

LES METHODES SANITAIRES DE CONTROLE DES VECTEURS POUR LA PREVENTION DE LA TRANSMISSION D'ARBOVIRUS PAR LES MOUSTIQUES EN FRANCE METROPOLITAINE *

Francis Schaffner ¹

RESUME

Le contrôle des maladies à transmission vectorielle repose essentiellement sur des mesures préventives sanitaires. Celles-ci consistent à réduire (1) les possibilités de circulation du pathogène, (2) le nombre de vecteurs, (3) le contact hôte-vecteur, ou (4) la durée de vie des vecteurs. La lutte anti-vectorielle intégrée associe l'application de pesticides, les modifications environnementales et la participation communautaire. Les méthodes d'intervention sont variées et choisies en fonction de leur efficacité, de leur coût économique et de leur coût écologique. Les plans de lutte contre la circulation du virus West Nile ou des virus chikungunya et dengue transmis par des moustiques sont présentés comme exemples de prévention sanitaire mis en œuvre en France métropolitaine.

Mots-clés : Maladie vectorielle, lutte anti-vectorielle, arbovirus, chikungunya, dengue, West Nile, France métropolitaine, moustiques.

SUMMARY

The control of vector-transmitted diseases is mainly based on preventive sanitary measures aiming to reduce (1) the possibility for the pathogen to spread, (2) the number of vectors, (3) the contact between host and vectors, or (4) the life time of the vectors. Integrated vector control combines treatments with pesticides, management of the environment and community participation. Control methods are multifaceted and are chosen considering their efficiency and their economical as well as their environmental costs. Schemes for controlling the circulation of West Nile virus or Chikungunya and Dengue viruses transmitted by mosquitoes are examples of sanitary prevention measures that are implemented in metropolitan France.

Keywords : Vector-borne disease, Vector control, Arboviruses, Chikungunya, Dengue, West Nile, Metropolitan France, Mosquitoes.



* Texte de la conférence présentée lors des Journées AEEMA, 22-23 mai 2008

¹ Institute of Parasitology, Vetsuisse Faculty, University of Zürich, Winterthurerstrasse 266a, 8057 Zürich, Switzerland

I - CONTEXTE :

LES MALADIES A TRANSMISSION VECTORIELLE ET LEUR CONTROLE

1. ROLE ET PERCEPTION DE LA LUTTE ANTI-VECTORIELLE

Après la découverte, dans les années 1940, des insecticides résiduels de synthèse, des programmes à grande échelle ont réussi à endiguer un grand nombre des maladies importantes à transmission vectorielle. A la fin des années 1960, la plupart des maladies à transmission vectorielle, à l'exception du paludisme en Afrique, n'étaient plus considérées comme des problèmes de santé publique majeurs. En conséquence, les programmes de lutte ont progressivement cessé leurs activités, les ressources dévolues à la lutte anti-vectorielle se sont amenuisées et les spécialistes de ce domaine ont disparu des services de santé publique. Bien que la lutte anti-vectorielle ait fait la preuve de son efficacité dans la prévention de la transmission des maladies, il faut constater aujourd'hui que ses possibilités sont loin d'être pleinement exploitées [Townson *et al.*, 2005]. La prise de conscience écologique suscite une réaction de méfiance face à la notion même de lutte anti-vectorielle. De fait, des populations défavorisées sont parfois privées des bénéfices de méthodes bien éprouvées et testées. Mais la réémergence ou la propagation à de nouvelles zones de nombreuses maladies importantes à transmission vectorielle au cours des deux dernières décennies suscite un regain d'intérêt pour la lutte anti-vectorielle dans la prévention de la transmission des maladies, en accordant toutefois une importance plus grande aux mesures multiples, dans un cadre de lutte anti-vectorielle intégrée et en complément aux autres mesures de contrôle sanitaires et thérapeutiques.

2. IMPORTANCE DES MALADIES A TRANSMISSION VECTORIELLE

Les maladies infectieuses émergentes sont une charge significative pour la santé publique et l'économie. Leur émergence est largement conditionnée par des facteurs socio-économiques et écologiques. Jones *et al.* [2008] on recensé 335 événements entre 1940 et 2004, dont 22,8% sont des maladies à transmission vectorielle, et cette proportion monte à 28,8% pour la dernière décennie. Par

ailleurs, si les plus grandes concentrations d'événements se situent aux hautes latitudes des pays industrialisés, la part liée aux transmissions vectorielles est mieux répartie. De surcroît, le risque relatif d'émergence lié aux zoonoses et aux transmissions vectorielles est plus élevé aux basses latitudes des pays en développement, tandis que les ressources allouées à la surveillance et au contrôle de ces maladies sont concentrées dans les régions industrialisées considérées à moindre risque [Jones *et al.*, 2008].

3. LE CONTROLE DES MALADIES A TRANSMISSION VECTORIELLE

Trois types de mesures peuvent être développés pour réduire la prévalence des maladies :

1. Les mesures préventives thérapeutiques, avec pour objectif d'éviter une maladie (par traitement prophylactique, vaccination) ;
2. Les mesures curatives thérapeutiques, avec pour objectif de soigner une infection et éviter des complications (par traitement médicamenteux) ;
3. Les mesures préventives sanitaires, avec pour objectif d'éviter la transmission d'un agent pathogène.

Si les mesures thérapeutiques peuvent offrir une bonne protection, elles ne sont pas toujours disponibles et leur coût peut en limiter considérablement l'application. Les mesures préventives sanitaires, et en particulier la lutte anti-vectorielle, sont donc des éléments essentiels dans la lutte contre les maladies à transmission vectorielle.

Dans les chapitres suivants, la prévention sanitaire est illustrée par le contrôle de la transmission de pathogènes par les moustiques, ces transmissions vectorielles ayant une incidence majeure en matière de santé humaine, et dans une moindre mesure en santé animale. Les plans de lutte contre la circulation des virus chikungunya et dengue ou du virus West Nile mis en œuvre en France métropolitaine sont présentés en exemples.

II - LA MISE EN ŒUVRE DES MESURES PRÉVENTIVES SANITAIRES

1. L'OBJECTIF ET LE CHOIX DES METHODES

Le préalable à la mise en œuvre de mesures de contrôle sanitaires est la définition claire de l'objectif final. Celui-ci peut être :

1. d'arrêter la transmission épidémique ou épizootique,
2. de contenir un foyer épidémique ou épizootique, ou
3. de faire baisser la morbidité ou la mortalité.

Les mesures à prendre pourront alors être sélectionnées en fonction de leur efficacité en vue de l'objectif à atteindre, mais également en tenant compte de leur coût et des possibilités concrètes de mise en œuvre dans l'espace et le temps pour une efficacité optimale.

Ces procédures de prise de décision pourront être grandement facilitées par des mesures préalables et/ou accompagnatrices telles que la surveillance des vecteurs (présence, abondance, rythme d'activités...) ou la surveillance des cas (cas index, premier cas locaux, identification des foyers...).

2. LES METHODES DISPONIBLES

Les mesures préventives sanitaires peuvent être listées en fonction de leur impact recherché :

1. la réduction des possibilités de circulation du pathogène,
2. la réduction du nombre de vecteurs,
3. la réduction du contact hôte-vecteur, et
4. la réduction de la durée de vie des vecteurs.

2.1. LA REDUCTION DES POSSIBILITES DE CIRCULATION DU PATHOGENE

Plusieurs possibilités d'actions peuvent être envisagées.

2.1.1. Prévenir l'introduction de pathogènes :

- Par l'information des voyageurs pouvant avoir été en contact avec un pathogène dans une zone d'épidémie ou d'endémie

(exemple : information des voyageurs sur le risque chikungunya et dengue) ;

- Par la promotion des traitements prophylactiques pour les voyageurs se rendant dans une zone d'endémie (exemple: prophylaxie du paludisme) ;
- Par le contrôle des mouvements de bétail et d'animaux sauvages pouvant être infectés par un pathogène, en provenance d'une zone d'enzootie (restriction temporaire, quarantaine).

2.1.2. Prévenir l'introduction de vecteurs potentiels :

- Par le contrôle de mouvements de certaines marchandises 'à risque' (exemple : réglementation du transport de lots de cannes de Chine avec de l'eau pouvant contenir des larves du moustique *Aedes albopictus*) ;
- Par le contrôle des stockages de ces marchandises (exemple : surveillance des sites de stockage de pneus usagés importés pouvant contenir des œufs d'*Aedes albopictus*).

2.1.3. Prévenir l'infection des vecteurs, par l'isolement des cas pendant la période infectieuse

L'aspect contraignant de ces mesures limite bien sûr leur mise en place. L'adoption d'une réglementation nationale, voire internationale, présente de grandes difficultés. L'isolement de cas infectieux humains est délicat. Le volume de marchandises à contrôler, le coût et la disponibilité des doses de traitements prophylactiques nécessaires sont autant d'autres contraintes. Par ailleurs, ces mesures présentent somme toute une efficacité relativement limitée.

2.1.4. Prévenir l'infection des vecteurs, par la modification de leur réceptivité : la piste de la modification génétique.

Les développements récents en matière de génétique moléculaire présentent

d'intéressantes possibilités pour l'extension et les applications de la lutte génétique. L'approche classique qui cible la réduction de la population de vecteur (voir chap. 2.2 §d) évolue maintenant vers une approche qui vise la réduction de la population du parasite lui-même, en rendant le vecteur incompatible au parasite. Ceci consiste à modifier le phénotype d'une espèce et en particulier sa réceptivité à un pathogène, notamment par l'isolement d'éléments transposables pouvant être utilisés pour introduire des gènes réfractaires aux agents pathogènes dans des populations naturelles de vecteurs, et de telle sorte que ce trait se disperse et devienne dominant. Si des gènes pouvant bloquer la transmission du parasite ont déjà été identifiés, notamment pour le paludisme, il reste à mettre au point des méthodes efficaces pour mener ces gènes à une fixation dans une population naturelle [Alpey *et al.*, 2002]. Par ailleurs, ces méthodes mettant en jeu des organismes génétiquement modifiés, il convient, d'une part, d'encadrer ces expérimentations de précautions particulières et, d'autre part, d'obtenir un consensus favorable à leur expérimentation en milieu naturel sur la base d'une forte probabilité de bénéfice en matière de santé humaine.

2.2. LA REDUCTION DU NOMBRE DE VECTEURS

La manière la plus efficace et de surcroît la plus économique de réduire le nombre de moustiques est de les contrôler à la source, lors du développement larvaire. L'expérience montre que ceci peut se faire avantageusement au moyen de programmes qui réduisent les zones de reproduction, qui suivent les populations de moustiques et entreprennent des mesures de contrôle afin de diminuer l'abondance des vecteurs potentiels avant qu'une maladie ne soit transmise. Ces programmes peuvent également être utilisés comme une réponse de premier recours au cas où l'activité d'un pathogène est détectée dans une zone particulière où une épizootie ou une épidémie est déclarée. Le contrôle des populations de moustiques adultes au moyen de pulvérisation aérienne d'insecticides est généralement considéré comme un dernier recours. Les insecticides présentant un risque non négligeable pour l'environnement (impact sur les espèces protégées et les chaînes trophiques), leur utilisation doit être raisonnée, dans le cadre d'une approche intégrée et d'une réponse proportionnée au risque.

Les limites des traitements anti-larvaires sont liées à la connaissance et à l'accessibilité des gîtes larvaires des espèces ciblées, ainsi qu'à la disponibilité de substances actives efficaces et de formulations adaptées. Dans l'esprit d'une lutte intégrée, on prendra avantage à mettre en synergie un ensemble de mesures adaptées aux conditions environnementales et épidémiologiques locales.

➤ La lutte chimique et biochimique à l'aide de biocides permet de viser une baisse rapide du potentiel de prolifération des vecteurs. Elle est réalisée au moyen de pulvérisations spatiales des gîtes larvaires. Seul un nombre limité de substances actives est autorisé dans le cadre spécifique de la lutte contre les moustiques, consécutivement à l'évolution de la législation dans ce domaine. Les substances actives doivent, d'une part, être inscrites sur une liste communautaire (directive européenne « biocides » 98/8/CE) et, d'autre part, obtenir une autorisation nationale de mise sur le marché. Dans l'attente de la finalisation de ces procédures (2010-2011), les substances autorisées sont listées sur la circulaire DPPR-DGS-DGT du 21 juin 2007 relative aux méthodes de lutte contre les moustiques. De fait, la lutte anti-larvaire est essentiellement réalisée à l'aide d'un insecticide d'origine biologique, le Bti, dont la toxine est produite par le *Bacillus thuringiensis israeliensis* seovar H14. La seconde substance autorisée est le diflubenzuron, insecticide de synthèse de la famille des benzoyl-urées, une hormone agissant comme régulateur de croissance des insectes (IGR) par inhibition de la production de chitine. Le téméphos, insecticide de synthèse de la famille des organophosphorés longtemps utilisé en anti-larvaire, est encore autorisé sous conditions dans les départements d'outre-mer, mais uniquement à des fins de lutte anti-vectorielle et jusqu'en 2009. À l'avenir, les produits de substitution pourraient être le pyriproxyfène (IGR juvénile agissant sur la production d'hormones juvéniles) et le spinosad (mélange de 2 toxines produites par une bactérie, agissant sur le système nerveux), qui présentent une longue persistance d'action dans les gîtes artificiels en lutte urbaine. Le Bti a l'avantage d'être très spécifique dans son spectre d'action [Boisvert & Boisvert, 2000], mais son emploi peut être délicat en raison de l'absence de dispersion et de non persistance, et de l'absence de formulation adaptée aux traitements de très grandes surfaces par ultra-bas volume. Les applications anti-larvaires sont réalisées par

des traitements au sol au moyen d'appareils portatifs ou montés sur des véhicules, ou encore par voie aérienne, en solution liquide ou en granulés. Dans tous les cas, il faudra associer la lutte anti-larvaire à une prospection soignée du territoire en vue de la localisation précise des gîtes larvaires (avec cartographie), des espèces présentes et des phénomènes d'éclosion associés.

➤ La lutte biologique permet également de réduire le développement des vecteurs et de maintenir leur densité sous un seuil minimal, par l'emploi de parasites pathogènes, de prédateurs ou de bactéries entomopathogènes. L'introduction de poissons larvivores (*Gambusia affinis*, *Pocillia reticulata*) n'est plus pratiquée en milieu naturel mais reste recommandée pour les bassins d'agrément. Des *Mesocyclops* ont montré une grande efficacité pour la prédation de larves de moustiques dans des gîtes artificiels en milieu tropical, et des expérimentations sont actuellement en cours sur l'introduction de copépodes autochtones dans des gîtes artificiels à *Culex pipiens*. La bactérie *Bacillus sphaericus* peut se maintenir plusieurs semaines dans des milieux urbains à *Culex pipiens* abrités de l'ensoleillement direct et y produire une endotoxine spécifique aux moustiques.

➤ La lutte environnementale consiste à supprimer ou modifier le fonctionnement des gîtes larvaires afin de réduire la « production » d'insectes vecteurs. Cette méthode peut être extrêmement efficace dans la lutte contre les moustiques *Culex*, pour lesquels des gîtes artificiels peuvent être supprimés (vases, récipients divers abandonnés, fosses à eaux usées inutilisées...), ou modifiés dans leur fonctionnement (fossés à eau usées, caves et vides sanitaires inondés). En milieu naturel, certaines zones humides peuvent être aménagées pour stabiliser le niveau de l'eau et ainsi limiter le développement de moustiques *Aedes/Ochlerotatus*.

➤ La lutte génétique consiste à introduire sur le terrain des individus génétiquement modifiés, dans le but de réduire la population naturelle des insectes nuisibles qui sont visés, en induisant la stérilité (technique de l'insecte stérile « SIT ») ou en insérant dans le patrimoine génétique des insectes un gène dominant qui est létal chez les femelles

(technique du gène dominant létal 'RIDL'). La technique la plus utilisée actuellement repose sur le lâcher de mâles stérilisés par irradiation qui doivent s'accoupler avec les femelles 'sauvages' pour provoquer une baisse de la fertilité de celles-ci et donc une réduction de la population. Cette méthode nécessite la production de masse d'insectes en laboratoire, à proximité des zones à contrôler et des applications à grande échelle ont prouvé la faisabilité (éradication de la lucilie bouchère *Cochliomyia hominivorax* des États-Unis et de Lybie, contrôle des mouches tsé-tsé en association à des piègeages). Dans la technique du gène dominant, l'effet létal ne s'exprime qu'au niveau de la progéniture des femelles ayant acquis le gène. Ceci pourrait avoir un impact plus important sur la population, pour peu que le gène létal s'exprime tardivement (au niveau de la nymphe par exemple), neutralisant ainsi l'effet de densité-dépendance du développement larvaire sur la population [Kim Phuc *et al.*, 2007]. Des expériences de lâchers de mâles stériles sont actuellement en cours sur des moustiques [Helinski *et al.*, 2008 ; Bellini *et al.*, *in press*] et, si des éradications peuvent être envisagées dans certains contextes géographiques de surface limitée, leur emploi est essentiellement envisagé en complément à des méthodes conventionnelles dans un cadre de lutte intégrée.

2.3. LA REDUCTION DU CONTACT HOTE-VECTEUR

Réduire le contact entre l'hôte et le vecteur, autrement qu'en réduisant le nombre de vecteurs, consiste à empêcher la piqûre par des méthodes de protection passive. Les différentes techniques sont plus ou moins faciles à mettre en œuvre et de coût variable ; leurs limites sont liées aux difficultés de mise en œuvre ou au niveau d'efficacité. À défaut de pouvoir supprimer la nuisance, elles peuvent limiter son impact sur le principe de créer une barrière pour empêcher le vecteur d'atteindre l'hôte. On peut distinguer la protection par barrière mécanique et la protection par barrière chimique.

2.3.1. La protection par barrière mécanique

- Porter des habits longs et amples aux moments et dans les lieux à haut risque (exemple : mesure recommandée pour éviter la transmission de virus (West Nile,

chikungunya, dengue) ou de *Plasmodium* par les moustiques en extérieur, particulièrement au coucher du soleil et en soirée).

- Dormir sous une moustiquaire ou utiliser une ventilation ou une climatisation (exemple : mesure recommandée pour éviter la transmission de *Plasmodium* par les moustiques en intérieur, particulièrement pendant la nuit).
- Rendre des bâtiments étanches aux vecteurs, notamment par la pose de moustiquaires aux ouvertures.

2.3.2. La protection par barrière chimique

- Diffuser des répulsifs ou des insecticides dans l'espace immédiat environnant les personnes ou le bétail à protéger. La combustion de plantes, bois ou résines, de spirales contenant du pyrèthre ou encore la diffusion de certaines huiles essentielles ont, dans une certaine mesure, un effet répulsif pour les insectes. Les insecticides de type pyrèthre peuvent également être employés sous forme de diffuseurs électriques ou de bombes aérosols.
- Pulvériser des répulsifs sur la peau ou sur les vêtements. Un large éventail de produits est disponible sur le marché, avec une efficacité variable, les principaux étant le Citriodiol, le DEET, l'IR 3535 et le KBR 3023. Ces produits ne sont pas des médicaments mais des produits biocides (soumis aux mêmes autorisations que les insecticides), et doivent être employés avec précaution notamment chez les jeunes enfants et les femmes enceintes (suivre strictement les indications du fabricant). La durée de la protection varie de 6 à 12 heures, elle dépend de la concentration du produit et de la température extérieure. Les applications sont à renouveler plus fréquemment en fonction de la transpiration ou des bains et des douches.
- Pulvériser des insecticides (le plus souvent des pyrèthroïdes, en particulier la perméthrine et la deltaméthrine), ou des acaricides sur la peau (bétail et animaux de compagnie) ou sur les vêtements. Dans ce dernier cas, ils sont absorbés dans les fibres et s'évaporent très lentement,

augmentant ainsi la rémanence du produit. Ceci offre des avantages en termes de persistance, de coût et de sécurité d'emploi (contact avec la peau fortement réduit par rapport à une application cutanée). Ces produits ont un double effet insecticide et répulsif ; ils n'empêchent pas directement le contact avec le vecteur, mais l'effet choc de l'insecticide empêche la prise de repas sanguin.

Protection mécanique et protection chimique peuvent être avantageusement associées pour augmenter l'efficacité de la mesure. Ainsi, l'usage de moustiquaires imprégnées d'insecticides offre la meilleure protection contre le paludisme (les moustiques Anophèles vecteurs étant actifs essentiellement la nuit). Les fabricants de tissus spécialisés élaborent actuellement des tissus imprégnés d'insecticides qui restent efficaces pendant toute leur durée de vie (moustiquaires, vêtements, rideaux).

2.4. LA REDUCTION DE LA DUREE DE VIE DES VECTEURS

La réduction de la durée de vie des vecteurs repose essentiellement sur le contrôle anti-adulte par pulvérisation d'insecticide de synthèse. Ces mesures sont en général appliquées en dernier recours, lorsqu'il n'a pas été possible de réduire le nombre de vecteurs à la source (§2.2) ou lorsqu'on est confronté à un épisode de transmission de pathogène. Elles ont pour avantage un impact immédiat sur la faune des vecteurs présents, l'objectif étant de supprimer les vecteurs infectieux et d'empêcher les nouveaux vecteurs de devenir infectieux en écourtant leur durée de vie. Leurs limites sont dans leur coût financier et environnemental (en général élevés), la disponibilité de substance actives efficaces et de formulations adaptées à un usage dans l'environnement des vecteurs. En effet, si l'usage d'insecticides contre des adultes est généralement accepté en milieu urbain (tout comme en intérieur par les particuliers eux-mêmes), leur impact et la réglementation sont tout autres pour leur usage en milieu naturel. Les insecticides doivent être autorisés pour un usage en lutte contre les moustiques adultes (cf. chap. 2.2 §a). On distingue dans ce cadre la lutte chimique par pulvérisation d'insecticides et la lutte mécanique par piégeage massif.

2.4.1. La lutte chimique

- La pulvérisation résiduelle intra-domiciliaire consiste à pulvériser des insecticides (principalement des substances actives de la famille des organophosphorés ou des pyréthriinoïdes) sur les parois d'une pièce ou d'un bâtiment ; des peintures et toiles imprégnées d'insecticides peuvent également être utilisées dans ce sens. Ces traitements sont peu onéreux et offrent une efficacité durable (cette technique est largement en usage dans la lutte contre le paludisme en milieu tropical, à l'aide de DDT encore autorisé à ce strict usage et en complément aux moustiquaires imprégnées). Ils agissent pas contact et ne sont donc efficaces que contre les vecteurs qui se posent sur les parois traitées, ce qui est par exemple le cas pour les Anophèles vecteurs du paludisme, mais pas pour l'*Aedes albopictus* vecteur du chikungunya.
- La pulvérisation spatiale intra-domiciliaire consiste à traiter l'espace intérieur d'une pièce ou d'un bâtiment (principalement des pyréthriinoïdes). Ces traitements permettent de supprimer les vecteurs présents au moment du traitement, avec un impact très limité dans le temps. Il convient de protéger les aliments au moment du traitement et de renouveler celui-ci régulièrement jusqu'à la fin de la période à risque de transmission.
- La pulvérisation spatiale focalisée consiste à pulvériser un insecticide dans un environnement extérieur limité en volume. Les substances actives autorisées en France sont des pyréthriinoïdes (le fénitrothion, un organophosphoré, a été récemment retiré du marché). En raison de leur trop faible sélectivité et des risques pour la faune non cible (poissons, insectes pollinisateurs), ils ne peuvent être utilisés qu'en milieu urbain. Les traitements sont réalisés par pulvérisation à chaud ou à froid en bas ou ultra-bas volume. Ces interventions sont en général mises en œuvre lors d'une période de transmission, autour des cas (environnement immédiat, soit environ 10 maisons, autour du domicile d'un cas autochtone ou importé de chikungunya ou de dengue).
- La pulvérisation spatiale des lieux de repos et de reproduction consiste à pulvériser un

insecticide dans un environnement extérieur plus vaste (mêmes substances actives que précédemment, mais avec une possibilité de traitement en ultra-bas volume par voie aérienne), en ciblant les sites de repos ou de reproduction des vecteurs proche des habitations (haies, bois...). Dans ce cas, tout comme dans le précédent, on favorisera le traitement à des horaires limités et annoncés (plutôt en tout début de journée), afin d'éviter la présence de personnes dans la zone à traiter (possibilité de réactions allergiques aux pyréthriinoïdes).

Les pulvérisations spatiales ont un impact immédiat sur la faune des vecteurs présente, ce qui permet notamment de supprimer des vecteurs éventuellement infectés autour d'un cas. Cet impact est cependant très temporaire, le milieu étant rapidement recolonisé par d'autres cohortes de vecteurs provenant des gîtes larvaires non traités.

Par ailleurs, elles sont à utiliser avec précaution et parcimonie, en veillant à respecter les dosages prescrits, pour garantir une efficacité et limiter les possibilités d'apparition de résistance aux substances actives. De plus, si les produits actuellement sur le marché sont heureusement peu toxiques pour l'homme (notamment les pyréthriinoïdes), leur impact à long terme sur la santé en cas d'exposition répétée n'est pas toujours bien connu.

2.4.2. La lutte mécanique, par piégeage massif

Des pièges peuvent être utilisés pour capturer un nombre important de vecteurs. Des modèles sont disponibles dans le commerce, et parfois préconisés pour protéger une surface donnée. La sélectivité des pièges est très variable : les pièges à dioxyde de carbone attirent essentiellement les insectes hématophages, mais les pièges lumineux capturent un très large éventail d'insectes nocturnes. Par ailleurs, si ces pièges sont effectivement attractifs pour les insectes ciblés (moustiques, *Culicoides*, mouches tsé-tsé, stomoxes,...) et peuvent en capturer un grand nombre, ils ne sont pas plus attractifs que les hôtes eux-mêmes. Leur efficacité reste donc limitée, d'autant que les cohortes de vecteurs se succèdent jour après jour.

III - EXEMPLES DE PLAN DE CONTROLE SANITAIRE

1. LA FIEVRE A VIRUS WEST NILE

Le virus West Nile est un arbovirus de la famille des *Flaviviridae*, transporté par des oiseaux migrateurs. Son cycle de vie implique un insecte vecteur, le moustique, un réservoir animal, l'oiseau, et des hôtes accidentels, le cheval et l'homme, qui sont des impasses pour son développement. La fièvre à virus West Nile est une zoonose régulièrement observée en Europe méridionale et centrale depuis 50 ans. Ses occurrences ont augmenté en fréquence et sévérité depuis 1994. En France, les premiers cas reconnus datent des années soixante (Camargue 1963-65: 13 cas humains, 12 cas équins). Trente-cinq ans plus tard est apparue une épizootie en 2000 (Camargue: 76 cas équins), qui a incité le ministère en charge de la santé (Direction générale de la santé) à adopter en partenariat un plan de gestion du risque West Nile (www.sante.gouv.fr/htm/pointsur/zoonose/), dès 2001.

1.1. SYSTEME DE SURVEILLANCE ET NIVEAUX DE RISQUE

Le plan de gestion a pour objectif le repérage précoce de la circulation du virus afin de permettre la mise en œuvre rapide et coordonnée de mesures de prévention et de protection des personnes, incluant :

- un système de surveillance du virus WN passif (susciter le report des cas) ou actif (rechercher activement les cas par exemple par sérologie), dans les oiseaux, chevaux, humains et moustiques,
- une évaluation du risque en fonction des données de la surveillance,
- des mesures de prévention selon la (les) espèce(s) atteintes et l'extension géographique de la circulation virale.

Dans ce cadre, la surveillance est particulièrement renforcée sur la côte Méditerranéenne et en Corse, excepté pour les chevaux (surveillance nationale des encéphalites), et activée annuellement du 1er Juin au 31 octobre.

Ainsi, les données de la surveillance doivent permettre d'estimer l'importance de l'activité virale et donc du risque pour la santé humaine dans une région ou zone donnée. Trois niveaux de risque ont été identifiés :

- Niveau 1 : mortalité aviaire due au virus WN
- Niveau 2 : cas équins
- Niveau 3 : cas humains.

1.2. MESURES DE PREVENTION

Les mesures de prévention comprennent, outre le renforcement de la surveillance, destiné à mieux apprécier l'étendue et l'importance de la circulation virale :

- l'information du public sur les mesures de protection individuelle à adopter,
- la mise en œuvre de mesures de lutte antivectorielle destinées à contrôler les populations de moustiques : (1) destruction des gîtes larvaires, (2) traitement larvicide au Bti lorsque les gîtes ne peuvent être détruits, (3) traitement adulticide à l'aide d'une pyréthrianoïde, réservées aux situations de très fortes nuisances ou après mise en évidence d'une circulation virale, du fait de leur impact potentiel sur l'homme et l'environnement ainsi que de leur efficacité limitée dans le temps,
- la sécurisation des approvisionnements sanguins et des dons d'organes (interruption des dons dans les zones de circulation du virus).

Ces mesures sont déclinées de manière graduelle et proportionnelle au niveau de risque estimé, notamment en matière de mode de traitement et de surface d'intervention.

1.3. RESULTATS

La mise en place de ce plan a permis la détection précoce des épizooties et de la circulation virale :

- 2001: circulation de virus (Camargue : 1 séroconversion oiseau),
- 2002: circulation de virus (Camargue : 1 séroconversion oiseau + 1 séroconversion cheval),
- 2003: épizootie et épidémie (Var : 7 cas humain, 4 cas équins),

- 2004: épizootie, pas de cas humain (Camargue : 32 cas équins),
- 2005: pas de circulation détectée,
- 2006: épizootie, pas de cas humain (Pyrénées-Orientales : 7 cas équins),
- 2007 et 2008 : pas de circulation détectée.

1.4. BILAN

Le premier constat est l'évidente complémentarité des différents systèmes de surveillance, mais leur activation a été jugée opportune uniquement pour les périodes de risque (juin à octobre). La surveillance des vecteurs est lourde et coûteuse, et n'a pas donné de résultats en matière de détection de virus (la prévalence de pathogènes dans les populations de vecteurs est généralement très faible). La surveillance aviaire a été plus efficace en permettant à deux reprises la détection précoce de la circulation du virus sur des oiseaux sentinelles (suivi sérologique mensuel d'oiseaux disposés dans la zone surveillée). Le coût de ces mesures ayant été jugé disproportionné par rapport aux résultats, la surveillance est aujourd'hui centrée sur un report rapide des cas cliniques équins et humains. La lutte anti-vectorielle a été très peu appliquée, compte tenu du manque d'information sur les espèces vectrices et leur rôle dans les épizooties et épidémies, ainsi que de la distribution spatiale et du fonctionnement des gîtes larvaires des espèces soupçonnées d'être vectrices (*Culex pipiens* dans les fossés et gîtes artificiels urbains et *Culex modestus* dans les roselières naturelles). Par ailleurs, les éventuelles interventions anti-adultes ont été écartées compte tenu du rapport coût/bénéfice peu avantageux, d'autant que d'importants doutes subsistent quant à leur efficacité dans le contexte présent. Les programmes de recherche complémentaires en cours sur les vecteurs du WN permettront dans le futur une meilleure approche de cette problématique.

2. LES FIEVRES A VIRUS CHIKUNGUNYA ET DENGUE

Les virus chikungunya et dengue sont des arbovirus des familles *Togaviridae* et *Flaviviridae* respectivement, dont le moustique *Aedes albopictus* est l'un des vecteurs. L'épidémie de chikungunya à la Réunion (plus de 266 000 cas en 2005-2006) et son extension progressive à nombre de pays de

l'Océan Indien depuis 2006 témoignent d'une capacité très importante de dissémination de cette maladie dans les pays où les vecteurs prolifèrent. L'occurrence au cours de l'été 2007 de cas groupés de chikungunya en Italie témoigne de la capacité d'importation et d'implantation des maladies vectorielles dans les zones du territoire européen où un vecteur compétent est présent.

Ces épidémies dans l'Océan indien et l'intensification de la transmission de dengue dans les régions tropicales (DOM) ont entraîné une augmentation des cas importés en métropole, associée à une sensibilisation politique quant au risque local de transmission. Aussi, un plan national anti-dissémination du chikungunya et de la dengue (www.sante.gouv.fr/html/pointsur/zoonose/) a été élaboré par le ministère en charge de la santé (Direction Générale de la Santé) en partenariat en 2006, pour les zones où le vecteur potentiel *Aedes albopictus* est présent ou susceptible d'être introduit ou de s'établir.

2.1. SYSTEME DE SURVEILLANCE ET NIVEAUX DE RISQUE

Le plan propose de renforcer la surveillance entomologique et épidémiologique pour prévenir et évaluer les risques de dissémination. Ses objectifs sont :

- la détection précoce de la présence du vecteur *Ae. albopictus* et de patients potentiellement virémiques, afin
- de permettre la mise en œuvre rapide et coordonnée de mesures de contrôle du vecteur et de protection des personnes. Ces mesures sont graduelles et proportionnelles au risque.

Le plan comprend :

- la déclaration obligatoire des cas importés confirmés et suspects de chikungunya et de dengue, particulièrement dans les zones où *Ae. albopictus* est présent,
- l'extension de la surveillance du vecteur,
- l'application de mesures de contrôle focalisées d'*Ae. albopictus* autour des cas importés,
- l'initiation de programmes de recherche sur la compétence d'espèces locales et la capacité vectorielle d'*Ae. albopictus*.

Le risque de transmission repose principalement sur la présence du moustique *Ae. albopictus* et est classé en six niveaux :

- Niveau albopictus 0 :
 - 0.a - absence d'*Ae. albopictus*
 - 0.b - présence contrôlée (observation d'introduction suivie de traitement puis d'une élimination ou d'une non prolifération du moustique),
- Niveau albopictus 1 : *Ae. albopictus* implantés et actifs,
- Niveau albopictus 2 : *Ae. albopictus* implantés et actifs et présence d'un cas humain autochtone confirmé de transmission vectorielle de chikungunya ou de dengue,
- Niveau albopictus 3 : *Ae. albopictus* implantés et actifs et présence d'un foyer de cas humains autochtones (au moins deux cas groupés dans le temps et l'espace),
- Niveau albopictus 4 : *Ae. albopictus* implantés et actifs et présence de plusieurs foyers de cas humains autochtones (foyers distincts sans lien épidémiologique ni géographique entre eux),
- Niveau albopictus 5 : *Ae. albopictus* implantés et actifs et épidémie
 - 5.a - répartition diffuse de cas humains autochtones sans foyers individualisés,
 - 5.b - épidémie sur une zone élargie avec un taux d'attaque élevé qui dépasse les capacités de surveillance épidémiologique et entomologique mises en place pour les niveaux antérieurs et nécessite une adaptation des modalités de surveillance et d'action.

2.2. MESURES DE GESTION ET DE PREVENTION

Les mesures de gestion et de prévention sont une déclinaison graduée des éléments suivants :

- renforcement de la surveillance entomologique du vecteur en métropole sur les voies d'introduction liées aux échanges commerciaux (pneus usés et cannes de Chine) ou aux véhicules (aéroports, ports, axes routiers en provenance de zones infestées des pays limitrophes), ainsi que sur les populations

établies pour ce qui concerne la densité et la dispersion à l'intérieur du territoire,

- contrôle des nouvelles introductions et des populations établies pour empêcher la dispersion et maintenir une densité de vecteur la plus faible possible,
- signalement des cas importés suspects et confirmés de chikungunya et de dengue, suivis d'une enquête entomologique autour des cas,
- détection active et signalement des cas autochtones, suivis d'une enquête entomologique autour des cas,
- recherche et élimination des gîtes larvaires du vecteur, les opérations de contrôle anti-larvaire préventives (substance active Bti) et anti-adulte curatives (substances actives pyréthrinoïdes) étant définies au cas par cas dans un périmètre adapté,
- promotion de la protection individuelle et de la réduction des sources larvaires domestiques,
- communication aux professionnels de la santé, au public et aux voyageurs, aux collectivités territoriales,
- mise en œuvre de mesures de contrôle sanitaire aux frontières, désinsectisation des moyens de transport en provenance des zones à risque,
- lutte contre les vecteurs autour des ports et aéroports (400m).

2.3. RESULTATS ET BILAN

Le programme de surveillance et de contrôle du vecteur mis en place a permis jusqu'ici de détecter rapidement des introductions et d'en contrôler une grande partie. Dans les zones où le vecteur est établi et où des mesures de lutte ont parfois été appliquées autour des cas de chikungunya ou de dengue importés, aucun cas autochtone n'est apparu à ce jour. Ces mesures de lutte apparaissent efficaces mais difficiles à mettre en œuvre selon le contexte local. La participation communautaire apparaît essentielle dans la stratégie de contrôle du risque (sensibilisation des cas importés et de leur entourage, suppression des gîtes larvaires domestiques, protection individuelle contre les piqûres).

IV - CONCLUSION

Le contrôle des maladies à transmission vectorielle est complexe et nécessite une connaissance détaillée de leur épidémiologie, qui fait encore souvent défaut pour les maladies émergentes ou ré-émergentes. Le contrôle du vecteur est bien souvent un élément clé dans ce combat. La lutte anti-vectorielle intégrée offre un cadre conceptuel solide au déploiement de méthodes généralement peu onéreuses et durables de lutte contre les vecteurs, en associant à l'application de pesticides des modifications environnementales et la participation communautaire pour la suppression des gîtes larvaires domestiques. Cette approche permet

de prendre pleinement en compte les déterminants complexes de la transmission des maladies, y compris l'écologie locale de celles-ci, le rôle des activités humaines dans l'augmentation des risques de transmission et les conditions socio-économiques des collectivités touchées [Townson *et al.*, 2005]. La déclinaison des méthodes d'intervention doit aussi reposer sur une bonne analyse de l'efficacité des mesures, de leur coût économique et de leur coût écologique. L'acceptation des programmes de lutte par la population et leur durabilité sociale et économique en dépendent.

BIBLIOGRAPHIE

- Alphey L., Ben Beard C., Billingsley P., Coetzee M., Crisanti A., Curtis C., Eggleston P., Godfray C., Hemingway J., Jacobs-Lorena M., James A.A., Kafatos F.C., Mukwaya L.G., Paton M., Powell J.R., Schneider W., Scott T.W., Sina B., Sinden R., Sinkins S., Spielman A., Touré Y & Collins F.H. - Malaria control with genetically manipulated insect vectors. *Science*, 2002, **298**, 119-121.
- Boisvert M. & Boisvert J. - Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on target and non target organisms: a review of laboratory and field experiments. *Biocontrol Sc. Tech.*, 2000, **10**, 517-561.
- Bellini R., Calvitti M., Medici A., Carrieri M., Celli G. & Maini S. - Use of the sterile insect technique against *Aedes albopictus* in Italy: First results of a pilot trial. *In* : Area-wide control of insect pests: From research to field implementation. Vreysen M.J.B., Robinson A.S. & Hendrichs J. (Ed.), Springer, Dordrecht, The Netherlands (*sous presse*).
- Chavasse D.C. & Yap H.H. - Chemical methods for the control of vectors and pests of public health importance, 129 pages. WHO/CTD/WHOPES/97.2, Ed. World Health Organization, Geneva, 1997.
- Delécolle J.C. & Schaffner F. - Chap. 10 : Vecteurs des arboviroses. *In* : Principales maladies infectieuses et parasitaires du bétail, Europe et régions chaudes. Lefèvre P.-C., Blancou J. & Chermette R. (Ed.), Ed. Tec & Doc, Ed. Med. int., Paris, 2003, vol 1, 123-138.
- F.A.O. - Ticks and tick-borne disease control. A practical field manual, 621 pages. Ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1984.
- Helinski M., Hassan M., El-Motasim W., Malcolm C., Knols B.G.J. & El-Sayed B. - Towards a sterile insect technique field release of *Anopheles arabiensis* mosquitoes in Sudan: Irradiation, transportation, and field cage experimentation. *Malar. J.*, 2008, **7** (65), doi:10.1186/1475-2875-7-65.
- Jones K.E., Patel N.G. & Levy M.A., Storeygard A., Balk D., Gittleman J. L. & Daszak P. - Global trends in emerging infectious diseases. *Nature*, 2008, **451**, 990-993.
- Kim Phuc H., Andreasen M., Burton R.S., Vass C., Epton M.J., Pape G., Fu G., Condon K.C., Scaife S., Donnelly C.A., Coleman P.G., White-Cooper H. & Alphey L. - Late-acting dominant lethal genetic systems and mosquito control. *BMC Biology*, 2007, **5** (11), doi : 10.1186/1741-7007-5-11.
- Rodhain F. & Perez C. - Précis d'entomologie médicale et vétérinaire, 458 pages. Ed. Maloine, Paris, 1985.

Rozendaal, Jan A. - Vector control: methods for use by individuals and communities, 412 pages. Ed. World Health Organization, Geneva, 1997.

Schaffner F. - The mosquitoes and the community, 28 pages. Série Local authorities, health and environment briefing pamphlets, 39. Ed. W.H.O. regional Office for Europe, Copenhagen, 2003.

Townson H., Nathan M. B., Zaim M., Guillet P., Manga L., Bos R. & Kindhauser M. - Exploiting the potential of vector control for disease prevention. *Bull. World Health Organ.*, 2005, **83** (12), 942-947.

W.H.O. - Operational manual on the application of insecticides for control of the mosquito vectors of malaria and other diseases, 198 pages. WHO/CTD/VBC/96.1000, Ed. World Health Organization, Geneva, 1996.

