseases is seen as less profitable than elsewhere. In the long term there is a risk that investments will be diverted from an affected country. In parallel, a fall in tourism can be observed, whereas that sector is sometimes vital for these countries (Reunion Island, Mauritius).

Moreover, the presence of vector-borne diseases leads to a fall in trade exchanges and in individuals' mobility between infected and non-infected areas. This point is crucial for the veterinary field. The countries where regulation-covered diseases are rife see their exports blocked, leading to substantial indirect losses and possible destabilization of animal production sectors.

Choice of the cost-advantage analysis method

In international studies, the principal assessment method used to date for the economic impact of a vector-borne disease, and the most straightforward to apply, is cost-effectiveness analysis. However, it could be appropriate to turn towards cost-benefit analysis, especially for incorporating unwanted side-effects of vector control into the equation (environmental pollution for example).

Point of view adopted

The point of view adopted in these analyses is usually that of society. The interests of all the economic agents are therefore taken into consideration. It is essential also to include the point of view of private agents, as they are not only affected by vector-borne diseases, but also represent an important link in the vector-control chain. Thus, certain strategies will be judged more "efficient" if only the point of view of the State were to be considered, whereas their real effectiveness can be questioned if they engender higher costs for the private agents. That can lead to conclusions being considerably qualified, or sometimes even reversed (see an example in Sri Lanka on CD-ROM).

Measurement of costs of disease and of vector control

As has already been recalled, these two types of cost are closely interwoven. Expenditure linked to vector control will be considered as an investment aiming to reduce the costs associated with the economic burden of the disease. Expenses related to diseases include those linked to prevention, diagnosis and treatment.

Generally, direct costs are distinguished from indirect costs. Direct costs concern interventions and medical care supported by the public sector and private agents. Indirect costs, in the veterinary sphere, include losses in productivity due to disease and the consequences for the various production sectors. In public health these indirect costs are estimated by the income lost owing to disease or death of livestock. Ideally, certain more intangible effects, difficult to evaluate, should be added, such as the cost of pain.

Standardized measurements of effectiveness

Studies make increasing use of standardized measures of health effects, inspired by good practice guides on assessment issued by WHO or the World Bank. Among the classic measurements are: deaths averted (DA), or discounted life years gained (DLYG). However, the one currently most favoured is disability adjusted life years (DALY), proposed by the World Bank and WHO in 1993.

This is a non-monetary composite index which gives a figure for the impact of mortality and morbidity caused by disease, on the basis of an aggregation of "quantities" of time, abilities or professional activities lost. Some investigations use the DALYs even as a measure of the economic impact if there are no relevant data on costs. One of their main advantages is to avoid the use of monetary values associated with human lives (poten-

tially problematic from the ethical or moral point of view) and, through its standardization, to allow comparison with the DALYs for other diseases, countries or strategies.

However, no study opts for an intermediate measurement of effectiveness (for example the Breteau-type of vector density index).

Period and area of study

Studies favour covering a sufficiently long period to embrace endemic and epidemic phases, which gives the opportunity to incorporate the medium and long-term effects. In spatial terms, small study zones are more suitable for gathering accurate data on economic, epidemiological and entomological dimensions (allowing homogeneity).

Conclusion on cost-effectiveness analyses

The studies published in the literature are based on the measurement of what is possible during field surveys rather than on trials and simulation exercises, which guarantees quite robust results. They generally bring into evidence the economic impact of vector control actions and their effectiveness (in relation to control of other diseases).

ASSESSMENT OF VECTOR CONTROL IN FRANCE

In France and her territories economic assessment of vector-borne diseases is currently limited to a number of tentative elements.

Data collected

The data collected is limited to the costs borne by public sector vector control operators (the State, local authorities), with variable accuracy depending on the *département* involved (see CD-ROM). Yet accounting only for costs gives the public decision-maker a highly incomplete picture. In any case, these costs represent only part of the total expenditure. Costs incurred by private agents should be incorporated (owing particularly to incentives aimed at these agents), which moreover must be considered differently according to whether the point of view of the public sector or that of the company is adopted. Furthermore, the calculation of costs does not explicitly show up any depreciation for investment in capital or updating, and therefore cannot take account of any possible spreading of costs over time.

This leads to poor reliability, seeing that vector control is a process applied over the medium or long term.

Economic approach

When an economic approach does exist, it is restricted to the calculation of some extremely heterogeneous costs. Nevertheless some analyses of the impact of vector-borne diseases can be gleaned, such as that of INSEE Reunion (2006 and 2007) concerning the chikungunya epidemic's impact on the island's economy. However, its results, especially the finding that the crisis had only a low impact on growth, must be put into proper perspective for methodological reasons. In metropolitan France, it was an assessment of the economic consequences of bluetongue outbreaks on the grazing sector which was conducted. But there again this analysis does not lead to any figure for the overall cost of the disease for that sector (for more details on these two studies, see CD-ROM).

Vector control management scenarios

Scenarios for the management of vector control could be used as a basis for future assessment. The following three scenarios for organization of vector control have, for example, been devised for two départements? Guadeloupe and French Guiana: complete management of actions within the DSDS (Direction de la Santé et du Développement Social, or "Health and Social Development Department"); actions contracted out but risk assessment and verification of effectiveness of actions remaining with the DSDS; subcontracting of all aspects. However, they still suffer from a large number of inadequacies (see CD-ROM).

Economic analysis

Economic analysis of the organization of vector control entails taking a position in the framework of an "agency relation" or "Principal-Agent" relation, considering the delegation of management as established by the law of 13 August 2004 (see the chapter "Legislative and regulatory framework for vector control"): the Principal (the State) delegates to an agent (the département council and the municipal council for certain tasks). Generally, an agency relation is characterized by a situation where there is double asymmetry of information, the agent having private information at hand that the

Principal has not. In concrete terms, the département council or the municipality holds information (vector density, local health and hygiene situation) not available to the State. Moreover, the actions of the agent (the département council) taken in the context of its duties cannot be observed or verified by the Principal, the State here. Hence there is a risk of failings in behaviour of the agent, the possibility of conflicts of interest and so on (see CD-ROM).

In short, the problem for the State is that it does not have the information authorities hold at local level. Further, it cannot base itself on the level of result to infer information exclusively held by the agents, or again their level of effort, because the result in health terms follows an unpredictable process that falls partly outside the actions of the agent (it depends for example on the demographic situation of the vectors, their possible resistance to operations against them, the degree of immunity of individuals, the local effectiveness of biocidal products and so on). In the absence of exactly defined objectives and of any follow-up and assessment indicator, it is therefore difficult for the State to indict a département council or a municipality for bad management of vector control or attribute blame for an epidemic outbreak.

This situation of information deficit can lead to two types of inefficiency from the point of view of the State. The State's vector control strategy can be poorly adapted to the real conditions at local level. Or the level of vector control effort put in by the département council or the municipality is insufficient or inappropriate for the level the State expects of them in order to achieve its objectives. A solution for the first type of inefficiency would be to involve the local authorities more closely in defining the strategies. The second could be resolved by inserting in the "contractual" relationship an incentive mechanism encouraging the département council or the municipality to invest stronger or better adapted effort to meet the State's expectations.

An acceptable proposal would be to consider the département council and the municipality no longer as simply agents following orders but as principals in their own right. The State, the département council and the municipalities would form a committee which would take decisions on vector control strategy and implementation by common accord. A GIP type of structure could serve as this forum for cooperation, even if it is not perfect (there are risks of dilution of responsibility). Whatever the case may be, the form of organization is crucial because it could generate not only quite high agency costs, but also malfunctions in the implementation of vector control.

RECOMMENDATIONS

■ **The creation of a structure, group or network of experts** capable of conducting or driving the economic assessment of vector-borne diseases and of control against these diseases.

■ **Methods similar to those applied at international level should be adopted**, for measuring both the costs and effectiveness, so that decision-makers can make comparisons with other uses of resources.

■ **Reliable data are needed** on effectiveness and costs. That requires the identification of indicators, the instigation of enquiries and data gathering campaigns that are harmonized from one local authority to another and also at State level. Also essential is an examination of entomological indicators in the perspective of cost-effectiveness assessment. Access to data must also be made easier to allow more scientific research to be done on this aspect.

■ **Cost-effectiveness analysis must be used as a priority**, at least to begin with, as it is the most straightforward type of analysis to apply. This approach can be extended quite simply to take into consideration more intangible aspects such as acceptability and unwanted side-effects. There is a prospect in the medium term for applying more sophisticated assessment methods (cost-benefit or cost-utility analyses).

■ **The choice of the form of organization** for vector control must be examined in detail so that problems linked to delegation or malfunction in implementation can be kept to a minimum. Local authorities should be involved more closely because they have better information at their disposal than the State, and their participation in the strategic decision-making process will give them stronger incentive to work more fully in conjunction both with each other and the State services.

Unwanted side-effects of vector control¹⁰

The notion of unwanted side-effects (unwanted effects on non-target species) relates especially to control measures involving the use of biocidal products. Distinction is made between those that bear directly or indirectly on human and domestic animal health relating to toxicology, from those which affect different components of the environment (water, soil, air, fauna, flora), relating to the field of ecotoxicology. Since the implementation of the European directive 98/8/EC, known as the “biocide directive”, assessment of unwanted side-effects is compulsory for any active biocide substance and, eventually, for any formulated biocide product that contains it, prior to acquiring marketing authorization (see the section on Community law in the chapter “Legislative and regulatory framework for vector control”).

Standardized studies, mostly conducted in the laboratory, produce a prior classification of active substances and derived products by category of danger for health and the environment. Once the products are authorized and in use, other detailed studies, carried out mostly *in situ* and usually outside the field of regulatory requirements, often bring additional knowledge on the question and provide bases for subsequently adjusting the recommendations, or otherwise for restricting the use of the products concerned. The following pages are devoted exclusively to toxicological and ecotoxicological data on the major active biocidal substances, whether the effect be linked to their composition or the methods of application, on the basis of the literature and research performed over recent years.

TOXICITY AND ECOTOXICITY OF BIOCIDAL PRODUCTS

The main results covered here, necessarily summarized briefly, are based on the work of AFSSET, the French “Agency for Environmental Health and

¹⁰ In this chapter, the references to the CD-ROM concern question 9: “What are the unwanted side-effects of vector control?”.

Safety at Work”, on the whole set of certification documents (French and European) and on a large body of work of French and foreign (notably American and Canadian) agencies, institutes or laboratories.

Risk assessment

Risk assessment (in conformity with annex VI of directive 98/8/EC, taken up in annex VI of the French order of 19 May 2004) is conducted in three stages: identification of dangers, assessment of exposure, characterization of risks. Danger identification consists of characterizing the toxicity and ecotoxicity. Standardized protocols exist for performing specific toxicological and ecotoxicological studies. Published by the Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), they can help produce results with a maximum level of confidence. Other protocols can be followed, whose reliability is left to the assessors' judgment case-by-case.

The exposure assessment concerns not only the person who applies the product, those present at the time of treatment and the people presumed to be benefiting from the protection measures, but also the environment. Exposure depends on a number of factors, extremely variable depending on the situation. Among these could be mentioned: the type of formulation, packaging and presentation of the product, application method and dosage, frequency and exposure time and, in conditions of experimental investigations (in microcosm experiments for instance), the environmental conditions (both biotic and abiotic; see the procedures on CD-ROM).

Furthermore, human risk characterization requires comparison between the measured or estimated exposure dose with toxicological reference values (TRVs). Calculation of TRVs requires the choice of the most relevant toxicological effect and the application of safety factors for extrapolating the results of the experimental tests performed on the animal model (such as rat, rabbit, dog), for a determined time (21 days, 90 days, 2 years and so on) for a certain exposure route (oral, dermal, inhalation) to humans. The human risk is considered acceptable if the exposure dose is below the TRV. Environmental risk characterization entails comparing the measured or estimated exposure concentrations with the *Predicted No Effect Concentration* (PNEC), the environmental concentration below which the risk is considered to be acceptable.

Protection practices and measures

Good practices and measures for protection of operators exist under the regulations regarding the use of plant-protection pesticides (Public Health Code and Rural Code), which could be transposed by extension to anti-vector biocide products which have similar application methods. Moreover, most insecticides fall within the category of dangerous chemical agents, according to the provisions of the Work Code, and their use is subject to the general rules for chemical risk prevention, described in articles R. 231-54 to R. 231-54-17 of this Code. The regulatory provisions linked to the prevention of chemical risk are set out clearly in DRT circular n° 12 of 24 May 2006 relating to the general rules of prevention of chemical risk¹¹, and these should be referred to.

These rules aim to systematize – under the responsibility of every employer – the application of measures that can, in order of priority, assess the risk, remove it, help to apply the principle of substitution provided for by these regulations, and set in place prevention measures tailor-made for each working situation and for the level of risks observed.

The employer must conduct a follow-up of all product exposure events experienced by all the workers exposed, in line with these measures, specifically for chemical insecticide products. This he does by listing the workers exposed and establishing an exposure record sheet (R. 231-54-15). Furthermore, the workers exposed to chemical insecticides are placed under intensified medical surveillance as defined in articles R. 241-49 and R. 241-50 of the Work Code.

In parallel, the employer must put into operation all possible means of protection of workers against risks linked to the use of these products, in particular collective protective equipment or, failing that, appropriate, well maintained individual protection. That must be accompanied by information on the risk run plus training in the use of this equipment.

Since the setting-up of the Agence Nationale pour la Démoustication et la Gestion des Espaces Naturels Démoustiqués, the “National Agency for

¹¹ DRT Circular n° 12 of 24 May 2006 on general rules for chemical risk prevention and specific rules to apply against risk of exposure to carcinogenic, or mutagenic agents or those toxic for reproduction.

Mosquito Destruction and Management of Natural Areas", (ADEGE) in 1996, the public partner mosquito destruction operators have been applying more attention to compliance with rules of good practice, but also to the adoption of protective measures for their agents in charge of treatment operations.

Theme-specific information sheets, drawn up on the principle of a participatory approach, validated by decision of a joint technical committee, have found their place where oral instruction and experience on their own were sometimes judged sufficient. The individual protection equipment (IPE) is chosen after consultation with the user personnel. Some public mosquito destruction operators, such as EID Méditerranée, have recently taken on personnel to supervise the application of health and safety recommendations, or even a permanent manager for this. For the long term, the setting-up of a Quality Assurance plan (ISO9000 version 2000) is envisaged for the operational level in the same type of structure.

Toxicovigilance

Toxicovigilance data are useful as a basis for epidemiological studies. Toxicovigilance is the "surveillance of the toxic effects for humans of a substance, a preparation or polluting substance for the purpose of conducting actions for warning, prevention, training and information". It is now founded mainly on the network of Centres Antipoison et de Toxicovigilance, "Poison Control and Toxicovigilance Centres", (CAPTV). The InVS, in line with its duties to watch over health risks, was put in charge of coordinating toxicovigilance activities and deriving epidemiological applications of the data gathered to that end. Concerning specifically vector control, the CAPTV network has been called upon, notably during the chikungunya epidemic that occurred in the Indian Ocean (2005-2006), in order to assess the dangers of certain substances and make an inventory of poisonings attributed to products used during this emergency situation.

Environmental impact of biocides

The environmental impact of biocides is studied as part of scientific investigations reaching beyond just the regulatory requirements imposed for

certification purposes. As well as enhancing knowledge, these investigations can provide means for assessing the possible impact of a strategy as a whole or of a particular control method. Or they can be useful for devising a methodology geared to the assessment of effects in the highly specific conditions and environments in which mosquito destruction or vector control operations are performed. The principal studies carried out in France over the past ten years have characteristically involved often close collaboration between one or more research organizations and the public mosquito eradication operators (see CD-ROM), in particular:

- 1998-2001 and 2005-2007: long-term assessment programme on the effects of mosquito destruction in the Morbihan, Brittany;

- 1999-2003: comparative *in situ* study (mesocosm) of the effects of *Bti* and temephos on non-target aquatic arthropods (in the framework of the European Life Environment programme);

- 2005-2007: research programme on the assessment of environmental risk associated with *Bti*- diflubenzuron- and spinosad-based larvicides for mosquito control, and harmonization of investigation methods applicable to non-target invertebrates in Mediterranean and Atlantic littoral wetlands (as part of the Programme National d'Écotoxicologie-PNETOX);

- 2006: first review of the impacts of anti-mosquito treatments deployed for chikungunya control on species and environments on Reunion Island (multidisciplinary group report, Regional Department of the Environment, DIREN-Reunion Island).

OVERVIEW OF BIOCIDAL SUBSTANCES

No biocidal substance is completely innocuous. Risks can be controlled only by using them in full knowledge of their properties. The results of some of the studies mentioned in the preceding section are summarized in Table 9 (for further information, see CD-ROM). The Table presents only those active biocide substances notified under product-type 18 and for which an application has been submitted to the European Commission for their examination and inscription on the positive list of active substances (see the section on Community law in the chapter "Legislative and regulatory framework for vector control").

Table 9 – Identity card of active biocidal substances *

Substance	Family (mode of action)	Toxicity	Ecotoxicity	Environmental impact
Adulticides Deltamethrin	Pyrethrinoid (neurotoxic)	Toxic by inhalation and ingestion. Low systemic toxicity when applied to skin. Reported cases of human intoxication (farmers, production plant workers). No mutagenic, clastogenic or carcinogenic effects recorded.	Non toxic for earthworms and gastropods. Highly toxic for insects (including bees) and for aquatic organisms.	Very strong toxicity for aquatic invertebrates. Low persistence in aquatic environments but may accumulate in sediments of natural habitats. Sunlight favours its conversion into less active isomers and its degradation (photodegradation).
Permethrin	Pyrethrinoid (neurotoxic)	Acute though moderate toxicity but neurotoxic at high doses. Non-irritant, non-sensitizing for the skin. Neither genotoxic, carcinogenic, nor reprotoxic.	Weakly toxic for freshwater algae, highly toxic for aquatic invertebrates and most fish. No bioaccumulation, but some degradation products probably more toxic for algae than the original compound.	Sometimes substantial detrimental effects on aquatic invertebrates in rivers. In stagnant environments, some negative effects, but temporary on non-target invertebrates. These effects are not always observed, however.
Pyrethrum	Extract from flower petals of <i>Chrysanthemum cinerariaefolium</i> or <i>Chrysanthemum coccineum</i> or other perennial plants of Eastern Europe and Caucasus (neurotoxic).	Possible allergenic effects. Non mutagenic, non carcinogenic, non teratogenic nor toxic for reproduction.	High toxicity for aquatic invertebrates and fish, rising with water temperature and acidity. Weak toxicity for birds. High toxicity for bees.	The components of pyrethrum are rapidly degraded in natural aquatic environments. Low risk for non-target organisms.

Table 9 (continuation) – Identity card of active biocidal substances*

Substance	Family (mode of action)	Toxicity	Ecotoxicity	Environmental impact
Adulticides Naled	Organophosphate (neurotoxic)	Highly toxic by inhalation, toxic by dermal route, harmful by oral absorption. Neither mutagenic nor carcinogenic. No effect on reproduction. One of its metabolites (dichlorvos) is considered as a possible carcinogen, however.	Significant toxicity for aquatic plants. Highly toxic for freshwater and estuarine invertebrates. Moderate to very high toxicity for fish. For birds, toxicity moderate to high by acute exposure and slight by ingestion. High toxicity for domestic bees.	A risk analysis on naled use involving ULV application against mosquito vectors of West Nile virus indicated the existence of a low-level risk for the organisms considered in the test conditions used.
Larvicides <i>Bacillus thuringiensis</i> ser. <i>israelensis</i> (<i>Bti</i>)	Endospore-forming bacterium (toxic for the digestive system: destruction of epithelial cells).	Absence of any toxicity in organisms not having alkaline intestinal pH or not possessing receptors for the toxins. Non mutagenic nor carcinogenic and non toxic for reproduction.	Slightly toxic for mammals and birds. Good tolerance by aquatic vertebrates – fish and amphibians – and by most invertebrates. The family <i>Chironomidae</i> is severely affected. Low-level danger for non-target aquatic arthropods. The Dipteran family <i>Chironomidae</i> is <i>Bti</i> sensitive however. No indirect effects on predators or necrophages. Non toxic for bees, nor apparently for land, semi-aquatic or aquatic plants.	Studies on the effect of several different formulations of VectoBac® on insect communities, in aquatic environments, give variable results (depending on environmental conditions). Generally no detrimental effect on benthic fauna, except sometimes for certain non-target dipterans. Bio-insecticide recommended by WHO to replace chemical insecticides.

Table 9 (continuation) – Identity card of active biocidal substances*

Substance	Family (mode of action)	Toxicity	Ecotoxicity	Environmental impact
Larvicides Pyriproxyfen	Derived from fenoxycarb (inhibits embryogenesis, metamorphosis and adult formation in insects).	Acute toxicity weak. Neither mutagic, nor carcinogenic, nor teratogenic, nor toxic for reproduction.	Toxicity for aquatic invertebrates moderately high to high. Moderately toxic for fish. Low toxicity for pollinating hymenopterans.	Its concentration decreases rapidly in water. In organic-matter rich environments, the biological effects sometimes persist for 2 months. Can lead to the disappearance of populations of cladoceran crustaceans (water fleas) in natural environments.
Spinosad	Mixture of compounds (spinosines) isolate from fermentation products of a soil bacterium (<i>Saccaropolyspora spinosa</i>) (Acts on the central nervous system of insects).	Acute toxicity low, by oral, respiratory or epidermal route. Considered as neither mutagenic, carcinogenic, teratogenic nor toxic for reproduction.	Slightly or moderately toxic for fish. Acute toxicity variable for aquatic invertebrates, but chronic toxicity high for some species. Highly toxic for bees.	High risks for various non-target invertebrate species in coastal wetlands.
Diflubenzuron	Benzoylurea (action on chitin synthase activity, causing developmental anomalies in insects).	Low toxicity. Not oncogenic, teratogenic or mutagenic, and no effect on reproduction.	Effects on aquatic invertebrates variable. High sensitivity in daphnia and <i>Ephemera</i> (mayfly) larvae. No effect on molluscs. Hardly toxic for birds. Low toxicity for bees.	Harmful effects on various species of aquatic insect (in streams and rivers) following airborne treatment against forest insects. Toxic for crustaceans in zooplankton (ponds in arid areas). Negative effects on zooplankton and insects in lentic (standing water, lakes) mesocosms. Studies on coastal wetlands revealed substantial risks for a range of non-target aquatic invertebrate species.

Table 9 (continuation) – Identity card of active biocidal substances*

Substance	Family (mode of action)	Toxicity	Ecotoxicity	Environmental impact
Larvicides Temephos Authorization for the use of this product has been prolonged until 14 May 2009 for "essential use" (see the section on the Community law, in "Legislative and regulatory framework for vector control"). The assessment was conducted by AFSSET (see CD-ROM).	Organophosphate (neurotoxic)	By oral and epidermal route, acute toxicity generally weak, but after repeated exposure, cholinesterase activity becomes inhibited. No carcinogenic, mutagenic, or neurotoxic effects, no impact on reproduction (however, studies are rare and sometimes of low reliability).	Wide range of toxic effects on aquatic organisms, notably on invertebrates. Acute toxicity high for arthropods (crustaceans and insects). Strong sub-lethal effects: fall in egg production in certain fish, effects on movement in crustaceans and fish, and so on.	Substantial literature on the environmental effects of temephos which are strongly debated, mainly owing to the large variety of formulations and doses applied. The most frequently reported effects concern non-target insects and other arthropods (see the different case studies on CD-ROM).

* Summary of the toxicity, ecotoxicity and environmental impact of four adulticides (deltamethrin, permethrin, pyrethrum, naled) and five larvicides (*Bti*, pyriproxyfen, spinosad, diflubenzuron, temephos), resulting from a literature review (for further information on each substance, see CD-ROM).

The withdrawal of organophosphates from the market, already decided or planned as a result of a desirable change in European regulations, poses the question of how to replace them (for example: the case of malathion in French Guiana and Guadeloupe, of fenitrothion in Reunion Island, Corsica, and Languedoc-Roussillon). The toxicological and/or ecotoxicological profiles of the main candidate compounds (spinosad, pyrethrum or diflubenzuron) are in any case not very favourable for a generalized use in vector control.

Certain active pyrethrenoid substances show the advantage of being active at low doses and having low persistence (no residual effect), but have low selectivity. An impact study is under way at EID Méditerranée. Its objective is to measure the effects of an aqueous emulsion-type deltamethrin based formulation on non-target insect fauna. The product is applied by terrestrial treatment with a cold nebulizer in natural conditions. The application conditions are strict: lapse of time of at least 24 h if treatment is made on grazed marshland or grassland, compliance with zones to be left non-treated near water points or water courses, account to be taken of risk for pollinators. With no alternative available (new more specific or more selective active substances), this spatial spreading method in natural environments remains a problem and needs to be assessed.

REPELLENTS AND BAITS

Many questions on the advantages and risks involved in the use of these active substances and products remain in suspense. These substances are the subject of a notification for product type 19 in the framework of directive 98/8/EC (see the section on the Community law in the chapter "Legislative and regulatory framework of vector control"), and are currently being assessed at Community level. These products, like any biocidal product, will eventually be submitted for a marketing authorization, after prior assessment.

Skin insect repellents

Following the 2005-2006 chikungunya epidemic on Reunion Island, repellents for body application prompted the DGS to refer them to the InVS and the CAPTV, with the objective of assessing the risks of poisoning asso-

ciated with the use of these products. The health authorities had in fact strongly encouraged such usage. The study showed that the consequences of such exposure remained moderate (see CD-ROM).

This type of study brings a picture of the acute risks linked to the use of this category of substances, but it does not give an idea of the chronic or sub-chronic risks. To date, the data on such biocidal products is still fragmented for a certain number of substances and uncertainties persist especially with regard to sensitive sections of the population like young children and pregnant women.

Whatever the case may be, it is justified to consider the direct advantages of employing these products according to the disease (frequency, gravity), on one hand, and to reduce the uncertainties about product toxicity, on the other. Moreover, the existing French recommendations were delivered in a context of health protection for people travelling rather than for residents of the areas where certain vector-borne diseases are endemic. Not enough is known about the effects of repeated use of this type of product over long periods. Furthermore, data needs to be available on their effectiveness on other medically important arthropods (such as ticks) against which this personal protection is sometimes the main preventive action to take.

Improvement in knowledge of all these aspects should lead to ways of adapting communication campaigns on personal prevention aimed at the public.

Mosquito coils

Mosquito coils (or fumigators) appear to represent a significant health risk if used inside, owing to the fall in air quality during burning, at least according to some studies. Inconsistencies have been found in the recommendations issued by different manufacturers of these devices, by an enquiry of the DSDS of French Guiana (prescribing exclusively exterior use, or claiming equal effectiveness inside buildings), whereas the health recommendations for travellers as published in the *Bulletin épidémiologique hebdomadaire* (BEH) of 24 June 2008 say they should be used outside or in a well-ventilated room if kept inside. These differing elements led the Ministry of Health (Direction Générale de la Santé, "Department of Health", DGS) and the Ministry of the Environment (Direction Générale de la Prévention des

Risques, "Department of Risk Prevention", DGPR) to commission AFSSET to carry out a simplified assessment of risks, the results of which are expected in 2009.

Baits

Baits, like repellents, are considered as biocides in their own right. One of the major products vector control operators can call on is carbon dioxide (CO₂). CO₂ is employed in many models of bait, traps and capturing devices with different levels of sophistication devoted to the capture of haematophagous insects. These traps are often designed to supply the entomological surveillance networks or, more occasionally, check the presence of a target species or assess its abundance.

CO₂ was the subject of an application by a *Task Force*. Nevertheless, the question is raised as to the pertinence of this type of assessment for an active substance intrinsically present in the environment and which hardly represents any danger when its use is authorized exclusively for the open air or, rather, according to different modes of presentation (bottled gas, dry ice, or the result of the combustion of bottled butane/propane gas or of a chemical reaction).

A complementary substance, oct-1-ene-3-ol, used with carbon dioxide and known as a synergist, reinforces its attractive power for certain species. Its toxicological and ecotoxicological properties will soon be the subject of an EC assessment. Another substance with synergist properties is L-(+)-lactic acid, which has not been notified for this type of usage. Contrary to CO₂ which finds multiple uses, these synergist products are generally utilized in tiny quantities, which hardly justifies investing in a certification process with a view to keeping them on the market.

UNWANTED SIDE-EFFECTS OF APPLICATION METHODS

It is important not to underestimate the health risks associated with application methods, whatever the toxicological and ecotoxicological profile of the biocidal agent used. By the same token, the heterogeneity of different services can lead to significant differences in terms of exposure.

In mosquito eradication campaigns in metropolitan France, open-field larvicide treatments are applied over sometimes very extensive surface areas (in Languedoc-Roussillon region for example). This requires airborne operations. Such applications can create disturbance for bird fauna in their nesting areas. In addition, during submersion episodes that occur on the coasts of Languedoc-Roussillon (at the spring and autumn equinoxes for example), the *Bti*-based antilarval treatments can only be effected by aerial spraying at ultra-low volume. Effects of aerial drift and droplet evaporation must be reduced and to do this a mineral-oil additive is added to the insecticide mixture. If it proves necessary to continue its use in the future, a proper authorization must be delivered for the biocidal product in its entirety in line with directive 98/8/EC (in France, the Environmental Code, articles L. 522-1 and the following). Studies are under way to assess alternative techniques (see CD-ROM).

Concerning the larvicide treatments applied on land (marshes subject to submersion by rain, marine encroachment or artificial irrigation), light amphibious caterpillar machines are used for spreading operations. They can leave tracks in their passage and provoke considerable disturbance, especially for the flora and bird fauna, whose impact remains to be assessed (investigation is under way at the EID Méditerranée). Then, as part of mosquito destruction campaigns or during certain vector control operations, recourse must be made to spatial treatments on adult mosquitoes (adulticide or imagocide treatments) in natural environments. There is currently no completely satisfactory biocidal product with regard to risks for health and the environment.

CASE STUDY: REUNION ISLAND CHIKUNGUNYA EPIDEMIC

The chikungunya epidemic, which raged in Reunion Island in 2005-2006, provided an opportunity to examine the toxicological data relating to biocidal products, study those provided by the toxicovigilance systems and conduct an environmental impact assessment.

Toxicological data

The toxicological data for the products useful in this context were the subject of a comparative assessment by AFSSET, who had been commis-

sioned to do this (results published in November 2007). It must be recalled that these assessments were done in an emergency situation and are only valid for the Reunion Island chikungunya epidemic. Extrapolation to other contexts, although possible, would require a complementary analysis. Moreover, they show methodological limitations, regarding modelling of exposure in particular: the human exposure models and the models of spray drift in the environment alike, derived from the assessment of agricultural pesticides, are poorly suited to vector control treatments. Finally, this work does not prejudice the assessment that will be effected in the framework of directive 98/8/EC.

Deltamethrin

The risks linked to the use of deltamethrin have been assessed for treatments carried out using backpack atomizers or sprays, equipment mounted on 4x4 vehicles and impregnated mosquito nets. In anti-vector treatment, the risk is acceptable for workers and for the general public, whatever the method of application.

The risks for birds, mammals and earthworms are acceptable. The risk is high for aquatic organisms and for bees during treatment campaigns with 4x4 vehicles (an untreated area of 100 m must be preserved). However, it is acceptable when spreading is conducted using a backpack sprayer.

The use of deltamethrin for mosquito net impregnation does not pose an unacceptable risk for the human adult, child or newborn.

Permethrin

The use of permethrin-impregnated clothing does not present an unacceptable risk for the human adult. For children, the risk is acceptable for those under 10 years of age and the under threes.

Risk assessment results concerning re-impregnation operations by steeping by an individual are encouraging. Nevertheless it is recommended that such work be assigned to professionals, because a certain number of risks do exist (see CD-ROM).

The risk run by a spraying operator re-impregnating a mosquito net with a spray seems acceptable. However, if extensive treatment of clothes is needed, for example at the start of an epidemic, an operator could be severely

exposed, to an amount exceeding the maximum quantity that could be ingested without danger to health (Acute Reference Dose or ARfD). Furthermore, this treatment technique cannot guarantee a homogeneous spread of the product on the clothing. In spite of these reservations, this procedure can be envisaged if the pre-impregnated tissues or clothes are not available on the market, but instructions on precautions for use and frequency of treatment must be given.

Pyrethrum

Risks associated with using pyrethrum have been assessed for treatments applied with a backpack atomizer or sprayer and equipment mounted on 4x4 vehicles.

Risk for the operator cannot be ruled out because there are hardly any data that could help assess its potential for dermal absorption. Some measures could in fact reduce the risks (see CD-ROM). The absence of risk for aquatic organisms could not be demonstrated for most organisms considered. The risk is acceptable for birds and mammals, but the study could not discard a risk for bees. Risk management measures would therefore be necessary: a more selective set-up, limits set to the times of treatment in line with the biology of bees. The risk for earthworms and soil microorganisms could not be assessed in the absence of toxicity data on these organisms.

Naled

The risks from utilization of naled were assessed for treatments effected with the aid of backpack atomisers or spray and for equipment fixed to 4x4 vehicles.

The risk is not acceptable either for the operator or for the general public, whatever the levels of protection and application techniques. Results for the risks to animals are similar to those already described for pyrethrum.

Bacillus thuringiensis ser. israelensis (Bti)

The *Bti*-related risks have been assessed for treatments with a manual pre-pressurized sprayer, an air-assisted sprayer mounted on a vehicle, a non air-assisted centrifugal sprayer (lance) also on a vehicle, a spreading technique with a small portable granule dispenser and hand spreading. For the operator and the general public, they are acceptable in all cases without individual protection equipment.

Pyriproxyfen

The risks from using pyriproxyfen were assessed for spreading methods with small portable granule-spreading devices and hand spreading.

They are acceptable for manual spreading or for the technique using the small devices carried by operators, as long as protective gloves are worn. They are also acceptable for assisting personnel and persons present near the treated zones during the application phase.

Risks are high for aquatic organisms but considered as acceptable for birds and terrestrial mammals.

Spinosad

Concerning the use of spinosad, risks were assessed for treatments with a manual pre-pressurized sprayer, an air-assisted sprayer mounted on a vehicle and a non air-assisted centrifugal sprayer (lance) on a vehicle.

The risk for the operator is acceptable in all cases without protective equipment. The absence of risk for aquatic organisms could not be demonstrated. The risk is acceptable for birds and mammals. The strong intrinsic toxicity of the product for bees leads to an unacceptable risk for this organism at the time of application of the product containing spinosad as a larvicide. Consequently, risk management measures would be necessary such as a more selective equipment set-up and limits to the treatment periods according to the biology of bees. The risk for earthworms and soil microorganisms is considered to be acceptable.

Temephos

In the context of a request for a derogation for essential use, the risks linked to the use of temephos were assessed for manual spreading of granules with a ladle, manual spraying with a portable pre-pressurized sprayer, mechanized air-assisted (pneumatic) ground spraying or non-air assisted sprayer (lance) and aerial spraying.

The use of protection measures to reduce the risks of exposure of spray operators resulted in a safety margin more than 30 times that of the reference safety margin for all the spreading scenarios. The assessment could not be carried out for the scenario for manual spreading with a ladle.

Exposure of workers entering onto a treated plot of land was examined. It was considered as zero in the case of granules and manual spraying and

as acceptable in the case of spraying using a 4x4 pick-up. In contrast, it is unacceptable when treatments are applied by air-assisted spray from a quad or caterpillar vehicle. Direct exposure to aerial treatment presents a risk judged to be at the limits of the acceptable, but exposure to spray drift remains acceptable.

The effects on aquatic organisms are, however, cause for concern. Nevertheless, chronic exposure is not to be feared and the risk of secondary poisoning of birds or mammals eating fish exposed to the treatment is extremely limited. At the dose of 125 g/ha, there is no potential risk for bees.

The authorization for the use of temephos has been granted up to 14 May 2009 for the purposes of vector control, but only in the four overseas départements (Guadeloupe, French Guiana, Martinique and Reunion Island). Apart from these départements, the marketing of temephos-based insecticides has been banned since 1st September 2006, and their utilization forbidden since 1st September 2007¹².

Toxicovigilance

The toxicovigilance systems have provided a certain number of data on the pathological cases resulting from biocide exposure. The DGS made three referrals to the InVS: first to assess the dangers of fenitrothion, then the dangers of deltamethrin, and finally to envisage the setting-up of a surveillance system for intoxications attributed to vector control actions.

These referrals were dealt with by the Comité de Coordination de Toxicovigilance, "Toxicovigilance Coordination Committee" (CCTV) organized by the InVS. The responses to the first two referrals notably allowed identification of the dangers of each of the substances used, guide the choice of products (deltamethrin was thus replaced by fenitrothion from February 2006) and definition of recommendations intended for spray operators and the public. These recommendations still form the basis of the information delivered by the Reunion Island vector control service concerning its operations.

¹² Order of 10 May 2007 concerning the marketing and utilization of certain biocidal products, containing non-notified substances in terms of regulations (EC) 2032/2003 of the Commission of 4 November 2003.

The response to the third referral was the setting-up of a system of surveillance to record and list the cases of poisoning attributed to exposure to biocides used for vector control, and to describe the circumstances of exposure favouring such incidents. The aim was to detect deviations from the protocols. To this effect, the CIRE Reunion Island-Mayotte has been equipped with a toxicovigilance since February 2006.

Judging by the information gathered (see CD-ROM), the symptoms appeared to be mostly benign and transitory. The symptoms that appeared following a direct exposure incident to sprayed insecticides led to the detection of deviations from the recommendations governing their utilization.

An environmental follow-up was organized, on the initiative of the Direction Régionale de l'Environnement, "Regional Department of the Environment" (DIREN-Reunion Island), to assess the non-target effects of vector control treatments.

Even if it seems that these large-scale treatments have had no serious consequences for the terrestrial and aquatic environments and fauna (see CD-ROM), the limits of this follow-up must be emphasized. In the time allotted, it could only take into account the short-term lethal and sub-lethal effects, and in no case the indirect long-term effects. In the framework of a generalization of vector control in Reunion Island, the observation protocols implemented in the course of the first six months of 2006 should be pursued by the organization of a regular follow-up and the launch of detailed research on the impact of pesticides on the tropical environment. A multi-partner research programme led by INRA (EnviroChik) was in fact devised in May 2006 specifically to meet this need. To date, however, it has not found the necessary funding. However, the insecticides used for vector control on Reunion Island have been incorporated into a programme investigating the effects of pesticides on coral reefs (ERICOR) led by ARVAM (Association de Recherche pour la Valorisation de la Mer, "Ocean Valorization Research Association") and financed by the "Pesticides" programme (APR 2006) of MEEDDAT.

RECOMMENDATIONS

Assess the risk associated with the use of biocidal products: prior characterization and ecological follow-up

Previous expert surveys on the unwanted side-effects of biocidal products used in vector control have come up against certain limits (insufficient knowledge, absence of appropriate tools, emergency situations).

A range of measures must now be taken:

- obtain better characterization of the exposure of vector-control agents in order to keep possible consequences to a minimum (spatial treatment, household treatments), by developing exposure models and scenarios specific for usage in vector control;
- achieve better characterization of the exposure of the general public;
- undertake assessment of substances after utilization, beyond the pre-application assessment, by using and developing the appropriate methods;
- characterize better the various types of environmental exposure by conducting regular campaigns for measuring the environmental conditions and sampling invertebrate communities in the different treated sites in comparison with treated areas;
- identify the species that could serve as environmental quality indicators;
- ensure the traceability of vector-control actions to make retrospective and prospective analysis possible, by keeping rigorous records of all activities;
- always accompany the implementation of mosquito destruction programmes by ecological follow-up, based particularly on the characterization of the functional dynamics of the system as a whole and a (semi)-quantitative assessment of the effectiveness of the treatments in controlling the target species.

Tools for risk management and anticipation

Risk analysis is ideally relevant for application to vector control. The concept calls for the cooperation of a multitude of disciplines, like vector control where such a great diversity of parameters is at play (including entomological, epidemiological and human ones). Although standardized data collection and record keeping methods are both possible and necessary, risk assessment has to take specific situations into account, whether at the data interpretation or modelling stage. Section 1 reports on the different methods implemented to achieve this.

The goal of better risk anticipation capacity is being furthered by regional and international cooperation schemes, some already existing, others currently being set up ("Regional and international cooperation"). It would be worthwhile to multiply such initiatives to create such benefits as mutualization of human and material resources. Apart from these, there remain two major tools that could give the means for anticipating and, if possible, avoiding future vector-borne disease epidemics: training ("From initial training to career-long training") and, of course, research ("Research: a key to successful vector control"). A great number of unknowns persist concerning the functioning of vectors and their behaviour, especially in the organisms' response to ongoing global changes (in climate, the environment and societies).

From vector risk assessment to epidemic risk assessment¹³

What are the objectives, principles, methods and system of analysis of vector risk? Does an entomological alert necessarily imply an epidemiological alert? What can modelling bring to this question? Is it possible to predict the size and gravity of an epidemic risk? These questions concern governments in the first instance and from them the public expects better anticipation of the risks and more rapid response to any alert.

VECTOR RISK ANALYSIS: OBJECTIVES AND METHODS

Risk assessment arose in the early 1980s in the United States. The approach was developed by the National Research Council which defined it in 1983 as being “the utilization of scientific facts to define the effects on health of exposure of individuals or populations to dangerous materials or situations”. It involves therefore the methodical use of research results for scientifically based management of risk and for taking into account gaps in knowledge by following an approach that is as structured and quantified as possible”. Risk assessment presents the results of the characterization of risk(s) along with a discussion of the associated uncertainties. The risk analysis groups together the whole of the actions of assessment, management and communication relative to these risks.

Such analysis as applied to vector-borne infections (vector risk, see Box) entails examination of the indicators and characteristics of the “vector system” within a complex context (hosts, pathogen, environment, society), gaining and understanding of the dynamics of transmission and the consequences of modifications of one or more elements of the vector system

¹³ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 10: “What contribution does vector risk assessment make to epidemic risk assessment?”.

Scope of application of risk analysis

- Anticipation by analysis of potential consequences of the introduction of a competent vector into a given environment.
- Analysis of the introduction of infectious subjects into an environment where the theoretically required conditions coincide or could coincide.
- Analysis of the medium- to long-term consequences of changes in an ecosystem that could favour the expansion of an endemic situation.
- Analysis of factors and conditions that enable a vector system to generate an epidemic.
- Assessment of epidemic management options according to the potential size of the outbreak.

and/or one of its interactions. In a complementary way, it is also a question of analysing the positive and certain possible negative effects of actions that could be implemented. The aim is to provide aid with decision-making, upstream of health repercussions (anticipation) or during an alert, even an epidemic (analysis of management options). This essentially multi-disciplinary process can in return stimulate new questions for research.

In France there is no agency, ministry or organization in charge of this specific kind of investigation. Such analyses have nevertheless been conducted on several occasions: several control plans have thus been produced, such as the West Nile plan for the Mediterranean rim (beginning of the 2000s), the chikungunya-dengue diffusion control plan in metropolitan France (2006), updated on the basis of the risk assessment conducted following the 2007 epidemic in Italy.

Dengue-chikungunya dissemination control plan

With the aim of formulating a plan, the Minister of Health assigned the InVS to lead an assessment of the risk of the introduction of chikungunya and of the outbreak of such epidemics in metropolitan France and hitherto unaffected overseas departments. A qualitative study resulted in a number of conclusions, including for metropolitan France. A risk of diffusion of the virus appeared to exist in the summer period (for further information, see CD-ROM).

This assessment led to the drawing-up of surveillance and early warning measures in the framework of a dissemination control plan. Moreover it proved to be predictive both of the risk of expansion of the mosquito's range, which is currently observed, and of the risk of diffusion of the virus as testified by its circulation as an autochthonous organism, observed for the first time in 2007 in Italy.

Risk analysis of chikungunya and dengue epidemic

In the European areas where *Aedes albopictus* is installed, the analysis conducted at national level, like the similar one run at European level by the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) in 2006, yielded similar conclusions for these zones on potential introduction and autochthonous transmission of chikungunya. The epidemic in Italy of 2007 prompted an update of this risk assessment, notably on the basis of modelling of the potential for diffusion and implantation of this vector in the United Kingdom, which was extended to European scale (see further on in this chapter "Contribution of modelling").

This new assessment, part of a collaboration between the ECDC, InVS and the *Istituto Superiore di Sanita* (Italy), was concretised by a quantitative assessment of the risk of introduction of persons carrying the chikungunya or dengue viruses in an area where *Aedes albopictus* is present. It was estimated for 2006 that 565 "viraemic person-days" for the dengue virus were introduced into the European areas infested by *Aedes albopictus*, 228 of whom came in the first three months. In Europe, most of the risk of diffusion of these two viruses is concentrated in Italy at the time when the vector is most active, owing to its presence in most parts of the peninsula.

Limits of risk anticipation

There are limits to the extent risks can be anticipated. The case of Bluetongue disease is a good illustration. Until recently this disease, although widespread over the world, had spared Europe (except Cyprus), even though incursions had been observed here or there. However, since 1998, different serotypes have been transmitted throughout the Mediterranean Basin. In 2000 a bluetongue outbreak was detected for the first time in metropolitan France (in Corsica), a short time after the presence

of *Culicoides imicola* had been confirmed there. Transmission of these serotypes is linked to the northward extension of the vector's distribution range, possibly associated with changes in Mediterranean ecosystems under the effects of global warming. Nevertheless, it is clear that bluetongue is transmitted by autochthonous vectors in areas where *Culicoides imicola* is absent, like the Balkans, or rare, as in certain areas of Italy.

From 2002, an entomological surveillance system was set up under an agreement between the Ministry of Agriculture and CIRAD. This system has proved to be effective. Indeed, it revealed the colonization of *Culicoides imicola* in the Var in 2004. It was reinforced in 2005 in departments newly at risk (Var, Alpes-Maritimes, Pyrénées-Orientales, Pyrénées-Atlantiques). In 2006, serotype 8 of the bluetongue virus, absent from the Mediterranean Basin, was introduced into Belgium before spreading rapidly to many other European countries where *Culicoides imicola* is absent. It causes clinical forms of bluetongue in cattle. Moreover, at the end of 2007 serotype 1 was introduced into the Basque country, on both the Spanish and French sides.

These episodes show indisputably that the European species of *Culicoides* are capable of intensively transmitting bluetongue virus. Above all, however, they show the limits of risk anticipation. It is difficult to predict the emergence of a serotype in an area where the disease had never struck, borne by vectors hitherto considered as secondary. More broadly, it illustrates the difficulty of thinking of risks that deviate far from the established theoretical pattern.

ENTOMOLOGICAL AND EPIDEMIOLOGICAL EARLY WARNING

The presence of the vector of the pathogen responsible for a vector-borne disease is evidently essential for the effective transmission of that disease, but it is far from being sufficient. Other conditions must coincide:

- presence of a pathogen;
- possibilities for effective contact between vector and pathogen reservoir;
- possibilities for effective contact between vector and amplifier host (if that is different from the vector in the transmission cycle);
- possibilities for effective contact between vector and hosts;
- sufficient susceptibility of the host population.

Role of the vector

The vector's role in transmission is itself dependent on a range of parameters. It should be regarded beyond the simple question as to whether or not it is present. The installation of a means of circulation of the pathogen in a given geographical area can be analysed by following a series of stages (for concrete examples of each of these stages, see CD-ROM).

The introduction of the vector and then its installation depend on the climatic, hydrological and biological (ability to adapt to new ecosystems) conditions. This installation also depends on competition with other vector species (for example, *Aedes aegypti* against *Aedes albopictus* in the south of the North American continent or in Mayotte for dengue) or confrontation with predators and parasites. Entomological studies conducted during the chikungunya epidemic moreover showed that on reunion Island *Aedes albopictus* benefited from a high degree of ecological flexibility which enabled it to colonize different ecosystems.

Then when the vector is durably installed, the risk of seeing the start of a chain of pathogen transmission depends on its vector competence, in other words the level of coadaptation between pathogen and vector. This can be measured in the laboratory and depends mainly on genetic factors. In addition, there is the effect of inter-species competition which can influence pathogen transmission, positively or negatively.

As soon as the transmission chain starts, the intensity of transmission to humans or animals depends on the vector capacity (daily average number of secondary infectious bites originating from one infected case). This in turn is governed by the vector density, trophic preference, length of the gonotrophic cycle, parturition rate and the duration of the extrinsic incubation period. The level of vector capacity could result either in a massive epidemic like that of chikungunya in 2005-2006 in Reunion Island, or an outbreak like the moderate dengue epidemic in 2004, also on Reunion, or a contained outbreak like the recent one that occurred there (Saint Louis).

Finally, when the transmission system is established, the mode of circulation varies with a number of parameters, usually extrinsic to the vector: environmental factors and the relation between the host and the vector, a population's susceptibility and acquired immunity and actions taken for reducing vector pressure. Parameters depending on the vector competences

can also affect the situation. Thus, during the Reunion chikungunya epidemic, a mutant genotype of the virus was selected. The hypothesis was put forward that the mosquito's increased competence for the mutated virus could partly explain the stronger intensity of the second wave of epidemic.

Surveillance of entomological parameters

What entomological parameters should be watched over for what kind of warning? Two types of parameter should be considered: those giving an assessment of the vector's part of the risk and those that can help predict this vector risk.

The first therefore aim to evaluate the part played by the vector following the stages already described:

- presence or otherwise of the vector searched for in the places where its introduction is plausible, in the knowledge that the increase in the number of exchanges multiplies the opportunities for this;
- its durable installation and its ecological preferences;
- its vector competence in relation to the pathogens with which it can come into contact on taking its blood meal (imported human or animal cases);
- its vector capacity in the situation studied.

Measurement of these parameters implies the making of field observations and measurements. Those concerning the vector competence and capacity are sometimes highly complex to put into operation and require considerable work on the subject by the scientific teams.

Gauging the parameters that could help predict the vector risk over extensive areas would entail targeting the zones where there is a risk of introduction, installation or proliferation of the vector. Targeting calls upon the techniques of cartography or modelling or both, possibly using remote-sensing satellite data. Some examples are: abundance models of *Culex* (in order to anticipate the appearance of West Nile virus circulation) in British Columbia or New York, the density of *Ixodes pacificus* nymphs (vector of Lyme's disease) in the Californian woodlands.

Pertinence of entomological parameters

The pertinence of entomological parameters as epidemiological early-warning criteria differs with diseases' vector transmission cycle and, for the

same disease, depending on the endemo-epidemiological situation and the ecosystems.

For dengue, for example, the situation in metropolitan France is different from that in the French Départements of America (FDAs). In metropolitan France, which is supposedly unaffected, the presence of the vector is a relevant criterion for increasing the level of surveillance and launching preventive actions against any installation of a chain of transmission (of dengue or chikungunya as it is the same vector, *Aedes albopictus*). In the FDAs, however, entomological surveillance is not much used for epidemiological warning. But the degree of sensitivity to insecticides, a key parameter for gauging the effectiveness of vector control, is closely watched. The same contrast is seen for Rift valley fever between Mayotte and metropolitan France (see these and other examples on CD-ROM).

For vectors other than mosquitoes, little or no use is made of entomological parameters as warning criteria, but this could change in the future. In this way, if vaccination programmes succeed in strongly reducing the incidence of tick-borne encephalitis in Europe, other indicators than human cases will have to be found for surveillance of the presence of viruses in ticks or animal reservoirs (for vectors of Chagas' disease and *Bartonella Quintana*, see CD-ROM).

CONTRIBUTION OF MODELLING

Modelling is generally based on a simplification of real situations. In the case of the transmission of an infectious disease by a vector, it is therefore founded on a simplification of the biological, epidemiological and/or social aspects of the problem, with a view to predicting but also prior assessment of scenarios and measures of control and prevention. The first attempts to model the dynamics of infectious diseases in the human and animal population, which we owe to the Swiss physician and mathematician Daniel Bernoulli, go back to the second half of the XVIII Century. And it was in the XXth Century that the founding principles of modelling of vector-borne infection risks were introduced, thanks to pioneering work (1911) of the British doctor Ronald Ross (Nobel Prize for medicine 1902) and those published in 1957 by G. MacDonald (then director of the Ross Institute of Tropical Hygiene in London). The Ross and MacDonald model defined the bases of the control of vector-borne diseases, including anti-vector measures.

Different types of model

Two types of model are distinguished: qualitative (conceptual) and quantitative ones, which include statistical (empirical) and theoretical models.

The theoretical models include deterministic models which are based on a strong hypothesis of homogeneity between the individuals (which is generally not the case in reality), and stochastic models which take into account the heterogeneities between individuals but at the cost of much greater complexity. These heterogeneities can also be taken into account, at least partly, by stratified deterministic models.

The development of powerful information technology tools has helped modelling become indispensable in the face of emerging infectious risks (pandemic influenza, SARS). It gives rise to numerous publications in prestigious scientific journals.

For vector risks, one of the main applications concerns the assessment of the spatio-temporal diffusion of a competent or potentially competent vector able to transmit a pathogen. The other bears on the assessment of the transmission of a vector-borne disease, and in particular:

- understanding of the dynamics of transmission and identification of deficiencies in knowledge for surveillance and research;
- assessment of fundamental parameters of transmission (reproduction rate, series interval etc.) with retrospective or even in quasi-real-time;
- risk assessment;
- prospective assessment and actions of public health and vector control and their combination;
- impact assessment of a vector control measure.

For further information on the principles behind these models, their implementation and the bibliography, see CD-ROM.

Spatio-temporal modelling of a vector

Modelling has given rise to a number of applications bearing on blue-tongue disease, dengue, malaria and on the diffusion of *Aedes albopictus* in Europe, triatoms, vectors of West Nile virus. The objective of these statistical models, sometimes termed "geographical", is to describe and predict the spatial distribution of vectors in order to identify and map the areas at risk and follow-up their changes and developments. The underlying hypoth-

esis is that the presence of these arthropod vectors and their ecology, and also the spatial distribution of the disease transmitted depend on the environment. The host/vector interaction also corresponds to favourable environmental conditions (for a review of these models, see CD-ROM).

Bluetongue disease

Models first developed from low spatial resolution meteorological and satellite data have led to the production of probability maps for the presence of *Culicoides imicola* at continental scale. Progress in satellite imagery (bringing ever finer spatial resolution) has made it possible to predict vector distribution at local scale (at the scale of a region the size of Corsica). A vector like *Culicoides imicola* has a low active dispersion. Small-scale analysis helps to formulate hypotheses on the location of breeding sites and resting sites and therefore target entomological searches.

Continental-scale models cannot explain differences in distribution at local level observed on small areas (like Corsica, Var), or characterize in detail the habitat favourable for *Culicoides imicola*. Conversely, the generalization of results obtained at local level on more extensive zones is difficult or makes it necessary to acquire and standardize data, which is often costly.

Aedes and potential dengue epidemic

Dengue transmission is subject to climatic factors. Coupling of climatic models with the equation of the vector capacity of dengue has led to the identification of a potential epidemic indicator. Increase in this indicator means that a lower mosquito density can sustain the disease in an endemic mode when the virus is introduced or circulates.

Historical data (climate from 1931 to 1980) and a prediction of a temperature rise of 1.16°C from now to 2050 suggest that the potential epidemic indicator is also rising with a stronger progression in temperate zones. Models indicate that with global warming, incidence will rise first in the regions bordering endemic areas and then also in the latter zones. However, these models still involve uncertainties and considerable scientific debate which make complementary work necessary. Indeed they do not take into account other criteria that could influence the basic reproduction rate (human-vector contact, vector movements, vector control measures and so on). It must be recalled that Europe has already experienced dengue outbreaks, as in Greece in 1927-1928 for example where Athens suffered a million cases.

Other models have been published in the literature whose objective is to describe the dispersion dynamics of *Aedes aegypti* (model of biological invasion), or to assess strategies for containing the invasion and predicting the changes and developments in *Aedes albopictus*, or forecast the abundance of a vector while taking climate fluctuations into consideration (for further information, see CD-ROM).

Potential spread of *Aedes albopictus* in Europe

An aim to analyse the risk in order to arrive at proposals for prediction mechanisms prompted the use of a qualitative model associated with a geographical information system in the United Kingdom to gauge *Aedes albopictus*'s ability to become installed and its probable seasonal activity during the year. A similar European-scale analysis was launched. This revealed a strong potential for the installation of this vector in Europe, well beyond the Mediterranean countries that are already affected.

***Anopheles* and malaria**

Predictions from a spatial distribution model for *Anopheles hyrcanus* in the Camargue and its development with various environmental parameters, derived from satellite data, have been studied alongside field observations. The two types of data showed good agreement. An adult index, derived from the larval index, proved to be very well correlated with the observed abundance of the vector. This work indicated that in certain ecosystems, prediction of the distribution of a malaria vector is both possible and feasible by using satellite data, a first step in the assessment of the risk of re-emergence of malaria in the south-east of France.

Triatoma

A model of the geographical distribution of *Triatoma*, blood-sucking bugs, in the State of Puebla (Mexico) can, for each species, help identify the geographical and climatic conditions favourable for its development. It can correlate the potential presence of Triatomine species with the population under the risk of Chagas disease.

West Nile virus vectors

A population-dynamics model for *Culex tarsalis* and *Culex pipiens*, developed with a view to spatial analysis of the risk of transmission of West Nile virus (before its implantation in British Columbia), has led to the identifica-

tion of the areas with the highest risk of infection by the virus before its introduction. It has also highlighted some large gaps in knowledge (on the associated ecology, ecosystems). The distribution of the disease's vectors has also been studied, using a predictive statistical model.

Functioning of the model

A model of the dynamics of a vector transmission aims to reproduce the transmission of the pathogen within a vector system by numerical methods. Such a model, whether statistical or theoretical, must therefore incorporate many different parameters concerning the infection history in the host, the vector, the vector-host interaction, the reservoir, the environment and the factors influencing its transmission.

Statistical models

These models make it possible to put forward predictions of the changes and developments of the risk, even the impact of vector control measures, on the basis of pre-established statistical relationships. They can be applied to the detection of epidemics, as is the case in the French Départements of America, the prediction of an epizootic disease outbreak (like Rift Valley Fever), or forecasting of the dynamics of a disease (such as leishmaniasis) with a view to assessing the impact of control measures.

Such models have been further developed to anticipate outbreaks of Rift Valley fever, particularly in Kenya in an area where temporary pools form (for further information on models, see CD-ROM). A correlation has been established in this region between episodes of exceptionally abundant rain, themselves associated with El Niño events, and epizootic outbreaks of Rift Valley fever. The exceptional rains flood the *dambos* which then act as an ideal breeding ground for the mosquito vectors (*Aedes*). In Kenya, for example, outbreak predictions have reached an accuracy of 95 to 100%, two to five months before their occurrence, by using measurements relating to vegetation and rainfall (including satellite data, field measurements). They make it possible to set up preventive measures (vaccination of vulnerable herds, mosquito-larva control). Another example is seen in Senegal: a stochastic model has simulated the densities of *Aedes vexans* and *Culex poicilipes* as a function of rainfall.

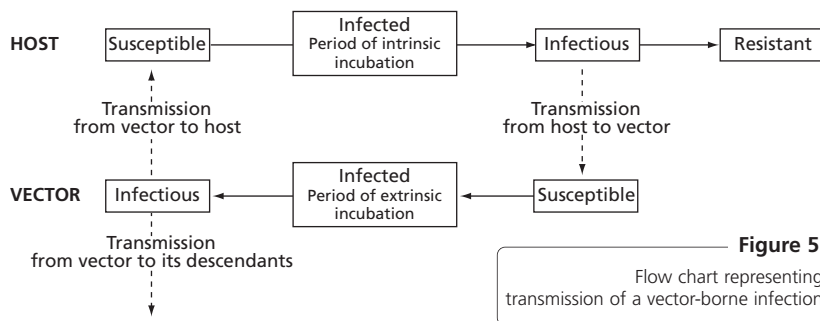
In parallel, time series models (Chaves model) suggest, with a strong probability, a link between the transmission dynamics (of leishmaniasis, for

example) and the climatic factors. The role of temperature was recently observed in the resurgence of leishmaniasis epidemic in the Jerusalem area. Similar work has been conducted on malaria and dengue.

Theoretical models

These models are based on a preliminary representation of the phenomenon studied, using deterministic models of different elements of the system at whole-population level and stochastic models that can allow the introduction of a random proportion and hence an individual component (see the principles in detail on CD-ROM). In general, they are founded on modelling of the transmission of the infection between the different elements of the epidemiological cycle, which necessitates a schematic representation of the transmission between the different populations involved and their various relevant stages (see Figure 5).

In the particular case of vector-borne disease, the host reservoir and patient can be purely animal (as in bluetongue) or human (dengue, chikungunya), or can affect both animal and human (infection by West Nile virus, Rift valley fever, leishmaniasis, tick-borne encephalitis, Lyme disease). Figure 5 mainly concerns the first two categories. Whatever the case may be, two parameters play a decisive role in the transmission models (see Box): the base reproduction rate and the times series or intergenerational interval (the interval between two successive cases).



Example of a compartment-model flow chart representing transmission of a vector-borne infection (adapted from Tran *et al.*, 2005). The continuous arrows indicate host and vector state flows between the different compartments of infection chronology; the dashed arrows represent pathogen transmission between host and vector and *vice versa*.

**The key parameters of transmission:
reproduction rate and series interval**

The reproduction rate (R_0) measures the number of cases of infection, in a susceptible population, resulting from the contact with an individual already infected (outside any implementation of a control strategy). A rate of less than 1 signifies a fall in the number of cases as the transmission process proceeds, a rate higher than 1, an expansion of the disease and an epidemic situation. In real situations, it may be that only a portion of the population is susceptible (non-immune). To take account of the last element in the transmission, we then talk of the “net” reproduction rate R , the product of R_0 and this proportion of the sensitive population. It is then R which must be lower than 1 for the epidemic risk to recede and peter out. Knowledge of R_0 is of crucial interest as it can be used to deduce the proportion of individuals who must be immunized or protected or to judge which vector control measures to conduct to prevent an epidemic outbreak.

As for the series interval, it expresses the speed of occurrence of cases in the transmission chain. In such a chain, the series interval depends on several parameters: time interval T_v between the date of infection and the beginning of symptoms in the host (1 to 2 days for chikungunya), time interval T_B between the appearance of the effective infection and the bite by the competent mosquito (1 to 6 days for chikungunya), time interval T_M between the bite responsible for contaminating the mosquito and the one which will contaminate (4 to 6 days for chikungunya), time interval T_I between the date of infection of the new host and the appearance of the symptoms (2 to 7 days for chikungunya). For a vector-borne infection, the last time interval depends on the vector and the interaction of the pathogen with the latter. In general, the shorter the series interval, the more the spread of the infection accelerates (multiplication of the number of cases) and the acceleration is exponential.

A simple model has been used for example to analyse the risk of transmission of West Nile virus in the United States. The results are still in debate in the scientific community, but suggest that climate change will act on the abundance and geographical distribution of the vector, on its vector competence. This model therefore represents a fundamental tool for risk analysis.

Applications of theoretical models

In a more general way, a proportion of these models have an essentially cognitive aim, whether it concerns dengue, leishmaniasis, or Rift Valley fever.

Some of this body of research work focuses on the threshold effect and the state of equilibrium between the compartments of the model in the transmission and/or competition effects between serotypes. Others concentrate on the application conditions, the impact of the heterogeneity of conditions of the transmission of infection on the models and especially on predictions (see the abundant scientific literature on these subjects on CD-ROM).

One category of model is used with the objective of evaluating the fundamental parameters of transmission (strength of infection, reproduction rate, series interval) with retrospective applications, even quasi-real time ones. Estimation of the reproduction rate by the Ross and MacDonald formula (mentioned in a preceding section) creates practical problems because the set of necessary parameters is not usually available for a given pathogen in a given situation. There are many published works on the subject (see CD-ROM), but it is important to check the application conditions case by case. It is worthwhile noting that recent biomathematical work conducted in 2004 following the SARS epidemic, makes possible a quasi-real time application of the instant when one has the data available on the cases per unit of time and at a place of occurrence as well as an estimate of the distribution of the series interval.

One of the major applications of such models bears on risk assessment. For example, it is thanks to them that the ECDC, working jointly with the InVS and the *Istituto Superiore di Sanita* (Italy), assessed the potential risk of the installation of chikungunya and dengue in the regions of Europe where the *Aedes albopictus* vector is present. They used a simple theoretical model (see the paragraph above on the "risk analysis for chikungunya and dengue" and details on the CD-ROM).

Another type of application concerns the prior and post assessments of public health actions and the impact of vector-control methods. The former have been much developed over recent years, and many specific pieces of work have been done on dengue, onchocercosis, malaria, chikungunya and lymphatic filariasis. The OnchoSim Project, fruit of a partnership between Erasmus University of Rotterdam and WHO, is a good illustration of this as it is an integral part of the WHO onchocercosis control programme in West Africa. It served to make a variety of prior assessments of medical and entomological interventions and their combination, showing that the elimination of onchocercosis by mass treatment is possible, with nevertheless a variable treatment duration depending on the level of infestation and of heterogeneity of the epidemic.

As for the *a posteriori* assessments of the impacts of vector control, they can help reproduce (simulate) the epidemic without control measures (see detail on CD-ROM). Thus, the work conducted in Reunion Island suggests that without effective control measures 70% of the population, or even more, would have been hit by the chikungunya epidemic of 2005-2006. The fact that the epidemic was limited to an attack rate of about 38% suggests that the control measures contributed to a reduction in transmission sufficient to change the net reproduction rate and hence to contain the extent of the epidemic.

STRENGTHS AND LIMITATIONS OF MODELS

A review of the scientific literature brings out a prolific number of models. However, although some of the work mentioned above were integrated right from the start into a prevention programme (as is the case of OnchoSim already cited), this is not the case for most of them.

A model of the transmission of a vector-borne disease must also incorporate all the social and behavioural aspects: people's behaviour, social context, dynamics of immunity, effect of treatments and medical prevention measures. The example of dengue transmission in Singapore is symbolic of this. There, a significant discrepancy is observed between the successes of control effort (in terms of entomological indicators) and its relative failure in clinical terms. Account must in fact be taken of the dynamics of the immunity in the population, following a reduction in transmission owing to vector control. A resurgence occurred, paradoxically, probably owing to the very effectiveness of the control measures. All the more close attention must be paid to this aspect now that a vaccine is being developed against dengue.

The last comment, which also can apply to control against malaria vectors, does raise controversy, however. Complementary research must be done in order to gain a more precise idea of the relations between the vector risk and the epidemiological risk as a function of vector systems;

Finally, most of the theoretical models are deterministic in character, therefore based on a hypothesis involving a homogeneity that is hardly realistic. Moreover, few of them concern zoonotic vector-borne diseases (West Nile, Rift Valley fever and so on).

Strengths

The contribution modelling can make stems from its ability to improve understanding of complex phenomena and to throw light on management options. Models provide a way of comparing qualitatively and quantitatively the prediction on the dynamics of a disease according to different scenarios regarding the conditions of interaction between the host, the pathogen and the environment, and as a function of control measures, even if they do not give the possibility of predicting exactly the number of persons infected or who might be.

For example, during the latest chikungunya epidemic in Reunion Island, it is justifiable to think that a risk analysis based on a very simple compartmental model and the Ross and MacDonald model would have allowed, right from the Southern winter of 2005, identification of the epidemic wave of the beginning of 2006 from among the highly probable scenarios. From this point of view, modelling is not and cannot remain the prerogative solely of modellers and biomathematicians. It should, on the contrary, involve multidisciplinary teams following a multidisciplinary approach (entomologists, virologists, epidemiologists, biomathematicians, and also specialists on the environment, human and animal health, on public health and so on).

Limitations

Models must nevertheless always be interpreted with precaution and after a careful examination of the hypotheses and conditions of application. Furthermore, it must be kept in mind that the conclusions of mathematical models depend strongly on the validity of the values and distribution of the parameters used (including incubation, latent and infectious periods, vector capacity and competence, contact rate and heterogeneity, intensity of infection, effectiveness and duration of acquired immunity). Many of these factors are often poorly estimated and imprecise. Sometimes they are unknown, as in the case of an emerging infection. Similarly, specific studies on the effectiveness of envisaged control measures must have been done beforehand.

The validation of a model in relation to the observed data is an important condition for any wider application. However, even when the model's internal validity is considered to be good, it does not necessarily mean that its external validity (performance in a different population or environment or another vector system) has been acquired.

RECOMMENDATIONS

■ Promote a well-organized health structure to coordinate risk analysis

To date there is no structure specifically organized to lead this type of analysis. However, risk analysis work is carried out in agencies (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments, AFSSA, InVS), in research institutes (IRD, CNRS, INRA, CIRAD, INSERM), in universities and *grandes écoles* in France. The application of the concept of risk analysis to vector-borne infections appears completely appropriate and useful as an aid to decision-making (anticipation of a risk, proven risk). The complexity of the analysis of vector systems means that it involves a rigorous multidisciplinary approach, which has been implemented in recent years in several public health organizations.

■ Develop standardized collection methods for data that is common to human and animal epidemiology, entomology and vector control, all being combined in a geographical information system.

The part played by entomology in epidemiological warning measures results mainly from knowledge stemming from research on population biology and pathogen-vector-hosts interactions, and from the performance of any entomological surveillance set in place. There is much still to be done, in particular: assessment and validation of the entomological indicators most relevant and best adapted for epidemiological early warning mechanisms.

This type of tool will in addition facilitate the follow-up of the appropriate indicators and will allow generation of warning signals with a view to triggering action.

■ Develop and incorporate models into special plans for the anticipation, management and development of surveillance and/or early warning systems to optimize the actions decision-makers and operational agents can take

The involvement of multidisciplinary teams is necessary to achieve this, both basic-research and applied-research oriented groups, so that vector systems can be analysed in all their complexity, including their environmental and human components (including immunity aspects).

The models are not in themselves the final objective. They are tools for use as aids to understanding observations, to prediction and decision-making. It is therefore important to have available assessments and validations of models in relation to the observed data, in order to ensure the interface between the conceptual development of a model and its possible application to operations: the internal validity of a model does not necessarily imply that it is externally valid.

This is a question of a highly important operational objective which entails bringing closer together the actors involved in surveillance and those in research, with the overall aim of developing and validating operationally useful tools.

Regional and international cooperation¹⁴

Vectors, like pathogens, live or survive in biogeographical zones that make light of national borders. Species or populations with a particular phenotype (such as resistance to insecticide) are most often introduced from a neighbouring country. Vector surveillance and their control must therefore imperatively be organized at regional scale. Attempts to eradicate a vector in one country would be all in vain if the same vector infests a nearby country without hindrance.

Similarly, early warning systems would be much more efficient if they were based on information collected at the scale of the whole region threatened by a particular risk. Regional and international cooperation gives the opportunity to share experience, even pool means in both logistics and training.

In France, vector control is organized around four large regions: Antilles-French Guiana, Indian Ocean, the Pacific and the European continental.

COOPERATION IN THE ANTILLES-FRENCH GUIANA REGION

The départements and local authorities concerned are Guadeloupe, Martinique, French Guiana, Saint-Martin and Saint-Barthelemy. Most of the vector control efforts are concentrated on *Aedes aegypti* and *Culex* (*Culex quinquefasciatus*). Surveillance mechanisms are also in place aiming at *Anopheles*, potential *Plasmodium* vectors, and the possible introduction of *Aedes albopictus*. However, the Phlebotominae, sandflies, and Triatominae, blood-sucking bugs, are not covered by any organized control service in French Guiana, although they are disease vectors. Control actions are sometimes conducted against ticks that feed off livestock.

¹⁴ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 11: "What regional and international cooperation can be envisaged for vector control?".

Five départements and local authorities

There is currently no formally organized collaboration between these départements and local authorities, either for surveillance, training, operational research or regular exchange of experience. Arrangements amount just to informal, although numerous, exchanges and some research projects (see CD-ROM). The recent setting-up of a surveillance plan PSAGE for dengue in each département is helping to improve things, depending on the level of seriousness of the epidemiological situation, but each département still keeps its independence. The problems encountered and the gaps observed in the French Départements of America (FDAs) have already been abundantly described in the literature (see the IRD expert group report *"La dengue dans les départements français d'Amérique. Comment optimiser la lutte contre cette maladie?"*, 2003).

Some avenues would be worthwhile exploring for the future. Part of the training for managerial staff could, for example, be done through the Antilles-Guyane University on an interregional basis. In addition, the Interregional Epidemiology Unit (CIRE-AG) and the Health Watch Units of the DSDS (Department of Health and Social Development) take an active part in entomo-epidemiological surveillance, and in examining ways to ensure a better response to any incidence of dengue and to communicate information.

The neighbouring countries

No real officially formalized relations with the neighbouring countries were observed either, whether it be with Brazil or Surinam for French Guiana, or with the other Caribbean islands for the FDAs. The dengue epidemic of 2005 nevertheless acted as a warning, but the recommendations made at the time have not been turned into concrete measures. Currently, cooperation schemes started with Brazil mainly concern epidemiological aspects. And nothing has yet been put in place with Surinam on dengue. However, data are exchanged on the surveillance of malaria cases and Surinam is in favour of homogenizing the anti-malaria strategy (for further details on the context of this joint effort, see the CD-ROM).

The Mosquito Destruction Centre in Martinique engaged in a cooperation scheme some years ago on "the entomological aspects of dengue in

the Caribbean". This action was financed by the Regional Cooperation Fund (FCR) and aimed to produce a map of the typology of the main breeding grounds of *Aedes aegypti* and of the levels of resistance to insecticides used by the different national control teams. The Pasteur Institute of French Guiana and the Martinique Mosquito Destruction Centre occasionally run exchange activities with Haiti (mainly concerning malaria).

Whatever the case may be, a real demand exists for exchange schemes on vector control among all the technicians involved in the Caribbean (including Cuba).

The veterinary field

Various joint actions are run in the veterinary sphere to arrive at better collaboration between the different actors involved in entomological surveillance. One example from the Caribbean is the CaribVET network (Caribbean Animal Health Network). This jointly involves institutions and professionals whose aim is to improve animal health and the quality and safety of animal-derived products. It brings together veterinary laboratories, government agencies, research institutes, farmers' associations, non governmental organizations (NGOs) and universities, mostly Caribbean, but also from North, Central and South America.

International institutions

International institutions have also the mission to conduct operations in the Caribbean area, in both the public health sector and the veterinary field. This is the case of the Caribbean Community (CARICOM, a group of about 15 member-States plus five associate members), the Pan American Health Organization (PAHO, the WHO office for the American countries), the OIE, FAO, the French aid organization Coopération française (through the Agence Française de Développement – AFD – and the FCR), the European Union (the Interreg cross-border cooperation programme), the American aid programme (by way of USAID, the United States Agency for International Development) and the Canadian aid programme.

These networks are not yet mobilized for vector control actions, but the situation could develop, particularly in the framework of the new IHRs.

COOPERATION IN THE SOUTH-WEST INDIAN OCEAN

The French département of Reunion Island and local authority of Mayotte belong to the same region. In Reunion, most of the vector control effort is aimed at *Aedes albopictus* and *Anopheles arabiensis*, along with *Culex quinquefasciatus* as a subsidiary target. In the strictly veterinary sector, livestock ticks are not dealt with by any organized control actions. Sometimes control actions are conducted against the haematophage fly *Stomoxys calcitrans*. In Mayotte vector control is oriented against *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, *Anopheles gambiae* and *Anopheles funestus*, and possibly against *Culex quinquefasciatus*. As in Reunion Island, nothing is done in the veterinary field.

This zone of the Indian ocean includes Madagascar, the Islamic Republic of Comoros, Mauritius, the Seychelles and, in East Africa, Mozambique, Tanzania and Kenya. At present there is no network or formalized cooperation activity involving vector control. However, WHO has insisted several times on the need to set up a regional epidemic surveillance and response strategy, including vector surveillance and control. In 2006 the organization set up jointly with the Indian Ocean Commission (IOC) an epidemiological surveillance network on infectious diseases taking in five countries (Madagascar, Comoros Islands, Seychelles, Mauritius, France). Both WHO and IOC wish to develop this approach further.

The information report on the chikungunya epidemic in Reunion Island and Mayotte, for its part, (the French National Assembly Committee for Cultural, Family and Social Affairs, July 2006) recommended continuation of the "strong political commitment towards the setting-up of a warning and surveillance system at the scale of the Indian Ocean".

One of the responses to this demand was the creation of the Centre for Research and Intelligence of Emerging Diseases in the Indian Ocean (CRVOI) which has been in operation since 2007. One of its first projects included the compilation of an inventory of the capacities, competence and centres of expertise in the countries of the south-west Indian Ocean, including such resources in medical entomology. Networks of expertise, training, for exchange of experiences could arise from this initiative, even given that it is aimed more at research than on operational aspects.

There is practically no cooperation activity between Reunion and Mayotte (apart from some technical support missions in 2008). There are two main reasons for this: the control services in these two islands are very young; and the priorities decided at regional level are concentrated more on epidemiological surveillance than on vector control (for further details, see CD-ROM).

COOPERATION IN THE PACIFIC REGION

In Wallis and Futuna the important vectors are *Aedes aegypti* and *Aedes polynesiensis*. The Wallis and Futuna Health Agency and the Territorial Environment Service carry out vector control.

Most of the interrelations in the region are organized with French Polynesia and New Caledonia. Formal relations also exist with other communities of the Pacific, but they do not directly concern vector control. These links are manifest in two public health networks: Public Health Surveillance & Communicable Disease Control (PHS&CDC) and the Pacific Public Health Surveillance Network (PPHSN).

COOPERATION IN EUROPE

The cooperation actions in Europe are organized through associations and professional societies rather than in common operational networks. The operators meet regularly during annual conferences of these associations or societies.

France

France is a pioneer in mosquito eradication since the setting-up in the late 1950s of public organizations such as the EIDs. Three of these were created (EID Méditerranée, EID Atlantique and EID Rhône-Alpes), each gaining the benefit of acquired experience while developing its own expertise. The establishment of these organizations in turn helped generate the Agence Nationale pour la Démoustication et la Gestion des Espaces Naturels Démoustiqués, or "National Agency for Mosquito Destruction and Management of Natural Mosquito-controlled Areas" (ADEGE, see Box).

The ADEGE in brief

The ADEGE groups together the three EIDs plus other public entities: the SIVU, "Single-purpose intermunicipal body", of Lauterbourg (Alsace), the Martinique Mosquito Destruction Centre and the Mosquito Eradication services of Corse-du-Sud.

The Association also maintains strong links with its Spanish, Catalan and especially Italian, partners. It offers a forum for consultation and working together on strategies, techniques, methods and tools suitable for mosquito destruction or vector control and the management of environments where mosquitoes have been eradicated. It is also a platform for those wishing to join in transverse projects. ADEGE is also the ideal relay organization for passing requests and proposals coming from elected representatives.

In parallel, it organizes jointly with the Centre National de la Fonction Publique Territoriale (CNFPT), "National Civil Service Centre", regular or occasional training sessions for operational staff of the public mosquito destruction services. Discussions on technical aspects, or even lectures on relevant topics, also take place at different times. Field demonstrations or trials are sometimes organized, bringing together technicians from the EIDs to select the appropriate machines or equipment for treatment, and decide on spreading techniques and insecticides. The EID administrative staff meet now and again to discuss experiences and receive training on administrative regulations.

It was ADEGE that was assigned by the Department of Health in April 1998 to set up a surveillance operation against the introduction of *Aedes albopictus* in metropolitan France. The agency also initiated, in May 1999, the association Emerging Diseases in a changing European Environment (EDEN), whose objectives and functioning are comparable. EDEN was highly active when the European directive 98/8/CE was brought into application, but has been mobilized little since then.

The veterinary field

In this field, the MedReoNet network should be useful for improving the surveillance of disease transmitted by Culicoids (such as bluetongue disease, African horse sickness, haemorrhagic fever in deer). This concerted action, financed by the European Union, promotes the sharing and exchange of

data, skills and knowledge, experience and information. Regular meetings are held to maintain and improve surveillance systems in Europe and thus bring the possibility of anticipating the risk of transmission. The partners are research institutes, veterinary services or national agencies involved in the surveillance and diagnosis of Culicoids-borne diseases.

Cooperation activities

European and international scientific cooperation activities hinge on various aspects of vector control.

Through these, spatial remote sensing tools have begun to find applications in this field. The CNES, the French government space agency, has for example set up bilateral cooperation schemes or other arrangements with international organizations (see the chapter "Research: a key to successful vector control").

The IRD, for its part, is engaged in a wide range of joint ventures on projects of operational research (on impregnated materials, repellents, genetic control and so on) with operations in South America (Argentina, Bolivia, Brazil) and in Africa (Benin, Burkina Faso, Cameroon, Togo).

At European level, a call for proposals was issued in 2008 by the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) for a review on the surveillance and control of vectors at the scale of the whole continent. Also worthy of note, as well as the EDEN association, is the European Mosquito Control Association (EMCA), set up on 28 march 2000 and bringing together 170 members from 19 European countries and 5 countries from outside Europe to work on the common scientific and technical objectives concerning vector control. As well as this, the scientific and technological actors who in common work on vector control meet every two years at the conference of the European branch of the Society of vector Ecology (SOVE), alternating with EMCA.

Finally, joint operations are run with WHO, occasionally or at the time of epidemics, involving the organization's European office. Also the French Department of Health is involved in an international network as French contact for the implementation of the IHRs, in force since June 2007.

RECOMMENDATIONS

- **Develop regional cooperation schemes** (French-based but also with neighbouring countries) with the aim of improving vector surveillance and information exchange, but also to encourage and develop training.
- **Support the creation of regional centres of expertise and training (Indian Ocean, Caribbean, Europe)** linked to a national centre (similar to a Vectopôle specialist vector centre).
- **Reinforce means of exchange between professional associations** and set up interactive interfaces for information (forums on dedicated Internet sites, virtual documentation centres), on related topics: operational activities, distribution of potential vectors and so on.

From initial training to career-long training¹⁵

In 2005, there were only an estimated 100 or so medical entomologists in France, half of whom were over 50 years of age. The fall in the number of specialists in this field and in vector control has led to the abandonment of whole swathes of activities where France used to have an internationally recognized expertise. At present, not one entomologist devotes himself full-time to the taxonomy of medically important insects, whereas the taxonomy, even of groups of insects that are supposedly the best known, is in need of a far-reaching revision (on this alarming situation, see especially the reports by the French Academy of Sciences of 2000 and 2006, which to date have not been acted upon).

Several reasons can be mentioned: reorganization of life sciences teaching and research, disengagement from research on vectors in the tropical countries, or insufficient finance. Scientifically, at the end of the XXth Century research work on arthropods of interest to medicine or the veterinary field became themes taken in with other branches such as integrative biology, genetics and more recently immunology, genomics and evolutionary sciences. The “butterfly net” entomologist was henceforth the victim of a pejorative image whereas, in parallel, the job supply dwindled owing to a drastic reduction in joint projects with countries of the South and an underestimate of the problems existing over national territory.

France nevertheless still has a high research and operational potential. This resides mainly in the various research institutes that work in the tropical countries: IRD, CIRAD, the Pasteur Institute network and the Institut de Médecine Tropicale du Service de Santé des Armées, or Military Health Service Institute of Tropical Medicine (IMTSSA). Potential also exists in the universities, in some private companies and operational agencies such as département councils, the DDASSs or the EIDs.

¹⁵ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 12: “What are the existing training programmes and further training needs?”.

EXISTING TRAINING IN FRANCE

Design of really effective vector control must be founded on a solid entomological base and within a precisely structured organizational context. It must then be implemented and assessed. The knowledge and skills required at these different stages are not the same and do always depend on the same paths of education and training.

Initial training

Initial training consists of curricula leading to the award of a Masters degree, an advanced technical qualification or the grade of technician.

The Masters

The International Masters in medical and veterinary entomology (MIE) offers the most comprehensive advanced-level training in France and the French-speaking countries. Its objectives are to equip students from the Northern hemisphere and the countries of the South with an education that opens the way to research in vector biology, taxonomy or ecology, on population genetics, genomics and post-genomics and in vector control. The MIE programme involves the partnership of two universities: Abomey Calavi University (Benin) and Montpellier-II. It is supported by the IRD, the overall leader of the project, the Institut Régional de Santé Publique, or "Regional Institute of Public Health" (IRSP) at Ouidah (Benin) and the Centre de Recherche en Entomologie de Cotonou, "Cotonou Centre for Entomology Research" (CREC). Between 2005 and 2008, 45 students of various nationalities originating from three continents (Africa, Europe and South America) took this Masters course. In this way, they developed a common culture, in the same manner as with similar training programmes abroad (see Box).

Again in Montpellier, specialist modules or seminars are offered as part of other Masters courses in the speciality "Biodiversity and microbial and parasite interactions", of the Sciences for the environment Masters: Animal health and epidemiological surveillance in the countries of the South organized by CIRAD and the Toulouse Veterinary School; Infectious, vector-borne and food-related diseases at Kasetsart University in Thailand, in partnership with the Pasteur Institutes and CIRAD; Epidemiological surveillance of human and animal diseases (SEMHA), jointly with Paris-XI University, CIRAD and the École Vétérinaire of Maisons Alfort, France; also Dynamics of parasite-host-environment interactions.

Training programmes abroad

- A Masters given in English in Medical Entomology and vector Control was launched in June 2008. It is held at the University of Gezira (Sudan) with the participation of the Blue Nile National Institute for Communicable Diseases (BNNICD). This Masters also has the support of the WHO regional office based in Cairo (Egypt). Its objective is to cover the training needs in medical entomology and vector control for the countries of North and East Africa, but also those of Middle-Eastern countries that have English and Arabic languages in common.
- A 12-month Masters course run in Spanish, in Medical Entomology and Vector Control is proposed each year at the Pedro-Kouri Institute in Havana (Cuba). It covers the training requirements for medical entomology and vector control in the central and South American countries that have Castilian as common language. It benefits from the support of the WHO regional office, the Pan American Health Organization (PAHO).
- Several European universities offer modules, short courses and training courses in medical entomology (see details on CD-ROM).
- In the USA, very strong investment in control against vectors and nuisance organisms shows up in the manifold training programmes offered. Such courses range from Masters in medical entomology (Universities of Florida, California, Louisiana among others) to theoretical and practical sessions of a few hours for individuals (in insecticide application for instance) organized by bodies such as the Environmental Protection Agency (EPA), or the Centers for Disease Control (CDC). The American Mosquito Control Association, which has a strong presence in the field, moreover allocates grants in partnership with the States involved in vector control (including California, Florida, New Jersey, Louisiana).

Also, the University of Tours offers a Masters 2 degree (Control and observation of insect populations) within which a number of hours are devoted to medical and veterinary entomology and vector control (see details on CD-ROM).

A Masters in Transmissible diseases and tropical pathologies, which includes a section on medical entomology, is proposed at the University of Marseille and a two-month intensive theoretical course on vectors is offered by the Paris Pasteur Institute and the IRD. That course, which pursues international recruitment, is intended for holders of Masters degrees or PhDs.

Other Masters- and Engineer-level courses

Other than the optional programmes offered by the Montpellier Medical School (30 hours of medical entomology), three types of educational establishment incorporate some aspects of entomology and/or vector control in their courses: the veterinary schools, the schools of agronomy and agriculture and the health engineering schools.

The veterinary schools provide students with basic instruction in veterinary entomology concerning the principles of vector control, bio-ecology and vector identification. On top of that come elements on vector-borne diseases and also on the different classes of insecticide. However, it would be useful to complement these aspects with specific training in veterinary entomology especially targeted on problems that arise in France and its territories.

The agronomic and agricultural schools do not provide courses on vector control. Some of them touch on pesticides, including insecticides and their modes of action and methods of application, but against arthropod pests that attack crops and not vectors.

As for the health engineering schools, they deal only briefly with vector control as part of courses in other public-health related disciplines. For example, 8 hours are devoted to vector risks and vector control in the hygiene courses of the École des Hautes Études en Santé Publique (EHESP).

The IMTSSA of Marseille, for its part, organizes every year a 40-hour training programme in medical entomology, plus a course on malaria control.

An important finding is that there are no modules or seminars that deal with the legal aspects of vector control.

Training of technicians

At the time of writing, there are no specific courses in France for training technicians (professional *baccalaureate* level) or higher technicians (diplomas such as DUT or BTS, or the professional *Licence* at Bachelor degree level) on vectors and vector control.

Nevertheless, since January 1st 1996, a professional certificate is compulsory for any establishment that provides services (including distribution and application) in the sector of plant health products or biocides (by the decree of 5 October 1994, and orders of 6 and 13 March 1995). This certificate is delivered by the Regional Plant Protection Services (SRPV) under

the condition that two criteria are satisfied: the company must have at least one permanent approved agent out of 10 assigned to this type of service; it can prove that it is covered by a professional civil responsibility insurance.

The Application operatives' certificate for antiparasitic and similar products (CAPA), and the Certificate for distributors and application operatives for antiparasitic products (DAPA) are documents of approval delivered under the sole name of the agent. The latter certificate can be obtained with an acquired qualification or after a process of validation of acquired competence and experience (VAE) of a minimum of five years, in the sector of activity concerned or in an approved Centre for professional training and agricultural promotion (CFPPA). It must be renewed every five years on the basis of a formal application and an updating of knowledge.

Furthermore, some private companies conducting insect- and other vermin control operations provide targeted modules devised for professional agents in the sector.

TRAINING NEEDS

Training is needed as much for technicians as at senior and management level.

Training for management level

For senior and management personnel, programmes such as the Masters offered at Montpellier or Tours should in part respond to the need for reinforcement at the higher technical staff level. However, local expertise could be significantly improved by grants for Masters and theses oriented towards vector control, especially in France's tropical departments. That has already been suggested in several previous reports (see for example the 2006 mission report by the epidemiologist Antoine Flahaut). Educational programmes with considerably more vector-control content should also be introduced in schools of agronomy, agriculture and veterinary studies, and also in training for management-level personnel in public health (like that of the EHESP).

Training for technicians

There are considerable deficiencies in training for technicians. The health and hygiene technicians of the DDASSs, recruited by competitive examina-

tion, all have widely different initial training. Few of them have done the exams for the hygiene technician role. The Ministry of health technicians are overall insufficiently well trained in environmental health. The situation is identical in the Departments of Veterinary Services (DSV). It is therefore essential to establish continuous training schemes focused on the operational aspects and training modules in the existing curricula and continuous training programmes, preferably of the professional baccalaureate or technical diploma (DUT) type.

This observation was already pointed out in the IRD expert group report of 2003 on dengue in the FDAs. This general recommendation is still relevant, but it is also fundamentally important that these training programmes give agents an opportunity not only to improve their operational skills, but also to benefit from career development (given the often high degree of discomfort involved in this work). The result of this will be the possibility for devising real strategies of recruitment which at present are too often lacking in the vector control services.

The instruction provided should cover: vectors and diseases, hygiene and safety, techniques of vector control, social communication, mapping (geographical information systems). Once trained, some people could pass on information (as instructors in their turn) to initiate municipal agents or hotel-complex personnel.

Continuous training

In terms of continuous training the CAPA/DAPA certificates started from a good idea but its content is now too general. It should be more accurately adapted for each professional function and harmonized across the different training centres. Besides this, for updating knowledge, a frequency of every five years is probably not enough. Similarly, the requirement to have only one certified agent for ten operators assigned to vector control is far from sufficient.

It would also be worthwhile if the CNFPT, under the combined impulse of the Department of Health and the food agency DGAL, the département councils and municipalities concerned, could develop the provision of continuous training adapted for agents of vector control services, with the possible participation of EHESP.

The initiatives launched in Martinique could be taken as an example. Training sessions have been organized for some years, intended for municipal personnel ("municipal mosquito destruction mediators") by the vector control service (one week of initial training followed by a permanent process of updating). Subsequently, these "municipal mediators" intervene in the field, on their own or alongside vector control agents. Contacts are being made with the management centre and the local CNFPT in order that such training schemes can be validated and taken into account in career assessment.

On the organization side, the training programmes could be provided by broad region (Indian Ocean, Antilles-French Guiana and so on), while for implementation the services of experts from scientific networks could be called upon (like Montpellier Vectopôle, ADEGE).

RECOMMENDATIONS

- **Make sure** that at least one management-level person from each vector control operator organization (EIDs, département councils, large local authorities, State departments and services) takes advanced-level training, of the Master in entomology type, or recruit someone who has gained such a qualification.
- **Promote** better theoretical and practical training on all aspects of vector control among management-level public health and veterinary personnel (doctors, veterinary surgeons, health engineers, nurses). Continuous training of senior public health staff could be taken on by EHESP, with the help of French experts (from the Montpellier Vectopôle, high-level personnel of operational structures and so on).
- **Reinforce and organize** a structured provision of continuous training for technical agents in order to integrate the changes and developments of techniques, regulations and risks from vectors and epidemics. It could be organized on a regional basis by the CNFPT by calling upon local skills and knowledge, themselves strengthened by professional networks like ADEGE and the centres of expertise. The main drive behind this and the assessment role must be under the control of the Department of Health (DGS) and the food agency DGAL.

Research: a key to successful vector control¹⁶

The history of research on vector control is dotted with successes and failures and it would be useful to draw lessons from these. One of the major successes is the onchocercosis control programme in West Africa. The source of this success: the intensive research on the vector species of blackfly (Simuliidae) and their biology, on the insecticides that could be used and on appropriate product rotation strategies, all accompanied by over 30 years' intensive human and financial investment. The pioneering, highly multidisciplinary approach adopted achieved the effective control of the transmission of the disease, to such a degree that today it is no longer a problem for public health.

In contrast, however, the attempt at complete global eradication of malaria by vector control, through a campaign run from 1955 to 1968 resulted in failure in the tropics (see CD-ROM). More recently, the introduction and diffusion of West Nile virus into the USA revealed a serious gap in knowledge of the disease. The same goes for the recent (2005-2006) chikungunya epidemic on Reunion Island.

Vector control is usually underpinned by applied research, but it sometimes stimulates basic research on more fundamental scientific questions. The highly effective tools that are currently used (insecticide-impregnated mosquito nets, visual traps against tsetse (*Glossina*) and so on) are often the fruit of prior fundamental research performed in the many disciplines involved. Such research includes work in engineering, biological sciences, chemistry, epidemiology and biomathematics, but also in human and social, economic and political sciences.

¹⁶ In this chapter, references to the CD-ROM concern question 13: "How does research contribute to improving vector control?".

KNOWLEDGE ON VECTORS LEADS TO CONTROL TOOLS

If one believes in the saying “Know your enemy” to be able to fight him, then clearly it is essential that research on vector surveillance, biocidal products and on material and equipment be founded on sound knowledge of vector biology.

Vector biology

Vector biology involves two major fields of research: “taxonomy” and “population biology”.

Taxonomy

One of the prerequisites of vector control is to know how to identify the vectors and put them in an evolutionary context. To crystallize the issue, it must be borne in mind that nearly 900,000 insect species have now been recorded, representing more than 80% of all animal species described to date. Around 10,000 new species of insect are described and published every year and an estimated two to three million species are yet to be discovered. As observations progressed, it became apparent that most vectors belonged to complexes of species that, although morphologically similar, were genetically different and hence reproductively isolated.

In taxonomic research, multiple-entry identification software now compensates somewhat for the deficiencies and subjectivity of standard dichotomous keys. Molecular tools have also been developed, mainly based on the polymerase chain reaction (PCR) technique, which allow identification of most taxa. Such an approach using PCR tests in Tanzania and South Africa, when mosquitoes were still present after insecticide treatment, was able to show that only individuals of *Anopheles parensis*, *Anopheles rivulorum* or *Anopheles vaneedeni*, from the same group as *Anopheles funestus* but exophilic non-vectors, persisted whereas *Anopheles funestus* had been controlled. Sequencing of Ribosomal DNA, mitochondrial DNA or of introns and exons of nuclear genes has helped refine the phylogeny and phylogeography of many vector species. It has thus been shown that in the Camargue the populations of *Anopheles hyrcanus* and *Anopheles pseudopictus* make up a single species.

Vector population biology

The genetic mechanisms behind vector competence are becoming better known thanks to quantitative genetics applied to insects and to functional genomic tools. The most rapid advances are being made in the knowledge on *Anopheles gambiae*, the major vector of human *Plasmodium* in Africa. Studies have shown that this mosquito, like other insects, develops cellular immunity involving haemocyte-mediated melanization and phagocytosis, and humeral immunity developed by the intervention of antimicrobial peptides. Its complete genome has been sequenced and partly annotated (see CD-ROM for other vectors and infectious agents).

However, a major conceptual advance in entomology is the approach that looks at the dynamics of the vector system as a whole. This considers the system with all its components, the vector, parasite and host populations, all adapted at a given moment to an environment that changes. The study of vectors then becomes a component of eco-epidemiology. Considerable advances in population genetics of vectors recently achieved have improved understanding of the links between each of the actors of the system and helped to gauge better the important roles of coadaptation and coevolution.

Substantial research has been done especially on vectors' physiological, genetic, morphological and behavioural adaptations to environments that are changing, particularly in response to climate change and environmental modifications. The results obtained include findings on vectors' choice of sexual partners, choice of resting site and breeding site in mosquitoes and identification of genes involved in behaviour and unravelling their expression mechanisms. They are largely owed to new tools from molecular biology, but also partly to a return to descriptive and explicatory studies on the behaviour and life characteristics of vectors (see CD-ROM).

The socio-anthropological component is now also better integrated into the research. For example, the development and spread of dengue in Asia, South America and the Caribbean are clearly linked to urbanization and living standards. Similarly, reinvasion of housing by sylvatic triatomine bug vectors of Chagas disease helps explain why transmission persists even after application of vector control measures.

The history of tsetse trap development

- The first methods for catching tsetse flies were rudimentary, but quite effective: capture traps, glue-impregnated screens.
- 1930: first tsetse trap. This Harris trap is like an enclosing box with a cage fitted above equipped with an anti-return device.
- 1970s: the traps underwent considerable development aided by studies on tsetse behaviour towards animals, odours and colours and other factors. Observations made discovered that: the shape and size of the trap influence capture rate (a single shape is not effective for all *Glossina* species), some species are sensitive to movements (hence the use of vehicles equipped with electrified mesh), tsetse can distinguish colours (some are attractive, like royal blue) and some are sensitive to odours (various substances can be used).
- These observations culminated in the development of new traps, such as the blue and black biconical Challer-Laveissière trap, which is simple, lightweight, foldable, cheap and efficient especially for forest-gallery *Glossina* form, and in the blue cubic trap of Flint which can be used fixed to one spot against savannah tsetse.

Vector surveillance

Vector surveillance, based largely on capture traps, aims to detect the presence of a vector or a given population (introduction of an exotic vector into a previously vector-free area) or to determine vector abundance useful for estimating the risk of transmission (see Box “The key parameters of transmission” in the chapter “From vector risk assessment to epidemic risk assessment”). The first operation (detection of vector presence) requires that traps be as sensitive as possible. In the second one (abundance assessment) the traps must reflect the diversity and quantity of the insects that feed naturally on the hosts concerned by the investigation.

The literature abounds in descriptions of trapping methods. The history of those used for African *Glossina* (tsetse), sleeping sickness vectors, illustrates perfectly how research can further progress in this field (see Box).

Scientists’ work leads to ways of designing traps best adapted for the objectives of surveillance, including traps with or without animal bait, others targeting only females, and egg-laying traps (see details on CD-ROM).

Biocidal products

To be effective, biocidal products must change and develop perpetually owing to vectors' acquisition of resistance and capacity for adaptation. Furthermore, the legislation insists that some of them should be abandoned.

The new insecticides

Application of the European directive 98/8/EC has meant that most of the old effective, inexpensive biocides (generally the organophosphates and carbamates), non-notified or non supported by their manufacturer, have either disappeared (like temephos, malathion) or are about to be withdrawn (fenitrothion). As for the development of new products, one of the hindrances is that the market for them is not a priority in the eyes of the manufacturers, because its profitability is low.

Considerations of cost, acceptability, safety and, more recently, respect for the environment have nevertheless led companies, research institutes and international agencies to offer new compounds such as insecticides of biological origin: *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti), effective against Simuliidae and certain mosquitoes, *B. sphaericus* (Bs), active against mosquitoes of the genus *Culex*, Spinosad, from the naturalite chemical class derived from actinomycetes, or pyrethroids, with low toxicity against homeotherms and, finally, growth regulators mimicking insect hormones (see Box).

It remains that at present, few really innovatory avenues are explored. Some trials are nevertheless under way on natural substances such as essential oils or plant extracts (geraniol). Research laboratories are working on new biocides (chemical or bacterial) resulting from screening on specific target nuisance arthropods. Some have given rise to the filing of patents. However, the link between laboratory research and the agrochemical industries is not easy to forge. In addition, the development and marketing of a new product are extremely costly and not necessarily profitable for the manufacturer.

Sensitivity and resistance to insecticides

Many vectors have become resistant to insecticides. Management of resistances to insecticides requires their characterization. Resistance is an adaptive phenomenon. It usually appears in a restricted area, but it can expand rapidly by active migration. But the main process is passive migra-

Summary of insecticides used in France
Malathion, temephos and fenitrothion are no longer authorized in France.

Larvicides

■ **Bti and Bs**

- Utilization: a highly favourable toxicological spectrum and high selectivity.
- Limitations: *Bti* acts on most species of Culicidae, *Bs* is more specific for *Culex* and *Anopheles*.
- Changes and developments: diversification of formulations depending on diversity of situations in the field.

■ **Diflubenzuron**

- Action: development inhibitor.
- Utilization: used little or not at all at present, owing to its action mechanism which intervenes only at the moulting period.
- Limitations: significant effects on invertebrates.
- Potential uses: mainly targeted at species living in urban areas, improvised mixtures with other larvicides to be assessed.

■ **Pyriproxifen and S-methoprene**

- Action: mimics growth hormone.
- Utilization: effective at very low concentration. Used little or not at all at present, owing to its action mechanism which intervenes only at the time of emergence.
- Limitations: assessment to be made on effects on non-target aquatic invertebrates in their development period.
- Changes and developments: mainly for use in urban areas, improvised mixtures with other larvicides to be assessed.

■ **Spinosad**

- Action: causes modification of nervous system in many insects.
- Utilization: certified in some member-States against ravaging insects (agriculture), use anti-Cuclidian larvicide currently under assessment.
- Limitations: first assessments not very encouraging for use in natural environments owing to its effects on non-target aquatic invertebrates.

[...]

continuation

[...]

Imagocides

- Potential uses: in mosquito destruction or vector control programmes.
- Limitations: low selectivity of non-target insect fauna.
- Changes and developments: more than 20 compounds supported at Community level (European Union).

■ Deltamethrin

- Utilization: for spatial treatment and residual treatment.
- Changes and developments: a formulation is marketed as an aqueous emulsion. Effectiveness and selectivity trials under way with a view to replacing fenitrothion.

■ Other notified pyrethroids

- Utilization: could be incorporated into the composition of products devoted to non-specific domestic imagocide treatments (nuisance insects/arthropods commensal with humans).
- Limitations: cost of their authorization, growing resistance to pyrethroids (Kdr, cross-resistance with that of DDT).

Products requiring research

Natural pyrethrum (highly photolabile and allergenic, etofenprox (a non-ester pyrethroid), naled, one of the rare organophosphates notified (adulticide in spatial treatment), natural plant extracts and essential oils as repellents or insecticides.

tion, seeing that mosquitoes can propagate far from their habitat aided by aircraft or ships. Their genetic adaptation is more-or-less effective depending on the mutated genes, the nature of the mutations and the selection pressure exerted.

Considerable advances have been achieved over the past few years on the understanding of the genetic mechanisms. Two large types of the latter have been brought to evidence within mosquito populations. The first, called metabolic resistance, corresponds to an increased detoxification of the insecticide by enzymes which trap it and/or inactivate it before it reaches its target. The second corresponds to the mutation of the product's target sites which change their conformation and affinity for this.

Any light shed on these mechanisms can only improve vector control. In particular, the construction of resistant strains in an insectarium with a controlled genetic base allows the attribution, to a controlled mutation, of levels of resistance to different insecticides. The perfecting of detection tests for these mutations (biochemical or molecular) will offer the possibility of measuring their frequency in natural populations. These frequencies will be correlated with environmental factors (biocidal product treatments, ecological data and so on) and genetic factors (see details in CD-ROM).

Repellents and insecticide-repellent combinations

The pollutant character of insecticides and the development of resistance to insecticides have led industrial companies, research institutes and international agencies to turn their attention to repellents. These substances are commonly used for personal protection against insect bites. They are now undergoing a revival of interest for public health purposes. Three control strategies are being studied at present: the use of repellents for dermal application on their own or as a complement to the wide use in the local community of impregnated mosquito-nets or other equipment, the impregnation of equipment just with repellents, and the use of repellent-insecticide combinations in reduced doses for the impregnation of equipment (for further information on the results obtained, see CD-ROM).

Nevertheless, research focusing on repellents and their use in public health is just beginning. Fundamental research on olfaction and repellents' impacts on insect nervous systems prove to be essential and urgent. Studies are currently being conducted on small molecules which act like antagonists of mosquito CO₂ chemosensory-receptors. This opens the way to the development of new substances.

Moreover, repellents are extremely volatile and hence the problem arises of their remanence on the impregnated equipment. Close collaboration between chemists, biologists and industry is imperative if research is to be undertaken that aims to formulate substances that meet well-defined remanence characteristics, particularly for long-lasting action. It is also essential to study the toxicology of products, used on their own or combined, as it is for any new compound. Then their effectiveness, again alone or in combination with other control methods, must be measured in the field at population level. This involves research questions in public health which entail experi-

mental or quasi-experimental comparative assessment protocols, when a control programme is being implemented. The Department of Health set up a workshop group in 2008 in order to tackle these questions.

Unwanted side-effects

Biocides might evidently exert unintentional harmful impacts on the environment, the study of which is in the field of ecotoxicology, but also on humans and animals, whose analysis requires research in toxicology. Resistance to certain families of insecticide could emerge or behaviour could change (avoidance). In parallel, the pressure exerted by the intensive use of insecticides and the fall in abundance of a vector can bring about worsening of diseases owing to the loss of immunity. All these aspects are dealt with abundantly in the chapter "Unwanted side-effects".

Pesticides in agriculture versus vector resistance

The use of pesticides in agriculture can be expressed by two direct effects on insect vector populations: by a non-specific action, these insecticides also kill vectors but in addition, which is more cause for concern, they select the appearance of resistance in the latter, by creating selection pressure.

WHO and FAO experts recognized at the end of the 1980s, after 40 years of intensive use of organochloride (OC) and organophosphate (OP) insecticides in agriculture (particularly for cotton), evidence of selection of insect disease vectors brought on by agricultural plant health practices. Typically, populations belonging to 13 out of 48 anopheline species that had acquired resistance were presumed to have been selected by agricultural pesticides (see other examples on CD-ROM). Moreover, when agricultural treatments are deployed at the same time as vector-control operations, their relative significance for selection processes is not always easy to estimate.

The identification and subsequent follow-up studies of the resistance gene for organochlorides and for pyrethroids (*kdr* gene) in anopheline populations have confirmed the continuation of selection processes of *Anopheles* by agricultural treatments in the Ivory Coast and Burkina Faso (see other examples and the literature on the subject on CD-ROM). Today chemical alternatives to pyrethroids in agriculture exist (spinosad, indoxacarb, growth regulators, but also other protection strategies (organically-grown cotton, genetically modified varieties), that could considerably reduce the impact of

agricultural practices on the selection of malaria vectors. Regional mapping of the resistance of anopheline populations in relation to the strategies applied in the different crop systems would help to confirm this hypothesis.

Fertilizers, especially modern products of the NPK type (nitrogen, phosphorous, potassium), can have attractant properties for gravid females of *Aedes aegypti* at certain concentrations: it would appear that the attractive power emanated by the NPK combination lies in a precise proportion of its component elements. Vigilance is needed in agricultural situations, but also in residential areas or gardens, and pot plants, which are often dressed with fertilizers. Thus, for *Aedes albopictus*, the chikungunya virus vector, the preferred breeding sites are indeed the saucers placed under the flower pots. Fertilizers are deployed in combination with insecticide treatments on all the crops.

The principal mechanisms of resistance to insecticides are either mutations of the target, or metabolic resistance, which involves an increased level of detoxification of pesticides and pollutants by enzymes (for further information, see CD-ROM). It is therefore not surprising that in the large urban agglomerations in the tropics, *Culex quinquefasciatus*, observed in the most polluted sites, have become strongly resistant to most of the insecticide families, whereas generally no control campaign is run for this species by insecticides and pollutants. This is cause for concern, especially so seeing that recently colonization has been growing in anthropogenic and polluted sites in tropical urban environments by certain major vectors like *Aedes gambiae*, which transmits malaria in Africa.

Materials and equipment

Each item of material used for vector control must be carefully studied and sized for optimum effectiveness, but also to limit unwanted side-effects.

As far as spraying equipment and the conditions in which treatment is conducted are concerned, research concentrates on optimization with regard to new requirements governing hygiene and safety. Possible improvements to individual protection equipment (IPE) concern their ergonomics, considering the discomfort and arduous conditions experienced when working in humid zones or in confined environments (see CD-ROM). Another improvement, the fruit of a joint project between EID Méditerranée and the Institut de Recherche pour l'Ingénierie de l'Agriculture et de l'Environnement (CEMAGREF, Montpellier) concerns the setting-up of on-board DGPSs (Differential Global

Positioning Systems) and the recording of flow rates before spray emerges from the nozzle. These two organizations are also combining their efforts to develop droplet generators that could optimize *Bti* aerial spreading.

Aerial spraying campaigns, however, are up against the unfavourable image of their use in agriculture. They can continue only if accompanied by stringent measures (proof of their effectiveness, and the best possible control over treatment parameters). Trials are under way, under the leadership of EID Rhône-Alpes and EID Méditerranée (see further details on CD-ROM). In any case, whether treatments are conducted from tarpaulin-covered vehicles or by aerial spraying, temporal and spatial assessment must be made of their effectiveness (see Chapter 3 on vector control assessment).

To date, impregnated materials (such as mosquito nets) still appear to be the most effective devices (and inexpensive), especially in the case of malaria. Clothing impregnated with pyrethroids or repellents and quite lastingly wash-resistant are currently being assessed. Several operational trials have shown, for example, that impregnated mosquito nets reduce malaria-induced morbidity by about 50% and deaths of children under 5 by 20%. Large-scale utilization of impregnated materials is strongly supported by WHO and is incorporated in almost all national malaria control programmes.

The research themes currently pursued include: third-generation mosquito nets (with permanent insecticide effectiveness for all their useful life), but also pyrethroid substitution products (the only ones used as toxicity for humans is low), against which vectors have developed resistance. Also investigated is the vector behaviour (host identification and biting), with a view to developing more effective tools.

CONTROL METHODS AND STRATEGIES

How can epidemic risks be assessed? What strategies can be adopted? Answers must be found either in the existing research results or new research must be embarked upon.

Entomological and epidemiological indicators

The relationships between entomological and epidemiological indicators provide essential information for improving management of vector control

plans, for warning and for planning the control response. Research programmes are therefore necessary aiming to assess and validate different indicators, which supposes close collaboration between the entomology services, the surveillance organisms and research teams in epidemiology, biostatistics and modelling. The long-term idea is to share common tools for collection of georeferenced information.

Remote-sensing tools can now contribute to following-up indicators. For example, the Argentinean Ministry of Health has assigned its national space agency, the *Comisión Nacional de Actividades Espaciales* (CONAE), to develop tele-epidemiology applications, jointly with the French space agency CNES, and to integrate the spatial products into the epidemic surveillance system. The objective is to use them in an early-warning system, in other words render them capable of detecting change in environmental and climatic conditions favourable for the development of vectors and to produce risk maps (intended for decision-makers and operational actors). The CNES is also involved in follow-up studies on rift valley fever in Senegal, as well as in a programme on urban malaria in Dakar, on the follow-up of dengue in Argentina and on the detection of malaria-infected zones in Brazil (for further information, see CD-ROM).

Risk assessment

Risk assessment must take account, among other things, of those linked with global climate changes, but also of risks of importation, especially by means of transport. The risk indicators are currently poorly defined, which prevents the prediction of potential epidemics (see CD-ROM). This is where the European Eden project shows its interest, which jointly involves several research teams from the IRD, CIRAD, EIDs, the CNRS and universities to conduct studies and devise risk models (for malaria in the Camargue, for example). A risk study on rift valley fever (RVF) in Mayotte and Reunion Island was conducted in 2008 on the initiative of AFSSA. A group of experts coordinated by AFSSA gives advice, on commission and of its own accord, on regulations, then risks and operations associated with bluetongue in France. The ECDC commissioned a study of the risks of vector-borne diseases at European level and a report produced by an international consortium was delivered at the end of July 2008.

Genetic control

Genetic control has already given rise to a number of successes (against screw-worm fly *Cochliomyia hominivorax*, for example, in Zanzibar). New research projects aiming to assess the feasibility of releasing sterile males of *Anopheles arabiensis*, malaria vector, and *Aedes albopictus*, vector of dengue and of chikungunya are being devised in Reunion Island and also in the Sudan and Italy. Besides this, the recent control of transgenesis in mosquitoes, the progressive identification of useful genes and the development of colonies of insects genetically refractory to a range of pathogens give a glimpse of the possible use of genetically modified mosquitoes incapable of transmitting viruses or parasites to humans. Other avenues are also explored, particularly paratransgenesis techniques taking advantage of symbiotic bacteria (of the *Wolbachia* type for example). Evidently, the use of transgenic mosquitoes necessitates detailed research upstream in order to ensure that the approach is feasible.

The means

Experiments on the use of *Wolbachia*, endocellular proteobacteria very widespread in the arthropods, were conducted for the first time in the 1970s. In mosquitoes, they induce cytoplasmic incompatibilities (CI) which lead to the premature death of their embryos (see the mechanisms on CD-ROM). Further experiments are now under way for infecting mosquitoes which are not naturally infected. The objective is to render them incompatible with the natural populations.

Research projects on this aspect make it possible to envisage in the long run genetic control based on cytoplasmic incompatibilities, at least against some species and in certain regions of the world. Sequencing of the genome of *Wolbachia* from different species will contribute to improvement in our knowledge about the genes involved in incompatibility phenomena. These genomic studies could thus lead to the identification of new biocidal products.

Biological control

Biological control consists of taking advantage of the natural enemies of insects. These include fish and insect predators, but also parasites or

entomopathogenic agents. The first type includes larvivore fish and certain entomophage aquatic insects (see CD-ROM). Among the second type, can be observed some parasitic nematodes (mainly *Ramanormis cuilcivorax*, others being assessed) or entomopathogenic viruses, but which are difficult to apply in operational terms. The microsporidia, however, do not hold any real interest. As for fungi, several species are potential candidates for use in mosquito control. Then there are the entomopathogenic bacteria which have such a high infective power against insects that their action can resemble that of insecticide: they have been used for several years now (see CD-ROM).

HUMAN AND SOCIAL SCIENCE RESEARCH

Research in human and social sciences applied to vector control embraces a wide range of disciplines. Most of the time it is conducted in the framework of multidisciplinary programmes. The large disciplines of human and social sciences are essentially geography, history, social and political sciences, psychology, anthropology and economics.

Geography, history, psychology

These are disciplinary approaches that must not be neglected. Geography, associated with planning (urban or agricultural), is indispensable: spatial location of biological and human processes, the notion of territory, scales, spatial analysis methods, disparities, fracture, continuities and so on. History is also highly important (knowledge of past epidemics and of control actions deployed), in the same way as the memorization of previous disastrous epidemics, must be taken into consideration: in particular, what do people remember and how are such memories passed down?

Then there are the socio-political aspects, notably for what they imply in terms of governance and social debate. They are at the core of crisis management: role of the press, strategies of euphemization depending on how close the risk is, or, conversely, of minimization (for further information, see CD-ROM). Research work on vector control would moreover benefit from integrating that of psychologists, who could bring a relevant viewpoint on the levels of personal involvement of individuals.

Psychosociology

Research projects in psychosociology are quite rare. The work that is done has two principal objectives. The first consists of identifying the perceptions of acceptability and effectiveness of vector control according to people's sociodemographic characteristics. The second aims to bring into evidence a link, if one exists, between these perceptions, beliefs, feelings and so on, and the behaviour of actors exposed to vector risk and vector control. Such research would benefit from being conducted on different contexts of exposure and different levels of risk.

Other research

Socio-epidemiological research, when that is possible, comes as a complement to those mentioned. This field adds an entomological aspect which groups together observation data (on sites, vector capacity and density and so on) and also georeferenced data on vector control, essentially those concerning chemical and mechanical control methods.

The anthropological dimension

This dimension is generally too often missing from research on vector control. Recent work has highlighted the value of "indigenous" knowledge and practices. These carry certain meanings/significance, which should be deciphered if campaigns are to be able to act alongside communities. Anthropologists consider that this distinction between common sense and specialist sense, between ordinary perceptions and scientific measurements does not mean that there are two mutually hermetic worlds. Concerning the health risks linked to environmental problems, there are no impermeable boundaries between scientifically based and popular discourses.

Research work in the anthropology of health shows a frequent tendency to stigmatize people (because they "don't understand" or are considered to be "not observant enough"), while omitting to consider the perceptions and practices of professionals in their relationship with their patients, for example. As far as vector control is concerned, it would be worthwhile, alongside studies on the knowledge and behaviour of communities (whether or not they support protective measures, whether or not they use these collective or individual measures), also to take account of the role of

the various players involved in vector control (such as agents of the DRASS, officials) and of the medical profession in epidemic or endemic situations.

These considerations bring out the fact that notions of areas or groups at risk are insufficient for taking into account the diversity of situations and scales of investigation. The idea of vulnerability, which expresses both natural and human situations, appears more appropriate.

These thoughts suggest that the problems in question must be understood in a more general context, in particular by examining the interfaces between environment and health and drawing on more appropriate conceptual and methodological approaches (for further information, see CD-ROM).

Theoretical and applied economics

The advances in theoretical and applied economics over recent years will have some significant spin-offs for vector control. Firstly, from now on it will be possible to improve economic assessment of strategies for prevention or treatment of patients. Secondly, these advances should help bring out the mechanisms that can be used to stimulate economic agencies (public or private) and therefore their behaviour in the context of vector control.

Assessment of vector control policies and strategies is faced with the problem of assessing both direct and indirect costs (see also "Economic assessment: France lags behind"). The indirect ones are especially difficult to evaluate, as they are mainly borne by the patients, their family and friends and employers (owing to patients' absenteeism or loss of productivity). Recent developments in methods seem promising: the willingness-to-pay approach, measurement of the externality costs (whether positive or negative), or the standardization of cost-measurement methods.

Moreover, in the context of present rules of governance of vector control and their applications, deficiencies in behaviour are observed that could jeopardize the delegation of operation (public authorities or public-law bodies) or the implementation of prevention and vector control measures. Literature on improvement to the delegation relationship abounds, but the work described must be adapted to the French context of public health. Concerning the behaviour of private agents and their involvement in control measures, one of the major issues is to induce a greater responsibility among households and companies in a spirit of overall public good. Beyond aware-

ness-building and information campaigns, that implies the introduction of incentive measures linking the actors involved in vector control and the private agents or communities of private agents. This means the establishment of contractual relations around an objective of a definite result in health terms (for further information, see CD-ROM).

ACTORS IN VECTOR CONTROL RESEARCH

In France, and more widely Europe and the world, research on vector control is not highly coordinated. Projects stem most often from the individual initiatives of teams, whether in the public or private sector. Lines to follow or incentives on certain themes are sometimes given by the market (for example, a strong demand for repellents) and by funding sponsors, including the Gates Foundation and WHO on malaria- and dengue-vector control, the CRVOI (Centre for Research and Intelligence of Emerging Diseases in the Indian Ocean) on chikungunya vector control or the European Union on malaria control. Some research projects can find their place in national calls for proposals of the French National Research Agency, in the broader framework of infectious diseases or the environment, but the applied-research aspect is more handicap than advantage in this case.

Industry

Industry is not greatly involved in the research sector of vector control. The large chemical firms like BASF or Bayer either conduct or finance research, but mainly for agriculture, little for public health. Some companies, such as Bayer Environmental Service, wish to develop their activities in the public hygiene sector, but in the biocides sector, they restrict themselves to offering new formulations or presentations of existing active substances (generally from the pyrethroid family). Biocidal products (larvicides and adulticides) are still mainly agro-pharmaceutical by-products. *Bti* and *B. sphaericus*, exclusively specific for larvae of Culicidae or Simuliidae, or nearly so, remain among the rare exceptions.

Some companies have become engaged in the mosquito net niche, especially the insecticide-impregnated type, but their research is focused mainly on improvements to existing products. Others carry out studies, sometimes using non-standardized protocols, on the effectiveness of substances deemed to be repellent.

Research institutes and universities

Many research institutes and universities are involved in the range of themes just mentioned, from basic scientific aspects (like vector biology) to social sciences considerations. The institutes or centres of research include the IRD, the CNRS, CIRAD, INRA and the Institut Pasteur. This research usually suffers from insufficient coordination. Each research team follows its own strategy to answer calls for proposals that might come from regional, national or international organizations or respond to the demands of industry (see the list on CD-ROM).

Vector control operators

Vector control operators such as the EIDs, the Martinique département council or the Reunion Island public interest groups, carry out applied research on vector ecology, resistance to insecticides, new insecticides or new methods for the utilization and spreading of biocides, often working jointly with research institutes. They are naturally in contact with local people and conduct surveys on the acceptability of methods and on unwanted side-effects, especially their environmental impact.

Agencies

Agencies such as the InVS, AFSSA and AFSSET have no mission to conduct research. Nevertheless, as part of their surveillance and health watch duties, they collect and analyse a large amount of data on the risks of infection for humans and animals, including vector-associated ones (whether zoonotic or otherwise) and risks for the environment.

For example, InVS coordinates, leads and financially supports a 47-strong network of national centres of reference, several of them dealing with vector-borne infections. That Institute also has regional stations (inter-regional epidemiology units, including one covering the French Departments of America and another for Reunion Island and Mayotte). It is the designated national partner of the ECDC for European-level watch and early warning and it also runs a highly active international surveillance over emerging risks. It is therefore an important partner for public health research, whether for planned projects or emergency situations.

In order to develop and adapt its surveillance systems, the InVS also works with academic research teams. Such activities hold particular interest for applied research, especially on the question of the link between entomological and epidemiological parameters, on monitoring, assessment of vector-control programmes and on modelling.

AFSSA becomes directly involved in the work of mixed research teams, for example with researchers from INRA.

Funding agencies

The funding agencies play an essential role in the orientation and performance of research. Not all of them can be mentioned here. The major ones, for French programmes are: WHO, FAO, the European Union, the national or regional financing agencies (ANR, CRVOL, AFSSET), the regional councils, industry, or foundations such as Bill and Melinda Gates and Wellcome Trust.

RECOMMENDATIONS

Global changes in climate, the environment and societies are bringing conditions in which some diseases are emerging, others are changing their distribution range and certain historically known diseases like malaria are undergoing a world-wide resurgence. Research must therefore focus on certain major themes:

- the mechanisms of vector transmission;
- assessment of entomological risk;
- transmission-control strategies that are less polluting, more accurately targeted and more durable.

Understand the nature of a vector

Compared with the number of species of arthropods that exist, pathogen vectors represent only a tiny minority. Studies on the taxonomy, biology and interactions between vector and pathogen which make use of data from morphology, morphometrics, biology, behaviour, genetics and genomics should be continued, especially within species complexes. The vector-parasite interactions are still an obscure area and must receive particular research attention.

RECOMMENDATIONS

Assess and predict vector risk transmission

Global changes are modifying or will modify vector density and distribution, their vector capacity and their contact with parasites and hosts. These changes can increase or decrease the incidence of a vector-borne disease. The first step must consist of a far-reaching investigation of risk indicators. Such research must then culminate in the development of risk assessment tools based on validated statistical and theoretical models. Particular effort must be exerted on transmission models involving a zoonotic reservoir, which are more complex than in the case where a single host is used.

Improve current vector control methods and develop new approaches

The biocidal control methods must be made more specific, less polluting and more effective. Joint research between entomologists and specialists in human and social sciences must be intensified with the objective of optimizing the acceptability of the methods proposed and the participation of communities. Concerning biological control approaches, even though most results have been disappointing, it is essential to continue research (with other bacteria, viruses, fungi, parasites, predators). As for genetic control, it opens promising prospects for vector control. French research teams must follow up such avenues in the framework of international joint projects.

Coordinate multidisciplinary research efforts

Vectors know no frontiers. Research therefore must be conducted at European, Mediterranean and sometimes global levels. In France, at present there is no true national coordination on vector control. An organization such as the Vectopôle in Montpellier could play this role of unifier of research, expertise and training at national or even European level. A specific call for proposals from the ANR on the subject of vector control in France could be set in place jointly by the ministries of Research, Health, Agriculture and Ecology.

General recommendations

Eight great priorities

Create a National Centre of Expertise on Vectors and vector risk (CNEV)

The creation of a multidisciplinary organization of expertise that would provide a means for rapid efficient mobilization of the range of skills and knowledge in operational and strategic fields, and serve as a centre for reflection and making proposals on vector control, appears necessary. Here the term “expertise” must be taken in its broadest sense to mean a making available of knowledge and skills. These skills are at present dispersed in various research establishments (CIRAD, CNRS, Institut Pasteur, INRA, IRD), universities, agencies or public administrative establishments (AFSSA, AFSSET, INPES, InVS), and in operational structures (département council services, EIDs, ADEGE). This new organization could take the form of a National centre of expertise on vectors and human and animal disease vector risk (CNEV), placed under the aegis of the DGS (Department of Health) and the DGAL (Department of food). It would be constructed on a model akin to the National Reference Centres (CNR) and the National Reference Laboratories (LNR).

The CNEV should become tool for steering vector control in France, playing the role of receiver of knowledge and information issued by the relevant actors (of research, operational bodies, agencies and others), then analysing, before communicating knowledge and recommendations on vector risk and the means for containing it. The CNEV will have a predominant role to play in specialist expertise provision, assessment, decision-making assistance, training, consulting, information exchange and stimulating research, not only in the French context but also at European level and around the Mediterranean rim. It should be a principal official contact for the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) and international organizations (see Appendix: Order proposal and specifications).

Skills and knowledge in the field are currently highly dispersed in France. The CNEV can only be built on the basis of a network. However, this cannot be an informal network as it must be possible for ministries, local authorities

and operators to draw on the CNEV's services. The relationships, rights and obligations between commissioning entities and partners in the network must be contractualized. This type of structure does not currently exist in France.

This centre could be based on a central laboratory recognized in several of the component fields of vector control, depending on a research establishment or a university, and on a group of laboratories having complementary competences that are recognized, placed into association with the CNEV by convention. The head of the central laboratory, having unquestionable competence in the field of vectors, will be the head of the CNEV. This model is slightly different from the CNRs owing to the wider scope of the themes it covers, requiring the rallying of knowledge and skills in medical entomology on a range of arthropod groups, vector control, environment, public health and veterinary health, economics, sociology and anthropology, risk analysis and so on.

As for its designated status, the GIS (scientific interest group) or GIP (public interest group) type does not seem appropriate. A mode of attachment of the CNR type would be more relevant. It is proposed, for this purpose, that the CNEV's supervisory bodies, the Ministry of Health and the Ministry of Agriculture, identify the central laboratory or issue a national tender for the constitution of the CNEV, according to a precise set of specifications, which is the procedure used for the CNRs.

In an Appendix a preliminary version of a possible Order relative to the setting-up of the CNEV, and a draft set of specifications, are put forward for consideration and discussion.

Reset the legal framework and governance

The legal framework and governance for control of human disease vectors must be reviewed, in particular article L 3114-5 of the Public Health Code (rewritten after the law of 13 August 2004 which in its article 72 sets out the provisions for organizing the transfer of competence from the State).

The prevention of vector-borne diseases is in these terms a public health issue coming under the general jurisdiction of the State. It would therefore be appropriate to devise, with a view to improving clarity, a unique legislative mechanism to cover the control of haematophage insects and other blood-sucking arthropods, vectors of human diseases. All the preceding provisions will thus have to be revised or altered, particularly those from 1964 which applied only to mosquitoes. This will involve a revision of the legislature and a new homogeneous codification (Public Health (CSP), Local Authorities (CGCT), Rural Code). It will be important to make the distinction between the policy of prevention, on the one hand, and the implementation of vector control, on the other, notably involving the deployment of mosquito destruction operations. In line with this, it will be important to leave agents of vector control services the possibility to enter private properties in order to fulfil their duties.

Vector control must be incorporated into the mandates of the future Regional Health Agencies (ARS), and especially into the range of health and safety measures that will be under their responsibility. It will fall to the director-general of each ARS to determine a vector control plan, in liaison with the prefects, local authorities (département councils, municipalities) and operational actors (EIDs, GIPs).

It must be stipulated that in a situation of crisis management, the prefect is the competent authority and that the human and material resources that the ARS director-general has available are put at his disposal.

The Expert group emphasizes the fact that the State cannot on its own assume vector control and that legal tools for cooperation must be proposed in order to associate the local authorities, the municipalities in particular (in virtue of their planning and development obligations).

In metropolitan France, the interdepartmental mosquito eradication syndicates, *Ententes Interdépartementales de Démoustication* (EIDs) will have to have a set of specifications resulting from a multi-year contract of objectives and means concluded with the ARS director-general.

For the overseas départements and territories, it is recommended that Public Interest Groups (GIP) be set in place, leaving the possibility for département councils who wish it to have a right of option to continue to benefit from the means they have at their disposal, in the framework of a delegation of management. For animal health, vector control must be placed under the authority of the Ministry of Agriculture, of its food agency DGAL and its devolved services, of the Departmental veterinary Services (DDSVs). Vector control should be founded on a collaboration between the ARS services when this is justified by the nature of the disease or of the vectors.

Determine the intervention strategies

It is important to determine more accurately the intervention strategies to adopt and objectives to achieve regarding epidemics, epizootic diseases, invasive species and also the routine surveillance and vector control practised to keep the epidemic/epizootic and endemic/enzootic risks down to a minimum. Plans and scenarios developed on the basis of models for the West Nile and chikungunya/*Aedes albopictus* plans in metropolitan France and PSAGE in the French Departments of America will express these strategies and objectives on the different levels of activity concerned: day-to-day execution of operations (cleansing, choice of biocidal product and equipment, social mobilization, communication, data gathering, debriefing and feedback), follow-up of resistance to insecticides, qualification of operations personnel, staffing and supervision of teams, participation of partners and communities, finance. Writing of these plans is the under the State's responsibility, but it does require experts in complementary competences to be involved, such as members of the CNEV. The determination and improvement of strategies require rethought on the methods of personnel management, concerning skills and knowledge, continuous training and career development.

Assess the operations conducted

The Expert group has found evidence of significant deficiencies in the assessment of operational activities, economic aspects and unwanted side-effects. No assessment is possible without indicators. It is really urgent to launch a comprehensive study of indicators (operational, economic, ecological, sociological) through the setting-up of an *ad hoc* committee of professionals (including members of the CNEV) at the initiative of the ministries of Health, Agriculture and Ecology.

Once the standardized indicators required have been defined, common to both human and animal epidemiology, it would be advisable to make sure a culture of assessment is instilled in the services involved by enabling each of them to take on board the concepts and methodologies of assessment and realize the real importance of this approach.

Support research

The development of innovatory research that could lead to alternative vector control or others complementary to current ones, that are better targeted, less polluting, durable, accepted by communities and for an affordable cost, is crucial.

The research efforts, both fundamental and applied will be developed in the following three fields:

- the detailed mechanisms of disease transmission by vectors (research in taxonomy, vectors biology, vector-pathogen interactions, genomics of transmission);
- entomological risk assessment, especially in the context of climatic and environmental changes (research on risk indicators, modelling of risk and effectiveness of interventions);
- transmission control strategies that are less polluting, more accurately targeted and more durable (research on the methods and advantages of control using alternative biocidal products, management of vector resistance, biological and genetic control, control by community participation).

An incentive financial package allocated jointly by the ministries of Research, Health, Agriculture and Ecology could allow the mobilization of high-level researchers and students in France and abroad.

Improve communication

The realization of communication programmes and events about vector control that base their approach on people's perceptions, beliefs and practices, properly identified by prior representative surveys among communities exposed to vector risk, is too often neglected. Communication must take account of the socio-cultural and epidemiological contexts and of the vector situation in order to target accurately the different social groups according to their level of vulnerability and identified degree of reticence towards adoption of protective behaviour and practices. INPES (the French National Institute for Prevention and Health Education) could play a unifying role in this area.

Improve training

If improvement in the overall system for vector control is to be achieved, better theoretical and practical training is required at a very early stage for senior public health and veterinary personnel. All aspects of vector control should be covered. Moreover, continuous training for technical agents must be tightly formulated and reinforced so they can take on board the changes and developments in techniques, regulations, and vector and epidemic risks. At least one management-level agent of each vector control operator body must have accomplished high-level training in applied entomology. Depending on the objectives, programmes for such training could be aid on by the CNFPT, the professional networks like ADEGE, universities, the EHESP or the CNEV.

Bring vector control services out of isolation

There must be an increase in communication and exchange of information and data between the services and partners and the query systems should be pooled between them and such interaction with the CNEV must also be extensive.

There will be a strong drive to develop regional and international networks. There is a double aim: that of improving vector surveillance and the operational response capabilities (for example, by mutualizing ways and means during epidemics), but also that of encouraging training and operational research. Support for the foundation or development of regional centres (for the Indian Ocean, Caribbean, Europe), of expertise, for training and research linked in with the CNEV will also be sought, with an eye on the clarity and visibility of the national system that will have been established.

Strong promotion campaigns will be carried out to strengthen exchanges between professional associations such as ADEGE and further the creation of interactive information sources (forums on dedicated Internet sites, virtual documentation centres) bearing on operational activities and the distribution of potential vectors.

Create a National Centre of Expertise on Vectors and vector risk (CNEV)

As for the CNRs and LNRs, supervising ministries will contribute to the financing of the CNEV to enable it to fulfil its missions. The budget will be sufficient to employ at the minimum one secretary, an *ingénieur d'étude* and an *ingénieur de recherche* assigned entirely to the centre, and to carry out surveys commissioned, or have them carried out by the associated laboratories. The experts from the central laboratory and the associated laboratories, including the director, will devote part of their time to the CNEV according to a quota fixed by their institutions, universities or agencies, after discussion with the supervisory bodies. The CNEV will therefore work as a network around a hub, the central laboratory. The overall annual contribution for running costs (salaries for one secretary and two *ingénieurs*, operational costs, survey costs) will be paid annually by the Ministry of Health and the Ministry of Agriculture.

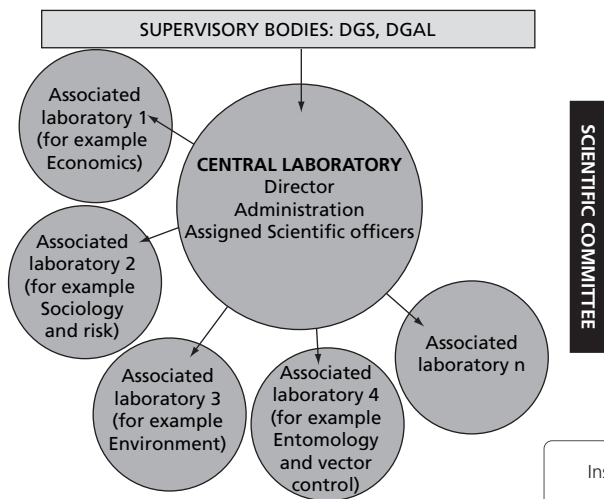


Figure 6

Institutional architecture of the Cnev

Order proposal

ARTICLE 1

In the framework of the control of arthropod-vector borne transmissible diseases, a structure bringing together the competences coming from higher education or research establishments, national agencies of expertise and vector control operational organizations is founded. It is named the *Centre national d'expertise sur les vecteurs et le risque vectoriel de maladies humaines et animales* (CNEV).

The CNEV has the following missions:

1° Expertise concerning vector taxonomy and their surveillance in France, and vector control.

2° Vector surveillance, notably the harmonization of indicators and methods, in a perspective of vector control assessment.

3° Contribution to the epidemiological surveillance of vector-borne diseases.

4° Issue warning, by transmitting information immediately to the InVS, the DGS and the DGAL, on the occasion of any observation that could have consequences for the health of the human or animal population.

5° Contribution to investigations on vector emergence.

6° Technical consultancy for public authorities, health and safety agencies and professionals in human and animal health.

7° Act as the interface with research in the perspective of providing aid for decision-making and calling for applied or cognitive research work on vector control.

8° Contribution to training on vector risk and vector control.

9° Interaction with other equivalent structures in Europe, on the Mediterranean rim, in the rest of the world and with international organizations, in particular the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), the World Health Organization (WHO), and the World Organization for Animal Health (OIE).

These tasks and purposes are stipulated in a specific set of specifications.

In order to fulfil these missions, the *Centre national d'expertise sur les vecteurs et le risque vectoriel de maladies humaines et animales* is composed of a central laboratory headquarters with the director, the secretariat, a permanent technical team, and several associate laboratories representing complementary competences known as "Laboratoires du Centre National d'Expertise Associés" which can come under the research establishments (CIRAD, CNRS, Institut Pasteur, INRA, IRD), universities, public administrative agencies or establishments (AFSSA, AFSSET, INPES, InVS), operational structures (département council services, EIDs, ADEGE).

ARTICLE 2

The ministries responsible for Health and for Agriculture designate for four years the laboratory in charge of the CNEV and the associate laboratories after a call for applications.

ARTICLE 3

The CNEV and the associate laboratories execute their missions in the framework of conventions concluded with the DGS and the DGAL and established according to:

- a four-yearly work programme drawn up in compliance with the particular specifications provided for in article 1 of the present order;
- the description of the organization's means: the number and qualifications of personnel and the character of the technical support base, its own financial means and funds provided by the ministries of Health and Agriculture;
- where relevant, activity reports for the organization for the previous four years, including the list of its publications.

Each year the CNEV director transmits an annual report to the ministers responsible for Health and for Agriculture. When missions of the CNEV are exercised in relation with one or more of the associate laboratories, the head of the national reference centre is responsible for coordination of the whole set of activities and mentions the activities realized by the different laboratories in the annual report.

ARTICLE 4

The managing organization of the CNEV and the associate laboratories receive annually, for the fulfilment of the missions assigned to them, a subsidy from the DGS and the DGAL.

ARTICLE 5

A Scientific committee is constituted. Its role and duties are:

- write the set of specifications for specific aspects mentioned in article 1 of the present order;
- analyse the projects and classify the applications for associated laboratory in the framework of a call for applications;
- assess the CNEV annually and at the close of the four years of activity;
- make recommendations concerning the expertise, training and research activities.

ARTICLE 6

The committee is composed of representatives of the DGS, the DGAL, the Ministry of Research, the Ministry of Ecology, of specialists in entomology, vector control, epidemiology, microbiology, infectious diseases or public health appointed for their competences.

Two-thirds of its members belong neither to the DGS nor to DGAL. The committee members are named for four years jointly by the DGS and the DGAL.

Proposal of specifications for the CNEV

The missions of the *Centre national d'expertise sur les vecteurs et le risque vectoriel de maladies humaines et animales* are defined in article 1 of the present order. These missions concern biological expertise, the contribution to epidemiological surveillance, the contribution to training, the contribution to research, warning information and technical consulting.

ACTIVITY

Expertise

- Identification of haematophage arthropods concerned by the vector control services.
- The maintenance, holding and diffusion of techniques of diagnosis and/or identification and typing: collections of type species, reference genetic sequences.
- Participation in the final development, assessment and provision of recommendations concerning vector control techniques.
- Contribution to assessment of sensibility to insecticides.
- Contribution to the definition and assessment of entomological surveillance indicators.
- Contribution to the assessment of the effectiveness of vector control.
- Providing information, training and, where appropriate, contribution to the drawing-up and publication of technical guides.
- Act as the interface between operational vector control and research on vectors and vector control.

Contribution to surveillance

- Participation in writing intervention plans in cases of vector-borne disease (like the West Nile plan, Chikungunya plan, PSAGE).
- Participation in the surveillance of vector insecticide resistance.
- Participation in investigation of epidemic phenomena of vector-borne diseases.

- Contribution to the international surveillance networks, especially European ones.

- Contribution to occasional enquiries at the request of the Ministry of Health or the Ministry of Agriculture.

- Promoting the development of operational research programmes linked to vector surveillance.

Warning role

Give warning of any phenomena that are abnormal or new in public health terms to the InVS, the AFSSA, DGS and DGAL, even to other agencies covering complementary fields (environment, legal aspects), for example:

- identification of a new or potential vector;
- abnormal level of proliferation of a vector or potential vector;
- the appearance of resistance to insecticides;
- give information concerning events of any similar events in other countries.

Consulting

For the Ministry of Health, the Ministry of Agriculture, the Institut de Veille Sanitaire, and health safety agencies:

- participation in devising vector control measures;
- responding to requests for specialist expertise and advice;
- technical advice for professionals;
- for recommendations on research avenues to develop on vector control and vectors.

Training

Organization of continuous-training sessions at different levels on vector control, vectors and vector risk, in liaison with the DGS, DGAI, EHESP, the veterinary and medical schools, vector control organisms similar to ADEGE.

Research

- Identification of timely, relevant research questions in the field of vectors and vector control.
- Participation in research projects, wherever possible.

- Act as principal intermediary for the Ministries of Research, Health, Agriculture and Ecology, for the formulation of calls for research proposals.

REPORTS ON ACTIVITIES

Annual report

An annual report must be sent to the Ministers for Health and for Agriculture before the end of the first six months of the following year. This document must comprise:

- a description of the different activities in conformity with the set specifications and a summary on the contribution to epidemiological surveillance. The information gathered could be published in the specialist journals of the Ministries of Health and of Agriculture;
- a list of publications or communications produced in the course of the year relating to the missions of the CNEV ;
- forthcoming prospects for the centre for the following years.

A feedback of information should systematically be sent to the corresponding laboratories.

Appendices



*Le ministre d'État, ministre de l'Écologie,
du Développement et de l'Énergie*

Le ministre de l'Agriculture et de la Pêche

*Le ministre de l'Enseignement supérieur
et de la Recherche*

*Le ministre de la Santé, de la Jeunesse
et des Sports*

Le secrétaire d'État chargé de l'Écologie

CAB2-TLL/D-28-379

Paris, le 18 JAN. 2008

Monsieur le Président,

Ces dernières années ont été marquées par l'extension parfois extrêmement rapide de plusieurs maladies transmises par des insectes vecteurs : implantation du virus West Nile sur le continent Nord-Américain, épidémie de chikungunya à La Réunion, diffusion très large de la fièvre catarrhale ovine en Europe de l'Ouest, ... On note, en outre, une extension progressive qui semble inexorable de l'aire de répartition de certaines espèces de vecteurs comme l'*Aedes albopictus*, responsable du récent épisode épidémique de chikungunya en Emilie-Romagne, qui pourrait constituer une porte d'entrée pour d'autres arboviroses (dengue en particulier). La menace que constituent les maladies vectorielles s'impose donc aujourd'hui comme une préoccupation majeure de santé publique, tant dans sa composante humaine que dans sa composante animale, et il paraît désormais nécessaire de procéder à une véritable « refondation » de la politique de lutte anti-vectorielle en métropole comme dans les régions ultra-marines.

C'est dans cette optique que nous vous demandons de mener une réflexion très large sur les évolutions indispensables dans ce domaine. Dans un premier temps, vous procéderez à un état des lieux des moyens actuels de surveillance entomologique et de leurs points critiques, des méthodes existantes et opérationnelles, ainsi que des modalités de lutte anti-vectorielle actuellement utilisées. Sur la base de cet état des lieux et d'une hiérarchisation des risques pour la santé humaine et animale conduite par les organismes compétents, vous formulerez des recommandations afin d'améliorer la politique actuelle de lutte anti-vectorielle en métropole et dans les régions ultra-marines, portant notamment sur :

- la nature des vecteurs, des habitats et des écosystèmes particuliers qui justifient une surveillance spécifique et les critères sur lesquels devra s'appuyer cette surveillance,

and ...

Monsieur Jean-François GIRARD
Président de l'Institut de recherche pour le développement
213, rue La Fayette - 75480 PARIS Cedex 10

- l'amélioration ou la mise en place de systèmes de surveillance des populations vectorielles et d'alerte tant en termes de méthodes, d'outils et de moyens qu'en termes organisationnels,
- les besoins de recherche, d'expertise et de formation en entomologie et la fédération des compétences existantes,
- les stratégies de lutte qu'il conviendrait d'investiguer ou de développer, tout en prenant en compte le caractère humain ou animal des maladies potentiellement transmises par les vecteurs. Les stratégies comprendront le volet communication et les modalités d'appropriation par la population.

Une attention particulière sera portée sur les risques liés à l'implantation de l'*Aedes albopictus* dans le sud de la France.

Vous associerez à vos travaux, d'une part, l'ensemble des établissements et organismes publics impliqués dans l'étude et la surveillance de ces vecteurs, qu'ils soient investis dans la recherche et l'expertise comme le CIRAD, le CNRS, l'INRA, le muséum national d'histoire naturelle et l'AFSSA ou qu'ils soient acteurs de l'action régionale et locale et, d'autre part, l'AFSSET en charge de l'évaluation des risques et de l'efficacité des substances et produits biocides utilisés dans le domaine de la lutte anti-vectorielle, ou le centre national d'études spatiales qui développe des applications en télé-épidémiologie.

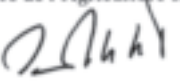
Les résultats de vos travaux, qui constitueront la base d'une nouvelle stratégie globale de lutte anti-vectorielle préventive à visée de santé publique humaine et animale, sont attendus dans le courant du premier semestre 2008.

Nous vous remercions de bien vouloir accepter cette mission et vous prions de croire, monsieur le Président, à l'assurance de nos sincères salutations.

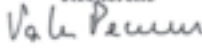
Le ministre d'Etat, ministre de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement durable


Jean-Louis BORLOO

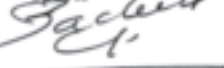
Le ministre de l'Agriculture et de la Pêche


Michel BARNIER

La ministre l'Enseignement supérieur et de la Recherche


Valérie PECRESSE

La ministre de la Santé, de la Jeunesse et des Sports


Roselyne BACHELOT-NARQUIN

La secrétaire d'Etat chargée de l'écologie


Nathalie KOSCIUSKO-MORIZET

Terms of reference for the expert group report

INTRODUCTION

Context of the review request

Rapid expansion of several insect-vector borne diseases carried on a steady extension of the distribution range of some of these species has generated a resurgence of vector-borne diseases over recent years. This threat is a major concern for public health, for both human and animal aspects, a situation that makes a comprehensive reform of vector-control policies imperative.

Four French ministries and one State Secretariat – the Ministry of Ecology, Sustainable Development and Planning; the Ministry of Agriculture and Fisheries; the Ministry of Higher Education and Research; the Ministry of Health, Young People and Sport, and the State Secretariat for Ecology – jointly commissioned the *Institut de recherche pour le développement* (IRD), by letter dated 18 January 2008, to conduct a wide-ranging review in order to formulate proposals for comprehensive reform of policy on disease vector control in France (including metropolitan and overseas regions). The Ministry of the Interior, Overseas Territories and Local Authorities gave secondary support to the commissioning of the review.

The request is for two standard forms of expert consultation in the public health field: first on the knowledge acquired to date, then on the possible decisions and the terms and conditions for implementation. It will entail the establishment of a state-of-the art picture of the structures, practices, current means of entomological surveillance and their critical points, existing operational methods, plus the ways and means currently used to achieve vector control. This review will categorize the risks according to the degree of threat they represent for human and animal health, and will be taken as the basis for drawing recommendations for improvement of the present vector control policy covering both metropolitan France and the country's overseas regions.

The result of the investigations will be the basis for a new overall strategy for preventive vector control, intended for both human and animal public health.

IRD expert group study method

As part of its missions, the IRD conducts collective scientific surveys designated "Collegiate expertise" or expert group reports. This form of consultation study is an original tool for scientific knowledge transfer to the sphere of decision-makers and leaders. It is a means to provide quite rapidly a multidisciplinary scientific analysis on a set subject through a comprehensive, accurately focused state-of-the art review, plus conclusions and recommendations, at the request of one or more commissioning bodies. The work is performed under the terms of a formal contract.

As such, this method of investigation is called on as an aid to decision making, which is what particularly distinguishes it from scientific knowledge production in the strict sense, more often than not at the "public policy" level. It is therefore an original form of valorization of research.

Group expertise as defined and implemented at the IRD by its Department of Expertise and Valorization (DEV), is built on a now well-proven methodological method (9 expert reports published, 2 under way), certified with standard ISO 9001.

The survey is conducted by a college of experts from a range of complementary disciplines, working under the responsibility of a Scientific Coordination Panel, and followed-up by a Steering Committee grouping together commissioning-body representative(s). On completion of the survey, the final report and its recommendations are delivered to the commissioning bodies concerned. In the months that follow the report is published by IRD Editions in the series "Expertise collégiale" as a summarized review, together with full contributions from the experts involved.

DEFINITION AND OBJECTIVES OF VECTOR CONTROL (Vc)

Definition

In its broadest sense, vector control embraces the control and protection against arthropod vectors (insects and acarions) of pathogens affecting

humans and other vertebrates, and also their surveillance. It includes nuisance arthropods when these are potential vectors or when the nuisance caused becomes a public health or veterinary problem.

Vector control is founded on a variety of control methods that depend on the vectors themselves, the epidemiological situations and socio-economic context. It comprises chemical, biological and genetic methods of control, action on the environment, health education, social mobilization, and continuous assessment of such methods.

Objectives

The objective of vector control is to contribute, alongside other public health actors, to a reduction to a minimum of risks of development of endemic or epidemic situations (endemization or epidemization), reduction of pathogen transmission by vectors and to management of vector-borne disease epidemics, according to a planned strategy.

OBJECTIVES OF THE REVIEW

The results of the group survey must provide ways towards better prevention and management of epidemics to come. The aim is to work upstream of the disease development itself, on control measures against their vectors. Consequently, the expertise objectives will be to:

- Clarify the issues to consider regarding the changes that are essential in this field,
- Produce a state-of-the art account of present methods and means,
- Formulate recommendations for the methods, means and organization, for improvement of current policy on vector control.

CONTEXT

The context will summarize the main epidemiological data:

- Diseases currently transmitted by vectors in France,
- Prevalence of infections according to geographical zone,
- List of human and animal epidemics that have occurred in France and bordering countries over the past ten years,

- Establishment of fact sheets on the zoonoses affecting humans and on animal diseases,
- Classification of risk in order of gravity: classification in three levels according to the criteria of morbidity, mortality and socio-economic consequences,
- From nuisance organism to vector.

LIST OF QUESTIONS FOR THE GROUP SURVEY

This group study will hinge on major wide-ranging themes, themselves broken down into a set of questions.

Theme 1 – Scope of the analysis

Question 1 “What is the legislative and regulatory framework?”

- In France: for metropolitan France, the overseas départements and regions (DOM-ROM) (Guadeloupe, French Guiana, Martinique and Reunion Island), the département authority of Mayotte and the overseas authority of Wallis-and-Futuna.
- At European level?
- At international level? (International Health Regulations (IHR) established by WHO, legislation in force in countries bordering the overseas local authorities, the DOM¹⁷ and Mayotte)
- What are the similarities and differences between the different systems?
- Do any derogations exist and why?
- What is the current insurance law?

Question 2 “How is governance organized?”

- What are the modes of application of statutory texts and policies at the different levels responsible for vector control in France?
- What are the various actors involved in vector control and their roles and responsibilities?
- How can a form of governance be organized that is capable of meeting the objectives of vector control?
- What arrangements can ensure coordination of actors and adaptability in case of emergency?

| ¹⁷ Overseas départements: Guadeloupe, French Guiana, Martinique, Reunion Island.

Theme 2 – Implementation

Question 1 "What are the vector control strategies in France?"

- Identification of geographical areas, types of vector or diseases.
- What capabilities are there for anticipation emergency response?
- How is health control organized at national borders (setting-up of international health regulations)?

Question 2 "What are the forms of organization used and the human resources available?"

- What is the interaction between the vector control actors and the epidemiology-surveillance network?
- What are the triggering points for a specific intervention?
- What employment framework for field personnel: sedentary staff or field operations staff (the latter with duties often entailing discomfort, risk or danger)?

Question 3 "What networks of information, education and communication exist?"

- What are the methods used and the intended targets for public communication?
- How does the communication effort affect community participation?
- Do health communication and education result in better community participation?
- How can a permanent state of mobilization in communities be achieved?
- How can the means and resources of information, education and communication be coordinated in an emergency?

Question 4 "What are people's perceptions and the acceptability of the effectiveness of vector control?"

- What are the levels of perception of the various populations when they are affected by an epidemic?
- What anthropological factors can explain these different perceptions?
- How can people's level of satisfaction and support for vector control be assessed?

Theme 3 – Assessment of vector control

Question 1 "What are the vector control assessment processes and approaches used?"

- Why must vector control be assessed?
- How is vector control assessed?
- What difficulties are there for implementing vector control?
- Why is vector control assessment so little developed in France?
- Are there any existing vector control assessment reports in the world?
- What assessment tools are available: indicators and measurement units?

Question 2 "What economic approaches are used in vector control?"

- What are the cost and financing of vector control and nuisance-organism control?
- What are the comparative costs of vector control and of dealing with an epidemic?
- What is the efficacy of vector control?

Question 3 "How can unwanted side-effects be assessed?"

- What are the regional differences in control practices (comparison)?
- What are the unwanted side-effects of insecticides?
- What are the unwanted side-effects of repeated use of repellents?
- What effects are there on human behaviour?
- Does insurance cover the possible harm done?

Theme 4 – Tools for anticipation

Question 1 "What contribution does vector risk assessment make to epidemic risk assessment?"

- What are the assessment processes for health risk?
- Can the size and severity of an epidemic risk be predicted?
- Does an entomological alert imply an epidemiological alert?
- What contribution can modelling bring?

Question 2 "What regional and international cooperation can be envisaged for vector control?"

- What regional and international cooperation mechanisms currently exist in metropolitan France and the overseas regions?

Question 3 “What are the existing training programmes and further training needs?”

- What initial and continuous training is currently offered?
- What are levels of vector control training within these structures?
- Is the training well geared to needs?
- What are the training deficiencies?

Question 4 “How does research contribute to improving vector control?”

- How can the effectiveness and selectivity of insecticides used be improved?
- What are the mechanisms of resistance to insecticides?
- What new insecticides can be used?
- What alternative means of control are there?
- How can knowledge of vector biology be improved?
- What is the contribution of social and behavioural sciences research?

Theme 5 – Examples from outside France

Question 1 “What models of action are there on the international scene?”

- What are the different operational models?
- What lessons can be drawn?

Expert group

Thomas BALENGHIEN

Researcher

CIRAD

TA A-15/G

Campus international de Baillarguet – 34398 Montpellier cedex 5, France

thomas.balenghien@cirad.fr

Daniel BLEY

Director of Research

UMR 6012 ESPACE-DESMID

1, rue Parmentier – 13200 Arles, France

danielbley@aol.com

Xavier CABANNES

Professor

Université Paris-Descartes

Institut de Droit et Santé

10, avenue Pierre Larousse – 92245 Malakoff, France

xavier.cabannes@univ-paris5.fr

Jean-Claude DESENCLOS

Head of Department of Infectious Diseases

InVS

12, rue du Val d'Osne – 94415 Saint-Maurice cedex, France

jc.desenclos@invs.sante.fr

Didier FONTENILLE

Director of Research UR 016

IRD

911, avenue Agropolis – BP 64501 – 34394 Montpellier cedex 5

didier.fontenille@ird.fr

Laurent LAGADIC

Director of Research
INRA
65, rue de Saint-Brieuc
F-35042 Rennes cedex, France
laurent.lagadic@rennes.inra.fr

Christophe LAGNEAU

Director of Research and Development
EID Méditerranée
165, avenue Paul Rimbaud
34184 Montpellier cedex 4, France
clagneau@eid-med.org

Sylvie LECOLLINET

Scientific Officer, Scientific and technical projects
UMR 1161 de virologie
23, avenue du Général de Gaulle
94706 Maisons-Alfort, France
s.lecollinet@afssa.fr

Régine LEFAIT-ROBIN

IRD
29, Thanon Sathorn Tai – 10120 Bangkok, Thailand
regine.lefait-robin@ird.fr

Éric MALIN

Professor
Université Rennes-1
7, place Hoche – CS 86154 – 35065 Rennes cedex, France
eric.malin@univ-rennes1.fr

Michel SETBON

Director of Research
Laboratoire d'Économie et de Sociologie du travail
35, avenue Jules Ferry – 13626 Aix-en-Provence cedex, France
michel.setbon@univmed.fr

Bernard TIREL

Hospital Director, lecturer-researcher in health law
EHESP

Avenue du professeur Léon Bernard – CS 74312
35043 Rennes cedex, France
bernard.tirel@ehesp.fr

Ohri YAMADA

Scientific Projects Officer
AFSSET

58, avenue du Général de Gaulle – 94700 Maisons-Alfort, France
ohri.yamada@afsset.fr

André YÉBAKIMA

Head of Mosquito Eradication Service
Centre de démoustication

Conseil Général de Martinique
37, avenue Pasteur – 97200 Fort-de-France, Martinique
yebakima@cg972.fr

Dominique CHOUCAN

Journalist
18, rue Danton – 94800 Villejuif, France
chouchan@club-internet.fr

Steering Committee

The Steering Committee set up to allow the investigation's progress to be followed up by the Ministries that commissioned the expertise has met four times, bringing together the ministerial departments concerned. The Chairman of the College of Experts, Didier FONTENILLE, along with some of the experts, were called to two of these meetings, as needs arose.

At the last meeting, on 5 February 2009, the committee formally handed over the final report in the presence of the Director-General of each of the commissioning government bodies.

The committee was coordinated by the IRD Director-General or the director of the Department of Expertise and Valorization of the IRD and was composed of the following members:

MINISTRY OF HEALTH AND SPORT

Mr Didier Houssin,

Director-General for Health,

represented by **Mrs Dominique BESSETTE**

Direction générale de la Santé

Sous-direction de la Prévention des risques infectieux

Bureau des Risques infectieux et de la Politique vaccinale

14 avenue Duquesne, 75350 Paris

MINISTRY OF ECOLOGY, ENERGY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND PLANNING

Mr Laurent MICHEL,

Director-General for Risk Prevention,

represented by **Mrs Sylvie DRUGEON**

DGPR - Bureau des Substances et préparations chimiques

92055 La Défense cedex

MINISTRY OF THE INTERIOR, OVERSEAS TERRITORIES AND LOCAL AUTHORITIES

represented by **Mr David Anthony DELAVOËT,**

Deputy Director of the Secretariat General Office

Place Beauvau, 75008 Paris cedex 08

MINISTRY OF AGRICULTURE AND FISHERIES

Mr JEAN-MARC BOURNIGAL,

Director-General for Food,

represented by **Mr Nicolas PONÇON**

Direction générale de l'Alimentation

Sous-direction de la Santé et de la Protection animale

251 rue de Vaugirard, 75732 Paris cedex 15

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND RESEARCH

Mr Didier HOFFSHIR,

Deputy Director for Research and Innovation,

represented by **Mr Christian DEVAUX**

Direction générale de la Recherche et de l'Innovation

1 rue Descartes, 75231 Paris cedex 05

Glossary

Terms in bold type in definitions refer to another glossary entry.

Adult trap: a trap used in collection for assessing the density of adult arthropods in search of their blood meal. The trap is generally built with a baited element incorporated (live bait, birds, mammals), chemical attractants or a light source with more or less specific wavelengths and a vacuum air-flow capture system. Capturing can also be achieved directly on a human or animal bait.

Arboviroses: viral diseases caused by arboviruses. This is an epidemiological definition, not a virological one.

Arboviruses: the whole range of viruses that are transmitted by haematophagous arthropod vectors. This term does not belong to the taxonomic classification of viruses (they include different classes of virus). The name is derived from the contraction of the expression *arthropod-borne virus*.

Arthralgia: pain in joints.

Arthropod vectors: haematophagous arthropods which, by specific behaviour patterns actively pass the pathogen (the vector plays an active role, bringing the pathogen to a receptive vertebrate) by **biological transmission** (cycle essential for development occurs in the vector) from a vertebrate host "donor" to another, receptive vertebrate host. The term parasite specificity is used. This infectious agent can be a bacterium, a virus, protozoan or helminth. N.B.: **biological transmission** is distinct from **mechanical transmission** (see this term).

Arthropods: a branch of invertebrates (from the Greek *arthron* "joint" and *podos* "foot"). The arthropod body is formed out of jointed segments (or metameres), covered by a hard cuticle acting as their external skeleton, which in most cases is made of chitin. The insects form part of this branch and belong to the sub-branch hexapods (with three pairs of legs).

Arthropods, haematophage: group gathering together arthropods needing a blood meal which provides them with the proteins required for pro-

ducing eggs. In many cases therefore, only the female takes a blood meal. The principal haematophage arthropods belong to the sub-branch of hexapods (insects). They contain fleas (order Siphonaptera), mosquitoes, flies and gnats (order Diptera, family, Culicidae, Phlebotomidae, Ceratopogonidae, Simuliidae, Glossinidae and Tabanidae), body lice (order Phthirapterae) and the bugs (order Hemiptera). The ticks, hard (Ixodidae family) or soft (Argasidae family) are also haematophage but are included in the sub-branch Arachnidae.

Biocides: active substances and products presented in the form in which they are delivered to the end-user which are designed to destroy, repel or render nuisance organisms harmless, prevent their action or control them in any other way, by means of a chemical or biological action.

Biological control: use of a “natural enemy” of an arthropod to reduce populations and hence the risk of pathogen transmission. Agents used for biological control can be divided into predators (fish predators of mosquito larvae) and pathogens (fungi, parasitoids).

Biological transmission: biological phenomenon involving the accomplishment of a phase of the development cycle of a pathogen.

Breeding sites: expression used widely in the scientific literature to designate the pools and lakes harbouring immature mosquitoes (eggs, larvae and nymphs).

Chemical control: techniques using plant-derived or synthetic products as repellents, bait (combined with traps) or insecticides.

Conformity assessment: evaluation of conformity by observation and judgment accompanied, if necessary, by measurements, trials or calibration (ISO 9000). Checking of validity.

Criteria: variables that can take relevant and reliable account either of achievement of objectives, particularly variations in health, knowledge or attitudes, or of the different components of the programme.

Culicidae: family of insects commonly called “mosquitoes”, belonging to the order Diptera (two wings), and to the suborder Nematocera (long antennae). The females of most species have long biting and sucking mouth parts. These are in the form of a long proboscis. The mosquito life-cycle proceeds

in different stages: egg, an aquatic larva (4 larval phases) and the nymph which is also aquatic. The adult emerges from this nymph. It mates only once (the spermatozoa from the male are kept in the spermatheca of the female). The female will bite several times during its life in order to bring its eggs to maturity. Fertilization of these is activated at the moment of egg-laying. The lapse of time between two layings is termed the trophogonic or gonotrophic cycle.

DFA: *Départements français d'Amérique* (French Departments of the Americas). These are Guadeloupe, French Guiana and Martinique.

Diapause: period of inactivity during which the metabolism is slowed down and the insects' development or growth is suspended. The eggs of some species can spend winter in diapause and hatch in spring when temperatures and the photoperiod are again favourable for development.

Diptera: order of insects characterized by the presence of two wings (the second pair of wings is transformed into a balancing organ) and the mouth parts are used as sucking and biting apparatus.

Diurnal: active in daytime.

Econometrics: the body of statistical techniques devoted to measuring economic values and to practising economics research.

Effectiveness: level of concretization of planned activities and of achieving the expected results (according to ISO 9000).

Egg-laying trap: a tool that helps in detection of mosquito species that uses laying sites such as small recipients, sheath-like leaves or hollows in trees. The objective is to provide an artificial attractive egg-laying site for the target species, that is stable (staying firmly in place) and kept regularly in water, located in an environment that is itself attractive (dense vegetation, proximity of hosts). For example, for *Aedes albopictus* the trap consists of a labelled black bucket, containing water (prior infusion of dry wood), a pastille of insecticide and an egg-laying support made out of a square of polystyrene. This trap above all allows detection of the presence of a species in a previously unaffected zone. It could yield data on the density of the species in a colonized area if sampling is correctly accomplished. The egg-laying traps are often employed in *Aedes* surveillance.

Emerging disease: is a “disease whose real incidence grows significantly in a given population, in a given geographical zone and during a defined period compared with the usual epidemiological situation of this disease (unknown, rare, hypoendemic, and so on)”.

This definition is equally applicable for diseases affecting humans, animals or plants.

This emergence can be linked either to the appearance of a new pathogen, or a change in a known agent, such modification making it resistant to usually effective treatments, or pathogenic if it was previously non-infectious.

Endemic: describes a situation where transmission of a pathogen occurs at a constant level over time; a level that can be either low or high. In strict usage, the term is restricted to human diseases.

Endemization: the process by which a disease that has newly appeared maintains its presence in the area at a constant level.

Enquiry: intellectual approach having the objective of discovering facts, improvement of knowledge or resolving doubts and problems.

Environmental control: classifies all actions conducted on the environment to make it hostile for the development of vector populations.

Enzootic: term equivalent to **endemic**, but employed only for animal diseases.

Epidemic: describes a situation where transmission of a pathogen occurs characterized by a rapid increase in the number of cases in a short period of time. After the peak of transmission, a fall in the number of cases is observed. In strict usage, the term is restricted to human diseases.

Epidemization: a term used to characterize the process by which an **endemic** disease becomes **epidemic**.

Epizooty: term equivalent to **epidemic**, but employed only for animal diseases.

Extrinsic incubation period: in **biological transmission**, the lapse of time between the infecting blood meal and the moment when the vector, once infected, itself becomes able to infect. This should be called the extrinsic development period. Just after the blood meal that gives the infection, the pathogen cannot yet be transmitted, nor can it be inoculated into a new host during a new blood meal. The pathogen must generally clear several barriers

for it to pass from the digestive tract to the salivary glands prior to inoculation. The extrinsic incubation period is of crucial importance for epidemiology. Its duration depends on the species, on the strain of parasite, the arthropod and factors linked to the environment (temperature, humidity and so on). The extrinsic cycle duration is variable, lasting between 2 and 15 days in tropical environments. N.B.: if the lapse of time is too long, the insect dies before becoming infectious. Conversely, if the duration of the extrinsic cycle is short, the bite from the infecting vector becomes infectious, either as soon as the next bite if this duration is shorter than the trophogonic cycle, or during the one after that. The older the vector becomes the more dangerous it is because it will have had several blood meals, thereby increasing the risk of becoming infected. One then talks of an epidemiologically dangerous age.

Follow-up-assessment: combination of follow-up exercise and assessment which leads to the acquisition of information required and makes possible the critical reflection necessary for sound management of the project and for meeting the obligations of accountability.

Genetic control: consists of employing any conditions and methods of treatment that might reduce the reproductive potential of nuisance organisms by modification or replacement of hereditary material.

Gravid: term expressing the state of a female arthropod which, having brought its eggs to maturity, is seeking egg-laying sites.

Haematophage: characterizes arthropods whose diet is partly composed of blood needed for the maturation of their eggs.

Haematozoan: protozoan (consisting of a single cell) parasite of red blood cells.

Imago: designates the final stage of development of an insect that has undergone its metamorphosis (adj. imaginal). It is the adult, reproductive stage, as opposed to the larval or nymphal stages which are incapable of reproduction.

Indicators: concrete variable data, that can be simple or complex, quantitative or qualitative, whose follow-up and/or comparison in time (or space) can give a way of understanding or measuring changes (or differences) that have occurred. In reality, they give an expression of the chosen criterion. For example: the vector density or abundance vectors is a criterion, the entomological indices are indicators. Several indicators are normally needed to give a proper representation of a given criterion.

Internal audit: an independent objective operation which gives an organization an assurance of the degree of command it has over its operations, provides it with advice for making improvements and contributes to creating added value. The process helps this organization to achieve its objectives by using a systematic and methodical approach to assess risk management processes, control and governance of the enterprise and putting forward propositions for enhancing their efficiency (*Institut français de l'audit et du contrôle internes*).

Larva: immature form of insects undergoing complete metamorphosis, occurring between the egg and the nymph. Mosquito larvae are aquatic.

Larval stage: period of development during which the series of larval moults occur in insects.

Larvivorous: feeding off arthropod larvae.

Management dashboard: synthetic representation of a set of indicators giving a manager all the elements enabling him visually and rapidly to take decisions.

Mechanical control: grouped under this term are vector capture methods (with the objective of decreasing abundance), techniques that hinder host-vector contact and, by extension, methods that allow avoidance of contact with the host.

Mechanical transmission: transmission effected at the time of two successive blood meals separated by a very short time interval (generally interrupted meals). The pathogen taken up during the first meal stays in the mouth parts and is then immediately re-injected during the second blood meal. In plant-pathogen vectors it has been shown, in the case of non circulative transmission (equivalent to mechanical transmission), that the pathogen fixation on the mouth parts was relatively specific, sometimes happening by the intermediary of a protein from the plant appropriated by the pathogen. Research has thus far never been done on this specificity in vectors of vertebrate pathogens, and the present doctrine assumes the absence of specificity. This transmission mechanism is highly dependent on the pathogen's survival in the insect's mouth parts. The HIV-Aids virus is not for example transmitted mechanically by haematophage arthropods.

Nuisance: describes an arthropod which causes strong discomfort by its bites or presence but without disease transmission (for example, *Aedes caspius* in the Camargue ou *Culicoides impunctatus* (midges) in Scotland).

Nymph: immature stage intermediate between larva and adult in insects undergoing complete metamorphosis.

Organochloride: synthetic chemical product, derived from chlorine molecules and used as a solvent, insecticide, fungicide or refrigerant or in intermediary synthetic compounds in chemistry and pharmacy.

Organophosphate: synthetic chemical products, derived from phosphorus molecules and used for a wide range of roles, such as insecticides, fungicides or refrigerants.

Ornithophile mosquitoes: mosquitoes taking their blood meals predominantly from birds.

Pour-on: an insecticide formulation used in veterinary medicine which is applied along the backbone of the animals and designed subsequently to diffuse over the whole of the animal's body.

Process: system of correlated or interacting activities which uses resources to transform input elements into output elements (definition derived from ISO standards).

Resistance: genetic mechanism of tolerance to doses of toxic substances which would exert a lethal effect on the majority of individuals making up the normal population of the same species. Or: "Appearance in a population of insects of the faculty to tolerate doses of toxic substance which would exert a lethal effect on the majority of individuals composing a normal population of the same species" (WHO, 1957).

Risk perception: a subjective judgment made on a threat in which an assessment of its probability/susceptibility/gravity interacts with sentiments/emotions which give it a value.

Risk trade-off: expression of the transfer of detrimental phenomena from one source to another by an action aiming to reduce them (vector control, which aims to reduce the vector risk, can be the source of new, real or perceived, risks).

Self-assessment: assessment conducted by those who manage a programme and/or take part in it in the field.

Solenophage or "capillary feeding": haematophage arthropods equipped with a long proboscis which perforates and catheterizes the blood capillaries to absorb blood. This group includes blood-sucking bugs, Culicidae and body lice.

Standard: value associated with criteria (or with the indicator) considered as acceptable in the current state of knowledge.

Telmophage or pool feeding: haematophage arthropods doted with a short proboscis adapted for lacerating, separating then absorbing the blood accumulated in a micro-haematoma. This group assembles the horse-flies (tabanids), blackfly (Simuliidae), Ceratopogonidae, Phlebotomidae and the ticks. This process also leads to take-up of pathogens present outside the blood circulation system, in the dermis.

Ultra-Low Volume: spreading method based on the dispersal of wet-mixed or granulated insecticide at a volume lower than 5 l/ha.

Vector capacity: ability for a vector to become infected on a vertebrate host, to enable a pathogen to develop and transmit this agent to another host in natural environmental conditions. This index expresses the number of infections that a given vector will cause per patient (index case or new autochthonous case) and per day in a non-immune population. This parameter depends on the vector competence, the vector-host contact rate, itself dependent on the trophic preference (choice of vertebrate species for the blood meal) and the abundance (vector density), and also the longevity of the vector (the longer the vector's life-span, the more chance it will have had to become infected during a blood meal). The vector capacity also expresses the degree of parasite-vector coadaptation and the workings of the system in a given environment and a particular season. Vector capacity is measured for a given population (at a given place and time).

Vector competence: intrinsic ability of the vector to become infected on a vertebrate host, ensure the development of a pathogen and transmit it to another host. This parameter can be measured in the laboratory and is determined genetically. It depends on the arthropod population.

Vertical transmission: describes transmission, usually of the trans-ovarian type, of a pathogen, generally a virus, of a female to its descendants. This transmission is highly important in epidemiology because it maintains a virus in an environment unfavourable for transmission (cool season in a temperate zone, dry season in the tropical zone); it is the process that occurs in many arboviruses. It is different from the “traditional” host-vector-host horizontal transmission. N.B.: there are also cases of trans-stadial transmission (persistence of infection in spite of a change of stage, in certain ticks for example). In some rare cases, sexual transmission also occurs (infection of a female by an infected male, during mating). As mosquito males do not take a blood meal, sexual transmission implies a vertical form of transmission.

Viraemia: period during which the pathogen is present in the bloodstream of the vertebrate host. If the arthropod vector is to become infected during a blood meal, the viral dose in the blood must reach a given threshold of infectivity. Similarly, the terms bacteraemia and parasitaemia are used for the presence in the blood respectively of bacteria and parasites.

Zoonosis: animal disease transmissible to humans and *vice versa* (i.e. a human disease transmissible to animals).

Abbreviations list

Adege	National Agency for Mosquito Destruction and Management of Mosquito-controlled Areas (<i>Agence nationale pour la démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués</i>)
AFD	French Development Agency (<i>Agence française de développement</i>)
Afssa	French Agency for Health Security of Food (<i>Agence française de sécurité sanitaire des aliments</i>)
Afsset	French Agency for Environmental and Occupational Safety (<i>Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail</i>)
Anaes	French National Agency for Health Accreditation and Assessment (<i>Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé</i>)
ARH	Regional Hospitalization Agency (<i>Agence régionale de l'hospitalisation</i>)
ANR	National Research Agency (<i>Agence nationale de la recherche</i>)
ARS	Regional Health Agencies (<i>Agences régionales de santé</i>)
Arvam	Ocean development and Management Research Association (<i>Association de recherche pour la valorisation de la mer</i>)
Atuss	Technical Health and Social Service Association (<i>Association technique d'utilité sanitaire et sociale</i>)
Basag	Antilles-Guyane warning and surveillance Bulletin (<i>Bulletin d'alerte et de surveillance Antilles-Guyane</i>)

BEH	Weekly Epidemiological Bulletin (<i>Bulletin épidémiologique hebdomadaire</i>)
CAPTV	Antipoison and Toxicovigilance Centres (<i>Centres antipoison et de toxicovigilance</i>)
Carec	Caribbean Epidemiology Centre (<i>Centre d'épidémiologie des Caraïbes</i>)
CaribVet	Caribbean Animal Health Network (<i>Réseau caribéen de santé animale</i>)
CCTV	Toxicovigilance Coordination Committee (<i>Comité de coordination de toxicovigilance</i>)
Cemagref	French National Centre for Agricultural and Environmental Engineering Research (<i>Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts</i>)
CGCT	General Local Authorities Code (<i>Code général des collectivités territoriales</i>)
Cirad	French Agricultural Research Centre for International Development (<i>Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement</i>)
Cire	Inter-Regional Epidemiology Unit (<i>Cellule interrégionale d'épidémiologie</i>)
Cire-AG	Inter-Regional Epidemiology Unit for Antilles-French Guiana (<i>Cellule interrégionale d'épidémiologie Antilles-Guyane</i>)
Cnes	French Space Agency (<i>Centre national d'études spatiales</i>)
CNFPT	French Civil Service Centre for the Regions (<i>Centre national de la fonction publique territoriale</i>)
Coderst	Departmental Council for Environmental, Health and Technological Risk (<i>Conseil départemental de l'environnement et des risques sanitaires et technologiques</i>)

Conae	<i>Comisión Nacional de Actividades Espaciales</i>
COP	Prefecture Operational Centre (<i>Centre opérationnel de préfecture</i>)
Crec	Entomological Research Centre of Cotonou (<i>Centre de recherche en entomologie de Cotonou</i>)
CRVOI	Centre for Research and Intelligence of Emerging Diseases in the Indian Ocean (<i>Centre de recherche et de veille sur les maladies émergentes dans l'océan Indien</i>)
CSP	Public Health Code (<i>Code de la santé publique</i>)
CTO	Operations Technical Committee (<i>Comité technique opérationnel</i>)
CVS	Health Watch Unit (<i>Cellule de veille sanitaire</i>)
Dass	Department of Health and Social Affairs (<i>Direction des affaires sanitaires et sociales</i>)
Ddass	Departmental Health and Social Affairs Service (<i>Direction départementale des affaires sanitaires et sociales</i>)
DDSV	Departmental Veterinary Services (<i>Direction départementale des services vétérinaires</i>)
DGAL	French Food Agency (<i>Direction générale de l'alimentation</i>)
DGD	General Decentralization Funding (<i>Dotation générale de décentralisation</i>)
DGPR	Department of Risk Prevention (<i>Direction générale de la prévention des risques</i>)
DGS	Department of Health (<i>Direction générale de la santé</i>)
Diren	Regional Department of the Environment (<i>Direction régionale de l'environnement</i>)

DOM	Overseas Département (<i>Départements d'outre-mer</i>)
Drass	Regional Department of Health and Social Affairs (<i>Direction régionale des affaires sanitaires et sociales</i>)
DSDS	Department of Health and Social Development (<i>Direction de la santé et du développement social</i>)
DSS	Department of Solidarity and Health (<i>Direction de la solidarité et de la santé</i>)
DSV	Veterinary Services Directorates (<i>Directions des services vétérinaires</i>)
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control
Eden	Emerging Diseases in a changing European Environment (<i>Association européenne des opérateurs publics de démoustication et de la gestion des zones humides démoustiquées</i>)
EHESP	School of Advanced Public Health Studies (<i>École des hautes études en santé publique</i>)
EID	Inter-departmental Mosquito Control Organization (<i>Entente interdépartementale pour la démoustication</i>)
Emca	European Mosquito Control Association
EPA	Environmental Protection Agency
EPCI	Public Intermunicipal Cooperation Establishment (<i>Établissement public de coopération intercommunale</i>)
FCR	Regional Cooperation Fund (<i>Fonds de coopération régionale</i>)
FDA	French Departments of America (<i>Départements français d'Amérique</i>)
GDS	Health Defence Groups (<i>Groupements de défense sanitaire</i>)
GIP	Public Interest Group (<i>Groupement d'intérêt public</i>)

GIS	Geographical Information Systems
GRDSBR	Reunion Regional Livestock Health Protection Group (<i>Groupement régional de défense sanitaire du bétail de la Réunion</i>)
IGA	General Administration Inspectorate (<i>Inspection générale de l'administration</i>)
Igas	General Social Affairs Inspectorate (<i>Inspection générale des affaires sociales</i>)
IGE	General Environmental Inspectorate (<i>Inspection générale de l'environnement</i>)
IHR	International Health Regulations
IMTSSA	Military Health Services Institute of Tropical Medicine (<i>Institut de médecine tropicale du service de santé des armées</i>)
IOC	Indian Ocean Commission
IPE	Individual protection equipment
IPG	<i>Institut Pasteur de Guyane</i>
InVS	Health Surveillance Institute (<i>Institut de veille sanitaire</i>)
IRSP	Regional Public Health Institute (<i>Institut régional de santé publique</i>)
MA	Marketing Authorization
NGO	Non Governmental Organization
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OIE	World Organization for Animal Health (formerly <i>Office international des épizooties</i>)
PCA	Advanced Command Post (<i>Poste de commandement avancé</i>)
PHS & CDC	Public Health Surveillance & Communicable Disease Control
PHO	Panamerican Health Organization

PMI	Mother and Child Protection (<i>Protection maternelle et infantile</i>)
Poseidom	Special Overseas Departments Distance and Isolation Operation Programme (<i>Programme d'opération spécifique à l'éloignement et à l'insularité des DOM</i>)
PPHSN	Pacific Public Health Surveillance Network
Psage	Plan for Surveillance Warning and Management of Epidemics (<i>Plan de surveillance, d'alerte et de gestion des épidémies</i>)
Rese	Health and Environment Exchange Network (<i>Réseau d'échanges santé environnement</i>)
RSD	Departmental Health Regulations (<i>Règlement sanitaire départemental</i>)
SCHS	Municipal Health and Hygiene Service (<i>Service communal d'hygiène et de santé</i>)
SDD	Departmental Disinfection Service (<i>Service départemental de désinfection</i>)
Sivu	Intermunicipal Single-Purpose Organization (<i>Syndicat intercommunal à vocation unique</i>)
Sove	Society of Vector Ecology
SPR	Reinforced Prophylaxis Service (<i>Service de prophylaxie renforcée</i>)
SRPV	Regional Plant Protection Service (<i>Service régional de la protection des végétaux</i>)
WHO	World Health Organization
WTO	World Trade Organization

 <i>louisjean</i> IMPRIMEUR	59, Av. Émile Didier 05003 Gap Cedex Tél. 04 92 53 17 00 Dépôt légal : 256 Mai 2009 Imprimé en France
--	---



Toutes les encres et les vernis utilisés sont certifiés d'origine végétale.
Les eaux de mouillage des machines, les plaques, les produits
de développement et les chutes de papier sont recyclés.

Imprimerie certifiée IMPRIM'VERT.

**La collection
« Expertise collégiale »
propose des ouvrages
destinés à aider
les acteurs
du développement
dans leurs choix
stratégiques. Chaque
volume est rédigé
par un groupe
de chercheurs
qui rassemble et
synthétise les analyses
scientifiques utiles
pour répondre
à des questions
opérationnelles liées
au développement
des pays du Sud.
(partie analytique jointe
sur CD-ROM)**

Chikungunya, dengue, fièvre catarrhale ovine... La forte recrudescence au cours de ces dernières années de maladies transmises par des insectes vecteurs constitue aujourd'hui une préoccupation majeure de santé publique, dans ses composantes humaine et animale. La « lutte antivectorielle » a pour objectifs de minimiser les risques d'endémisation ou d'épidémisation, de diminuer la transmission d'agents pathogènes par des vecteurs et de gérer les épidémies dans un cadre stratégique formalisé.

Cinq ministères français ont demandé en 2008 à l'Institut de recherche pour le développement (IRD) de produire un état des lieux complet et une analyse pluridisciplinaire des dispositifs de lutte antivectorielle en métropole et dans les régions ultra-marines. Le cadre de la gouvernance et la répartition des compétences, les conditions générales de mise en œuvre de la lutte antivectorielle, les pratiques et modalités d'évaluation de la lutte, les outils et leviers d'anticipation ont ainsi été examinés par un collège d'experts qui en restitue ici le bilan détaillé.

Au-delà, cette expertise collégiale met en lumière les évolutions indispensables que doit connaître ce domaine sensible et livre des recommandations en vue d'une refondation des politiques de lutte. Les défis à relever et les stratégies à concevoir pour le contrôle des risques sont d'autant plus complexes que les changements globaux (climatiques, environnementaux, sociétaux) influencent considérablement les systèmes vectoriels.

Chikungunya, dengue, bluetongue disease and others The strong resurgence of insect-vector transmitted diseases over recent years has become a major public health concern, in both human and veterinary spheres. Vector control has the objective of bringing down to a minimum the risks of endemization or epidemization, reducing pathogen transmission by vectors and managing epidemics in a clearly formulated strategic framework.

In 2008 five French ministries commissioned the Institut de recherche pour le développement (IRD) to produce a comprehensive state-of-the art report and multidisciplinary analysis of vector control systems in metropolitan France and the country's overseas regions. An expert group examined the framework for governance and the attribution of responsibilities, the general conditions for vector control implementation, the practices and methods of vector control assessment and the tools and means for forecasting risks. It presents the detailed account of its findings in this report.

Going beyond the analysis, this expert survey highlights the essential changes and developments that should be brought to this sensitive field and sets out recommendations for a revision of control policies. Challenges will have to be taken up and strategies will have to be devised to control risks. And these are becoming more complex with ongoing global-scale changes (to climate, environment and societies) that strongly influence vector systems.

15 €

ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1667-7



IRD : 44, bd de Dunkerque 13572 Marseille cedex 02
Diffusion : IRD, 32, avenue Henri-Varagnat - 93143 Bondy cedex
tél. : 01 48 02 56 49 diffusion@ird.fr

