

pour le contrôle des moustiques nuisants et vecteurs d'agents pathogènes



LIFE08 ENV/F/000488

À l'usage des opérateurs publics français de démoustication et de lutte antivectorielle et des décideurs



Document rédigé par les opérateurs membres de l'ADEGE, partenaires du Projet LIFE08/ENV/F/000488 COFINANCE par la Commission européenne dans le cadre du Programme LIFE+ 2007-2013

adege





Contenu

Contenu	1
Abréviations	3
Glossaire	4
1. POURQUOI UN GUIDE DES BONNES PRATIQUES ?	5
2. NOTIONS DE BASE	6
Qu'est-ce qu'un moustique ?	6
Définitions	6
Contexte général	6
Enjeux	7
Objectifs	7
Stratégies	8
Public ciblé par le guide des bonnes pratiques	8
3. VERS UNE STRATÉGIE DURABLE ET INTÉGRÉE	11
Cadre général	11
Préconisations	11
Recommandations et perspectives	12
4. SURVEILLANCE ENTOMOLOGIQUE	13
Cadre général	13
Préconisations	13
Recommandations et perspectives	14
5. LES MÉTHODES DE LUTTE	15
Cadre général	15
Préconisations	15
Recommandations et perspectives	16
6. LA PARTICIPATION COMMUNAUTAIRE	17
Cadre général	17
Préconisations	17
Recommandations et perspectives	18
7. LA LUTTE BIOCIDÉ	19
Cadre général	19
Préconisations	20
Recommandations et perspectives	21
8. EVALUATION DE L'EFFICACITÉ	22
Cadre général	22
Préconisations	22
Recommandations et perspectives	23



Contenu

9. LA MAÎTRISE DES EFFETS NON INTENTIONNELS	24
Cadre général	24
Préconisations	24
Recommandations et perspectives	25
10. TRAÇABILITÉ DES ACTIVITÉS ET DIFFUSION DE L'INFORMATION	26
Cadre général	26
Préconisations	27
Recommandations et perspectives	28
11. AMÉLIORATION CONTINUE - RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT	29
Cadre général	29
Préconisations	29
Recommandations et perspectives	30
12. ÉVALUATION DU COÛT-BÉNÉFICE POUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTÉ ET OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION	31
Cadre général	31
Préconisations	31
Recommandations et perspectives	32
RÉFÉRENCES UTILES	33
LISTE DES ANNEXES	35



Abréviations

ADEGE	Agence nationale pour la démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AMCA	<i>American Mosquito Control Association</i>
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARS	Agence régionale de santé
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BDD	Base de données
Bti	<i>Bacillus thuringiensis ser. israelensis</i> (sérotypage H14)
CNEV	Centre National d'Expertise sur les Vecteurs
COMBI	<i>COMmunication for Behavioural Impact</i>
DPAE	Débit proportionnel à l'avancement électronique
ECDC	<i>European Control Diseases Centre</i>
EID	Entente Interdépartementale pour la démoustication
EMCA	<i>European Mosquito Control Association</i>
EPI	Equipement de protection individuelle
EVPP	Emballage vide de produit phytosanitaire
GPS	<i>Global positioning system</i>
IDS	Infrastructure de données spatiales
IMCM	<i>Integrated Mosquito Control Management</i>
IMM	<i>Integrated Mosquito Management</i>
IPM	<i>Integrated Pest management</i>
LAV	Lutte antivectorielle
NTIC	Nouvelles technologies de l'information et de la communication
OMS	Organisation mondiale de la Santé (id. WHO)
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PPNU	Produit phytosanitaire non utilisé
s.a.	Substance active
SDI	<i>Spatial Data Infrastructure</i>
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SIG	Système d'information géographique
SIT	<i>Sterile Insect Technique</i>
SMQ	Système de management de la qualité
SOVE	<i>Society for Vector Ecology</i>
UBV	Ultra-bas volume
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
US-EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
WHO	<i>World Health Organization (id. OMS)</i>
WHOPES	<i>World Health Organization Pesticide Evaluation Scheme</i>



Glossaire

Arbovirus

Virus transmis par des arthropodes hématophages, considérés comme vecteurs. Proviens de la contraction de l'expression anglaise Arthropod-Borne Viruses.

Agent pathogène

Tout facteur capable d'engendrer une lésion ou de causer une maladie (processus morbide). Parmi les agents biologiques (agents infectieux exogènes), on distingue les bactéries, les parasites (Plasmodium), les champignons et les virus (virus du West Nile, du Chikungunya, de la Dengue,...).

Biocides

Substances actives et produits formulés qui en contiennent, destinés à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre, par une action chimique ou biologique.

Culicidés

La famille des Culicidés regroupe ce que l'on appelle communément les moustiques. Ce sont des insectes de l'ordre des diptères (deux ailes), sous-ordre des nématocères (antennes longues). Les femelles de la plupart des espèces possèdent de longues pièces buccales de type piqueur-suceur.

Effet de Serre

Processus naturel de réchauffement de l'atmosphère dû aux gaz à effet de serre (GES) dont principalement la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄).

Endémisation

Installation durable d'une maladie dans une région.

Endophilie

Propension à demeurer à l'intérieur des habitations.

Epidémisation

Développement et multiplication de foyers d'épidémie.

Exophilie

Préférence pour des abris naturels extérieurs : végétation, creux d'arbres.

Gîte larvaire

Biotope divers, naturel ou artificiel, où se développent les larves de moustiques.

Hématophage

Se dit d'un animal qui se nourrit de sang.

Lutte antivectorielle

Lutte et la protection contre les arthropodes hématophages (insectes et acariens), vecteurs d'agents pathogènes à l'homme et aux vertébrés, et leur surveillance.

Natura 2000

Ensemble de sites naturels européens, terrestres et marins, identifiés pour la rareté ou la fragilité des espèces sauvages, animales ou végétales, et de leurs habitats.

Ramsar

Traité intergouvernemental adopté à Ramsar (Iran) en 1971 qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

Trophogonique (cycle)

Succession des phénomènes comportementaux et physiologiques (repas sanguin, maturation des ovocytes et oviposition) survenant entre deux pontes consécutives (synonyme : cycle gonotrophique).



Pourquoi un guide des bonnes pratiques ?

La lutte contre les moustiques nuisants et vecteurs, telle qu'elle est pratiquée par les opérateurs et les services publics en France métropolitaine et ultramarine réunis au sein de l'Agence nationale pour la démoustication et la gestion des espaces naturels démoustiqués (ADEGE), revêt de nombreuses facettes. Elle s'exerce tout autant dans des milieux naturels patrimoniaux, souvent fragiles et bénéficiant de ce fait de statuts de protection foncière ou labellisée, que dans des zones périurbaines et urbaines, abritant leur part de biodiversité.

A ce jour, il n'existe aucune règle clairement établie en France ou en Europe à laquelle peuvent se référer formellement les opérateurs publics en charge d'un programme de lutte anticulicidienne, bien que de nombreux ouvrages fassent référence en la matière. De ce fait, on comprend aisément, dans le contexte actuel (forte demande sociale, risques épidémiques, exigences environnementales), que toute tentative d'établir des règles doit dorénavant s'appuyer sur une évaluation. Les résultats de ces opérations sont en effet jugés en termes de gain économique et sanitaire pour la société mais aussi sur les conséquences non voulues encourues éventuellement par les populations et l'environnement au sens large.

Le présent guide des bonnes pratiques, tel qu'il a été souhaité et conçu par les opérateurs publics membres de l'ADEGE, a d'abord pour ambition d'apporter les explications utiles à la compréhension des enjeux auxquels ces derniers ont à faire face. Mais bien au-delà de la volonté de décrire un métier pluridisciplinaire, d'en définir les contours et les principes et de mettre en place un cadre formalisé -que l'on pourrait qualifier d'« opposable aux tiers »-, c'est bien dans l'intention de ses auteurs, de créer, pour s'y s'engager, une véritable dynamique d'amélioration continue. C'est cet objectif qui constitue, de fait, la principale motivation de ce travail élaboré avec l'appui de la Commission européenne dans le cadre de son Programme LIFE+ 2007-2013.

Dans ce but, il est apparu essentiel de lui prêter un caractère formel au travers d'une **charte**, véritable engagement volontaire des opérateurs de prioriser en tout lieu la notion de « **développement durable** ».

Appliquer à la lutte contre les moustiques les exigences du développement durable revient à recourir à une gestion dite « intégrée », un concept bien connu et déjà largement appliqué au domaine de l'agriculture. C'est par ailleurs ce que préconise l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sous le vocable « *Integrated mosquito control management* » (IMCM) ou « gestion intégrée du contrôle des moustiques ». Cela s'appuie sur un état des lieux de l'existant, facilité entre autres par l'adoption d'un enregistrement méthodique des activités (notion de traçabilité), étape indispensable à toute tentative d'évaluer objectivement l'efficacité des actions et la pertinence des choix des méthodes et des moyens appropriés.

L'originalité de la démarche qui a prévalu à l'élaboration de ce guide est celle d'un long et passionnant travail d'échanges et de transferts d'expériences entre les opérateurs, partenaires du projet LIFE08/ENV/F/000488, renforcé par des éclairages scientifiques d'institutions de recherche à qui des études plus approfondies ont été confiées en particulier en matière d'impact environnemental.

Ce guide est l'aboutissement d'un souhait : celui de mettre pour la première fois à la disposition des décideurs publics autant que des opérateurs eux-mêmes, des outils d'aide à la décision basés sur des indicateurs pertinents, (mais perfectibles) et sur une approche « coût-efficacité-impact sur la santé-impact environnemental ».

Enfin, la volonté des élus et des opérateurs de l'ADEGE est de s'inscrire dans un processus d'amélioration continue. Par conséquent, il s'agit d'un document évolutif.





Notions de base

Qu'est-ce qu'un moustique ?

Famille des culicidés, Ordre des diptères (deux ailes), Sous-ordre des nématocères (antennes longues). Femelles possédant de longues pièces buccales de type piqueur-suceur. Quatre phases de développement : œuf, 4 stades larvaires L1 à L4 (aquatique), nymphe (aquatique), adulte (ou imago). Œuf pondu sur l'eau ou sur le sol (n'éclosant qu'à la submersion). Accouplement après l'émergence des adultes. Femelle hématophage (maturation des œufs). Cycle trophogonique : succession des phénomènes comportementaux et physiologiques (repas sanguin, maturation des ovocytes et oviposition) entre deux pontes consécutives.

Nombre d'espèces connues : >3 500. Bon nombre d'espèces piquent l'Homme. Plus de 150 espèces sont capables de transmettre des agents pathogènes responsables de maladies humaines. France métropolitaine : 61 espèces ; Guyane : >180 ; Martinique : 22.

Définitions

Démoustication

- Action de désinsectisation visant à éliminer des moustiques nuisants ou vecteurs et leurs gîtes larvaires.
- Vise à abaisser le niveau de la nuisance induite par les moustiques en-dessous du niveau jugé intolérable pour les populations.

Lutte antivectorielle (LAV)

- Lutte et la protection contre les arthropodes hématophages (insectes et acariens), vecteurs d'agents pathogènes à l'homme et aux vertébrés, et leur surveillance.
- 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.
- Contribue 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. (Fontenille et al. 2009)

Remarques

- La différence entre la démoustication et la LAV apparaît au niveau du seuil d'efficacité recherché -même si celui-ci n'est pas précisément connu ou atteignable- et des méthodes utilisées.
- Il est inenvisageable d'éradiquer totalement les moustiques car cela ferait courir aux populations et à l'environnement des risques inacceptables, en particulier si cela nécessite l'emploi massif d'insecticides.

Contexte général

Principaux éléments du cadre réglementaire

Loi n°64-1246 du 16 décembre 1964 : relative à la lutte contre les moustiques

Décret n°65-1046 du 01 décembre 1965 : relative à la lutte contre les moustiques

Directive 98/8/CE du 06/02/1998 : mise sur le marché des biocides.

Directive 2000/60/CE du 23/10/2000 : politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Directive 2001/42/CE du 27/06/2001 : évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement.

Loi n°2004-809 du 13/08/2004 : relative aux libertés et responsabilités locales.

Décret n°2005-1763 du 30 décembre 2005 : pris pour l'application des articles 71 et 72 de la Loi n°2004-809 du 13/08/2004 relative aux libertés et responsabilités locales, et modifiant le code de la santé publique (dispositions réglementaires), ainsi que le décret n°65-1046 du 01/12/1965 pris pour l'application de la loi n°64-1246 du 16/12/1964 relative à la lutte contre les moustiques.



Notions de base

Arrêté du 19/05/2004 : contrôle de la mise sur le marché des substances actives biocides et autorisation de mise sur le marché des produits biocides.

Décret n°2005-613 du 27/05/2005 : évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement.

Loi n°2006-1172 du 30/12/2006 : déclaration obligatoire au MEEDDAT des produits biocides.

Directive 2007/2/CE du 14/03/2007 : établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (INSPIRE).

Arrêté du 10/05/2007 : mise sur le marché et l'utilisation de certains produits biocides contenant des substances actives non notifiées au titre du règlement (CE) 2032/2003 de la Commission du 4 novembre 2003.

Circulaire DPPR/DGS/DGT du 21/06/2007 : méthodes de lutte contre les moustiques et notamment utilisation de produits insecticides dans ce cadre (et cas particulier de produits à base de téméphos)

Loi n°2009-967 du 03/08/2009 : programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement.

Directive 2009/128/CE du 21/10/2009 : cadre d'action communautaire pour parvenir à une utilisation des pesticides compatible avec le développement durable.

Code de l'environnement (Art. L. 414-4) : évaluation des incidences Natura 2000 des plans, schémas, programmes et autres documents de planification.

Circulaire interministérielle n°DGS/RI1/ DGALN/DGAL/2009/233 du 24/07/2009 : mesures visant à limiter la circulation du virus West Nile en France métropolitaine (Annexe : Guide des procédures de lutte contre la circulation du virus West Nile en France métropolitaine)

Règlement (UE) n°528/2012 du 22/05/2012 : mise à disposition sur le marché et l'utilisation des produits biocides.

Arrêté du 31/01/2013 : modification de l'arrêté du 26 août 2008 fixant la liste des départements où les moustiques constituent une menace pour la santé de la population

Instruction n°DGS/RI1/2013/182 du 30/04/2013 : mise à jour du guide relatif aux modalités de mise en œuvre du plan antidissémination du chikungunya et de la dengue en métropole.

Événements sanitaires récents

- Réémergence du virus West Nile (VWN) en région méditerranéenne en 2000.
- Epidémie historique de chikungunya à La Réunion et à Mayotte en 2006.
- Epidémie de chikungunya Emilie Romagne (Italie) en 2008.
- Epidémies récurrentes de dengue dans les Caraïbes et dans le Pacifique.
- Epidémies récurrentes de paludisme en Guyane.
- Cas autochtones de dengue et de chikungunya dans le Var et les Alpes-Maritimes en 2011.

Les acteurs de la démoustication et de la LAV

- Entités juridiques gérant la mission de service public : commune, intercommunalité, syndicat intercommunal à vocation unique (SIVU), groupement d'intérêt public (GIP), conseils généraux, agence régionale de santé, entente interdépartementale.

Enjeux

- Trouver l'équilibre entre les contraintes de santé publique, de l'environnement et socioéconomiques.
- Considérer les problématiques de régulation de la nuisance et de la LAV avec la même rigueur.
- Etablir les différences et les complémentarités de ces deux actions, selon le risque encouru.
- Faire reconnaître le métier en adoptant de manière volontariste des règles et des procédures de fonctionnement en faveur de la préservation de l'environnement et de la santé.
- Mettre en œuvre volontairement des systèmes de management de la qualité (ISO9001, 14001,...).



Notions de base

Objectifs

- Diminuer le nombre de moustiques pour atteindre un seuil de nuisance acceptable par les populations.
- Prévenir ou limiter les risques de transmission locale d'agents pathogènes.

Stratégies

- Mettre en place une lutte intégrée compatible avec le développement durable.
- Créer des outils d'aide à la décision destinés en priorité aux autorités de tutelle.

Public ciblé par le guide des bonnes pratiques

Opérateurs publics : France métropolitaine et DOM-TOM, Europe.

Décideurs : élus des collectivités, les représentants régionaux des Ministères de tutelle (santé, écologie, outremer,...), le Parlement européen, la Commission européenne, l'*European Control Diseases Centre* (ECDC), l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

Gestionnaires de l'environnement : associations, syndicats mixtes, syndicats d'apiculteurs.

Scientifiques : *European Mosquito Control Association* (EMCA), *European Society of Vector Ecology* (E-SOVE), les Sociétés française et européenne de parasitologie, *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC), etc.

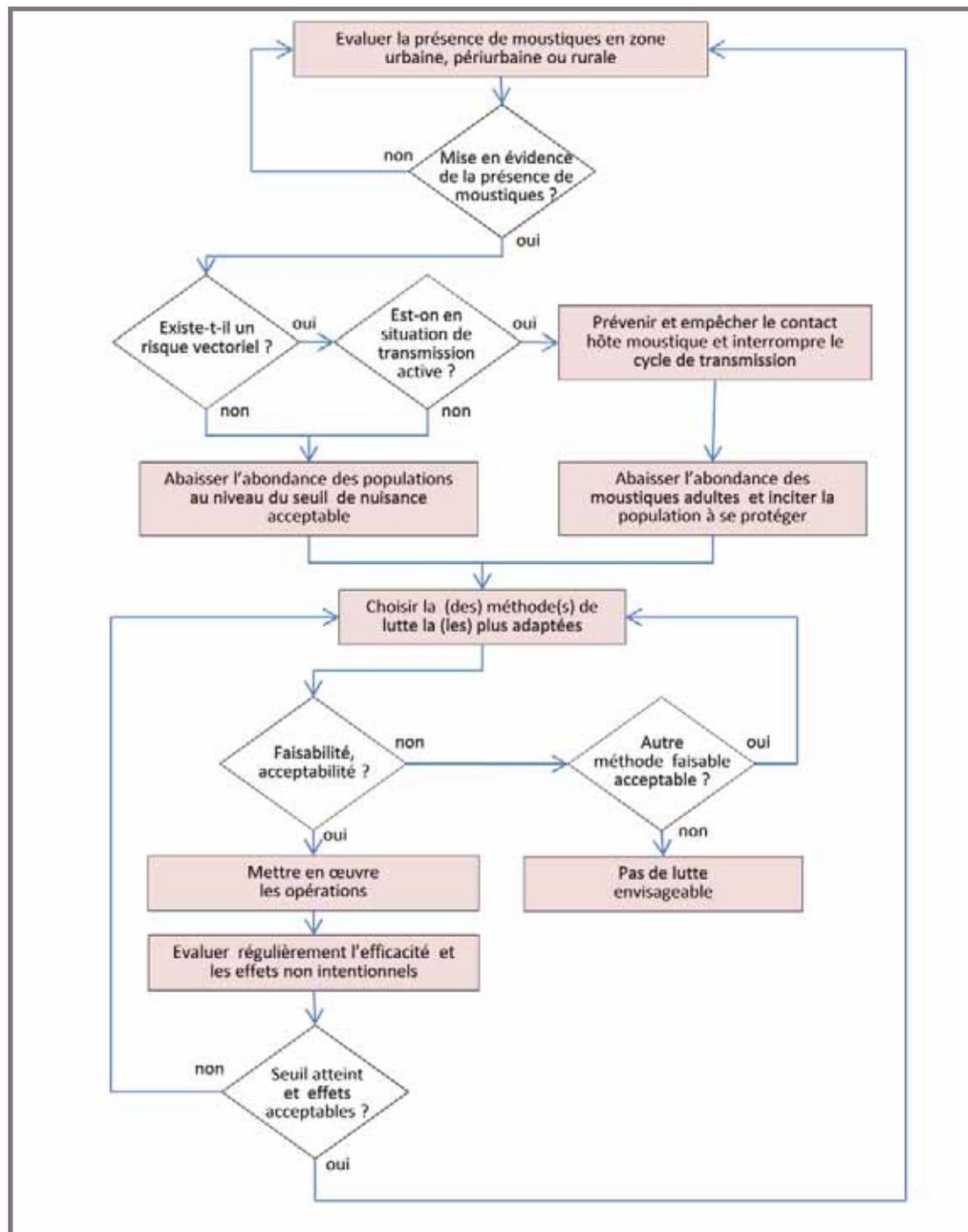
Société civile : services techniques des collectivités, services hospitaliers, scolaires, hôtellerie de plein air, grand public.





Notions de base

Figure 1 : Processus décisionnel théorique conduisant au choix des actions de démoustication et de LAV





Vers une stratégie durable et intégrée

Cadre général

Développement durable (*Sustainable development*)

- Développement qui répond au besoin du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs (Rapport Brundtland, 1987).
 - S'appuie sur le progrès économique, la justice sociale et la préservation de l'environnement.
 - Gestion durable des ressources consistant à obtenir les mêmes bénéfices à partir d'une quantité inférieure de ressources naturelles consommées.
 - Nécessite des indicateurs et des objectifs pour suivre les progrès et ajuster les actions.

Lutte intégrée (*Integrated pest management (IPM)*)

- Sélection, intégration et utilisation de moyens de contrôle des organismes nuisibles en fonction des conséquences économiques, écologiques et sociologiques prévisibles (Smith & Reynolds, 1965).
 - Une méthode de contrôle ne peut jamais suffire à elle seule, ni être efficace à long terme.
 - Offre la possibilité d'aboutir à une protection durable en combinant les mesures biologiques, chimiques, physiques intégrées dans un schéma cohérent.
 - Nécessite de mettre en œuvre une série d'évaluations, de décisions et de contrôles.

Préconisations

○ Mettre en place une lutte intégrée pour le contrôle des moustiques (en anglais : *Integrated Mosquito Management* ou IMM), avec une organisation adéquate, un personnel formé, des matériels adaptés, entretenus et maîtrisés. Pour cela, le processus doit comporter plusieurs étapes :

(1) Mettre en place une surveillance entomologique, consistant à identifier et à surveiller les populations de moustiques et évaluer globalement l'efficacité des actions de lutte.

(2) Limiter, en priorité, l'apparition des gîtes larvaires (suppression des collections d'eau partout où c'est possible) en s'appuyant notamment sur la participation communautaire, au travers de l'éducation et de la communication.

(3) Recourir, le cas échéant et de manière raisonnée (notion de cout-bénéfice-efficacité-santé-environnement), aux autres méthodes de lutte (lutte biologique, biocide, génétique).

(4) Évaluer régulièrement l'efficacité et les impacts

éventuels sur la santé et l'environnement pour améliorer les techniques de contrôle et en maîtriser les effets non intentionnels.

(5) Définir des seuils d'action, pour maintenir les risques sanitaires à un niveau acceptable pour la communauté. Ces seuils sont à déterminer en tenant compte des facteurs sociologiques, de la situation géographique, politique et économique.

○ Procéder à l'examen rétroactif des actions réalisées pour les ajuster en tenant compte des changements éventuels des contraintes socio-économiques, écologiques et sanitaires et des ressources disponibles.

○ S'inscrire dans un processus d'amélioration continue basée sur une évaluation systématique selon un processus assimilable au système de gestion de la qualité. Schématisé en particulier par la roue de Deming. La méthode se décompose en quatre étapes, *Plan-Do-Study-Act*, représentées sous forme de roue et constituant un cercle vertueux et continu visant à améliorer indéfiniment la qualité d'un service.



Vers une stratégie durable et intégrée

Figure 2 : Les enjeux de la lutte contre les moustiques nuisants ou vecteurs et leurs interactions

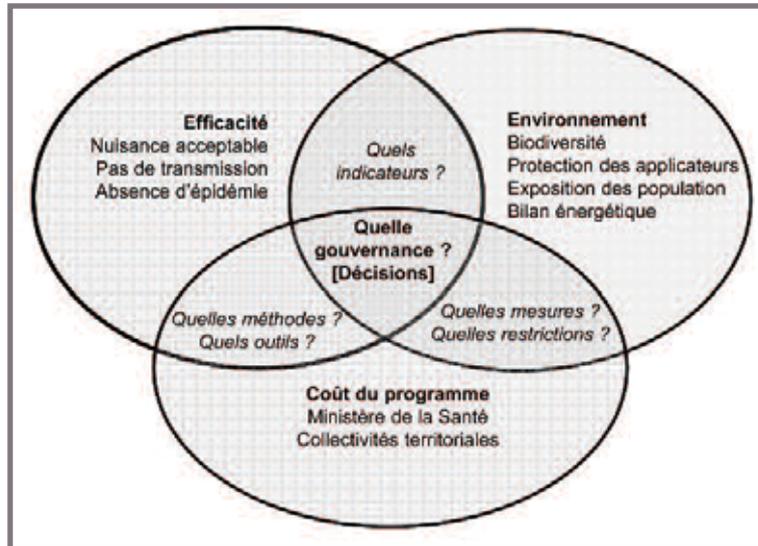
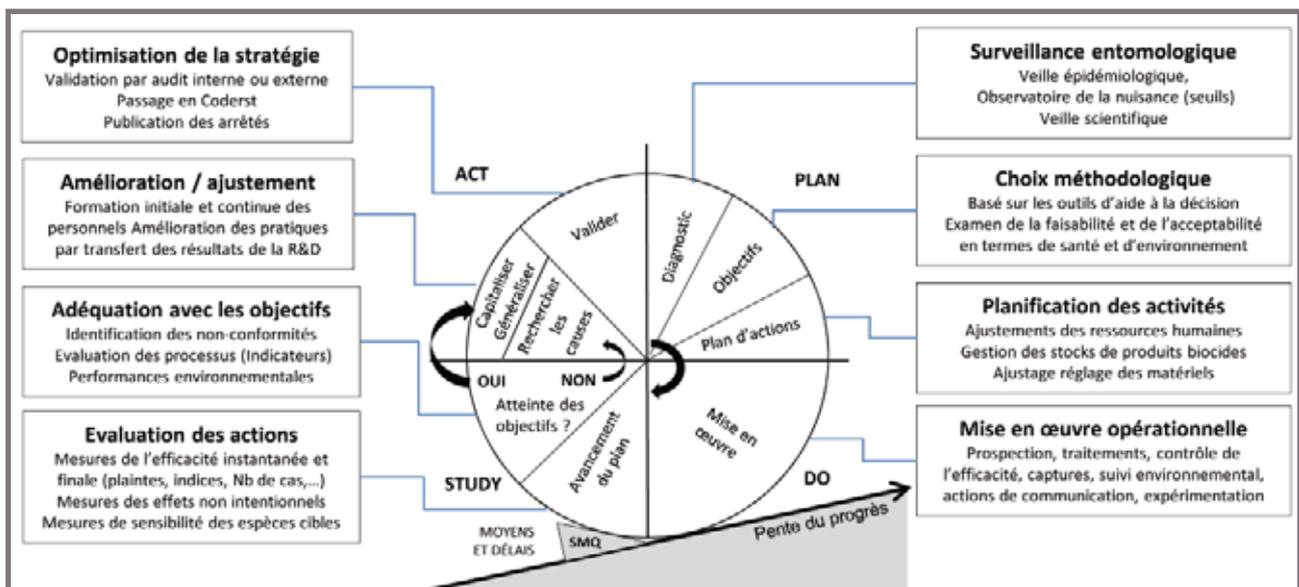


Figure 3 : Schéma illustrant l'intégration du principe d'amélioration continue à la stratégie de lutte contre les moustiques nuisants ou vecteurs.



Recommandations et perspectives

- Il est nécessaire d'adopter des méthodes et des outils évalués selon des méthodes reconnues, de les harmoniser et, si possible, de les normaliser.
- Les opérateurs mettent en œuvre des stratégies compatibles avec le développement durable, en associant et en combinant de manière raisonnée les différentes méthodes de lutte et les outils les moins préjudiciables pour l'environnement. Ils adoptent les principes d'une gestion

intégrée et d'amélioration continue des pratiques.

- Cette démarche implique une évaluation systématique de l'adéquation des moyens nécessaires et suffisants pour atteindre des objectifs clairement définis. Cela s'exprime en termes d'efficacité biologique et technique, d'impact épidémiologique, d'impacts sur la santé des applicateurs (biocides) et de la population et sur les différentes composantes biotiques de l'environnement.



Surveillance entomologique

Cadre général

La surveillance constitue une étape fondamentale de la gestion intégrée de la lutte contre les moustiques. Elle permet notamment de suivre des populations de moustiques autochtones d'intérêt (vectrices ou nuisantes), de détecter la présence et assurer le suivi d'espèces de moustiques invasives et d'évaluer l'efficacité des actions de lutte. Cela nécessite au préalable d'identifier et de localiser les lieux colonisés par les moustiques avant de pouvoir mettre en place un suivi (monitoring) des populations dans l'espace et dans le temps. Selon leur stade de développement, les moustiques colonisent deux types de milieux, appelés communément « gîtes ». On distingue globalement les gîtes larvaires aquatiques des gîtes de repos pour les moustiques adultes.

Les gîtes larvaires

- Lieux où sont pondus les œufs et dans lesquelles les larves et les nymphes se développent.
- Grande diversité selon les espèces : gîtes d'origine naturelle (mangroves, réserves d'eau pluviale, creux d'arbre, ripisylves, marais temporaires) et gîtes d'origine

anthropique (pneus usagés, fosses septiques détériorées, coupelles de vase,...).

Les gîtes de repos

- Zones où les adultes seront retrouvés hors recherche d'hôte ou de gîte larvaire pour la ponte.
- Moins faciles à identifier, leur nature et leur localisation sont également tributaires de facteurs très divers et variables tels que l'endophilie,...

Le monitoring

- A pour objectif d'inventorier les espèces et/ou d'évaluer leur abondance, l'efficacité ou les effets des traitements sur la biodiversité (nombre d'espèces de moustiques non directement ciblées), de déterminer la date de levée ou d'entrée en diapause, etc.
- Les méthodes de suivi, les dispositifs et les techniques de collecte varient en fonction du stade ciblé (œufs, les larves, les nymphes, adultes). Ils sont succinctement décrits en **Annexe 1**.

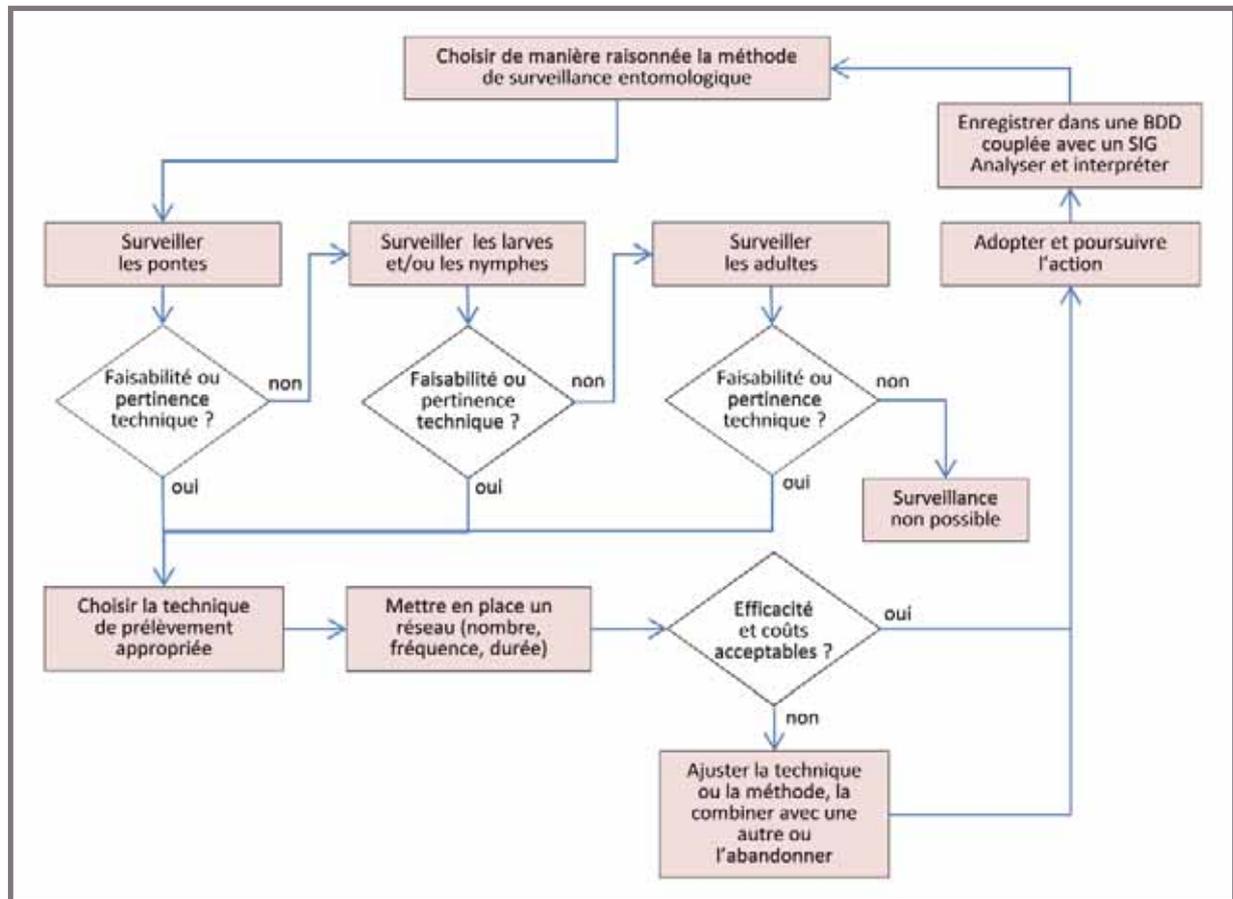
Préconisations

- Mettre en place un réseau organisé, représentatif et systématique de piégeage, adapté à la situation et aux espèces concernées. Le rythme de suivi est établi en fonction des contraintes logistiques, de la localisation et du climat. Des variables écologiques (hauteur d'eau) et climatiques pourront être relevées.
- Faire l'inventaire, comparer, choisir et valider les méthodes, techniques et procédures d'échantillonnage et de piégeage les plus adaptées au travers d'un transfert d'expérience entre les opérateurs. Organiser régulièrement des modules ou sessions de formation spécifique à la collecte d'échantillons et à l'utilisation des pièges.

- Mettre en place un géoréférencement des gîtes larvaires et des lieux de piégeage, notamment à l'aide de GPS.
- Saisir et structurer les données récoltées dans une BDD couplée à un SIG et valoriser l'information au travers d'un site Web et d'une plateforme commune de recueil de données.
- Exploiter les données en vue d'ajuster les méthodes de lutte en fonction de l'efficacité attendue au travers d'un tableau de bord croisant les niveaux d'abondance des espèces cibles, l'efficacité opérationnelle mesurée sur le terrain et le niveau de satisfaction de la population (enquêtes sociologiques, plaintes).

Surveillance entomologique

Figure 4 : La surveillance entomologique : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

- Il est nécessaire de formaliser, valider et pérenniser des dispositifs de veille entomologique représentatifs et pertinents chez chaque opérateur public français sur lesquels puissent s'appuyer les réseaux de veille régionaux, nationaux ou européens actuels ou futurs.
- Ces derniers doivent être activés en priorité sur les

territoires à risque (présence de vecteurs potentiels sur le territoire et faible circulation d'agents pathogènes) ou en cas d'alerte épidémique.

- Les outils de saisie et d'exploitation des données issues des réseaux de veille et la fréquence des mises à jour doivent être conçus de manière à faciliter les prises de décision.



Les méthodes de lutte

Cadre général

Les méthodes de lutte contre les moustiques sont nombreuses. C'est en raisonnant leur choix voire en les combinant que l'on obtient le meilleur résultat du moins en termes d'efficacité.

Le but n'est pas l'éradication des moustiques mais leur maintien sous un seuil de nuisance ou de risque vectoriel jugé acceptable.

La notion de seuil est difficile à évaluer précisément car lié notamment à la perception individuelle de la gêne. Cette notion est encore controversée quand il s'agit d'apprécier le risque vectoriel, car ce dernier dépend de nombreux facteurs (température, durée du cycle extrinsèque, taux de survie, abondance des hôtes...).

Les méthodes de lutte sont classées en quatre catégories selon qu'elles s'appuient sur une approche physique (ou mécanique), biologique, génétique, et biocide (ou chimique). La participation communautaire constitue également une approche complémentaire.

La plupart de ces méthodes sont appliquées par les opérateurs dans le cadre de leurs missions respectives, dans des situations parfois peu comparables et sur la base de leur propre expérience, ce qui induit des différences dans les pratiques et les savoir-faire.

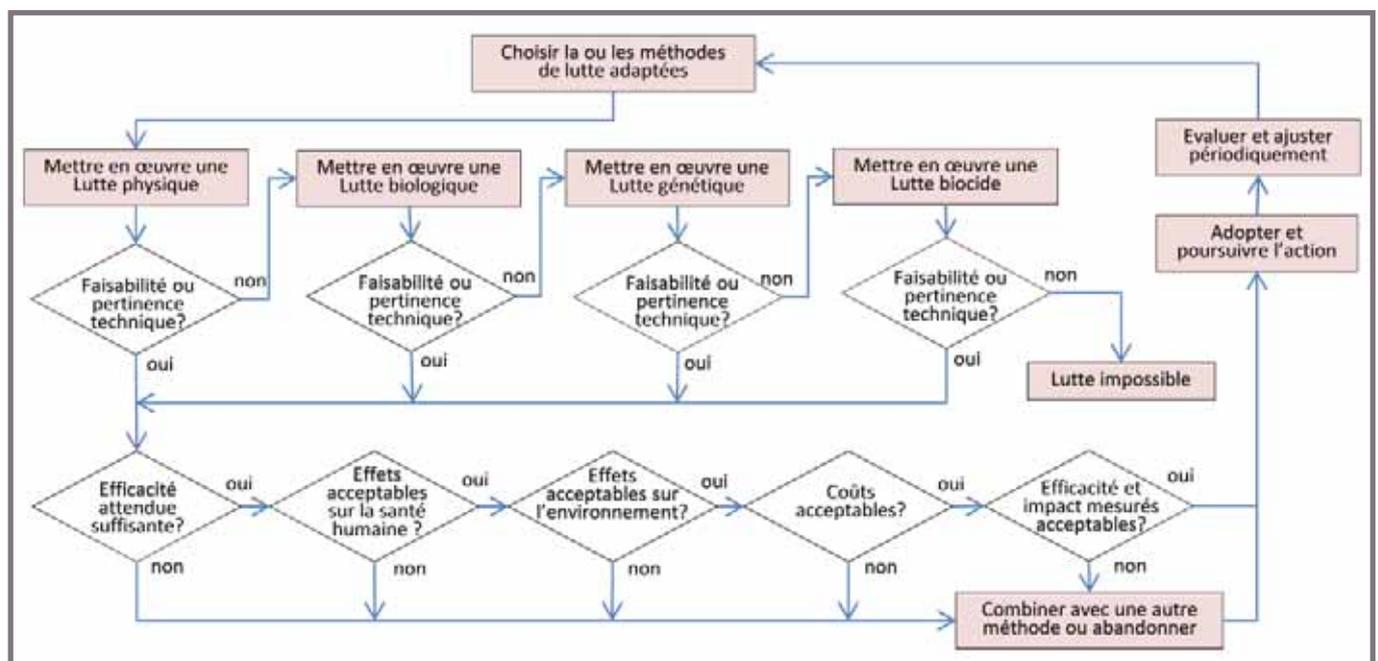
Ces méthodes, largement documentées par ailleurs, sont succinctement décrites en **Annexe 2**.

Préconisations

○ Évaluer et classer les méthodes de lutte évoquées ci-avant en fonction de leur efficacité et de leurs effets non intentionnels sur l'environnement et la santé. Ce classement rend par ailleurs nécessaire le partage d'expérience et du savoir-faire, l'adoption d'un « parler » métier commun et donc d'un lexique validé par tous les opérateurs.

○ Évaluer sur le moyen et le long terme, en condition réelle et au cas par cas, l'efficacité biologique et la sélectivité de l'ensemble des méthodes de lutte utilisées, en s'appuyant notamment sur des études méthodologiques développées, éprouvées et validées par et/ou en collaboration avec une expertise scientifique indépendante.

Figure 5 : Les méthodes de lutte : description du processus décisionnel théorique





Les méthodes de lutte

Recommandations et perspectives

- La recherche d'un type de lutte efficace ne doit pas exonérer les opérateurs de toujours privilégier les méthodes les moins impactantes. Cela implique une remise en question permanente, démarche qui sera facilitée par une veille scientifique et technique ainsi que par l'échange des connaissances et des savoir-faire entre les acteurs.
- L'évaluation de l'efficacité biologique ainsi que celles des effets non intentionnels sur l'Homme et l'environne-

ment sont les éléments centraux de cette démarche. Une évaluation systématique ou régulière permet d'orienter les actions d'amélioration ou de progrès et reste indispensable pour pouvoir mesurer l'intérêt d'une nouvelle méthode.

- Les opérateurs doivent s'engager à accompagner la recherche de nouvelles méthodes de lutte, pour l'instant expérimentales, qui seront peut-être les outils opérationnels de demain.



La participation communautaire

Cadre général

Le recours à la participation communautaire dans les actions de démosuication se justifie particulièrement dans le cas des espèces de moustiques dont les gîtes larvaires sont d'origine anthropique.

Haering (1995) définit la communication sociale comme : « l'ensemble des actes de communication qui visent à modifier des représentations, des comportements ou à renforcer des solidarités ».

Elle vise notamment à informer sur des problèmes sociaux et modifier des idées ou des comportements à risque pour les personnes ou la collectivité. Cet outil permet de consolider les liens sociaux par le biais de programmes de prévention menés avec et par les populations, en prenant en compte le fonctionnement de ces dernières dans leur milieu de vie (perceptions, croyances, connaissances et attitudes).

Dans son objectif de modification de comportements à risque, la communication sociale peut se traduire concrètement par la participation communautaire.

La participation communautaire est un processus qui nécessite préalablement l'établissement d'une relation de confiance, de compréhension et de respect mutuel entre l'institution et le citoyen.

Elle comporte différents niveaux de participation allant du partage de l'information à la délégation de pouvoir à la communauté, en l'amenant notamment à s'occuper de sa propre santé au moyen d'activités de développement, de renforcement des capacités, de planification ou encore de prestation de services. Quelques exemples de programmes et d'actions à visée informative et éducative figurent en **Annexe 3**.

Préconisations

- Faire l'inventaire des études sociologiques menées dans le domaine de la démosuication et de la LAV. Mettre en place une veille bibliographique.
- Échanger sur les approches méthodologiques adoptées par chaque opérateur. L'expérience acquise en matière de communication sociale et de participation communautaire doit être partagée pour optimiser les actions de lutte.
- Réaliser des enquêtes sociologiques en recourant à une méthodologie validées. Ces enquêtes ont pour objectifs d'améliorer la compréhension de la perception par la communauté de la nuisance et/ou des risques vectoriels. Les aspects environnementaux seront pris en compte dans ces enquêtes.
- Mettre en place un suivi sociologique régulier des comportements (enquêtes).
- Mettre en œuvre des opérations concertées visant à

modifier les comportements susceptibles de favoriser l'implantation des moustiques en milieu urbain. Cette approche constitue un des volets permettant la fixation d'un seuil de tolérance ou d'acceptabilité de la nuisance et donc d'ajuster les moyens de lutte en conséquence.

- Élaborer un outil de suivi hebdomadaire de la nuisance et de la perception par la population corrélée à la présence des moustiques à l'aide d'un SIG (cartographie des risques).

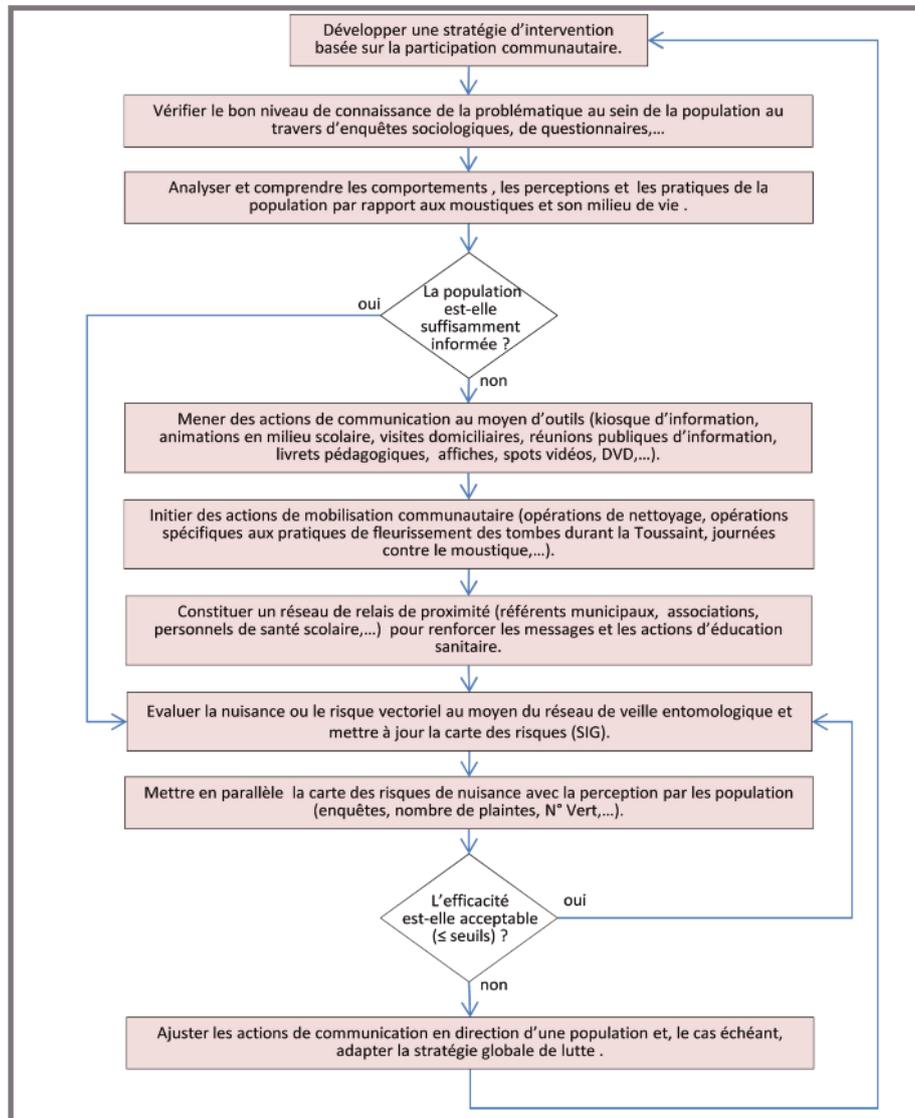
La base de données sera corrélée avec les tendances issues des enquêtes sociologiques ou d'autres sources (plaintes, n° vert,...) par couche d'habitat.

Le recours à un SIG en facilitera la vision et le croisement avec les autres paramètres, en particulier environnementaux ou techniques et logistiques. Un tel outil devra être assorti d'une grille de lecture appropriée (« interprétabilité »).



La participation communautaire

Figure 6 : La participation communautaire : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

- Dans un contexte de nuisance et/ou de risque vectoriel, l'analyse sociologique est l'outil qui vise à traduire un ensemble d'interrogations ayant pour objectif de corréler les réalités de terrain avec les attentes effectives des populations. Le suivi sociologique est indissociable du volet opérationnel technique du contrôle des moustiques nuisants et vecteurs. La lutte contre *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*, vecteurs des virus de la Dengue et du Chikungunya, repose essentiellement sur des actions de communication préventive et d'éducation civique comportementale.
- Il est recommandé de mettre en parallèle le suivi de

la présence spatio-temporelle des moustiques nuisants et la perception par la population de la nuisance induite. Ces données recueillies au moyen du réseau de surveillance entomologique, des enquêtes sociologiques et des plaintes (téléphone, réunions publiques, courrier...) seront utilement représentées sous forme de carte des risques.

- Cet ensemble d'outils doit être conçu de manière à permettre une adaptation des messages, des cibles et des dispositifs. Il doit être utilisé par l'ensemble des acteurs tant du point de vue communicationnel qu'opérationnel.



La lutte biocide

Cadre général

Les biocides sont l'ensemble des substances actives et produits formulés qui en contiennent, destinés à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre, par une action chimique ou biologique (définition figurant dans la directive 98/8/CE).

L'utilisation de biocides est conditionnée au respect d'un certain nombre de règles et pratiques relatives à la formation et à la protection du personnel, à l'autorisation de mise sur le marché, au stockage, à la manipulation, à l'épandage et à l'élimination des produits phytosanitaires non utilisés (PPNU) et des emballages vides de produits phytosanitaires (EVPP), ceci en vue de limiter les risques pour la santé et l'environnement.

Certaines de ces règles et pratiques existantes sont évoquées succinctement ci-après :

Formation et protection de l'applicateur et de la population

Toute personne physique qui vend ou applique des produits phytosanitaires doit être en possession d'un « certificat des applicateurs et distributeurs » (Loi n°92-533 du 17/06/92). Une entreprise ou un organisme ou une collectivité (personne morale) doit détenir un « agrément des applicateurs et distributeurs » pour exercer ses activités. Une certification et un agrément sont envisagés pour les biocides en 2014 ou 2015 (source MEDDE).

Le port des équipements de protection individuelle (EPI) est obligatoire pendant la manipulation du produit, la préparation de la bouillie, le traitement et le nettoyage de la cuve, afin de réduire tout risque d'exposition.

Selon la nature du traitement en zone habitée, la population doit être informée de la date du passage (par courrier, affiches ou autre) pour éviter une exposition au produit utilisé ou pour faciliter l'intervention.

Choix du biocide et prise en compte de l'impact environnemental

La mise sur le marché des biocides est soumise à des règles strictes (directive 98/8/CE du 16/02/98, Règlement (UE) n°528/2012 du 22/05/12). Il est constaté une diminution drastique du nombre de produits pouvant être utilisés pour le contrôle des moustiques. Le stockage et la protection des travailleurs sont très encadrés (code de santé publique (art.R.5162 et R.5132-66), code du travail (art. R.4412-17 à 38 et R.4412-61), code de l'environnement

(art. L.216-6, décret n° 87-361 du 27/05/87).

Le local de stockage doit notamment répondre à des critères réglementaires visant à diminuer les risques de pollution de l'environnement, de même en ce qui concerne le transport (fiche de données de sécurité, Directive 2001/58/CE du 27/07/01, accord européen pour le transport de matières dangereuses par route).

Traçabilité des opérations de traitement

Certains opérateurs ont recouru à des logiciels de saisie quotidienne des activités en lien avec un SIG permettant d'affecter par zone administrative le coût des opérations (comptabilité analytique), d'éditer des tableaux de bord actualisés et des requêtes à finalité administratives et techniques. Les outils cartographiques utilisés (notamment SIG) sont plus ou moins évolués et répondent à des besoins spécifiques.

Matériels d'épandage et traitements

Le choix d'un appareil est fonction de la cible visée, de la zone à traiter, de la surface (de quelques m² à des milliers d'ha). Des traitements larvicides sont effectués sur de très nombreux types de gîtes avec des formulations et un épandage adaptés. Les traitements adulticides sont réalisés essentiellement en milieu urbain et périurbain sous forme de brume ou d'aérosols (traitement spatial) ou d'aspersion intradomiciliaire (traitement résiduel). A souligner l'importance accordée aux moustiquaires imprégnées d'insecticide utilisées contre les vecteurs endophiles, notamment les anophèles, vecteurs de *Plasmodium* spp. Elles doivent être privilégiées chaque fois qu'elles se justifient. Ces méthodes sont décrites dans les guides de l'OMS (WHO 1996, 2003, 2006a, OMS 1991, UPJ 2010, UNEP 2009).

L'enregistrement du passage des engins de traitement par voie aérienne et terrestre au moyen de GPS embarqués est pratiqué chez certains opérateurs

Gestion des effluents et des déchets

Tout matériel utilisé doit être nettoyé et rangé après traitement. La décontamination systématique des vêtements de travail doit être réalisée. Les eaux de rinçage et les fonds de cuve doivent être stockés dans des bassins ou des cuves dédiés. Les EVPP et les PPNU sont considérés comme des déchets dangereux et leur enlèvement et leur élimination doivent respecter les règles qui s'y appliquent.



La lutte biocide

Préconisations

Formation et protection des applicateurs

- Former les personnels à la manipulation des biocides et des matériels d'épandage au travers de sessions adaptées et vérifier l'acquis des connaissances (formation initiale et continue).
- Évaluer les risques d'exposition des applicateurs liés à chaque type de traitement et aux biocides utilisés et adapter les mesures de protection individuelle.

Choix du biocide et prise en compte de l'impact environnemental

- Classer les biocides en termes de coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement.
- Approfondir les connaissances relatives aux effets non intentionnels possibles des produits sur les différents compartiments de l'environnement.
- Rechercher des biocides alternatifs présentant le moindre impact sur l'environnement (sélectivité) et la santé, notamment en collaborant avec les institutions de recherche et l'industrie phytopharmaceutique.

Traçabilité des opérations de traitement

- Délimiter les zones à traiter et signaler les risques environnementaux circonstanciés et clairement identifiés (présence de personnes, de ruchers, d'animaux, de points de captage, Natura 2000...).
- Mettre en place une base de données associée au SIG de manière à enregistrer systématiquement toutes les activités des techniciens sur le terrain.
- Développer et mettre en place une infrastructure de données spatiales (IDS) entre les opérateurs qui permettra de définir des structurations communes, d'utiliser des outils interopérables et des mises à niveau.

- Investiguer régulièrement les potentialités nouvelles offertes par les tous nouveaux développements des techniques d'imagerie satellitaire pour optimiser les outils pré-existants.

Matériels d'épandage et traitements

- Évaluer et classer les différents moyens d'épandage en termes de coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement en recourant notamment au bilan carbone (ADEME 2007a,b) et à toutes données disponibles ou extrapolées sur les effets non intentionnels sur la santé et l'environnement (assistance extérieure souhaitable).
- Réaliser des contrôles réguliers ou systématiques des matériels d'épandage (adapter, calibrer et ajuster).
- Maîtriser la qualité des épandages, si possible, en installant des GPS embarqués et des systèmes de DPAE.
- Optimiser l'information aux populations, en particulier avant toute intervention en zone urbaine (support : tract dans les boîtes aux lettres, affichage dans les résidences, radio, TV, système d'information téléphonique).
- Maintenir une veille et évaluer tout matériel ou technique d'épandage, nouveau ou innovant permettant de réduire l'impact sur l'environnement et la santé.

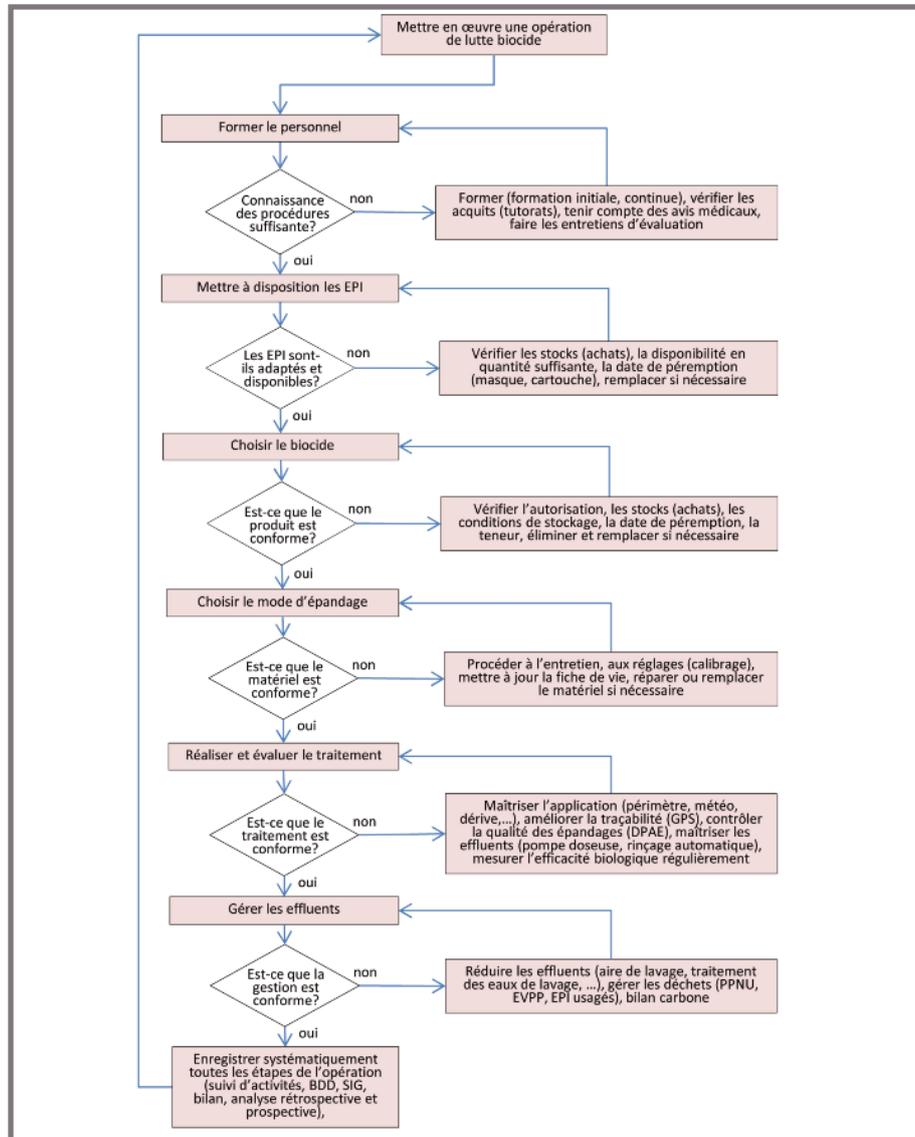
Gestion des effluents et des déchets

- Éviter tout gaspillage et tout rejet des eaux usées et maîtriser la gestion des PPNU et des EVPP.
- Adopter si possible, un système complet d'automatisation de la préparation de bouillie (pompe doseuse), du remplissage et du rinçage de la cuve permettant d'optimiser la consommation d'insecticides et de réduire ainsi les effluents liquides et les déchets constitués par les emballages.



La lutte biocide

Figure 7 : La lutte biocide : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

○ Toute intervention de démoustication ou de LAV impliquant notamment la mise en œuvre d'un biocide quel qu'il soit, exige une parfaite maîtrise du matériel et des produits utilisés, la connaissance et le respect de règles de base d'un bout à l'autre du processus de traitement, ceci afin de préserver la santé de l'applicateur et de la population et de diminuer l'impact éventuel sur l'environnement, tout en ayant le maximum d'efficacité. La formation initiale et continue des personnels des opérateurs doit être clairement formalisée, délivrée dans un cadre précis, le contenu validé. Les connaissances acquises et les savoir-faire devront faire l'objet de vérifi-

cations et de remises à niveau régulières.

○ Au-delà des prescriptions habituelles et réglementaires, le choix des méthodes de lutte et, en particulier, la décision de procéder ou non au traitement larvicide ou adulticide en tout ou en partie doit être prise en tenant compte explicitement des risques sanitaires et environnementaux clairement identifiés. La lutte adulticide reste toutefois nécessaire en cas d'épidémie.

○ Opérateurs et responsables sanitaires doivent se concerter en permanence, en particulier afin d'établir une liste de protocoles opératoires et de produits utilisables.



Évaluation de l'efficacité

Cadre général

L'évaluation correcte et juste de l'efficacité d'une stratégie a pour finalité d'ajuster les moyens et les ressources à hauteur des objectifs à atteindre. Elle n'aura toutefois de sens que si l'on fixe des seuils à partir desquels une action sera jugée suffisamment efficace ou non et s'il y a nécessité de la poursuivre ou de l'interrompre. Ces seuils constituent les indicateurs nécessaires à la prise de décision. Il est donc indispensable d'adopter le principe d'une évaluation régulière de l'efficacité à différents niveaux de la stratégie.

Les programmes de lutte visent à empêcher le contact hôte-moustique, pour réduire soit le risque de transmission d'agents pathogènes soit la gêne due aux moustiques (notion de perception) ce qui peut partiellement s'exprimer en nombre de piqûres par individu et par unité de temps. Cette efficacité est de fait la seule attendue par les commanditaires des opérations.

Pour atteindre les seuils d'efficacité finale recherchés, les opérateurs mettent en œuvre des opérations selon des méthodologies et des processus adaptés. Ils évaluent leur efficacité à différents niveaux et procèdent si nécessaire à des ajustements.

Le choix d'utiliser un biocide est basé en effet sur la connaissance de son efficacité biologique intrinsèque déclarée par le fabricant (dossier biologique d'homologation). Il s'appuie ensuite sur des tests pré-opérationnels réalisés en laboratoire et sur le terrain sur la ou les espèces cibles (évaluation post-homologation).

L'efficacité instantanée ou la persistance d'action d'un traitement déterminé est ensuite vérifiée en phase opération-

nelle soit systématiquement, soit sporadiquement par l'opérateur. En fonction de cette évaluation, des traitements de rattrapage ou alternatifs sont décidés au cas par cas.

Une évaluation de la sensibilité des espèces cibles est réalisée, soit à l'occasion de campagnes de suivi épisodiques soit, plus ponctuellement, en cas d'échec de traitement ou de suspicion d'apparition d'une résistance. Les protocoles des différents biotests standardisés publiés par l'OMS (WHOPES Guidelines) permettant d'évaluer l'efficacité en laboratoire et sur le terrain des biocides envers les moustiques ou de détecter l'apparition de phénomènes de résistance font généralement référence dans ce domaine (WHO 2003, 2005a,b, 2006b, 2009a,b).

Les opérateurs poursuivent globalement les mêmes objectifs mais peuvent recourir à des pratiques différentes. L'évaluation de l'efficacité d'un traitement biocide en phase opérationnelle est de fait un processus relativement complexe. Elle est faite d'une part d'empirisme, c.-à-d. qu'elle s'appuie sur l'appréciation et l'interprétation subjective de l'opérateur basée sur son vécu, son expérience et la plus ou moins bonne connaissance des lieux concernés par le traitement. Mais elle doit également dans l'idéal s'asseoir sur un faisceau de preuves techniques vérifiables et reproductibles.

Il existe également des tests standardisés pour les moustiquaires imprégnées d'insecticides (WHO 2005a, 2011), les répulsifs (WHO 2009c, 2013, ASTM 2006a,b) et les insecticides pour le traitement des avions (WHO 2012). Une présentation générale des méthodes figure en **Annexe 4**.

Préconisations

○ Adopter des méthodes standardisées d'évaluation de l'efficacité à l'échelle opérationnelle. Les méthodes utilisées sont décrites dans des ouvrages de référence reconnus (notamment les *Guidelines* du WHO).

○ Évaluer régulièrement l'efficacité biologique des traitements biocides afin d'optimiser la stratégie de démos-tication et de LAV.

S'assurer périodiquement du maintien de l'efficacité biologique initial d'un biocide envers les espèces ciblées. L'ensemble des paramètres de traitement pouvant inter-agir avec l'efficacité doit être tenu en compte. Évaluer au minimum une fois par an l'efficacité biologique des diffé-

rents types de traitements biocides pratiqués.

○ Évaluer régulièrement (tous les deux ans) la sensibilité des espèces cibles au moyen des méthodes standardisées.

En cas d'apparition de résistance confirmée, cette information est transmise aux autorités de santé. Le ou les mécanismes de résistance sont identifiés ou confirmés (analyses de la présence des gènes de résistance), en faisant appel à un laboratoire spécialisé. Mettre en commun sur un site Web dédié les données de sensibilité obtenues lors des campagnes d'évaluation.

○ Participer à la recherche de biocides alternatifs notamment en évaluant l'efficacité et la sélectivité au travers



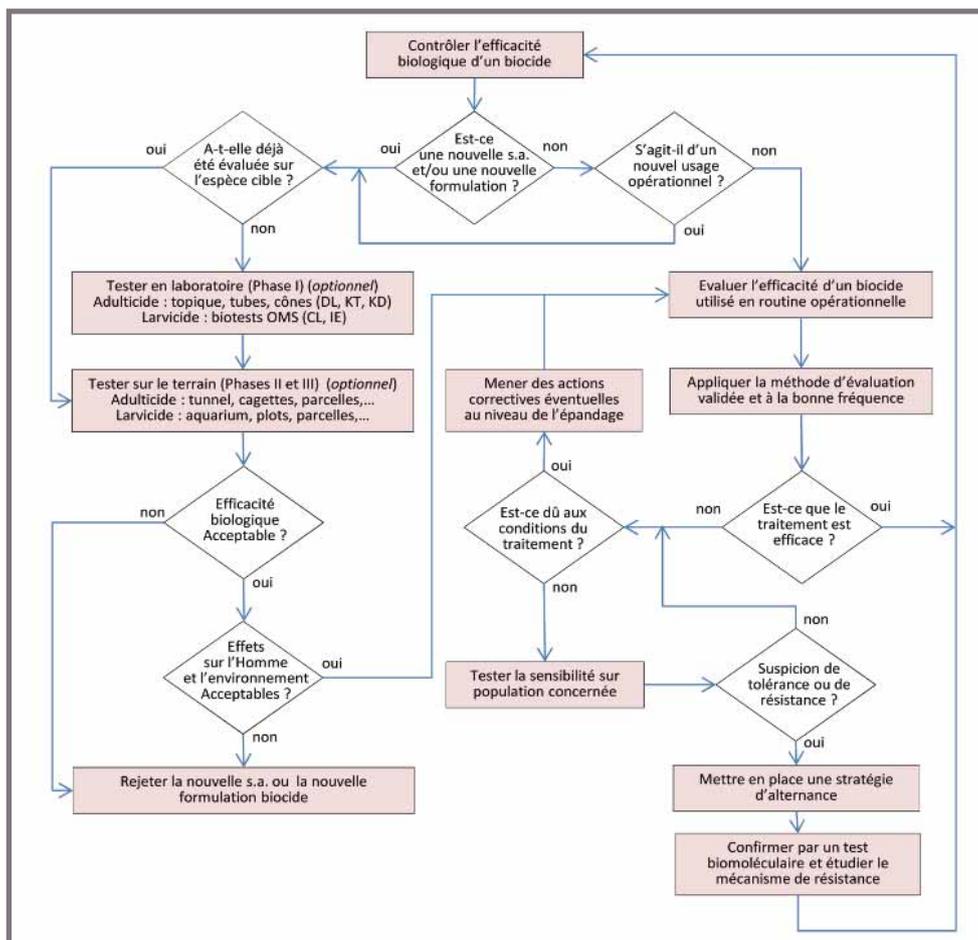
Évaluation de l'efficacité

d'essais sur le terrain.

Les opérateurs doivent jouer un rôle actif dans ces investigations, en apportant leur expérience et leur connais-

sance des espèces ciblées et des milieux qu'elles colonisent. Ils doivent être identifiés en tant que partenaires collaborateurs au sein d'un réseau d'expérimentation de solutions innovantes.

Figure 8 : Évaluation de l'efficacité : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

- La mesure la plus précise possible de l'efficacité globale des actions de lutte constitue un des éléments clés de la lutte intégrée au même titre que l'évaluation des effets non intentionnels. Les opérateurs doivent adopter des méthodes pertinentes d'évaluation des niveaux d'efficacité atteints avec les moyens de lutte qu'ils utilisent de manière à les ajuster dans l'espace et dans le temps.
- Les produits doivent être utilisés de manière raisonnée et les traitements systématiques au moyen d'un seul biocide doivent être évités afin de prévenir l'apparition de phénomènes de résistance. Il est donc recommandé

de disposer d'au moins deux types différents de produits, en particulier pour les traitements adulticides, afin de garantir une lutte efficace.

- Les opérateurs doivent se rapprocher également des industriels pour leur signaler les carences de certains produits et prendre connaissance des nouveaux biocides susceptibles d'être intéressants. Ils doivent également faire remonter ces informations aux autorités compétentes afin d'accélérer la mise sur le marché des nouveaux produits ou le retrait de ceux jugés dépassés (résistance à l'insecticide, fort impact écologique, etc.).



La maîtrise des effets non intentionnels

Cadre général

L'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa "fin de vie". D'un point de vue strictement écologique, les impacts sont décrits comme des déviations de dynamiques naturelles d'évolution aboutissant à des modifications de l'état théorique d'écosystème (Blandin 1986).

Dans l'optique d'une gestion intégrée de la lutte contre les moustiques nuisants et vecteurs compatible avec le développement durable, il est indispensable de connaître les effets non intentionnels, de les maîtriser et, chaque fois que possible, de les réduire. Ceci afin d'anticiper sinon d'apporter des réponses aux exigences réglementaires, ou d'aider à l'évaluation des incidences pour les activités de démoustication se déroulant au sein d'un site Natura 2000.

Cette démarche s'applique à toutes les méthodes de lutte mais également à toutes les étapes qui concourent à leur mise en œuvre. Une telle vigilance concerne au premier chef la lutte biocide, dont il est impératif de minimiser l'impact chaque fois que possible, ce qui nécessite une évaluation permanente ou régulière.

En effet, les produits biocides dispersés dans l'environnement ont un effet recherché sur les espèces cibles (moustiques) mais peuvent également impacter les autres organismes de l'écosystème.

Pour appréhender ces effets non-intentionnels, ces produits sont évalués au préalable en laboratoire en conditions contrôlées, puis sur le terrain, en conditions opérationnelles simulées. Des études sur l'impact des produits utilisés en routine peuvent ensuite être conduites en conditions opérationnelles réelles sur différents compartiments biotiques ou abiotiques de l'environnement.

Préconisations

○ Mettre en place de manière progressive chez l'ensemble des opérateurs des méthodes de suivi des populations des invertébrés aquatiques.

Les méthodes retenues permettent d'évaluer les effets des biocides (larvicides ou autres) sur les arthropodes aquatiques non cibles dans les milieux naturels à submersion temporaire, représentant les principaux biotopes propices au développement des moustiques.

Elles pourront être basées sur le suivi d'indicateurs, sur les traits de vie spécifiques des macro-invertébrés et sur des mesures de biodiversité et d'abondance des populations avant et après traitement. Les méthodes peuvent être soit conduites de manière ponctuelle, soit adaptées en routine sur des sites pilotes. Elles feront l'objet de révision en fonction des progrès scientifiques et d'une validation scientifique extérieure.

○ Évaluer l'impact des biocides utilisés sur les pollinisateurs et d'autres arthropodes terrestres non cibles et évaluer les effets sur la chaîne trophique.

Ces méthodes pourront être mises en œuvre au cas par

cas par les opérateurs, afin d'évaluer les impacts éventuels de nouveaux biocides ou de nouvelles pratiques de traitement.

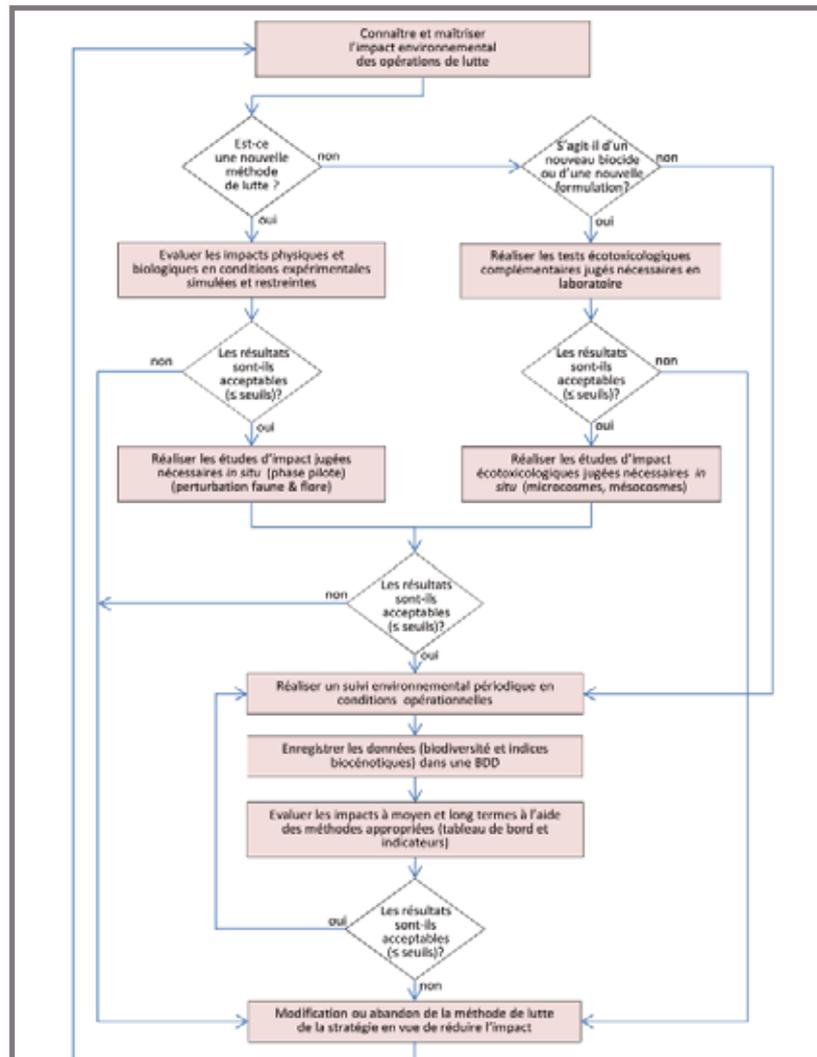
○ Mettre en place des campagnes de mesures des concentrations de résidus de biocides appliqués lors des opérations de démoustication, au sein des compartiments aquatiques et terrestres, selon une approche harmonisée qui tienne compte également des spécificités locales. De telles investigations contribuent à une meilleure évaluation du risque écotoxicologique lié à la démoustication à l'échelle du territoire national (métropole et outre-mer).

○ Évaluer les perturbations sur l'avifaune et la flore consécutives aux activités opérationnelles et au passage des engins de traitement (effet de piétinement, traces de roue ou de chenille des engins, dérangement de l'avifaune, perturbations sonores,...). Ces méthodes seront conduites au minimum une fois dans les différentes situations les plus représentatives sur les différents biocides utilisés. Les résultats permettent d'affiner l'évaluation du coût-bénéfice environnemental.



La maîtrise des effets non intentionnels

Figure 9 : Maîtrise des effets non intentionnels : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

● L'évaluation de l'impact global des méthodes d'épandage et des biocides utilisés est une nécessité absolue dans le contexte actuel. Elle permet d'éprouver les stratégies, d'orienter les choix des techniques et des matériels de traitement et de les adapter aux conditions environnementales et sociétales spécifiques des sites à contrôler (modification des dosages, choix de formulation, interdiction d'un produit,...). Elle permet également d'apporter des éléments de réponse à des obligations réglementaires.

● Les opérateurs mettront en place, en s'appuyant le cas échéant sur des collaborations scientifiques extérieures, des procédures standardisées de suivi à court, moyen et long termes de l'impact des méthodes de lutte

et, en particulier, des biocides utilisés couramment sur les écosystèmes sur lesquels ils interviennent. Ces méthodes de suivi et d'évaluation sont susceptibles d'évoluer dans le temps afin de tenir compte des progrès scientifiques dans ce domaine.

● Les méthodes de lutte nouvelles et, en particulier, les nouveaux biocides doivent faire l'objet d'études écotoxicologiques complémentaires en laboratoire et en phase expérimentale sur le terrain dans des conditions représentatives et spécifiques de celles rencontrées par les opérateurs. En cas d'adoption à l'échelle opérationnelle, ces méthodes nouvelles seront également soumises aux procédures de suivi d'impact à court, moyen et long termes.



Traçabilité des activités et diffusion de l'information

Cadre général

Traçabilité des activités

La traçabilité des activités, tant temporelle que spatiale, permet aux opérateurs de disposer de données afin d'analyser et d'évaluer celles-ci sur les plans administratifs, techniques et environnementaux. Elle fait donc partie intégrante de la surveillance entomologique, de la participation communautaire, de la lutte biocide, etc.

Les opérateurs disposent de plusieurs méthodes d'enregistrement de leurs activités, dont certaines plus élaborées que d'autres :

- Le recueil manuscrit des informations sur des fiches papier. Méthode la plus ancienne et la plus simple à mettre en œuvre, mais qui outre le fait d'être fastidieuse, limite les capacités d'analyse rétrospective des activités (recherche des données, classification, etc.). Ces fiches peuvent toutefois être retranscrites dans une BDD informatique, ce qui permet une meilleure exploitation des données de traitements.
- Le recueil informatisé des données à l'aide de logiciels et d'outils capables d'enregistrer les données propres à la réalisation de l'activité (géolocalisation d'un gîte, présence de larves ou d'adultes, réalisation ou non d'un traitement, type de produit utilisé, quantité de produit, ...). Le recueil des données peut être de type :
 - Déclaratif : les opérateurs vont renseigner manuellement les informations relatives à leurs activités soit a posteriori au bureau, soit sur le terrain au moyen de terminaux informatiques mobiles (*Personal Digital Assistant* (PDA), Tablettes PC, ...).
 - Automatisé : dans ce cas les informations sont renseignées sans intervention des opérateurs au moyen de capteurs paramétrés. Ce type de recueil est particulièrement adapté pour assurer la traçabilité d'un traitement qu'il soit aérien ou terrestre. Les paramètres de l'épandage sont enregistrés au moyen de capteurs (par exemple : localisation, débit, vitesse de traitement) installés sur les engins et matériels, ce qui permet de visualiser la bonne réalisation du traitement.
 - Mixte : ce type de recueil couple le déclaratif et l'automatisé, il est mis en œuvre notamment lors des prospections ou de la mise en place de réseau de surveillance. Les opérateurs saisissent une partie des informations via un terminal mobile qui recueille automatiquement la position via un GPS intégré.

Qu'il soit déclaratif, automatisé ou mixte, le recueil des données sur le terrain nécessite de mettre en place des procédures et des systèmes techniques de remontée de l'information et de validation de l'information avant diffusion. Les données ainsi enregistrées dans des BDD peuvent être ensuite exploitées selon les besoins grâce à un logiciel de SIG et /ou à un logiciel décisionnel. Ce traitement des données de traçabilité permet de réaliser des cartes et des tableaux de bord visant à assurer le suivi des activités. L'analyse rétrospective des activités offre aux opérateurs la possibilité de dégager des pistes d'amélioration en évaluant la pertinence de ses procédures et l'adéquation de ses outils (matériels de traitement, équipement informatique, logiciels).

Diffusion de l'information

La diffusion de l'information relative aux activités des opérateurs se fait à trois niveaux et répond à des objectifs différents :

- En interne chez chaque opérateur, pour planifier, réaliser les activités, mais aussi pour assurer l'analyse technique, l'évaluation et la comptabilité analytique.
- Entre opérateurs, afin de mutualiser les retours d'expériences qu'ils portent sur les procédures ou sur les outils.
- À l'extérieur, tant pour les décideurs, les collectivités partenaires et les services de l'Etat, la presse que pour le grand public, il s'agit de pouvoir rendre compte de la réalisation des missions des opérateurs (maintien de la nuisance à un niveau acceptable, lutte antivectorielle).

Avec l'essor des nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), cette diffusion de l'information passe par l'utilisation de logiciels adaptés accessibles via le Web (Intranet, Extranet, Internet). La directive européenne 2007/2/CE « Inspire » conduit par ailleurs les acteurs publics de la sphère environnement vers la mise en place d'infrastructures de données spatiales (IDS ou SDI pour *Spatial Data Infrastructure*) aux niveaux européens et locaux.

Dans ce contexte, la diffusion de l'information se traduit de plus en plus par des portails Web de données incluant l'aspect spatial (portail géographique) permettant une gestion fine des accès en fonction du public visé. Un portail géographique permet par exemple de diffuser et de mettre à disposition des décideurs ou du public les informations géographiques en possession de chaque opérateur.



Traçabilité des activités et diffusion de l'information

Préconisations

○ Développer et adopter des outils pour saisir, conserver et exploiter les données relatives à l'ensemble des activités.

Il est recommandé à l'opérateur de développer des outils informatiques afin de saisir, conserver et exploiter les données collectées au cours de ses activités quelles qu'elles soient. Des logiciels de saisie couplant préférentiellement BDD, SIG et logiciel décisionnel peuvent en effet améliorer le suivi des activités, faciliter les prises de décisions, favoriser les analyses rétrospectives et prospectives et enfin permettre la réalisation d'évaluations. Ces logiciels de saisie des activités peuvent générer des tableaux de bord automatisés et répondre à des requêtes sur des interrogations techniques, biologiques ou environnementales. Les solutions techniques les plus pertinentes et efficaces seront transférées entre les opérateurs.

○ Accroître la traçabilité des activités de surveillance.

En systématisant la géolocalisation des réseaux de piégeage, des gîtes, des actions préalables aux activités de traitement et en enregistrant dans une BDD les données les caractérisant, l'opérateur sera en mesure d'obtenir des informations pertinentes sur son territoire. Ainsi, l'association de données de géolocalisation avec les données déclaratives du suivi d'activités (résultats de capture, suivi de nuisance ou de traitement,...) interrogeables grâce à un SIG ou un logiciel décisionnel permettront la production de cartes thématiques ou de tableaux de bord reflétant les activités de surveillance des opérateurs.

○ Accroître la traçabilité des activités de traitement.

Des dispositifs de suivi des épandages seront développés, testés en commun avant d'être installés sur les matériels de traitement. Le couplage d'un GPS avec un DPAE permettra notamment d'automatiser l'enregistre-

ment des données nécessaires aux opérateurs (date, heure, localisation, matériel, produit, débit, largeur d'andain, vitesse de traitement, etc.). Le fonctionnement sur le terrain devient quasi transparent et apporte des informations en temps réel à l'opérateur du traitement (débit, vitesse, surface traitée etc.).

Les opérateurs partagent les coûts de développement éventuels et adoptent ensuite les matériels les plus performants tenu compte de l'ensemble des besoins et contraintes. Les données de traçabilité générées seront colligées dans la BDD couplée au SIG. Ceci permettra d'avoir un contrôle sur toutes les opérations de démoustication ayant eu lieu chez chaque opérateur. Les données non confidentielles pourront donc être fournies aux personnes intéressées ou exploitées en vue de la rédaction de rapports d'activités.

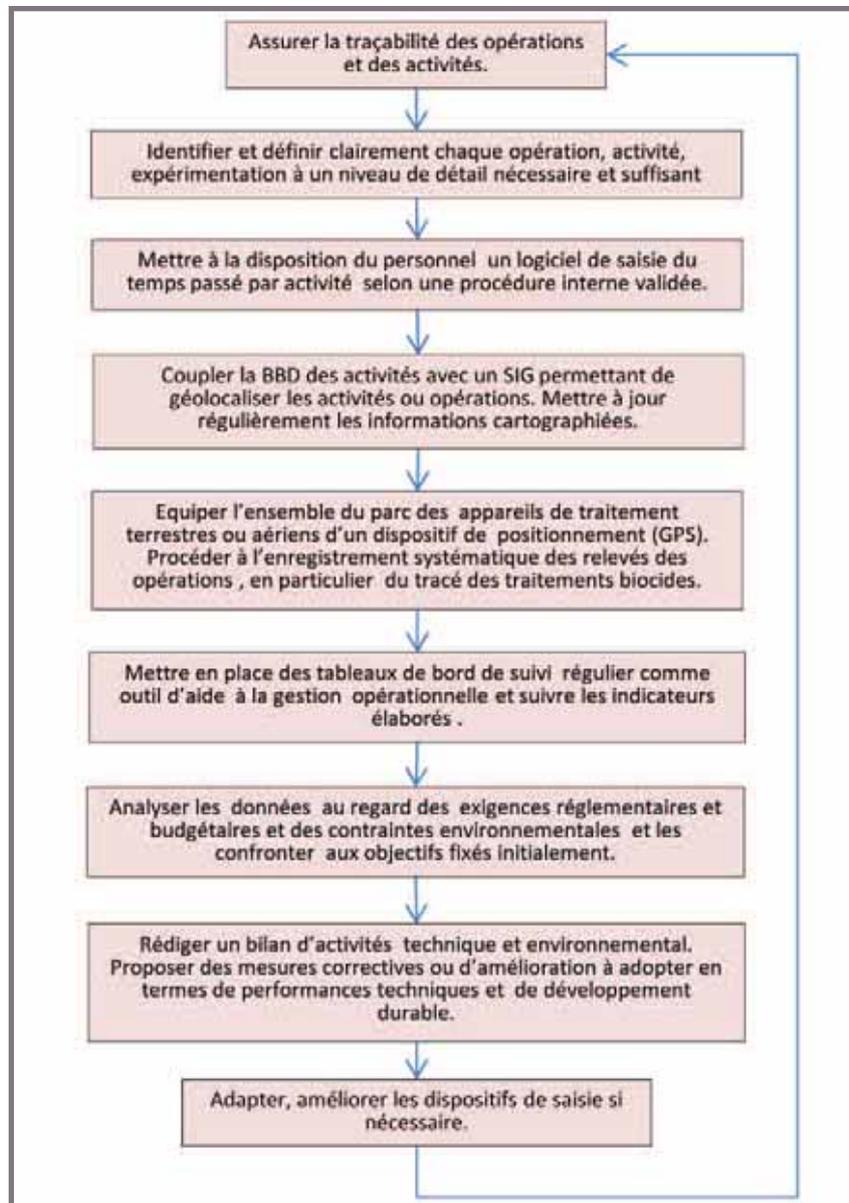
○ Développer, partager et mutualiser les données entre les opérateurs.

Des logiciels seront développés selon des normes favorisant la mise au point de structurations communes et d'outils interopérables permettant d'améliorer la diffusion et les échanges des données entre plusieurs opérateurs, dans un objectif de mutualisation et de partage d'informations entre différents acteurs. Outre la surveillance, ces plateformes de données accessibles en ligne couplées à un SIG présentent un intérêt tout aussi primordial pour la mise en œuvre et le suivi des activités de lutte biocide. Les opérateurs auront la possibilité d'enregistrer et de géolocaliser leurs activités grâce à la mise en place d'un logiciel adapté à leurs opérations. De plus, la mise en place d'un portail géographique commun permettra de mutualiser ces données et de pouvoir les exploiter grâce à l'édition de comptes-rendus. Les solutions techniques les plus pertinentes et efficaces seront transférées entre les opérateurs.



Traçabilité des activités et diffusion de l'information

Figure 10 : Traçabilité des activités : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

- L'enregistrement informatisé de l'ensemble des activités liées aux opérations de contrôle facilite grandement les analyses rétrospectives et prospectives de l'ensemble de la stratégie et permet de mettre en place une comptabilité analytique.
- Le géoréférencement des données issues des opérations de contrôle est réalisé au moyen d'un logiciel SIG. Dans ce but, la mise en place des systèmes d'enregistrement et de traçabilité performants (GPS) déve-

loppés en commun sur l'ensemble les appareils de traitement est encouragée. Des perspectives nouvelles sont offertes par les systèmes 3G pour suivre en temps réel les interventions tels que les prospections, les traitements et les contrôle d'efficacité.

- Une base de données et un portail géographique commun aux opérateurs publics français permettront de mutualiser et d'exploiter les données et de faciliter leur diffusion.



Amélioration continue Recherche & Développement

Cadre général

Les opérateurs disposent d'un panel très diversifié, mais néanmoins relativement contraint, de méthodes et d'outils spécifiques adaptés aux différentes situations rencontrées, que l'on peut regrouper comme suit :

- Déclaratif : les opérateurs vont renseigner manuellement la lutte physique, notamment la gestion des mises en eau ou le piégeage des adultes.

- Déclaratif : les opérateurs vont renseigner manuellement la lutte biologique, comme, par exemple, l'utilisation de poissons larvivores ou des larves prédatrices appartenant au genre de moustique *Toxorhynchites*, l'auto-dissémination d'insecticide par les femelles de moustiques, l'utilisation des bactéries *Wolbachia*, le développement d'un gène létal par transgénèse chez les moustiques vecteurs de maladie, etc.

- Déclaratif : les opérateurs vont renseigner manuellement la lutte biocide basée sur l'utilisation raisonnée de larvicides, d'adulticides, de répulsifs et un ensemble large de techniques et appareils de traitement adaptés aux surfaces ou aux volumes à traiter, etc..

- Déclaratif : les opérateurs vont renseigner manuellement la lutte génétique, expérimentale encore à ce stade.

- Déclaratif : les opérateurs vont renseigner manuellement, bien sûr, la participation communautaire, chaque fois que possible.

Ces méthodes et ces outils font l'objet d'évolutions parfois lentes ou sporadiques en fonction des avancées techniques, de l'apparition de nouvelles substances actives ou formulations, plus rarement d'un changement de stratégie. Ces évolutions sont également motivées par le besoin d'une meilleure efficacité, d'un moindre impact environnemental, d'une meilleure maîtrise des risques d'exposition de l'applicateur ou des populations, d'un coût maîtrisé...

Aucune disposition n'a été prise à ce jour pour favoriser des actions concertées d'amélioration chez l'ensemble des opérateurs, alors même que ceux-ci pratiquent un métier, certes aux multiples facettes, mais dont les bases sont similaires.

Préconisations

- Adopter des procédures d'auto-évaluation ou d'évaluation croisée entre les opérateurs.

Dans un souci d'amélioration continue, la pratique d'audit interne ou croisé est préconisée afin d'accroître l'efficacité et la maîtrise des procédures notamment en matière de gestion environnementale.

- Favoriser le transfert et mutualiser les solutions (matériels ou méthodes) alternatives et intégrées entre les opérateurs, tout en respectant les contraintes locales.

Des adaptations doivent être recherchées lorsque les pratiques actuelles ne répondent pas adéquatement aux

exigences du développement durable et de santé.

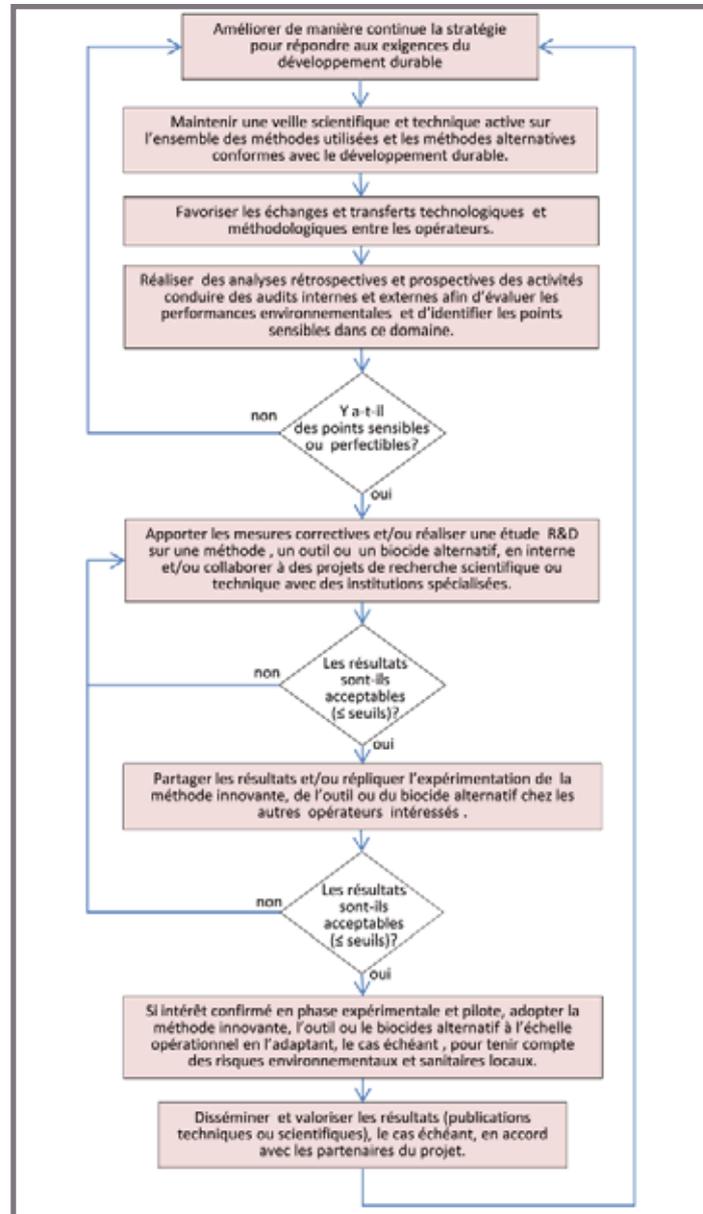
- Accroître les collaborations entre les opérateurs et les institutions de recherche.

Chaque opérateur rencontre des conditions particulières et son expérience pourrait être valorisée au profit des autres. Les opérateurs, par leur connaissance pratique, doivent jouer un rôle important en tant que partenaires dans les projets de recherche et développement. L'expérimentation d'un nouveau biocide, par exemple, doit être envisagée sur un large éventail de situations, ce que permet la mise en place d'un réseau d'expérimentation impliquant plusieurs opérateurs.



Amélioration continue Recherche & Développement

Figure 11 : Amélioration continue - Recherche & Développement : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

- Le transfert technologique et l'échange d'expérience entre les opérateurs constituent le socle d'une démarche d'amélioration continue et permet de faciliter l'intégration des progrès techniques.
- L'autoévaluation ou l'évaluation croisée des opérateurs permet de déceler les points forts et les points sensibles pouvant être améliorés, notamment dans le domaine de la maîtrise environnemental. La connaissance de ces éléments de diagnostic contribue à faire

évoluer les pratiques et à orienter la recherche et de le développement des solutions ou des mesures correctives.

- Les opérateurs doivent participer ou collaborer activement aux activités et projets de recherche et développement dans les nombreuses disciplines qu'ils doivent maîtriser pour mener à bien leurs programmes de lutte. Une veille technique et scientifique active et permanente est à cet égard indispensable.



Évaluation du coût-bénéfice pour l'environnement et la santé et outil d'aide à la décision

Cadre général

Le choix d'une méthode de lutte efficace, adaptée et appropriée est très complexe. Les opérateurs ont toujours eu le souci de rechercher les méthodes de lutte représentant le meilleur compromis entre l'efficacité attendue et le moindre impact et cela pour un coût contraint, mais aucun ne dispose jusqu'ici d'une recette, d'un outil ou d'une règle bien définie pour ce faire.

Or, adopter le principe de gestion ou de lutte intégrée n'est envisageable qu'en procédant à une analyse de coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement afin de :

- (1) clarifier les critères de décision,
- (2) orienter les choix des décideurs,
- (3) identifier puis mettre en œuvre les améliorations

nécessaires pour une gestion durable de l'activité de contrôle des moustiques nuisants ou vecteurs,

(4) s'inscrire dans le cadre d'une amélioration permanente.

Il est donc nécessaire d'identifier les méthodes et outils à privilégier, au regard des dimensions de coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement. Les méthodes et les outils peuvent être classés selon les indicateurs environnementaux et sur la base d'un diagnostic préalable.

Grâce à ce classement, il sera possible d'orienter le choix d'une méthode en prenant en compte son coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement pouvant différer d'un territoire à un autre.

Préconisations

○ Réaliser un inventaire exhaustif et une veille sur les méthodes et les outils utilisés selon une nomenclature commune.

Cet inventaire portant sur les techniques et les matériels de traitement des opérateurs est utilement complété par celui, plus large, des matériels et méthodes utilisés par d'autres opérateurs dans le monde. Cette veille technologique permanente permet d'alimenter les activités de recherche et développement.

○ Classer les méthodes et les outils en fonction des critères techniques, environnementaux et de santé et calculer le rapport de coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement.

Une grille multicritères est élaborée sur la base de la faisabilité technique, de l'efficacité biologique mesurée, du prix de revient, de l'hygiène et de la sécurité des applicateurs et des risques environnementaux biotiques et abiotiques. Ces éléments sont déduits à la fois des données bibliographiques et des résultats des études d'impact réalisées dans le cadre du suivi environnemental sur le court, le moyen et le long terme.

Parmi les critères proposés, le calcul du Bilan Carbone®

(ADEME 2007a,b) apparaît comme une approche intéressante venant enrichir les connaissances sur les effets non intentionnels des pratiques.

Quelle que soit la méthode d'évaluation adoptée, elle est susceptible d'être affinée au fur et à mesure de l'expérience acquise par les opérateurs ou par l'adoption de nouveaux indicateurs plus pertinents, permettant de comparer de manière rationnelle les méthodes et outils entre eux.

○ Développer des outils interactifs pertinents de manière à faciliter les prises de décision.

Superposer au moyen des outils SIG les indicateurs environnementaux liés aux méthodes de lutte utilisées par rapport aux zones où ces méthodes sont appliquées et dresser une carte spatio-temporelle des risques.

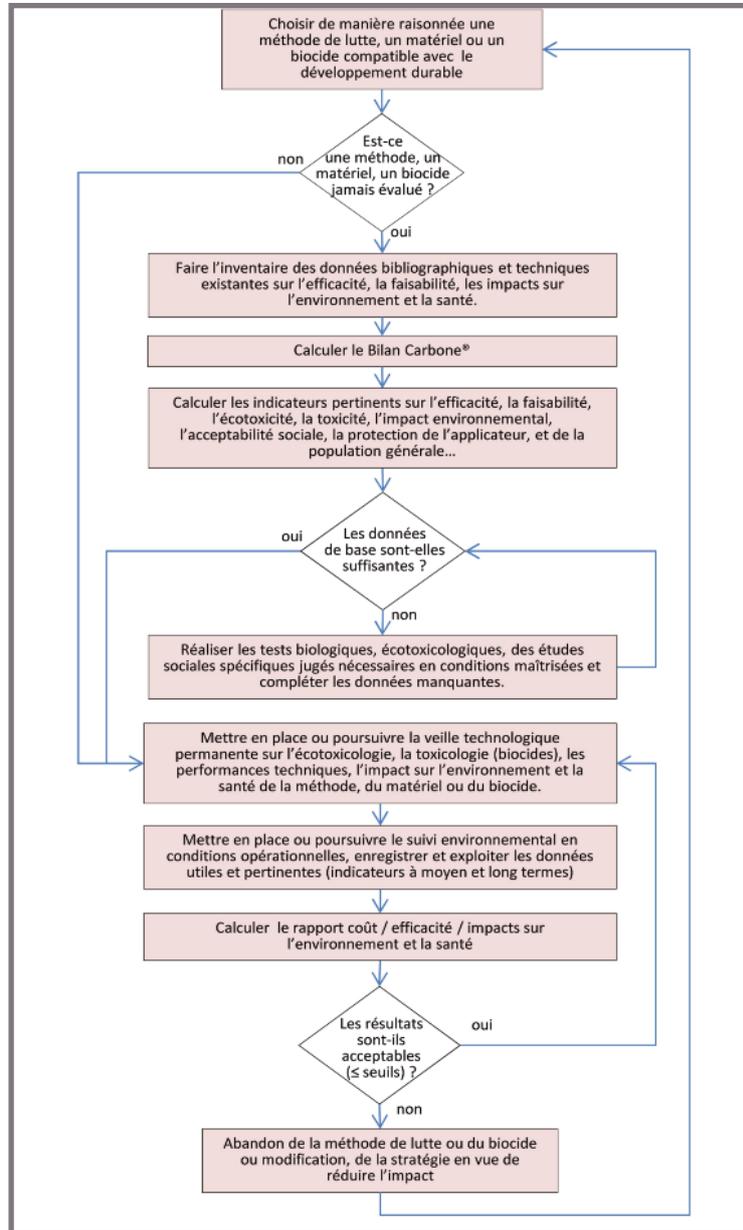
Cette approche permet de tenir compte des nombreux paramètres environnementaux - et notamment de la valeur patrimoniale des zones soumises au contrôle - et anthropiques (demande sociale, risque vectoriel, risque de nuisance, seuils acceptables). De fait, il permet d'orienter la décision de manière pertinente.

Toute nouvelle méthode ou tout nouveau matériel doit être évalué systématiquement selon la même approche.



Évaluation du coût-bénéfice pour l'environnement et la santé et outil d'aide à la décision

Figure 12 : Évaluation du coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement : description du processus décisionnel théorique



Recommandations et perspectives

- Il est indispensable de disposer d'éléments concrets et fiables permettant d'orienter les décisions méthodologiques et stratégiques à court, moyen et long termes. Une méthode d'évaluation du coût-bénéfice-efficacité-santé-environnement devra être élaborée, adoptée et régulièrement adaptée pour tenir compte de l'évolution des connaissances et de la réglementation.
- L'approche spatio-temporelle constitue une aide pré-

cieuse à la prise de décision de conduire ou non une action, de la poursuivre, de la réorienter ou de l'interrompre.

- Les outils SIG permettent particulièrement de superposer les activités de contrôle aux zones écologiquement sensibles où elles s'exercent de manière à faciliter la compréhension des enjeux en fonction des paramètres environnementaux et anthropiques.



Références utiles

- ADEME, 2007a.** Bilan Carbone®, Entreprises et Collectivités, Guide méthodologique, version 5.0, Objectifs et principes de comptabilisation, 109 p.
- ADEME, 2007b.** Bilan Carbone®, Entreprises et Collectivités, Guide des facteurs d'émissions, version 5.0, Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées, 240 p.
- ASTM Standard E939-94, 2006.** Standard test method of field testing topical applications of compounds as repellents for medically important and pest arthropods (including insects, ticks, and mites) : I Mosquitoes, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, DOI: 10.1520/E0939-94R12, www.astm.org
- ASTM Standard E951-94, 2006.** Standard test methods for laboratory testing of non-commercial mosquito repellent formulations on the skin. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2006, DOI: 10.1520/E0951-94R06, www.astm.org
- CNEV, 2012.** Optimisation de la surveillance et du contrôle d'*Aedes albopictus* en France, Rapport, 46p.
- Deming W.E., 1950.** Elementary Principles of the Statistical Control of Quality, JUSE.
- Deming W.E., 1993.** The New Economics. MIT Press. Cambridge, MA, p.135.
- EID Méditerranée, 2003.** Contrôle des moustiques nuisants dans les espaces naturels méditerranéens : proposition méthodologique pour la gestion durable d'un site « Ramsar » en Languedoc-Roussillon (France). Projet LIFE-Environnement N°LIFE99 ENV/F/000489. Actes du Colloque de restitution, Montpellier, 29 mars 2003, 95 p.
- Fècherolle J., 2007.** Évaluation de l'efficacité des actions de lutte anti-vectorielle en France : État des lieux et recommandations. Mémoire de l'Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, 102 p.
- Fontenille D., Lagneau C., Lecollinet S., Lefait-Robin R., Setbon M., Tirel B. et Yébakima A., 2009.** La lutte antivectorielle en France. Collection Expertise collégiale, IRD Editions, 533 p. + CD-Rom.
- Langley G., Nolan K., and Nolan T., 1994.** The Foundation of Improvement, Quality Progress, Juin 1994, page 81.
- OMS, 1991.** Matériel de lutte contre les vecteurs. Troisième édition, 231 p.
- Peshin R.A. and Dhawan A.K., 2009.** Integrated Pest Management: Innovation-Development Process. Springer, 989 p.
- Rajotte E. G., Kazmierczak R. F., Jr., Norton G. W., Lambur M. T., and Allen W.A., 1989.** The National Evaluation of extension's Integrated Pest Management (IPM) Programs, Virginia Cooperative Extension Service. Publication 491-010. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, VA.
- Schaffner F., Angel G., Geoffroy B., Hervy J.P., Rhaim A. et Brunhes J., 2001.** Les moustiques d'Europe. Cdrom d'identification, IRD Édition. Collection didactique. ISBN 978-2-7099-1485-7.
- Shewhart W.A., 1939.** Statistical method from the viewpoint of quality control. The Graduate School, U.S. Department of Agriculture, Washington, 155 p. Réédité par Dover Publications, 1986.
- Smith R.F. and Reynolds H.T., 1995.** Principles, definitions and scope of integrated pest control. Proceeding of the FAO Symposium on Integrated Pest Control, 1:11-19.
- UNEP, 2009.** Les bonnes pratiques d'application de produits phytosanitaires en jardins et espaces verts, 49 p.
- UPJ, 2010.** Guide des bonnes pratiques phytopharmaceutiques en espaces publics, édition 2010, 41p.
- WHO, 1996.** Operational manual on the application of insecticides for control of the mosquito vectors of malaria and other diseases. WHO/CTD/VBC/96.1000, 198 p.
- WHO, 2003.** Space spray application of insecticides for vector and public health pest control: a practitioner's guide. WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2003.5, Fifth Edition, 43 p.
- WHO, 2005a.** Guidelines for laboratory and field testing of long-lasting insecticidal mosquito nets, WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2005.11, 24 p.



Références utiles

WHO, 2005b. Guidelines for laboratory and field testing of mosquito larvicides. WHO/CDS/WHOPEP/GCDPP/2005.13, 39 p.

WHO, 2006a. Pesticides and their application: For the control of vectors and pests of public health importance, WHO/CDS/NTD/WHOPEP/GCDPP/2006.1, sixth edition, 114 p.

WHO, 2006b. Guidelines for testing mosquito adulticides for indoor residual spraying and treatment of mosquito nets. WHO/CDS/NTD/WHOPEP/GCDPP/2006.3, 70 p.

WHO, 2009a. Guidelines for efficacy testing of insecticides for indoor and outdoor ground-applied space spray applications. WHO/HTM/NTD/WHOPEP/2009.2, 53 p.

WHO, 2009b. Guidelines for efficacy testing of household insecticide products - Mosquito coils, vaporizer mats, liquid vaporizers, ambient emanators and aerosols. WHO/HTM/NTD/WHOPEP/2009.3, 32 p.

WHO, 2009c. Guidelines for efficacy testing of mosquito repellents for human skin. WHO/HTM/NTD/WHOPEP/2009.4, 30 p.

WHO, 2011. Guidelines for monitoring the durability of long-lasting insecticidal mosquito nets under operational conditions. WHO/HTM/NTD/WHOPEP/2011.5, 44 p.

WHO, 2012. Guidelines for testing the efficacy of insecticide products used in aircraft. WHO/HTM/NTD/WHOPEP/2012.1, 27 p.

WHO, 2013. Guidelines for efficacy testing of spatial repellents. ISBN 978 92 41505024, 48 p.



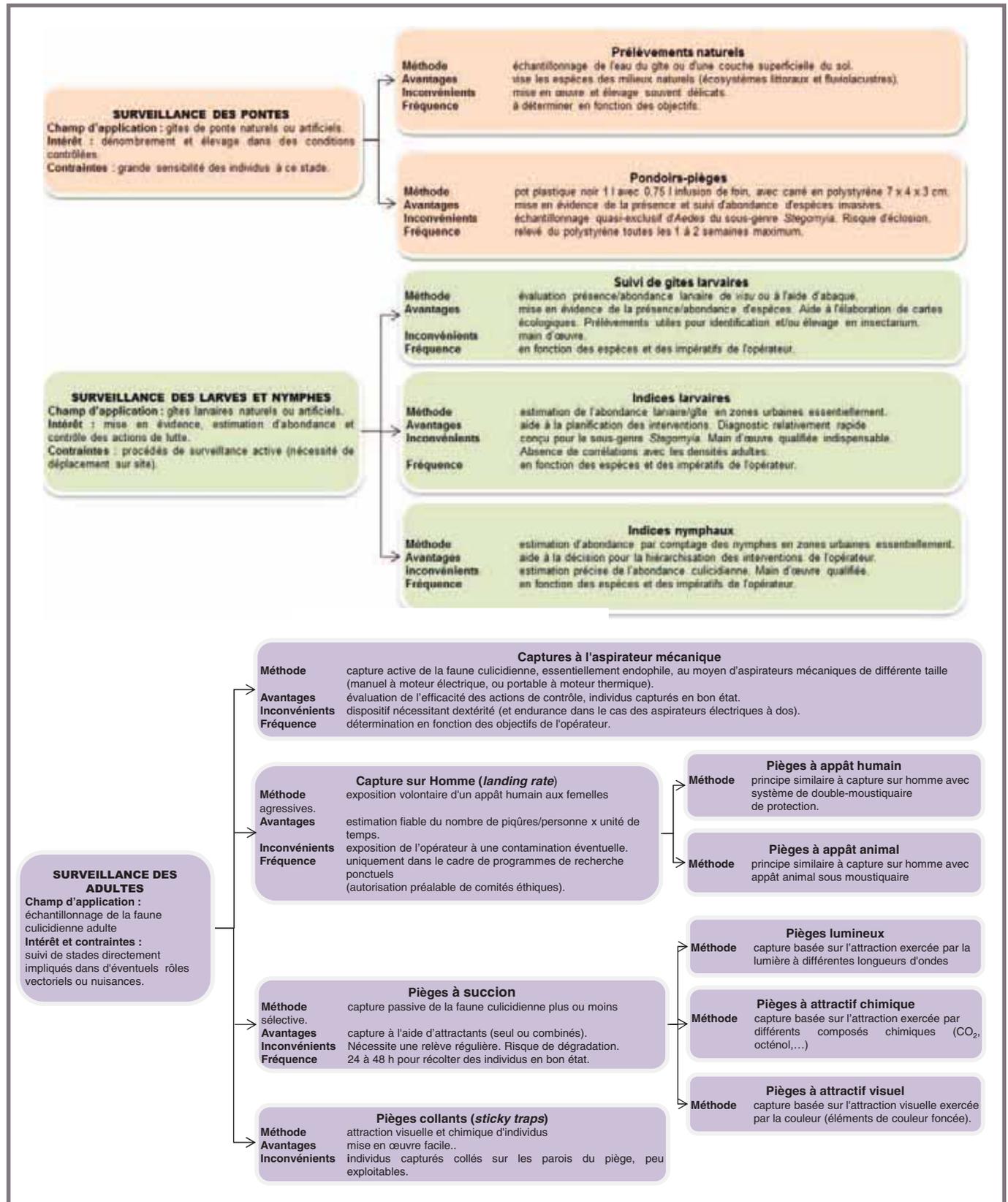
Liste des annexes

Annexe 1	Critères de choix des techniques d'échantillonnage des stades pré-imaginaux (œufs, larves, nymphes) et imaginal	39
Annexe 2	Les différentes méthodes de lutte	40
Annexe 3	Programmes et actions à visée informative et éducative, exemples et outils	42
Annexe 4	Présentation succincte des méthodes d'évaluation de l'efficacité biologique	43

Annexe 1

Critères d'échantillonnage

Stades pré-imaginaux (œufs, larves, nymphes) et imaginal





Annexe 2

Les différentes méthodes de lutte

La lutte physique

On peut regrouper sous le vocable de lutte physique 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. La moustiquaire utilisée dans la lutte contre le paludisme est donc une méthode de lutte physique permettant d'empêcher le contact hôte/vecteur. On peut mentionner également le port de vêtements amples et long couvrant les bras et les jambes jusqu'aux chevilles, ceux-ci pouvant se combiner à une méthode de lutte biocide par l'ajout d'un répulsif ou d'un insecticide.

La lutte physique concerne également les interventions modifiant les zones de développement larvaire en agissant sur les variations du niveau d'eau soit en empêchant ce niveau de bouger soit en favorisant son écoulement pour éviter la stagnation. Ainsi il peut être efficace, pour lutter contre des *Aedes* ruraux, dans des zones où les niveaux d'eau sont maintenus par des seuils ou des vannes, de favoriser leur remplissage en période hivernale défavorable à l'éclosion des larves et de maintenir la ligne d'eau sans variation pendant toute la saison d'activité larvaire.

Des travaux peuvent également être entrepris qui permettent par l'entretien ou la rénovation des marais de supprimer les gîtes larvaires. La gestion hydraulique des milieux naturels a donc des répercussions importantes sur les éclosions : si, par exemple, la préservation et la restauration des cordons dunaires, qui évitent les entrées d'eau de mer dans les dépressions d'arrière-dune, réduisent d'autant les opportunités d'éclosions, à l'inverse, les irrigations pratiquées dans les prés salés et les marais temporaires constituent un facteur augmentant considérablement les éclosions dans de nombreux secteurs. Il faut préciser que la fréquence et le nombre d'irrigations sont en croissance constante. L'élimination d'embâcle ou de bouchons de branches ou végétaux peut permettre l'écoulement de drain existant ou la vidange de zones ennoyées, sans pour autant drainer une zone humide. Il ne faut pas oublier que toute action physique sur le milieu naturel (remblaiement, drainage, faucardage, etc.) est susceptible avoir des répercussions positives ou négatives sur les biocénoses.

En milieu urbain, une certaine conception des réseaux d'évacuation des eaux pluviales peut favoriser le développement de moustiques par la stagnation d'eau au niveau des pièges à sable. La non-utilisation de ces pièges à sable lors de la création ou la rénovation de réseau d'eau pluviale peut s'avérer très efficace pour réduire le nombre de moustiques comme *Ae. albopictus* ou *Ae. aegypti* en zone urbaine.

Enfin, l'élimination manuelle de toutes les petites collections d'eau d'origine anthropique (soucoupes de pots de fleurs, vases, récipients de toute nature, vieux pneus, etc.) permettant le développement de leurs larves, reste essentielle dans la stratégie de lutte contre les espèces citées ci-dessus.

La lutte biologique

La lutte biologique s'appuie sur différentes méthodes de lutte contre des espèces nuisibles à l'homme au moyen d'organismes naturels antagonistes de celles-ci, tels que des parasitoïdes, des prédateurs (nématodes, arthropodes, vertébrés, mollusques, chauves-souris...), d'agents pathogènes tels que les virus, les bactéries (*Wolbachia*), les microsporidies, les champignons (*Lagenidium* sp., *Coelomomyces* sp.), etc. Dans le cas des moustiques, certaines techniques de lutte biologique sont déjà employées ou en cours de développement.

Ces techniques ont des limites et des contraintes d'emploi. Ainsi, par exemple, dans le cas de l'utilisation des larves prédatrices appartenant à l'espèce de moustique *Toxorhynchites* sp., qui s'élève très bien et dont les adultes ne sont pas hématophages, s'instaurent des processus de régulations naturelles entre les proies et les prédateurs, conduisant à une perte d'efficacité de cette méthode. Certaines espèces de poissons tels les gambusies, sont également utilisées dans la lutte contre le paludisme, notamment dans les rizières, mais leur utilisation ne peut être efficace que s'ils sont très abondants, non consommables et non compétitifs d'espèces piscicoles, et relativement spécifiques de l'espèce cible (mais non totalement exclusives pour être en mesure de survivre en l'absence de ces proies).

La lutte génétique

Sous le vocable de lutte génétique, on définit « 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 » (définition de l'OMS).

Afin de réduire les populations de moustiques vecteurs de maladie, deux grandes techniques de lutte génétique ont été développées : la technique de l'insecte stérile et celle des mâles génétiquement modifiés.

Le principe de la technique la plus courante, dite des mâles stériles (sterile insect technique ou SIT) est simple. Chez des espèces dont la femelle s'accouple une seule fois dans sa vie, l'accouplement avec un mâle stérilisé entraîne l'ab-



Annexe 2

Les différentes méthodes de lutte

sence de descendance viable. On peut donc élever des mâles, les stériliser par rayonnement, par chimiostérilisation ou par introduction d'un gène de stérilité, et les lâcher en masse, pour qu'en s'accouplant avec les femelles de la souche locale, ils les rendent infécondes. A l'issue d'opérations répétées, la population disparaît par extinction naturelle. Il faut cependant que les mâles stérilisés gardent leur compétitivité par rapport aux mâles sauvages, et que leur élevage en masse soit relativement aisé. Cette technique, en cours d'essai dans la lutte contre *Ae. albopictus* en Italie, apparaît très élégante car parfaitement spécifique, non polluante et sans danger. En revanche, elle est extrêmement onéreuse et donc à préconiser dans un but d'élimination des populations de vecteurs d'une zone géographique donnée, pour laquelle on s'est assuré de l'impossibilité d'une recolonisation, ce qui est davantage rencontré en situation insulaire.

L'autre technique utilisée est celle des mâles génétiquement modifiés dans laquelle un gène dominant létal pour les larves est inséré dans le patrimoine des insectes. Les mâles génétiquement modifiés, lâchés dans la nature, sont censés s'accoupler avec les femelles, et leur descendance hérite de gènes qui les empêchent de se développer.

La lutte biocide

Lorsque le recours à un insecticide est jugé nécessaire pour réduire les populations de moustiques, il est communément admis de privilégier en premier lieu et chaque fois que c'est possible l'emploi de larvicides plutôt que d'adulticides. En cas d'épidémie comme la dengue, il est par ailleurs primordial de réduire rapidement la population de moustiques adultes.

Parmi les larvicides, les bioinsecticides (essentiellement le *Bacillus thuringiensis ser. israelensis* ou Bti) apparaissent actuellement comme les plus sélectifs et aussi les moins nocifs pour l'environnement, la faune non cible et l'opérateur. En complément, si une action larvicide est irréaliste ou si elle n'a pas d'effet suffisant, un traitement adulticide peut être envisagé. La liste des substances actives actuellement disponibles figure dans le tableau ci-dessous.

Substance Active	Famille chimique	Mode d'action	Noms commerciaux	Principales utilisations
<i>Bacillus thuringiensis ser. israelensis</i> (sérotypage H14) - Bti	Bactério-insecticide	fixation des protéines toxiques sur récepteurs intestinaux spécifiques	VectoBac®, AquaBac®	Larvicide, milieux naturels, urbains et périurbains
<i>Bacillus sphaericus</i> - Bsp	Bactério-insecticide	fixation des protéines toxiques sur récepteurs intestinaux spécifiques	Vectolex® (Bsp) VectoMax® (Bti + Bsp)	Larvicide, milieux urbains et périurbains
diflubenzuron	Benzoyl urées	inhibiteur de la synthèse de la chitine	Dimilin®	Larvicide, milieux urbains et périurbains
deltaméthrine	Pyréthrinoides	action sur le système nerveux (canal sodium)	Aqua K-Othrine®	Adulticide, milieux urbains et périurbains
spinosad	Naturalytes	action sur le système nerveux (blocage du récepteur GABA)	Conserve®, Success®	Larvicide, milieux urbains et périurbains
S-méthoprene	Terpénoïdes	mimétique d'hormone juvénile	Altosid®	Larvicide, milieux urbains et périurbains
pyriproxyfène	Dérivé de pyridine	mimétique d'hormone juvénile	Sumilarv®	Larvicide, milieux urbains et périurbains

La lutte biocide fait non seulement appel aux insecticides et aux répulsifs mais également à des moyens et des techniques d'épandage spécifiques.

La participation communautaire

Pas à proprement parler une méthode de lutte, mais en constituant un corollaire incontournable, la mobilisation des populations est en effet indispensable au succès de tout projet de lutte contre les moustiques en milieu urbanisé. L'adhésion et l'implication des populations supposent au préalable une meilleure compréhension de l'éthologie des moustiques nuisants (gîtes de développement larvaire, sites de repos des moustiques adultes, périodes d'activités du moustique...), des maladies possibles (ses causes comme ses conséquences), des actions à mener pour réduire le développement des moustiques, des moyens de protection et des traitements éventuels. Des campagnes de communication et de sensibilisation doivent donc être régulièrement réalisées afin de faire comprendre l'importance de l'implication de chacun pour stopper le développement des moustiques. En effet, la manière la plus efficace de réduire les densités de moustiques dans son domicile est l'élimination par les personnes elles-mêmes de tous les récipients ou contenants pouvant retenir de l'eau stagnante (seaux, vases, soucoupes, fûts et citernes, écoulements de gouttières, pneus, boîtes de conserve) soit en les supprimant soit en les vidangeant systématiquement et en évitant leur remplissage.



Annexe 3

Programmes et actions à visée informative et éducative

MISE EN œuvre DE PROGRAMMES et d' ACTIONS : PRE-REQUIS	
Programmes et actions à visée informative et éducative	
Réunions publiques d'information (RPI)	Mises en place conjointement avec les Mairies. Lieu : chez l'habitant, espace public, dans les quartiers, etc. Lancement de l'opération par diffusion d'un communiqué, médiatisation de la rencontre par la mairie, présence souhaitable d'un élu).
Campagne outils pédagogiques :	Programme pluriannuel reconductible à destination d'élèves d'une classe d'âge (par exemple : élèves de CE1). Plusieurs partenaires dont l'Education nationale. Création d'un comité de pilotage, modules de formation en aval pour les intervenants : enseignants et infirmiers de santé scolaire.
Stands d'information :	Information au tout public par le biais de panneaux d'exposition. Lieux : centres commerciaux, places publiques, plages, etc. Collaboration étroite avec les partenaires.
Animations en milieu scolaire	Ecoles primaires, collèges et lycées.
Formations diverses :	Action de formation des partenaires (relais, référents municipaux «moustiques»,...) notamment avec le concours du Centre National de la Fonction Publique Territoriale (CNFPT).
Exemples de programme/actions de mobilisation communautaire	
Opération Toussaint :	Action conjointe avec les mairies dans le cas de l'existence localement d'une coutume consistant à fleurir les tombes avec des fleurs naturelles disposées dans des pots. Inciter la population dans chaque cimetière à remplacer l'eau des vases à fleurs sur les tombes, par du sable humide, etc. Cahier des charges à établir entre les partenaires, formation des agents municipaux, réalisation d'un bilan de l'opération, estimation des indices cimetières, évaluation finale.
Campagne de communication social	Menée idéalement avec le concours d'universitaires (chercheurs en communication sociale), de partenaires associatifs et d'élus locaux dans une volonté de concertation des efforts scientifiques et pratiques. Objectif de s'inscrire dans la durée, signature d'un protocole entre partenaires, mise en place d'un Comité de coordination, formation de l'ensemble des intervenants, évaluation et retour d'expérience.
COMBI (COMmunication for Behavioural Impact)	Méthode proactive développée sous l'égide de l'OMS. Le but de cette approche est d'inciter le public à se débarrasser de comportements à risques et à adopter de bonnes pratiques médicales, sanitaires et sociales. Mise en place d'un Comité de pilotage.
Opération de nettoyage	Suppression massive de gîtes larvaires potentiels en lien avec les mairies et la population. Présence des partenaires sur le terrain pour accompagnement de la population.
Journée annuelle contre le moustique	Journée de rappel des gestes de prévention contre les moustiques. Incitation de chaque habitant à éliminer ou protéger les lieux de reproduction des moustiques présents dans son cadre de vie. Présence des partenaires sur le terrain pour accompagnement de la population.
Campagnes de distribution de moustiquaires imprégnées d'insecticides (MI)	Incitation à leur usage et évaluation de leur appropriation et de leur bonne utilisation par les populations.
Outils	
Information et éducation	Dépliants, panneaux, outils pédagogiques à destination des élèves d'écoles primaires, DVD, matériel de laboratoire, ... utilisés lors des stands d'information, des animations en milieu scolaire, réunions d'informations. Ces éléments servent à maintenir un bon niveau d'information de la population.
Mobilisation communautaire	Des messages devant être courts, précis, identifiables pour être mémorisables, et répondre à un besoin relevé par le biais d'enquêtes communicationnelles et sociologiques. Concrètement, ils doivent aboutir à un acte de participation qui soit maintenu dans le temps. Le recours à des agences de communication et des consultants peut s'avérer nécessaire pour une pertinence optimale et un meilleur impact de ces messages.
Autres outils	Cédérom, DVD, encarts presse, affichage, média (spots radio et TV, films,...), mallette ou kit pédagogique, saynètes, concours, visites pédagogiques terrain, journées "Portes ouvertes", journées d'action pour la protection de l'environnement, dépliants aux élèves, affiches, autocollants, tee-shirts lors actions terrain, diplôme pour concours, enquêtes,...



Annexe 4

Présentation succincte des méthodes d'évaluation

Mesure de l'efficacité biologique en laboratoire

L'objectif des biotests pratiqués en laboratoire est d'évaluer le plus précisément possible et de manière statistiquement représentative, les concentrations d'un biocide donné permettant de tuer ou d'inhiber le développement de 50, 90 et 99% des individus exposés.

Dans le cas des larvicides, on parle de concentrations létales (CL50, 90, 99) ou d'inhibition d'émergence (IE50 90, 99) exprimées généralement en mg de substance active par litre d'eau.

Dans le cas des imagocides, on évalue l'activité intrinsèque d'une substance active par contact topique. Ce biotest permet de déterminer les doses létales (DL50, 90, 99) exprimées en ng de substance active par mg de poids vif. Il est également possible de déterminer, s'il y a lieu, le temps d'exposition à un imagocide à une concentration donnée entraînant un effet choc (knock-down time KT50, 90, 99). Les effets de vapeur ou par contact tarsal et la persistance d'action sont également évalués au moyen de biotests (test en tube, en cône) et s'expriment sous forme de concentrations létales.

Les individus testés sont issus soit d'une population d'une espèce de référence élevée en insectarium et relativement stabilisée (souche) et plus ou moins sensible aux insecticides, soit d'une population représentative d'une espèce cible, plus hétérogène par définition et échantillonnée de manière circonstanciée. Le biotest doit être mené sur des individus au même stade de développement, la sensibilité diminuant généralement avec l'âge de l'individu. Sur des populations sauvages, il faudrait en conséquence idéalement réaliser le biotest sur une première génération élevée en insectarium. Les concentrations létales obtenues en laboratoire constituent des données de référence.

Enfin, ces tests biologiques, répétés à intervalles réguliers ou en cas de suspicions (perte d'efficacité observée à l'issue d'un traitement opérationnel), ont aussi pour but de détecter dans le temps toute possible inflexion de la sensibilité des populations soumises aux traitements pouvant traduire l'apparition de phénomènes de tolérance ou de résistance au sein de ces dernières.

Mesure de l'efficacité biologique d'un traitement biocide sur le terrain

L'efficacité biologique d'un traitement est évaluée quantitativement. Elle correspond au pourcentage de mortalité observé sur des individus à un stade de développement donné, prélevés au sein d'une population cible après exposition d'une durée définie à un traitement biocide. Les effectifs après traitement sont comparés avec ceux présents peu de temps ou juste avant le traitement en recourant à la même méthode d'échantillonnage.

De manière concrète, un ou plusieurs échantillons sont prélevés généralement moins de 24 h avant le traitement selon une procédure interne plus ou moins rigoureuse ou normalisée. La manière de collecter ces échantillons est tributaire du stade de développement ciblé, de l'espèce et du milieu où elle se développe. Les stades immatures aquatiques sont généralement collectés au moyen de plateaux de format et de contenance divers, de filet Langeron ou de louche. L'abondance des populations d'adultes est évaluée au moyen de pièges attractifs (généralement au CO₂) ou en recourant à la technique de l'appât humain. Les comptages larvaires sont soit exhaustifs soit estimatifs, basés par exemple sur des abaques. L'identification des espèces est également faite globalement. En cas de captures massives, le dénombrement et l'identification des individus peuvent se faire par sous-échantillonnage et par pesée.

L'estimation du nombre d'individus survivants au traitement est faite de la même manière et généralement sur les mêmes lieux de prélèvement que ceux avant traitement. L'observation est faite après un intervalle de temps défini, généralement aux alentours de 24 ou 48 h. Le nombre d'individus morts correspond donc à la différence entre le nombre d'individus présents dans l'échantillon avant traitement et le nombre de survivants retrouvés dans l'échantillon après traitement. Ce résultat correspond donc au pourcentage d'efficacité.

Une mesure de l'efficacité doit toujours être assortie d'une durée d'exposition au terme de laquelle elle a été évaluée. La mortalité peut en effet évoluer sensiblement pendant une période d'exposition plus ou moins longue avant de se stabiliser. Cette évolution est dépendante du mode d'action des substances actives (neurotoxique, toxémique, mimétique d'hormones juvéniles, etc.), de la dose appliquée, des conditions physiques rencontrées au moment ou juste après l'application (température, humidité relative) voire parfois de la densité des populations présentes.

L'efficacité biologique peut donc être caractérisée par des critères spécifiques tels, par exemple, la mortalité larvaire après traitement. Pour chaque critère sont définis des indicateurs les plus significatifs. Ces indicateurs doivent permettre d'obtenir des données exploitables pour caractériser chaque critère. L'analyse de ces données peut ensuite s'effectuer par comparaison avec l'état précédent le traitement, à un témoin, à un standard ou par simple description.

Coordination :

Christophe Lagneau (EID Méditerranée)
Rémi Foussadier (EID Rhône-Alpes)
André Yébakima (Conseil général/ARS de la Martinique)
Sandrine Chantilly (Conseil général de la Guyane)
Jean Alfonsi (Conseil général de Corse-du-Sud)

Ont participé à la rédaction :

Anne Baudin, Christine Bousquet, Myriam Cros, Benoît Francès, Grégory L'Ambert, Nicolas Nouviaire, Réda Tounsi (EID Méditerranée) ; Gilles Besnard, Yves Rozier (EID Rhône-Alpes) ; Manuel Etienne, Renélise Moutenda-Pelagie (Conseil général/ARS de la Martinique) ; Patrick Rabarison (Conseil général de la Guyane) ; Paul-Mathieu Gibergues (Conseil général de Corse-du-Sud).

Site Internet du Programme LIFE+ :

<http://ec.europa.eu/environment/life/>

Site Internet du projet LIFE08 ENV/F/000488 :

www.lifeplusmoustique.eu

Adresses :

EID Méditerranée

165, avenue Paul Rimbaud
F-34184 Montpellier Cedex 4

EID Rhône-Alpes

31, chemin des Prés de la Tour
F-73310 Chindrieux

Centre de démoustication et lutte antivectorielle

Conseil général/ARS de la Martinique
BP679
F-97200 Fort-de-France (Martinique)

Direction de la solidarité et actions sanitaires

Service de démoustication
Conseil général de Corse-du-Sud
BP414
F-20183 Ajaccio Cedex (Corse-du-Sud)

Direction de la Démostication et des Actions Sanitaires

Conseil général de la Guyane
18, avenue de la liberté
F-97300 Cayenne (Guyane)

ADEGE

Siège social : c/o EID Méditerranée
165, avenue Paul Rimbaud
F-34184 Montpellier Cedex 4

Pour tout contact : clagneau@eid-med.org

