

Entomologie

Les cinq piliers de la protection familiale et personnelle de l'homme contre les moustiques vecteurs d'agents pathogènes

The Five Pillars of Family and Individual Protection against Mosquitoes, Vectors of Pathogenic Agents

Carnevale P.¹, Trari B.², Izri A.³, Manguin S.⁴

¹ Institut de recherche pour le développement (IRD), Montpellier, France

² Unité de recherche et développement, Institut de formation aux carrières de santé, Rabat, Maroc

³ Hôpital Avicenne, université Paris 13, Bobigny, France

⁴ Institut de recherche pour le développement, Laboratoire d'immuno-physiopathologie moléculaire comparée, UMR-MD3, faculté de pharmacie (UM1), IRD, Montpellier, France

Article accepté le 17/02/2012

Résumé. En l'absence de vaccins efficaces contre les maladies infectieuses à transmission vectorielle (exceptées la fièvre jaune et l'encéphalite japonaise B), la prévention contre ces affections repose essentiellement sur la protection contre les piqûres (« entomoprophylaxie ») et sur la chimioprophylaxie, laquelle est néanmoins souvent limitée, voire absente. Ces deux moyens sont mis en échec par le développement de résistances, d'une part chez les insectes vecteurs, vis-à-vis des insecticides disponibles, et d'autre part chez les pathogènes, vis-à-vis des médicaments habituels – comme c'est le cas avec *Plasmodium falciparum*. Il faut donc généralement associer plusieurs méthodes, d'application simple, pour réduire autant que possible les risques de piqûres et d'inoculation de ces agents pathogènes.

Mots clés : maladies infectieuses à transmission vectorielle, vecteurs, prévention, protection personnelle et familiale, répulsifs.

Correspondance : Carnevale P

<pjcarnevale2001@yahoo.fr>

Abstract. Except for yellow fever and encephalitis B, effective vaccines remain unavailable against most infectious diseases, and prevention is based mainly upon vector control and chemoprophylaxis. The increasing resistance of, respectively, mosquitoes and parasites to insecticides and drugs is thus a matter of great concern. The best approach is to combine chemoprophylaxis and entomoprophylaxis, that is, to use several methods of vector control at different levels to reduce the risk of infection and illness from these infectious diseases.

Key words: vector borne infectious diseases, personal and family protection, repellents.

De très nombreuses maladies humaines (paludisme, fièvre jaune, dengue, Chikungunya, maladie du sommeil, onchocercose, leishmaniose, typhus, peste, etc.) sont dues à des agents pathogènes (protozoaires, filaires, virus, rickettsies, etc.) inoculés ou déposés sur la peau par des arthropodes vecteurs biologiques.

Or, à ce jour, à l'exception de quelques virus – ceux de la fièvre jaune et de l'encéphalite japonaise B (transmis respectivement par les moustiques *Aedes aegypti* et *Culex tritaeniorhynchus*), le virus de la Rift Valley [63] et le virus des encéphalites à tiques (*tick-borne encephalitis* = flavivirus) –, il

n'existe pas de vaccin opérationnel, ni de chimioprophylaxie spécifique contre les virus, les filaires ni les rickettsies.

Malgré d'intéressantes avancées ces dernières années, il n'y a ainsi toujours pas de vaccin opérationnel contre le paludisme, et la prophylaxie est devenue très complexe. En effet, tant que la chloroquine était efficace, une prophylaxie de modalités simples et au coût modeste pouvait être utilisée à échelle personnelle et familiale. Malheureusement, avec le développement des résistances, la chimioprophylaxie (comme la thérapie) doit désormais faire appel à des combinaisons de molécules d'emploi parfois difficile et souvent très onéreuses. En outre,

certains produits peuvent n'être utilisables en prophylaxie que pendant une période limitée (trois mois) ou avoir des effets secondaires sérieux.

Dans ces conditions, la première, et souvent la seule méthode de prévention de la maladie est la protection contre les piqûres des vecteurs. Si l'on s'intéresse uniquement aux piqûres de moustiques [1], et se restreignant au cadre familial ou individuel, on peut, dans une approche didactique, identifier cinq domaines principaux d'attitudes à adopter et d'actions à entreprendre, en considérant que les structurations de l'espace d'habitation (intérieur-extérieur) sont variables selon les conditions sociales, culturelles, économiques, mais que les principes de base restent les mêmes :

- autour de la maison,
- dans la maison,
- dans la chambre à coucher,
- sur l'unité de couchage,
- sur soi.

Autour de la maison

Pour obtenir une action au niveau collectif, il faut, systématiquement et régulièrement, éliminer toute eau stagnante, susceptible de constituer un site propice au développement préimaginal des moustiques (*source reduction*), c'est-à-dire les gîtes domestiques et péri-domestiques naturels et anthropiques.

Les coupelles placées sous les pots de fleurs, où de l'eau reste souvent, sont ainsi de remarquables gîtes à *Aedes aegypti* ou *Ae. albopictus*. Les vieux pneus abandonnés, les jarres pour la conservation de l'eau à usage domestique, les bacs de recueil d'eau de pluie, ou les retenues d'eau de monument, les boîtes de conserves vides sont des habitats anthropiques favorables aux larves d'*Ae. aegypti*, (ou *Ae. albopictus*) et s'ajoutent aux gîtes naturels, comme les noix de coco vides (*figure 1*), les coquilles d'achatines ou autres coquillages qu'il est possible et facile d'éliminer mécaniquement.

Les citernes construites près des maisons pour garder l'eau de pluie peuvent voir se développer les *Anopheles gambiae* en Afrique et les *An. minimus* en Asie du Sud-Est. Des larves d'anophèles et d'aedes ont aussi pu être récoltées dans des patios en Indonésie, et des larves d'*An. listeri* dans les eaux stagnantes autour de maisons à Lobito (Angola). Les flaques d'eau stagnante dans les rues (*figure 2*) ou les trous d'emprunt de terre pour fabriquer les briques peuvent aussi constituer des sites propices à *An. gambiae*, et il suffirait de les reboucher pour éliminer le gîte !

Les caniveaux bouchés, où stagne une eau riche en matières organiques, sont particulièrement accueillants pour *Culex quinquefasciatus*, qui prolifère ainsi en zones urbaines (*figure 3*). Leur élimination repose sur des travaux généraux d'hygiène urbaine, mais, dans certaines villes, les autorités sanitaires distribuent des sachets de larvicide aux habitants afin que ceux-ci réalisent des opérations de lutte antilarvaire dans les caniveaux et autres gîtes péri-domestiques, chez eux et dans leur voisinage immédiat.

Les spirales insecticides peuvent être très utiles, le soir, à l'extérieur, mais il faut vérifier la formulation [2], et bien choisir la marque : certaines sont interdites, en raison de leur composition [3]. Elles ont en outre un effet irritant sur les



Figure 1. Noix de coco vides : gîtes naturels favorables à *Aedes aegypti*.
Figure 1. Empty coconut shells: natural breeding sites favorable to *Aedes aegypti*.

muqueuses, dû à certains produits résultant de leur combustion (*cf. annexe 1*). L'emploi de ces spirales n'est pas considéré comme ayant un effet protecteur contre le paludisme [4], et certains de ces produits se sont avérés tout à fait inefficaces contre le vecteur majeur du paludisme en Afrique, *Anopheles gambiae* [5].



Figure 2. Flaques d'eau temporaires ensoleillées, dans la rue, en face d'une unité d'habitation, gîtes positifs en larves d'*Anopheles gambiae* (Guinée).
Figure 2. Puddles in the sun, along the road, across from a home, positive sites for *Anopheles gambiae* larvae (Guinea).



Figure 3. Caniveaux bouchés, en zone urbaine : gîte très positif en larves de *Culex quinquefasciatus*.

Figure 3. Clogged gutters, in an urban area, containing a high number of *Culex quinquefasciatus* larvae.

Il existe par ailleurs différents modèles de pièges à moustiques : les insectes y sont attirés par la lumière (et tués par les fils électriques) ou un attractif chimique (pièges à CO₂).

La pose de bâches de plastique imprégnées de deltaméthrine sur les murs, dans les zones sombres (garage ouvert sur l'extérieur, par exemple), a permis de réduire fortement la densité en *Ae. aegypti* et *Ae. polynesiensis* à Papeete (Séchan, données non publiées).

La protection contre les anophèles (et autres moustiques) exophages (qui piquent à l'extérieur des habitations) et exophiles (qui restent à l'extérieur des habitations après le repas de sang) repose surtout sur la protection personnelle, laquelle est basée sur deux méthodes simples et classiques :
 – utilisation de répulsifs sur la peau (cf. *infra*),
 – port de vêtements longs et amples (manches longues et pantalons) imprégnés de répulsif ou de perméthrine [6].
 Les opérations de pulvérisations spatiales à différentes échelles, autour des maisons ou dans les jardins, peuvent avoir une certaine efficacité, mais elles nécessitent une technicité certaine. Sont utilisés à cette fin des produits n'ayant que peu ou pas d'effets sur le reste de la faune, mais présentant une grande efficacité contre les moustiques concernés (avec des problèmes de résistance, très délicats à gérer), et une rémanence faible.

Elles doivent donc être répétées régulièrement, à une fréquence fonction de la situation épidémiologique et sociologique. Elles ont néanmoins, souvent, un effet d'ordre plus psychologique (au niveau de la population humaine) qu'entomologique.

Dans la maison

La protection est d'ordre physique et chimique.

De façon schématique, il faut :

- empêcher les moustiques de rentrer en construisant les habitations à distance des gîtes [7, 8], et en les équipant de grillages-moustiquaires aux fenêtres [9] (qui peuvent être traités avec un pyrèthrinéoïde), de rideaux imprégnés de pyrèthrinéoïde devant les portes et autres ouvertures [10, 11], etc.,
- tuer les moustiques qui seraient entrés, par :
 - le traitement des murs avec une peinture insecticide [12, 13], leur aspersion régulière avec des insecticides rémanents (des produits, formulations, dosages respectant des normes précises) [14] ou la pose de matériaux plastiques imprégnés d'insecticide (*durable wall lining*) à longue durée d'action,
 - des aspersions spatiales avec des « bombes domestiques »,
 - des appareils « mécaniques » (*figure 4*) diffusant des bioalléthérines [15] qui ont un effet *knock-down* (KD) intéressant, mais une rémanence faible, obligeant à les renouveler régulièrement pour assurer une pièce sans moustique,
 - des pièges à moustiques, comme les classiques appareils à grille électrique et les lampes à UV. De façon anecdotique, on peut citer les « raquettes antimoustiques » à piles, associant les effets mécanique et « électrique »... à condition de bien viser (*figure 5*). Il en existe de nombreux modèles, le choix est fonction de la dextérité de l'utilisateur !
 - des plaquettes ou flacons insecticides qui diffusent le produit (alléthrine ou autres) de façon régulière. Leur efficacité est réelle, mais dépend du volume de la pièce. Une étude, au Cameroun, a montré que l'emploi des plaquettes chauffées pouvait réduire de 90 % le taux de piqûre d'anophèles dans des maisons traditionnelles [16].



Figure 4. Un « sprayer » classique, généralement remplacé par les « bombes insecticides à usage domestique ».

Figure 4. Standard sprayers, generally replaced today by bug bombs for domestic use.



Figure 5. La raquette électrique antimoustiques : pour sportifs avérés...
Figure 5. Battery-powered mosquito rackets: for athletes only.

Considérant les effets irritants des serpentins sur les muqueuses, il est déconseillé d'en faire brûler dans les maisons, et leur usage ne doit s'envisager que dans des situations particulières (zone rurale sans électricité et forte densité de moustiques par exemple), et de façon très temporaire.

Dans certaines conditions économiques, on peut mettre à profit la climatisation, mais il faut savoir que le froid ne tue pas les moustiques : tout au plus peut-il les sidérer, de sorte que l'arrêt de la climatisation (coupures de courant, fréquentes dans certaines zones) entraîne la reprise de l'activité des moustiques.

Il faut bien noter que cette débauche d'insecticide – et donc la multiplication des contacts moustique/insecticide – favorise l'émergence de résistances. Il semble, de ce fait, préférable de favoriser les moyens physiques et mécaniques : climatisation ou ventilateur, par exemple. Ces procédés neutralisent les moustiques, et ne les tuent pas ; ils ont donc vocation à assurer une prophylaxie « de touriste » (séjour bref en chambre d'hôtel par exemple). Il faut en effet distinguer les personnes qui vivent en permanence dans ces pays, et ne peuvent mettre en œuvre en continu tous ces moyens, et les voyageurs qui ne font que « passer », et qui pourront, eux, se permettre l'utilisation de moyens importants.

Dans la chambre à coucher

La protection est, là encore, d'ordre physique et chimique. Ces deux modalités agiront en synergie dans le cas des mousti-

quaires imprégnées – qui doivent être correctement bordées et recouvrir toutes les unités de couchage de la maison. Dans les grandes opérations de santé publique menées depuis quelques années dans la lutte contre le paludisme, seuls les pyréthri-noïdes sont utilisés pour imprégner les moustiquaires. Des essais d'imprégnation avec des répulsifs, des insecticides organo-phosphorés ou encore des mélanges sont en cours, en vue d'assurer une meilleure efficacité de ces moustiquaires vis-à-vis des insectes résistants ; ces dispositifs ne sont pas encore au stade opérationnel.

La protection de la chambre peut être obtenue par :

- des grillages-moustiquaires (imprégnés) aux fenêtres,
- le traitement des murs avec un insecticide rémanent (formulation particulière recommandée par l'OMS) ou une peinture insecticide ou encore, dans certaines situations, la pose de matériaux de type *insecticide treated plastic sheeting* (bâche plastique imprégnée de deltaméthrine) à longue durée d'action (on envisage 5 ans),
- la diffusion d'insecticide à partir de plaquettes mises sur un dispositif chauffant (« mats »), [15-18]. À côté des plaquettes, d'une durée limitée (une nuit généralement), ont été également proposés des dispositifs plus élaborés, comprenant des flacons contenant l'insecticide sous forme liquide et permettant d'assurer une diffusion pendant un mois. Il est évident que si une panne d'électricité survient pendant la nuit, l'appareil cesse de fonctionner et la protection disparaît progressivement. Attention : les plaques chauffantes peuvent atteindre 140 à 190 °C ! Il est déconseillé de placer de tels diffuseurs d'insecticides à proximité des nourrissons ou des enfants. Attention encore : une étude de *Que Choisir* déconseille de laisser branchés en continu ces diffuseurs électriques d'insecticide [61].

Les aspersions spatiales d'insecticides (généralement une d-alléthrine, associée à un ou plusieurs autres produits pour en augmenter la rémanence), à l'aide de bombes à usage domestique ou d'appareils « mécaniques », sont efficaces (avec un effet KD prononcé) mais la faible rémanence ne permet souvent pas d'envisager une protection pour toute la nuit. Des réactions allergiques ont été décrites, et il faudra se méfier des produits mal identifiés aux formulations inconnues, et choisir de préférence des produits reconnus.

Les associations de différentes méthodes sont fréquentes : diffusion d'insecticides par bombe insecticide 1 h avant le coucher + plaquettes + moustiquaires imprégnées, pour assurer la meilleure protection possible.

Sur l'unité de couchage

La moustiquaire telle qu'utilisée depuis des siècles a vu son efficacité augmentée grâce à son imprégnation avec un insecticide pyréthri-noïde comme la perméthrine, la deltaméthrine, la lambda-cyhalothrine, l'alpha-cyperméthrine, etc.

Ces produits ont plusieurs présentations commerciales (formulations, concentrations) et leur usage a été facilité par la mise à disposition de kits ou de comprimés monodoses qu'il suffit de dissoudre dans un demi-litre d'eau pour avoir un volume suffisant pour imprégner une moustiquaire.

La durée d'efficacité de ces moustiquaires imprégnées manuellement est de 6 à 8 mois. Il est désormais possible de se procurer des moustiquaires imprégnées industriellement

avec le produit, sur ou dans la fibre (en polyester ou en polyéthylène), et dont la durée d'efficacité est de plusieurs années (3 à 5 ans, voire davantage). Huit modèles de ces moustiquaires, dites *long lasting*, sont recommandés par l'OMS (cf. *annexe 2*). De nombreux essais et études sont en cours pour améliorer l'efficacité de ces moustiquaires imprégnées vis-à-vis des moustiques et vecteurs résistants avec, par exemple, l'ajout d'un produit synergisant comme le butoxyde de pipéronyl sur la partie supérieure de la moustiquaire.

En cas de nécessité, et en l'absence d'insecticides adaptés, les moustiquaires peuvent aussi être imprégnées de répulsifs comme le DEET [19] ou l'IR 35-35 [20], mais la durée d'efficacité sera réduite, et ne sera aucunement comparable à celle obtenue avec les pyréthrinoides.

Même non imprégnée, mais correctement utilisée, la moustiquaire « simple » est un moyen facile et efficace de protection contre les piqûres et autres nuisances, notamment pour les bébés (figure 6).

Sur soi

Il existe une gamme importante de répulsifs à appliquer sur la peau [21-27].

Les répulsifs dits « naturels », à base de plantes [28-30]

- Citronella.
- Huile de Ceylan (citronellal à 20 %).
- Huile de Java (citronellal à 40 %).
- Différentes plantes (basilic, géranium, lavande...).
- Neem (*Azadirachta indica*) qui a fait l'objet de très nombreux travaux et présentations : lampe à huile de neem, décoction, crème, plaquettes à chauffer, etc.
- Qwenling : huile d'*Eucalyptus maculata citriodon* (trouvé dans le commerce sous le nom de Mosigard®).

À l'exception du citriodiol, la durée d'efficacité des répulsifs à base de plantes est généralement faible (< 1 h) [31], et il existe des risques de réactions cutanées (eczémas).



Figure 6. La moustiquaire : une méthode simple et efficace de protection des bébés (Niger).

Figure 6. Mosquito nettings: a simple effective method to protect babies (Niger).

Les répulsifs intégrant des produits de synthèse

Ce sont, par exemple, le DEET, le 35/35-N-butyl-N-acétyl-3,éthylaminopropionate ou l'icaridine (KBR 3023) [32, 33], qui pourraient permettre, en pièces closes non ventilées et en l'absence de sudation excessive, des protections de l'ordre de 8 h [34], mais on admet en réalité que les durées de protection complète (DPC) sont de l'ordre de 4 h.

Dans le cadre de la protection personnelle contre les piqûres d'*Ae. albopictus*, lors de l'épidémie de Chikungunya survenue sur l'Île de la Réunion et dans d'autres îles de l'océan Indien, les produits et formulations commercialisés en France ont fait l'objet d'une double analyse, s'attachant à la fois à l'efficacité entomologique et à l'absence de toxicité, par le groupe d'experts en biocides de l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (Afsaps). Ces études ont conduit aux recommandations suivantes [64].

Enfants de 30 mois à 12 ans

- Citriodiol : 30-50 % (sauf cas d'antécédents de convulsions).
- IR 35/35 : 20-35 % (peut être appliqué sur la femme enceinte).
- DEET : 20-35 % (sauf antécédents de convulsions ; pas chez la femme enceinte).
- KBR 3023 : 20-30 % (mais pas d'utilisation en continu de plus d'un mois).

Enfants de plus de 12 ans

Les mêmes substances que la catégorie précédente aux mêmes concentrations, avec les mêmes contre-indications.

Pour le DEET, la concentration peut atteindre 50 %.

Précautions d'emploi

L'utilisation des répulsifs nécessite certaines précautions [35, 36] qui sont :

- pas plus de 3 applications/jour pour les adultes, moins souvent pour les enfants ;
- éviter le contact avec les yeux ;
- ne pas appliquer sur les muqueuses ou sur des lésions cutanées étendues ;
- ne pas appliquer en cas d'antécédents d'allergie cutanée ;
- ne pas appliquer sur les mains et le visage des jeunes enfants.

De plus :

- Pour le KBR 3023, limiter l'utilisation continue à un mois,
- pour le citriodiol et le DEET, ne pas utiliser en cas d'antécédents de convulsions,
- pour le DEET, éviter les contacts avec les plastiques, vernis, verres de montres et lunettes.

Le DEET peut aussi diminuer l'efficacité des crèmes solaires (d'environ 1/3).

Le DEET est connu et utilisé depuis des décennies (commercialisation dès 1956) ; de façon générale sa non-toxicité est admise, mais de graves problèmes liés à son emploi ont été signalés [37-42]. Des précautions sont à prendre chez les femmes enceintes [43, 44] et les jeunes enfants, avec des modalités différentes de protection selon l'âge [45, 46] (*annexe 3*). Des dermatites ont aussi été notées avec d'autres produits [47].

Il paraît évident qu'il ne faut pas appliquer du répulsif sur la peau ou le pyjama avant de se coucher (surtout sous moustiquaire imprégnée !); cette attitude a pourtant été signalée.

Par ailleurs, il est possible de recommander de porter des vêtements amples, longs et couvrants, de préférence imprégnés de répulsif ou de perméthrine [48, 6], voire de répulsif KBR 3023 (icaridine) ou d'insecticide organophosphoré [49]. Ceci est recommandé dans des conditions spéciales d'exposition. La meilleure protection est assurée par le port de vêtements imprégnés (perméthrine) associé à un répulsif sur la peau non recouverte par le tissu [50]. Attention, le vêtement « long » n'est pas protecteur en lui-même : un moustique peut parfaitement piquer à travers un « jean » (ou autre tissu comparable) collant à la peau. L'important est que le vêtement soit ample – de sorte que le moustique ne puisse atteindre l'épiderme – et de couleur claire (*Ae. aegypti* aime les vêtements de couleurs sombres = camouflage).

Pour mémoire, il faut signaler l'inefficacité des procédés dits « électroniques » censés éloigner les moustiques en émettant différentes ondes [51]; une étude récente [52] a montré que certains de ces appareils (émettant à 11,8 kHz) pouvaient même augmenter le taux de piqûres par *Ae. aegypti* !

Conclusions

Pour des raisons écologiques, il n'est pas souhaitable d'éliminer tous les moustiques, qui ont leur place dans la chaîne trophique [54], et, pour des raisons opérationnelles, cela n'est certainement pas possible. Ces piqueurs peuvent vivre dans pratiquement tous les milieux, survivre à des conditions climatiques rigoureuses et ont un potentiel d'adaptabilité élevé [55].

Dans ces conditions, il faut accepter de « vivre avec eux » [54], mais pas de « mourir à cause d'eux », c'est-à-dire d'être piqué et infecté par un des agents pathogènes qu'ils peuvent transmettre.

La protection contre les moustiques est la première méthode de prévention contre la maladie; la chimioprophylaxie sera la « deuxième ligne de défense », intervenant lorsque la piqûre a eu lieu et que l'agent pathogène est déjà inoculé : le médicament ingéré permettra l'arrêt de son développement et son élimination du corps humain.

Historiquement, les populations humaines ont bien compris qu'elles pouvaient contracter des maladies en vivant dans certaines zones (*agues* avec le mauvais air ou « malaria » en régions marécageuses ou bambouseraies) ou à certaines périodes (par exemple, en Afrique de l'Ouest, la période des mangues serait propice aux fièvres pendant la petite saison des pluies au milieu de la grande saison sèche, ou la fièvre estivo-automnale en Europe). Cette connaissance, empirique, n'était assise sur aucune connaissance de l'étiologie de ces maladies, et aucune relation particulière n'était établie avec les moustiques – lesquels, néanmoins, étaient et sont toujours considérés comme d'importantes nuisances, dont il faut se protéger.

Si l'on considère que la protection personnelle est maximisée par l'emploi de plusieurs mesures [53] physiques (vêtement, moustiquaire) et chimiques (répulsifs, insecticides), il est clair qu'il existe actuellement de nombreuses méthodes

permettant, par leur association, une protection quasi complète contre les piqûres de vecteurs et assurant donc une prévention vis-à-vis de plusieurs maladies sévissant aussi bien en zones tempérées (maladie de Lyme, West-Nile, etc.) [62] que tropicales (paludisme, dengue, etc.). Cette attitude doit s'accompagner d'un aménagement de l'environnement avec des méthodes simples et adaptées, en évitant de créer des gîtes favorables aux moustiques.

Les méthodes d'évitement ont été, et sont toujours nombreuses; en Afrique de l'Ouest, les gens ont déserté les vallées où ils étaient fortement piqués (par les simulies) et où les adultes devenaient aveugles. De façon générale, la fumée est considérée comme une bonne méthode pour se protéger des moustiques (et des grands animaux d'ailleurs), et le principe est toujours appliqué dans de nombreuses régions rurales, où l'on fait brûler, à l'intérieur des habitations, certaines herbes ou autres produits organiques dégageant une forte fumée [56].

Actuellement, nous disposons de connaissances assez précises sur la biologie, l'écologie (notamment des stades préimaginaux aquatiques) et l'éthologie (comportement de piqûres, préférences trophiques, etc.) des principaux vecteurs pour élaborer et réaliser des opérations de lutte générale (modifications des environnements) et spécifiques efficaces et bien ciblées (choix des produits, des périodes, des sites à traiter, etc.). Pourtant, des épidémies éclatent régulièrement, et les épisodes récents de Chikungunya, sur l'Île de la Réunion et sur d'autres îles de l'océan Indien, en Inde et à Brazzaville récemment, de dengue en Martinique, à Tahiti et à Cayenne (Guyane), et même de fièvre jaune (Côte d'Ivoire, Burkina Faso), et ce malgré la disponibilité du vaccin, démontrent tout l'intérêt d'une protection personnelle et familiale, intégrant plusieurs méthodes, associée aux différentes opérations de lutte antivectorielle menées par les autorités.

En effet, la protection personnelle et familiale doit se concevoir comme un ensemble de mesures simples visant à limiter, voire éliminer les sources de moustiques dans les environnements immédiats du lieu d'habitation (qu'il soit temporaire ou permanent), mais aussi à dresser tout un système de barrières, physiques et chimiques, réduisant, à chaque niveau, le risque que les moustiques atteignent les sujets humains et ingèrent et/ou inoculent les agents pathogènes.

Ces méthodes peuvent être utilisées dans la journée (répulsifs sur la peau, vêtements imprégnés, etc.) contre les vecteurs diurnes ou éocrépusculaires comme les *Aedes*, ou la nuit (moustiquaires imprégnées) contre les vecteurs nocturnes endophages (comme certaines espèces d'*Anopheles* vecteurs majeurs en Afrique sud-saharienne) et doivent associer la maison (traitements des murs, fermeture des fenêtres etc.) et les habitants eux-mêmes.

Le choix des méthodes dépend des circonstances et des risques, en considérant que même si les insecticides et insectifuges ont une certaine toxicité [57, 58], leur effet, dans le respect de leurs conditions d'utilisation, sera moins dangereux que les maladies infectieuses transmises par les vecteurs considérés. Si certaines de ces maladies ne sont relativement pas graves, d'autres, comme le paludisme ou la dengue hémorragique, sont potentiellement mortelles.

L'existence de tout un arsenal de mesures simples et efficaces à mettre en œuvre de façon coordonnée doit permettre de se protéger contre les moustiques nuisants et les moustiques vecteurs d'agents pathogènes. Leur expansion actuelle, bien démontrée par celle d'*Ae. albopictus*, peut être liée à l'accroissement des échanges (de biens et de populations) et considérée comme un des signes de la mondialisation [55], de sorte que la médecine tropicale deviendrait l'une des composantes de la médecine générale des zones tempérées, comme le montre la récente épidémie de Chikungunya en Italie [59] et les premiers cas autochtones de dengue et de Chikungunya dans le sud de la France en 2010 [60]. L'absence de traitement spécifique de ces arboviroses confirme la nécessité d'une prévention basée sur une protection générale, personnelle et familiale, contre les vecteurs, intégrant plusieurs méthodes coordonnées, menées par les populations et les pouvoirs publics.

Conflit d'intérêt : aucun.

Références

- Holzer RB. Protection against biting mosquitoes. *Ther Umsch* 2001 ; 58 : 341-6.
- WHO/CDS/NTD/WHOPES/2009.3 Guidelines for efficacy testing of household insecticide products. Mosquito coils, vaporizer mats, liquid vaporizers, ambient emanators and aerosols.
- Krieger RI, Dinoff TM, Zhang X. Octachlorodipropyl ether (s-2) mosquito coils are inadequately studied for residential use in Asia and illegal in the United States. *Environ Health Perspect* 2003 ; 111 : 1439-42.
- Lawrance CE, Croft AM. Do mosquito coils prevent malaria? A systematic review of trials. *J Travel Med* 2004 ; 11 : 92-6.
- Lukwa N, Chiwade T. Lack of insecticidal effect of mosquito coils containing either metofluthrin or esbiothrin on *Anopheles gambiae* sensu lato mosquitoes. *Trop Biomed* 2008 ; 25 : 191-5.
- Deparis X, Frere B, Lamizana M, et al. Efficacy of permethrin-treated uniforms in combination with DEET topical repellent for protection of French military troops in Côte d'Ivoire. *J Med Entomol* 2004 ; 41 : 914-21.
- Atieli H, Meny D, Githeko A, Scott T. House design modifications reduce indoor resting malaria vector densities in rice irrigation scheme area in western Kenya. *Malar J* 2009 ; 8 : 108.
- Lindsay SW, Jawara M, Paine K, Pinder M, Walraven GE, Emerson PM. Changes in house design reduce exposure to malaria mosquitoes. *Trop Med Int Health* 2003 ; 8 : 512-7.
- Moro ML, Gagliotti C, Silvi G, et al. Chikungunya Study Group. Chikungunya virus in North-Eastern Italy : a seroprevalence survey. *Am J Trop Med Hyg* 2010 ; 82 : 508-11.
- Sexton JD, Ruebush TK 2nd, Brandling-Bennett AD, et al. Permethrin-impregnated curtains and bed-nets prevent malaria in western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 1990 ; 43 : 11-8.
- Beach RF, Ruebush TK 2nd, Sexton JD, et al. Effectiveness of permethrin-impregnated bed nets and curtains for malaria control in a holoendemic area of western Kenya. *Am J Trop Med Hyg* 1993 ; 49 : 290-300.
- Das PK, Tyagi BK, Kalyanasundaram M. Vernacide, a new insecticide impregnated paint for controlling mosquito vector *Culex quinquefasciatus* & cockroach *Periplaneta americana*. *Indian J Med Res* 1986 ; 83 : 268-70.
- Mosqueira B, Chabi J, Chandre F, Akogbeto, et al. Efficacy of an insecticide paint against malaria vectors and nuisance in West Africa - Part 2 : Field evaluation. *Malar J* 2010 ; 25 : 341.
- WHO/CDS/NTD/WHOPES/GCDPP/2007.3 Indoor application of residual sprays, 3rd ed.
- WHO/CDS/CPC/WHOPES/99.1. Safe and effective use of household insecticide products. Guide for the preparation of educational and training materials. Geneva, World Health Organization, 1999.
- Manga L, Robert V, Carnevale P. Effectiveness of coils and mats for protection against malaria vectors in Cameroon. *Cahiers Santé* 1995 ; 5 : 85-8.
- Amalraj DD, Kalyanasundaram M, Das PK. Evaluation of EMD vaporizers and bioallethrin vaporizing mats against mosquito vectors. *Southeast Asian J Trop Med Public Health* 1992 ; 23 : 474-8.
- Amalraj DD, Sivagnaname N, Boopathidoss PS, Das PK. Bioefficacy of mosquito mat, coil and dispenser formulations containing allethrin group of synthetic pyrethroids against mosquito vectors. *J Commun Dis* 1996 ; 28 : 85-93.
- N'guessan R, Knols BG, Pennetier C, Rowland M. DEET microencapsulation : a slow-release formulation enhancing the residual efficacy of bed nets against malaria vectors. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2008 ; 102 : 259-62.
- Faulde MK, Albiez G, Nehring O. Insecticidal, acaricidal and repellent effects of DEET- and IR3535-impregnated bed nets using a novel long-lasting polymer-coating technique. *Parasitol Res* 2010 ; 106 : 957-65.
- Brown M, Hebert AA. Insect repellents : an overview. *J Am Acad Dermatol* 1997 ; 36 : 243-9.
- Combemale P. La prescription des répulsifs. *Med Trop* 2001 ; 61 : 99-103.
- Combemale P, Dupin M. Insect repellents. *J Am Acad Dermatol* 1998 ; 38 : 645.
- Fradin MS, Day JF. Comparative efficacy of insect repellents against mosquito bites. *N Engl J Med* 2002 ; 347 : 13-8.
- Scheinfield N. Picaridin : a new insect repellent. *J Drugs Dermatol* 2004 ; 3 : 59-60.
- Barnard DR. WHO/CDS/WHOPES/GCDPP/2000.5. Repellents and toxicants for personal protection.
- Katz TM, Miller JH, Hebert AA. Insect repellents : historical perspectives and new developments. *J Am Acad Dermatol* 2008 ; 58 : 865-71.
- Tawatsin A, Wratten SD, Scott RR, Thavara U, Techadamrongsin Y. Repellency of volatile oils from plants against three mosquito vectors. *J Vector Ecol* 2001 ; 26 : 76-82.
- Müller GC, Junnila A, Kravchenko VD, Revay EE, Butlers J, Schlein Y. Indoor protection against mosquito and sand fly bites : a comparison between citronella, linalool, and geraniol candles. *J Am Mosq Control Assoc* 2008 ; 24 : 150-3.
- Müller GC, Junnila A, Butler J, et al. Efficacy of the botanical repellents geraniol, linalool, and citronella against mosquitoes. *J Vector Ecol* 2009 ; 34 : 2-8.
- Fradin MS. Mosquitoes and mosquito repellents : a clinician's guide. *Ann Intern Med* 1998 ; 128 : 931-40.
- Brown M, Hebert AA. Insect repellents : an overview. *J Am Acad Dermatol* 1997 ; 36 : 243-9.
- Costantini C, Badolo A, Ilboudo-Sanogo E. Field evaluation of the efficacy and persistence of insect repellents DEET, IR3535, and KBR 3023 against *Anopheles gambiae* complex and other Afrotropical vector mosquitoes. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2004 ; 98 : 644-52.
- Uzzan B, Konate L, Diop A, et al. Efficacy of four insect repellents against mosquito bites : a double-blind randomized placebo-controlled field study in Senegal. *Fundam Clin Pharmacol* 2009 ; 23 : 589-94.
- Goodyer L, Behrens RH. Short report : The safety and toxicity of insect repellents. *Am J Trop Med Hyg* 1998 ; 59 : 323-4.
- Clem JR, Havemann DF, Raebel MA. Insect repellent (N,N-diethyl-m-toluamide) cardiovascular toxicity in an adult. *Ann Pharmacother* 1993 ; 27 : 289-93.
- Osimitz TG, Murphy JV. Neurological effects associated with use of the insect repellent N,N-diethyl-m-toluamide (DEET). *J Toxicol Clin Toxicol* 1997 ; 35 : 435-41.
- Hampers LC, Oker E, Leikin JB. Topical use of DEET insect repellent as a cause of severe encephalopathy in a healthy adult male. *Acad Emerg Med* 1999 ; 6 : 1295-7.
- Briassoulis G, Narlioglou M, Hatzis T. Toxic encephalopathy associated with use of DEET insect repellents : a case analysis of its toxicity in children. *Hum Exp Toxicol* 2001 ; 20 : 8-14.
- Osimitz TG, Murphy JV, Fell LA, Page B. Adverse events associated with the use of insect repellents containing N,N-diethyl-m-toluamide (DEET). *Regul Toxicol Pharmacol* 2010 ; 56 : 93-9.
- Qiu H, Jun HW, McCall JW. Pharmacokinetics, formulation, and safety of insect repellent N,N-diethyl-3-methylbenzamide (deet) : a review. *J Am Mosq Control Assoc* 1998 ; 14 : 12-27.
- Sudakin DL, Trevathan WR. DEET : a review and update of safety and risk in the general population. *J Toxicol Clin Toxicol* 2003 ; 41 : 831-9.
- McGready R, Hamilton KA, Simpson JA, et al. Safety of the insect repellent N,N-diethyl-m-toluamide (DEET) in pregnancy. *Am J Trop Med Hyg* 2001 ; 65 : 285-9.
- Koren G, Matsu D, Bailey B. DEET-based insect repellents : safety implications for children and pregnant and lactating women. *CMAJ* 2003 ; 169 : 209-12.
- Sorge F. Prevention with repellent in children. *Arch Pediatr* 2009 ; 16 : S115-22.

46. Sorge F, Imbert P, Laurent C, *et al.* Protection antivectorielle de l'enfant : insecticides et insectifuges. *Arch Pediat* 2007 ; 14 : 1442-50.
47. Rossi G, Steffens W. Allergic contact dermatitis from Autan spray : methyl glucose dioleate as sensitizing ingredient. *Contact Dermatitis* 2004 ; 50 : 324.
48. Evans SR, Korch Jr GW, Lawson MA. Comparative field evaluation of permethrin and deet-treated military uniforms for personal protection against ticks (Acari). *J Med Entomol* 1990 ; 27 : 829-34.
49. Penetier C, Chabi J, Martin T, *et al.* New protective battle-dress impregnated against mosquito vector bites. *Parasit Vectors* 2010 ; 3 : 81.
50. Young GD, Evans S. Safety and efficacy of DEET and permethrin in the prevention of arthropod attack. *Mil Med* 1998 ; 163 : 324-30.
51. Enayati AA, Hemingway J, Garner P. Electronic mosquito repellents for preventing mosquito bites and malaria infection. *Cochrane Database Syst Rev* 2007 ; CD005434.
52. Andrade CF, Cabrini I. Electronic mosquito repellents induce increased biting rates in *Aedes aegypti* mosquitoes (Diptera : Culicidae). *J Vector Ecol* 2010 ; 35 : 75-8.
53. Rossi I, de Vallière S, Hatz C, Rudin W. Personal protective measures against mosquito and other arthropods bites. *Rev Med Suisse* 2007 ; 3 : 1241-4.
54. Fang J. A World without mosquitoes. *Nature* 2010 ; 466 : 432-4.
55. Manguin S, Boète C. Global impact of mosquito biodiversity, human vector-borne diseases and environmental change. Chapitre 3 *In The importance of biological interactions in the study of biodiversity*, Lopez-Pujol J. (Ed.), 2011, InTech open access Publisher, Rijeka, Croatia, 390 p.
56. Biran A, Smith L, Lines J, Ensink J, Cameron M. Smoke and malaria: are interventions to reduce exposure to indoor air pollution likely to increase exposure to mosquitoes? *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2007 ; 101 : 1065-71.
57. Soderlund DM, Bloomquist JR. Neurotoxic actions of pyrethroid insecticides. *Annu Rev Entomol* 1989 ; 34 : 77-96.
58. Bradberry SM, Cage SA, Proudfoot AT, Vale JA. Poisoning due to pyrethroids. *Toxicol Rev* 2005 ; 24 : 93-106.
59. Angelini P, Macini P, Finarelli AC, *et al.* Chikungunya epidemic outbreak in Emilia-Romagna (Italy) during summer 2007. *Parassitologia* 2008 ; 50 : 97-8.
60. Grandadam M, Caro V, Plumet S, Thiberge JM, *et al.* Chikungunya virus, southeastern France. *Emerg Infect Dis* 2011 ; 17(5):910-3.
61. *Que Choisir* Produits antimoustiques. 2011 juillet-août, n° 494.
62. Niels O, Verhulst, Christopher F, Curtis, Nigel Hill. *Personal protection against European disease vectors. Emerging pests and vector-borne diseases in Europe, Ecology and control of vector-borne diseases* (vol. 1). Wageningen Academic Publishers, 2007.
63. Ikegami T., Makino S. Rift Valley fever vaccines. *Vaccine* 2009; 27 (suppl 4) : 69-72.
64. Recommandations sanitaires pour les voyageurs. *BEH* 13 juin 2006, 23-24.

Annexe 1. Extraits de l'avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) relatif aux risques sanitaires liés à l'exposition aux fumées émises par les spirales anti-moustiques

Saisine Afsset n° 2008/007

Résultats des essais d'émissions

Les essais conduits (deux essais par spirale) ont permis de caractériser de nombreux composés chimiques présents dans les fumées de spirales. Dans les conditions expérimentales mises en œuvre, tous les composés recherchés ont pu être identifiés, à l'exception du dioxyde d'azote, du chlorure de méthylène et du pentachlorophénol :

- Substances actives biocides : d-alléthrine, esbiothrine, transluthrine.
- Particules : en nombre et en concentration massique pour différentes fractions granulométriques.
- Autres gaz : monoxyde d'azote, monoxyde de carbone, dioxyde de carbone.
- COV : benzène, toluène, 2-butanone, butanal, xylène, styrène, phénol et dl-limonène quantifiés, ainsi que plus de 150 COV identifiés par criblage, puis semi-quantifiés.
- Aldéhydes et cétones : formaldéhyde, acétaldéhyde, acétone, acroléine, propionaldéhyde, crotonaldéhyde, butyraldéhyde, benzaldéhyde, isovaléraldéhyde, valéraldéhyde, otolualdéhyde, m+p-tolualdéhyde, hexaldéhyde, 2,5-diméthylbenzaldéhyde.
- HAP : naphthalène, acénaphthène, fluorène, anthracène, phénanthrène, fluoranthène, pyrène, benzo(a)anthracène, chrysène, benzo(a)pyrène, benzo(b+j)fluoranthène,
- benzo(k)fluoranthène, benzo(ghi)pérylène, indeno(1,2,3-cd)pyrène.
- Résidus de pesticides (contaminants secondaires) : chlordane, aldrine, dieldrine, lindane.

L'Afsset déconseille donc l'utilisation de spirales pour un usage de confort en intérieur et recommande la préférence d'autres moyens de protection, notamment les moustiquaires imprégnées d'insecticides.

En extérieur, les alternatives aux spirales sont limitées aux seuls répulsifs cutanés pour lesquels l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (Afsaps) a mené une évaluation.

Annexe 2. Moustiquaires industriellement imprégnées à longue durée d'efficacité recommandées par l'OMS

Nom du produit	Type de produit	Statut de la recommandation OMS
DawaPlus [®] 2.0	Deltaméthrin coated on polyester	Interim
Duranet [®]	Alpha-cyperméthrin incorporated into polyethylene	Interim
Interceptor [®]	Alpha-cyperméthrin coated on polyester	Interim
Netprotect [®]	Deltaméthrin incorporated into polyethylene	Interim
Olyset [®]	Permethrin incorporated into polyethylene	Full
PermaNet [®] 2.0	Deltaméthrin coated on polyester	Full
PermaNet [®] 2.5	Deltaméthrin coated on polyester with strengthened border	Interim
PermaNet [®] 3.0	Combination of deltaméthrin coated on polyester with strengthened border (side panels) and deltaméthrin and PBO incorporated into polyethylene (roof)	Interim

Notes

1. Reports of the WHOPES Working Group Meetings should be consulted for detailed guidance on use and recommendations. These reports are available on the WHO homepage on the Internet at <http://www.who.int/whopes/recommendations/wgm/en/> ; and WHO specifications for public health pesticides are available on the WHO homepage on the Internet at <http://www.who.int/whopes/quality/en/>.

2. WHO recommendations on the use of pesticides in public health are valid **ONLY** if linked to WHO specifications for their quality control.

Annexe 3. Recommandations du Groupe de pédiatrie tropicale pour la protection individuelle contre les maladies graves transmises par les piqûres d'arthropodes (moustiques, tiques...) chez les enfants de moins de 12 ans [46]

Protection sous moustiquaire imprégnée d'insecticide pyréthrianoïde*

Enfant avant l'âge de la marche ou endormi¹.

Enfant non protégé par une moustiquaire

Port de vêtements amples et couvrant le maximum de peau, imprégnés de perméthrine, quel que soit l'âge.

Application d'un insectifuge sur la plus petite surface de peau découverte non lésée hors yeux, lèvres et mains :

- enfant de 6 à 12 mois :
 - citriodiol de 20 à 30 %,
 - ou DEET de 10 à 30 %;
- enfant de 12 à 30 mois :
 - idem + IR 3535 à 20 %,
 - fréquence maximale d'application : 1 fois par jour ;
- enfant de 30 mois à 12 ans :
 - citriodiol 20 à 50 %,
 - ou IR 3535 de 20 à 35 %,
 - ou DEET de 20 à 35 %,
 - ou KBR 3023 de 20 à 30 %,
 - fréquence maximale d'applications 2 fois par jour ;
- enfant de plus de 12 ans :
 - idem, la concentration en DEET peut aller jusqu'à 50 %,
 - fréquence maximale d'applications : 3 fois par jour.

* Même non imprégnée la moustiquaire simple, bien utilisée, sans trous, peut être très efficace pour protéger un bébé.

¹ Par précaution, laver l'enfant pour enlever l'insectifuge résiduel appliqué avant la protection sous moustiquaire imprégnée