

## La lutte antivectorielle dans les armées : une nécessité historique, une adaptation indispensable

Pagès F

Unité d'entomologie médicale, Unité de recherche sur les maladies infectieuses et tropicales émergentes, UMR6236, Institut de recherche biomédicale des armées, Institut de médecine tropicale du Service de santé des armées, Allée du Médecin colonel Jamot, Parc du Pharo, BP60109, 13262 Marseille cedex 07, France.

*Med Trop* 2009 ; **69** : 165-172

**RÉSUMÉ** • De tous temps, les maladies à transmission vectorielle ont influencé le déroulement des conflits et leur issue. De ce fait, les activités de lutte antivectorielle sont indispensables pour maintenir la capacité opérationnelle des forces. Nous présentons ici à partir de l'exemple du paludisme l'actualité de la lutte antivectorielle dans l'armée française : outils disponibles et leurs possibilités d'emploi selon la situation opérationnelle. Cette lutte doit évoluer dans les années à venir en se basant sur des évaluations de terrain du risque vectoriel, en adaptant les moyens mis à disposition des combattants mais aussi en professionnalisant cette lutte par la création de services dédiés au sein des forces.

**MOTS-CLÉS** • Armée. Paludisme. Maladies à transmission vectorielle. Lutte antivectorielle. Guerre.

### VECTOR CONTROL FOR ARMED FORCES: A HISTORICAL REQUIREMENT REQUIRING CONTINUAL ADAPTATION

**ABSTRACT** • From time immemorial vector-borne diseases have decimated the fighting capacity of armies and caused suspension or cancellation of military operations. For this reason vector control strategies have always been a major requirement in ensuring the operational readiness of armed forces. Using malaria as an example, this article provides an update on vector control methods used by the French army in terms of available tools and of their applications in function of the operational situation. In coming years vector control strategies must be modernized not only by assessing vector-borne disease threats in the field and improving resources available to troops but also by professionalizing this service by creating specialized units.

**KEY WORDS** • Army. Malaria. Vector-borne diseases. Vector control. War.

### Maladies infectieuses et armées en opération

Depuis la nuit des temps, les épidémies ont accompagné les guerres annihilant les forces des belligérants, suspendant les combats ou décidant de leur issue et se diffusant ensuite dans les populations des états belligérants et de leurs voisins. En 1566, Maximilien II d'Autriche abandonna son projet de reconquête de la Hongrie avant même le début des hostilités; son armée fraîchement levée de 80 000 hommes ayant été décimée par le typhus (1). A Valmy, l'épidémie de dysenterie bacillaire parmi les troupes prussiennes fut un élément déterminant de l'issue de la bataille (2). En février 1802, fut lancée l'expédition de Saint Domingue contre la toute jeune république d'Haïti. Militairement, le succès fut rapidement assuré mais en 3 mois la fièvre jaune avait tué la moitié des 30 000 hommes du premier corps expéditionnaire et en novembre 1803, après qu'elle ait emporté la presque totalité des 50 000 hommes finalement engagés, saint Domingue fut perdue (1). Jusqu'à la première guerre mondiale, les maladies infectieuses plus que les combats ont été la principale cause de morbidité et de mortalité tant pour les soldats que pour les populations civiles (3). Depuis, du fait de l'augmentation du pouvoir vulnérant des armements d'une part et des progrès de l'hygiène militaire, de la prévention et du traitement des maladies infectieuses (vaccinations, chimioprophylaxie, antibiothérapie, lutte antivectorielle etc.) d'autre part, l'incidence de ces dernières ne cesse de diminuer en population militaire comme en population civile. Néanmoins dans les pays en développement, théâtres actuels d'interventions de nombreuses armées occidentales, les maladies infectieuses représentent toujours une menace pour la vie des hommes et la capacité opérationnelle des unités. De plus, l'histoire des guerres nous apprend qu'elles sont l'occasion de l'émergence ou

de la ré-émergence de nombreuses pathologies (4). En effet, la pénétration de soldats dans des niches écologiques habituellement peu fréquentées par l'homme, la destruction des maisons, des abris des réservoirs animaux, les mouvements de population, la destruction des infrastructures, la prolifération des animaux sauvages tout cela concourt à favoriser l'émergence ou la ré-émergence de pathologies infectieuses (3-8). Parmi toutes ces maladies infectieuses, Prinzling en a distingué onze et les a nommées fléaux de guerre (« War pestilences ») pour leur propension à survenir de manière récurrente au cours des siècles lors des conflits armés (9). Parmi ces onze maladies, cinq sont des maladies à transmission vectorielle : peste, fièvre jaune, paludisme, typhus exanthématique et fièvre récurrente à poux. Durant la deuxième guerre mondiale, les maladies à transmission vectorielle ont été une menace permanente pour la capacité opérationnelle de l'ensemble des belligérants (10). Actuellement la plupart des conflits impliquant les armées occidentales, se produisent outre mer augmentant le risque de maladies à transmission vectorielle pour les soldats et les populations déplacées. Au cours des siècles, vecteurs et pathologies se sont succédés mais les maladies à transmission vectorielle restent toujours d'actualité pour les armées en opération, les obligeants à adapter en permanence leurs moyens de protection.

### Paludisme et armées, une vieille histoire toujours d'actualité

Dès les premiers siècles, les armées romaines amenaient leurs adversaires à traverser ou faire halte dans les plaines inondées pour les exposer aux fièvres des marais et les affaiblir avant les combats. Lors des guerres napoléoniennes, la prise de l'île de Walcheren en Hollande par les Britanniques fut aisée, mais cette expédition fut un désastre sur le plan sanitaire : sur les 15 000 soldats engagés,

• Correspondance : entomo@wanadoo.fr

10 000 furent impaludées et 4 000 en moururent (1, 3). A partir du XIX<sup>e</sup> siècle, la quinine est isolée à partir de l'écorce de quinquina et dès la guerre de sécession aux Etats-Unis (1861-1865), une prophylaxie par quinine est prescrite aux unités servant dans des zones insalubres. Pendant l'expédition française de Madagascar de 1895, la prophylaxie par quinine sera mal prescrite et peu suivie. Sur 21 600 hommes débarqués, 5 756 resteront en terre malgache dont seulement 25 tués au combat et 5 731 morts essentiellement de paludisme (11). En 1860, Alphonse Laveran médecin militaire français avait découvert l'agent du paludisme tandis qu'en 1897 Ronald Ross médecin militaire britannique mettait en évidence le rôle des moustiques dans la transmission du paludisme et qu'en 1899, les Italiens Grassi, Bignami et Bastianelli prouvaient la transmission par les anophèles. Grâce à ces avancées, la lutte contre les fièvres passa de la période empirique à la période naturaliste où les hommes cherchèrent à se protéger des moustiques vecteurs de maladies en détruisant leurs gîtes de ponte (par l'assainissement, le drainage des marais et des collections d'eau, l'utilisation de produits larvicides tels que le vert de paris et le fuel), de repos et en supprimant le contact avec les adultes (en leur interdisant l'accès des maisons par des moustiquaires ou par des insecticides naturels tels le pyrèthre avant l'invention des insecticides de synthèse). Malgré ces connaissances, lors de la Première Guerre mondiale sur le théâtre des Dardanelles, le paludisme bloqua pendant 3 années tout offensive des forces britanniques, françaises ou germaniques (12, 13). En dépit d'une chimioprophylaxie et de moyens de protection efficaces à sa disposition, l'armée d'orient subit 60 000 cas de paludisme et dut rapatrier 20 000 hommes. Durant la deuxième guerre mondiale, le paludisme aura été la première cause de maladies et d'indisponibilités en milieu tropical mais aussi sur le bassin méditerranéen où la survenue d'épidémies sera une menace permanente pour le succès des armes (14). Sur le théâtre pacifique, lors de la bataille perdue des philippines, les soldats américains combattaient à la fois les forces japonaises et le paludisme. Dans les derniers jours de combat, près de 700 hommes par jour soit l'équivalent d'un bataillon, étaient hospitalisés pour paludisme. A la fin des combats, 24 000 soldats américains et 12 000 soldats japonais souffraient de paludisme. Dans le pacifique sud, le paludisme causa au total cinq fois plus d'indisponibilité que les combats (14, 15). Durant la campagne de Sicile en 1944, les hospitalisations pour paludisme furent aussi supérieures à celles dues aux combats. La victoire fut possible car dès 1940 les Etats Unis d'Amérique conscients de leur probable engagement dans le conflit et ayant retenu les leçons des conflits précédents en matière de maladies à transmission vectorielle (guerre américano-espagnole du panama et première guerre mondiale), se préparèrent à la guerre mais aussi au contrôle des maladies à transmission vectorielle et du paludisme. Ainsi, les forces armées américaines créèrent un nouveau service de médecine préventive comprenant un département « lutte antipaludique » et un département « contrôle des insectes et des rongeurs ». Ils améliorèrent les bombes insecticides, mirent à disposition des forces trois molécules répulsives (diméthyl-phthalate, Rutgers 61 and indalone) et développèrent l'usage du DDT dont les propriétés insecticides venaient juste d'être découvertes. Parallèlement, ils assurèrent dans les premières années de la guerre en collaboration avec les Britanniques et les Australiens l'optimisation de l'usage de l'atabrine, antipaludique découvert par les chimistes allemands privés de l'apport de quinine pour protéger leurs troupes lors du premier conflit mondial (15, 16). Cette stratégie de lutte antipaludique donna aux forces alliées un avantage décisif sur les forces japonaises. Sur le théâtre de Burma, les forces britanniques purent poursuivre leur offensive durant la mousson moment où la

transmission du paludisme était la plus élevée. A cette période, les prélèvements sanguins réalisés chez les soldats japonais capturés montraient des taux d'infection allant de 39 à 49 % (12).

Dans les conflits suivant la deuxième guerre mondiale (guerre d'Indochine, conflit de Malaisie, guerre de Corée), le paludisme n'eut pas d'incidence sur l'issue des combats grâce aux progrès de la chimioprophylaxie et de la lutte antivectorielle (14, 17, 18). Durant la guerre du Vietnam, avec le développement de la chloroquinol-résistance, le paludisme obéra fortement la capacité opérationnelle des unités ; chaque jour dans certaines zones, 1% des soldats étaient mis hors de combat par le paludisme (14, 17).

Depuis, de nouvelles molécules, de nouvelles associations ont été développées tant pour la prophylaxie que le traitement et les mesures de lutte antivectorielle ont été fortement améliorées (19). Malgré cela, ces trente dernières années, les interventions ou le simple entraînement des forces occidentales en zone impaludée ont souvent donné lieu ou été suivies d'épidémies de paludisme. Une mauvaise compliance aux mesures de prophylaxie (chimioprophylaxie, usage des moustiquaires, utilisation des répulsifs, réimprégnation des tenues de combat), l'impossibilité de mettre en œuvre certaines mesures dans les zones de combat (y compris l'usage des moustiquaires) ont entraîné des épidémies de paludisme dans les forces armées nord américaines, britanniques, hollandaises, italiennes et australiennes (20-24). Dans les forces françaises, depuis les années 90, chaque intervention est suivie au minimum d'une augmentation de l'incidence et parfois d'une épidémie : opération Requin en 1990 au Gabon, opération Almandin en 1996 en République Centrafricaine, Opérations Anaconda en Guyane depuis 2003, Opération Licorne en 2002 et 2003 en République de Côte d'Ivoire (Fig. 1) (25-28). Ces dernières années, les épidémies de paludisme d'importation dues à *Plasmodium ovale* au retour d'Afrique ou à *Plasmodium vivax* au retour de Guyane ont été fréquentes (29). Actuellement, des résistances de *P. falciparum* à la plupart des antipaludiques utilisés en prophylaxie ou traitement existent et diffusent et la résistance de *P. vivax* à la chloroquine s'étend (30). Dans le futur, la persistance de comportements de prévention inadaptés associée à une perte d'efficacité des chimioprophylaxies pourrait conduire à une situation identique à celle connue durant la guerre du Vietnam. Le paludisme reste une menace pour la vie des soldats en opération en zone d'endémie et pour la capacité opérationnelle des unités surtout quand l'ambiance de combat rend difficile l'application d'une bonne part des mesures de protection antivectorielle (31-34).

Si le paludisme est une menace sur la plupart des théâtres où les forces françaises sont engagées, de nombreuses autres patho-

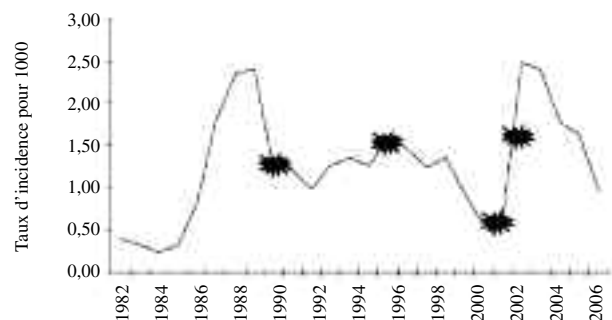


Figure 1. Taux d'incidence du paludisme dans l'armée française de 1982 à 2007 (ligne) et principales épidémies survenues au combat (■).

logies à transmission vectorielle les ont menacés, les menacent ou les menaceront au gré des territoires fréquentés et des milieux traversés : Dengue (opération au Timor en 2000, épidémie d'Abidjan en 2008), Chikungunya (en RCA en 1980, au Cameroun sur l'Opération Aramis en 2000), fièvre hémorragique de Crimée-congo (au Kosovo), fièvres à phlébotomes (au Liban et en Afghanistan), fièvres boutonneuses, fièvres récurrentes, peste (en Indochine, en République démocratique du Congo), leishmanioses cutanées (au Liban, en Afghanistan, au Tchad et plus récemment en Côte d'Ivoire), leishmanioses viscérales (au Darfour et en Afghanistan) et filarioses aiguës (en Indochine) (18, 35-47).

En l'absence de traitement prophylactique, de traitement curatif, de vaccin ou devant la baisse d'efficacité des traitements disponibles, la lutte antivectorielle est parfois la seule défense possible.

### Lutte anti-vectorielle dans les Armées françaises

Depuis de nombreuses années, les moyens de lutte antivectorielle mis à disposition des unités militaires françaises ont été renforcés de même que la protection individuelle du combattant. On distingue les moyens de protection individuelle mis à disposition du combattant par les commissariats ou par le service de santé des armées et dont la mise en œuvre dépend directement de chaque individu (moustiquaire de lit, répulsifs cutanés, imprégnation des vêtements avec des insecticides) et les moyens de lutte collective mis en œuvre par la collectivité militaire (imprégnation des moustiquaires avec des insecticides, pulvérisations d'insecticide dans les habitations, poudrages, hygiène des camps, drainage et assainissement).

### Les moyens de protection antivectorielle individuels des Armées françaises

La lutte individuelle vise essentiellement à limiter le contact homme-vecteur en interposant une barrière mécanique et/ou chimique entre les hommes et les femelles anophèles ou les autres vecteurs. Dans des situations de nomadisation ou de combat, elle est souvent la seule à pouvoir être mise en œuvre. Elle repose sur l'emploi de moustiquaires imprégnées d'insecticides (pyréthrinoides), de treillis imprégnés d'insecticides (pyréthrinoides) et de répulsifs cutanés. Les moustiquaires imprégnées sont le meilleur moyen de protection contre le paludisme car elles soustraient les militaires aux piqûres des vecteurs pendant la plus grande partie des nuits, en particulier aux heures où le risque de transmission du paludisme est le plus élevé. Les autres outils de protection individuelle viennent en complément quand la moustiquaire ne peut être utilisée : début de soirée, fin de nuit, gardes ou situation de combat. Pour l'instant, des moustiquaires coton imprégnées d'un insecticide de type pyréthrinoides (deltaméthrine) sont encore en dotation dans les forces armées françaises. L'insecticide imprégné sur coton ayant une rémanence maximale de 4 mois, la réimprégnation est nécessaire tous les 4 mois ou après chaque lavage. L'insecticide (actuellement la deltaméthrine), utilisé est fourni par le service de santé des armées. Les réimprégnations sont réalisées par les auxiliaires sanitaires ou par les fourriers des unités élémentaires ou des corps. De nouveaux types de moustiquaires ont été validés par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et sont recommandés et utilisés pour la protection des populations. Ces moustiquaires dites à imprégnation permanentes (MIP) sont en fibres synthétiques et disposent d'une rémanence évaluée à 5 ans ou 20 lavages (48).

L'utilisation de ce type de moustiquaires n'a plus les contraintes logistiques de la réimprégnation (achat et acheminement) et des manipulations d'insecticide par les populations ou les personnels dédiés. Ces moustiquaires ont été validées en France pour l'usage en population par l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET) (49). Le Service de santé des armées et le commissariat de l'armée de terre ont prévu d'équiper à court terme les forces armées en moustiquaires à imprégnation permanente. Actuellement, le Service d'étude et de recherche du commissariat de l'armée de terre (SERCAT) étudie un prototype de moustiquaire de terrain (en fibres synthétiques imprégnées de manière permanente) dotée d'un tapis de sol pouvant être utilisée seule ou sur lit de camp, légère et peu encombrante, pouvant tenir dans un sac à dos ou une musette. Elle remplacerait très avantageusement les moustiquaires actuelles inutilisables en situation de combat.

Les répulsifs cutanés contiennent un principe actif qui éloigne les insectes sans les tuer. La durée moyenne de protection varie de 4 à 8 heures selon les molécules. En attendant la mise en œuvre de la législation européenne biocide, il n'existe pas de cadre réglementaire pour la mise sur le marché de produits dits répulsifs. En France, un groupe d'experts de l'Agence française de sécurité sanitaire des produits de santé (AFSSAPS) fournit chaque année des recommandations sur les substances actives à utiliser et leurs concentrations d'utilisation (50). Le Service de Santé des Armées suit ces recommandations et met à disposition des unités des produits répulsifs répondants aux spécifications actuelles de l'AFSSAPS en terme d'efficacité et d'innocuité. Pour l'instant, 4 molécules sont utilisables, le Citrodolol, l'Icaridine, l'IR 3535 et le DEET (N,N-diéthyl-m-toluamide).

En matière de lutte antipaludique, les répulsifs doivent être utilisés sur les parties découvertes lors des sorties, des gardes ou des actions de nuit.

Le port de vêtements longs couvrant les parties découvertes est recommandé à partir de la tombée de la nuit jusqu'au lever du jour associé à l'usage de répulsifs. Les treillis actuellement en dotation dans les armées sont imprégnés industriellement de perméthrine à la dose de 1,25 g/m<sup>2</sup>. L'imprégnation industrielle maintient la protection initiale jusqu'à 20 lavages. La protection conférée par les treillis imprégnés d'insecticide a fait l'objet d'études menées en cage piège dans des stations d'étude en Afrique (Côte d'Ivoire, Bénin). Chez un sujet sans chaussure ni gant ni répulsif, le treillis imprégné d'insecticide diminue de 20 % les piqûres d'*Anopheles gambiae*, de 30 % celles d'*Aedes aegypti* et de 65 à 70% celles de moustiques nuisants *Culex quinquefasciatus* polyrésistants aux insecticides et de *Mansonia* sp. Associé à une protection des pieds mais sans répulsif, le treillis imprégné offre une protection de 50 % pour *Aedes aegypti*. Associé à l'usage de répulsifs cutanés, la protection approche les 100%.

Une dotation de 3 treillis neufs permet d'assurer une protection efficace pour la durée d'une mission de 4 mois avec un rythme de lavages habituel. Au-delà de cette durée ou si les treillis sont perçus usagés, ils doivent être réimprégnés par aspersion avec de la perméthrine. Des solutions en spray de perméthrine à 4% sont fournies par le service de santé des armées. Dans le cadre de ces imprégnations manuelles (individuelles ou collectives), la perméthrine n'est pas fixée dans le tissu et est éliminée au cours des lavages successifs. La protection ne persiste pas au-delà de 4 lavages. En zone d'endémie, les réimprégnations des tenues devront alors être répétées tout au long du séjour ou de la mission. Il est en particulier recommandé de renouveler l'application avant chaque

mission avec nuitées en zone rurale où le risque de transmission du paludisme est plus élevé.

De nouveaux outils de lutte antipaludique ont été développés pour les populations nomades ou déplacées. Ainsi, les bâches imprégnées d'insecticide ont montré leur efficacité pour protéger du paludisme les populations civiles tant dans un usage individuel que collectif (51). Il a été prouvé que la pose d'une bâche imprégnée dans un local équivalait à la pulvérisation d'insecticides sur les murs (52). La plupart des combattants disposent d'au moins une bâche dans leurs effets pour se protéger des intempéries et se confec-tionner un abri. La militarisation des bâches imprégnées est envisagée à moyen terme en tant que moyen de protection individuelle (utilisation comme tente ou couverture par un combattant) ou collective (aménagement des postes de combat avec des bâches «camouflage» conférant une protection contre les vecteurs).

### Les moyens de lutte antivectorielle collectifs des Armées françaises

La lutte anti-vectorielle collective comprend l'ensemble des mesures mises en œuvre par la collectivité militaire, du choix des sites d'installation à la protection des bâtiments et des extérieurs. Le choix de l'emplacement des sites doit si les impératifs militaires le permettent prendre en compte le risque palustre. L'installation doit se faire à distance de l'eau (marigots, rivières, marécages et autres gîtes larvaires potentiels) et des populations, dans une zone dégagée et ventilée, en tenant compte des vents dominants. Les locaux de vie doivent être les plus hermétiques possibles aux arthropodes à l'aide de barrières mécaniques (grillages moustiquaires aux ouvertures) ou chimiques (aspersion des murs ou imprégnation des toiles de tente). De même, les abords immédiats des emprises militaires doivent être rendus défavorables à la production d'insectes et à la survie des adultes. Pour limiter la densité des populations de moustiques sur ces emprises, il faut d'abord tarir ou limiter la production locale de moustiques en instaurant à l'intérieur des camps une lutte antilarvaire permanente dirigée contre les vecteurs de paludisme (*Anophèles* sp.), d'arboviroses (*Aedes* sp.) et les nuisants (*Culex* sp.). Ces actions de lutte antilarvaire doivent si possible être étendues aux abords du camp en collaboration avec les populations et les autorités locales notamment dans les zones de maraîchage qui entourent souvent les camps et sont pourvoyeuses de gîtes larvaires d'anophèles.

La lutte antilarvaire comprend la lutte physique et la lutte chimique. La lutte physique consiste à détruire méthodiquement tous les gîtes larvaires potentiels, *e.g.* les petites collections d'eau naturelles et à mettre en place des systèmes de drainage pour empêcher leur constitution. Pour lutter contre les moustiques du genre *Aedes*, les plantes engainantes doivent être supprimées, tous les récipients susceptibles de se remplir d'eau (déchets oubliés, épaves de véhicules, fûts, pneus, récipients divers, pirogues, remorques etc.) doivent être éliminés ou stockés à l'abri de la pluie. L'entretien des camps doit viser à supprimer tous ces gîtes mais aussi à entretenir les dispositifs d'évacuation des eaux afin que ceux-ci ne se transforment pas en piège pour les eaux et en gîtes larvaires : les caniveaux et canaux de drainage doivent être curés régulièrement, les gouttières doivent être nettoyées. Les moustiques du genre *Culex* qui constituent l'essentiel de la nuisance en milieu urbain, émergent la plupart du temps sur site à partir de pontes dans les fosses septiques, caniveaux et égouts des installations militaires. La pose de grillages moustiquaires aux événements des fosses septiques, l'entretien

des égouts, la mise en place de joints pour étanchéfier les regards limitent en permanence la production locale de larves de moustiques sans avoir recours aux insecticides.

Un certain nombre de gîtes ne peuvent pas être supprimés du fait de leur taille ou de leur alimentation continue à certaines périodes de l'année rendant leur drainage illusoire. D'autres sont indispensables (réserve d'eau). Dans ce type de situation, la seule solution peut être leur couverture (réservoirs) ou l'épandage d'insecticide (téméphos) dans les collections d'eau. Le rythme de traitement doit être adapté en fonction de l'apparition de larves. Cela nécessite une surveillance particulière et donc la formation de personnels. Une autre alternative est le traitement systématique tous les 10 jours (durée minimale entre deux générations). Le téméphos est pour l'instant la substance active de référence mais ne dispose que d'une autorisation de mise sur le marché temporaire jusqu'en mai 2009 à titre d'usage essentiel pour les départements d'outre mer. Pour les forces armées, une stratégie de lutte antilarvaire devra être établie reposant sur un passage à un larvicide biologique (Bti) pour l'ensemble des bases militaires ou/et par l'achat et l'utilisation de téméphos à l'étranger.

Le contrôle des gîtes larvaires doit être complété par des actions visant à raccourcir la survie des moustiques adultes dans les camps en supprimant les gîtes de repos et en rendant leur déplacements plus difficiles. Les moustiques adultes se reposent dans des gîtes frais et humides de la végétation au cours de la journée pour les moustiques à activité nocturne (*e.g.* anophèles) et au cours des heures chaudes pour les moustiques à activité diurne. Ils ne peuvent se déplacer qu'en profitant de la fraîcheur de la nuit ou du couvert d'une végétation dense. Le simple entretien des espaces verts (débroussaillage, tonte, destruction des taillis, taille des buissons et arbustes) suffit à rendre les emprises défavorables à la survie des moustiques adultes. A Libreville au Gabon, les études de piégeage par Bg-sentinel montrent des densités 10 fois plus faibles d'*Ae. albopictus* et *Ae. aegypti* à l'intérieur du camp militaire français par rapport aux extérieurs immédiats. La destruction des gîtes et l'entretien des espaces verts auxquels peut être attribué ce résultat, contribuent donc grandement à la protection des forces contre les arboviroses à virus dengue ou Chikungunya qui étaient responsables d'épidémies dans les populations autochtones.

La lutte antimoustique qui vise à réduire la densité des moustiques doit d'abord reposer sur des actions précoces et ciblées de destruction des gîtes larvaires et des larves. La lutte contre les moustiques adultes doit être réservée autant que possible aux situations de nuisance très importante ou en cas de risque épidémique immédiat.

Les mesures de pulvérisations spatiales périodociliaires peuvent être faites avec des insecticides à visée adulticides ou larvicides. Les pulvérisations spatiales ont un intérêt certain pour traiter des gîtes larvaires de grande surface.

Les pulvérisations spatiales d'adulticides ont un intérêt plus limité. Elles n'ont pas d'effet rémanent : elles n'atteignent que les moustiques pris dans le nuage au moment du traitement. Les pulvérisations spatiales doivent donc être limitées aux situations épidémiques (Dengue, Chikungunya, épidémie de paludisme en zone de faible transmission). Elles doivent venir en complément de la lutte antilarvaire et de la protection individuelle. Pour être efficace, elles doivent être réalisées aux heures d'activité des vecteurs (*i.e.* heures où les vecteurs piquent les humains). Les pulvérisations anti-anophèles doivent donc être réalisées de nuit ou en fin de nuit. Des pulvérisations de jour n'ont aucun effet. Cet effet est encore plus illusoire si les gîtes de repos sont situés hors des camps. Une étude

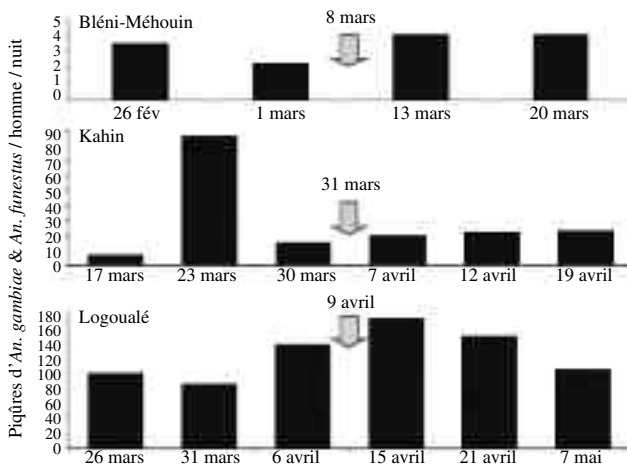


Figure 2 : Nombre de piqûres d'*An. gambiae* & *An. funestus*/homme/nuit avant et après aspersion spatiale de K-Othrine® (■) Emprises de la 3<sup>e</sup> Cie du 1<sup>er</sup> RCP, Côte d'Ivoire, Février-mai 2004

réalisée lors de l'opération Licorne dans l'ouest ivoirien a montré l'inefficacité de ces pulvérisations ponctuelles de jour. L'agressivité anophélienne n'était pas modifiée par ce type de traitement quel que soit le niveau d'agressivité initial : faible, moyen ou élevé (Fig. 2). Les pulvérisations contre les *Aedes* doivent être effectuées de jour aux périodes de maximum d'activité : aube et crépuscule. Les heures de pulvérisation et la formulation des insecticides doivent tenir compte des conditions atmosphériques (température, humidité et vent) afin que le nuage reste le plus longtemps possible en suspension.

### Mise en œuvre de la lutte antivectorielle dans les Armées selon le contexte opérationnel

En opération extérieure, la mise en œuvre de la lutte antivectorielle dépend du contexte (phase d'engagement et début des opérations militaires, ambiance de combat, situation militaire stabilisée avec des relèves réglées; effectifs déployés, matériels mis à disposition des forces) et du type d'installation (postes de combat, bivouacs, camps de toile, shelters, habitations en dur anciennes ou neuves).

En ambiance de combat, les soldats sont amenés à tenir des positions, contrôler des routes, des carrefours. Ils occupent alors des postes de combats qui se résument parfois à de simples trous ou des fossés. Dans ces circonstances les moustiquaires de lit ne sont généralement pas utilisables et les seuls moyens de protection antivectorielle dont disposent les combattants sont individuels (répulsifs, treillis imprégnés, bombe de perméthrine à 4% pour réimprégner les tenues). La protection conférée par ces moyens est significative mais certainement partielle. Dans ce contexte où il est très difficile d'éviter toutes les piqûres, une mauvaise observance de la chimioprophylaxie peut rapidement se traduire par l'émergence de cas sporadiques ou épidémiques. Cet enchaînement de circonstances s'est produit à plusieurs reprises lors de la guerre d'Indochine puis plus récemment lors de l'opération Almandin à Bangui ou au début de l'opération Licorne en Côte d'Ivoire (18, 26, 27). Dans ce contexte, l'évaluation des méthodes de lutte ne peut être que rétrospective, par l'interrogatoire et le retour d'expérience des individus engagés dans les opérations militaires.

En dehors de l'ambiance de combat, les efforts de lutte doivent être proportionnels à la durée d'installation dans une structure. Dans des emprises temporaires (pour un à quelques jours, en progression ou nomadisation), la protection reposera essentiellement sur la protection individuelle dont l'usage de moustiquaires imprégnées et si possible sur le choix de l'emplacement. L'idéal est de s'installer à distance des populations autochtones (réservoir de parasites), d'éviter si possible de s'installer dans des bâtiments déjà existants qui peuvent être infestés de tiques molles, puces ou autres arthropodes capables de provoquer des épidémies explosives. Les anophèles pouvant en milieu rural parcourir plusieurs kilomètres (jusqu'à 10 Km en l'absence d'hôtes vertébrés) pour chercher un repas de sang, le fait d'être isolé ne dispense pas de l'application des mesures de protection. Dans les conflits d'Asie du sud est, dans des zones théoriquement peu peuplées et indemnes de paludisme, le réservoir de parasites était constitué par les forces ennemies.

En ce qui concerne d'autres maladies à transmission vectorielle, la pénétration dans de nouveaux biotopes amène au contact de nouveaux vecteurs, de nouveaux pathogènes comme le prouvent l'émergence du Typhus des broussailles lors de la deuxième guerre mondiale et de la guerre d'Indochine, ou la survenue de manière sporadique ou épidémique de différentes arboviroses au combat ou à l'entraînement : Chikungunya, Semliki forest virus, Dengue, Fièvre à phlébotomes, Fièvre de la vallée du Rift, et fièvre hémorragique Crimée-Congo. En particulier, les fièvres à phlébotomes d'incubation courte, à taux d'attaque très élevé, ne touchant pas les populations et les forces autochtones déjà immunisées, sont une menace constante pour la capacité opérationnelle des unités. Au vu de leur impact sur les théâtres du moyen orient et méditerranéen, elles étaient redoutées lors des interventions en Irak. Actuellement, elles constituent une menace pour les forces françaises au Liban mais aussi en Afghanistan où elles constituaient une des premières étiologies de fièvre parmi les soldats soviétiques durant l'occupation russe (41).

Dans les implantations prolongées (plusieurs semaines à plusieurs années), il faut mettre en œuvre des mesures d'hygiène et d'assainissement des camps (incinération et enfouissement des déchets, drainage des collections d'eau, entretien des espaces verts, collecte des eaux usées) mais aussi des traitements insecticides : imprégnation par pulvérisation d'insecticides rémanents sur la face interne des tentes, ou pulvérisation à l'intérieur des locaux de vie, des postes de combat (53, 54). Des lots de lutte antivectorielle sont mis à disposition lors des opérations. Chaque cantine contient un brumisateur et ses buses (pulvérisations murales, pulvérisations à très faible volume, «ultra low volume») les insecticides nécessaires, une tenue de protection ainsi qu'un larvicide à utiliser dans les collections d'eau non drainables.

### Evaluation militaire des risques et situations entomologiques

L'efficacité de ces mesures dépend fortement de la qualité de leur mise en œuvre et du type de vecteurs auxquels elles s'adressent. Il est difficile d'évaluer l'efficacité d'une mesure de lutte sans connaître le niveau de risque préalable et la pertinence de cette mesure par rapport aux vecteurs présents. Actuellement l'évaluation du risque sanitaire avant une opération est le fruit de la veille sanitaire de défense qui collecte journalièrement les informations sanitaires sur les zones de déploiement ou d'intervention potentielle des forces. Néanmoins, cette méthodologie ne peut s'appuyer que sur

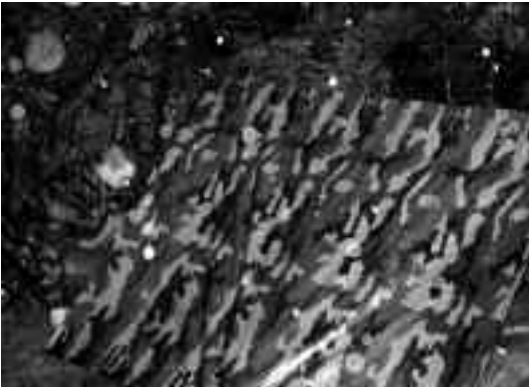


Photo TLCN Penhoat Sénégal 2005



Photo MC Pagès Sénégal 2005



Photo MCS Migliani Côte d'Ivoire 2003




Photo MC Pagès Côte d'Ivoire 2004

**Situation de combat, isolement**

Répulsifs

Vêtements imprégnés

Vêtements couvrants




**Nomadisation**

Moustiquaires imprégnées

Répulsifs

Vêtements imprégnés

Vêtements couvrants




**Installation initiale**

Moustiquaires imprégnées

Répulsifs

Vêtements imprégnés

Vêtements couvrant



**Séjour sur la durée**

Moustiquaires imprégnées

Répulsifs

Vêtements imprégnés

Vêtements couvrants

Barrières mécaniques

Pulvérisations dans les locaux

Suppression des gîtes

Drainage

Entretien des emprises




Planche 1. Application des mesures de lutte selon la situation opérationnelle.

Suppression des gîtes larvaires en saison des pluies



Photo : TLCN Penhoat Sénégal 2005



Photo : MC Pagès Côte d'Ivoire 2003



Photo MC Pagès Côte d'Ivoire 2003

Planche 2. Limites de la lutte antivectorielle en situation opérationnelle.

des données existantes, parfois anciennes, souvent très parcellaires, ne permettant que de supposer l'existence d'un risque vectoriel sans connaître son niveau réel. Cela peut amener à prendre des précautions superfétatoires ou à sous estimer ou méconnaître un risque réel avec pour conséquences le déploiement de moyens inutiles ou un sous dimensionnement de ceux ci. Une lutte efficace passe par une évaluation de veille indispensable mais aussi par une évaluation entomologique de terrain. Cette évaluation peut être une activité de routine (*i.e.* de fond) menée en temps de paix sur les territoires d'intérêt, ou lors de la projection des forces, tout au long de l'intervention ou de manière ponctuelle en cas d'épidémie. Cette stratégie est celle adoptée par les forces armées des Etats Unis d'Amérique. Au niveau européen, aucune nation ne dispose de moyens équivalents mais plusieurs pays ont des unités d'entomologie avec des compétences et des expériences différentes, intervenant chacune indépendamment, parfois sur les mêmes théâtres, successivement ou concomitamment. Une mise en commun de ces moyens apparaît nécessaire pour répondre à des questions communes : quel est le risque de leishmaniose viscérale pour les troupes de l'Eufor au Tchad ? Quel est le risque réel de peste pour des forces déployées en Ituri ? Quels risques vectoriels, pour les forces de l'ISAF en Afghanistan ? Quels insecticides restent efficaces ? Quand, comment et où, les utiliser ?

Même avec une évaluation fine du risque, la lutte ne sera efficace que si elle est réalisée de manière correcte par des gens formés à la manipulation des produits et des matériels, capables de mettre en œuvre mais aussi d'évaluer l'efficacité de leur action. Il n'existe pas actuellement de structure dédiée à la lutte antivectorielle au sein des forces françaises. Les activités se partagent selon les unités entre service de santé et les fourriers pour ce qui concerne les imprégnations de moustiquaires, entre le service de santé et les services généraux des unités outre mer pour ce qui des activités de pulvérisation. En opération, le lot de lutte antivectorielle est la plupart du temps mis en œuvre par le poste de secours de compagnie. Aucun des intervenants des postes de ces secours n'a généralement été formé de manière spécifique à la manipulation des insecticides ou des matériels, ni aux stratégies d'utilisation. Cette situation obère fortement l'efficacité des activités de lutte, consomme du temps, de l'énergie et de l'argent pour une efficacité sans doute limitée (Fig. 2). L'avenir passe par la création dans les forces d'acteurs spécialisés dans la lutte antivectorielle : techniciens permanents dans les formations implantées à l'étranger mais aussi équipes d'intervention projetables à la suite ou accompagnant les forces sur les théâtres d'opération pour « sécuriser » les installations sur le plan vectoriel et pour superviser l'application des mesures de lutte.

Suppression des gîtes de repos des insectes

La lutte contre les risque vectoriel dans les forces armées s'est professionnalisée en 2003 avec la création d'une unité d'entomologie médicale basée à l'Institut de médecine tropicale du Service de santé des armées, au Pharo, à Marseille. Cette unité s'est impliquée dans la protection des forces (évaluation des risques, des moyens de protection et de la lutte, conseil au commandement, expertise auprès de la Direction des Approvisionnement en Produits de Santé). Elle doit maintenant proposer une stratégie de lutte antivectorielle pour les forces, élaborer avec les états-majors les modalités d'application et superviser sa mise en œuvre sur les emprises outre mer et les théâtres

**Remerciements.** Au MCS Migliani pour son soutien et son aide iconographique, au MC Rogier pour sa confiance et son appui, à nos camarades des forces pour leur accueil, leur retour d'expérience, leur patience parfois, aux unités et compagnies que nous avons accompagnées ou croisées depuis 2003.

## Références

1. Peterson RK. Insects, Disease, and Military history : The Napoleonic Campaigns and Historical Perception. *Am Entomol* 1995 ; 41 :147-60.
2. Destaing F. Valmy ou les raisons de la défaite. Mais qui étaient les sans culottes ? *Nouv Presse Med* 1972 ; 8 : 1912-14.
3. Smallman-Raynor MR, Cliff AD. Impact of infectious diseases on war. *Infect Dis Clin North Am* 2004 ; 18 : 341-68.
4. Faulde MK. Emergence of vector-borne disease during war and conflict. *Medical Corps International* 2006 ; 26 : 4-14.
5. Faulde MK, Hoffmann R, Fazilat KM, Hoerauf A. Malaria reemergence in northern Afghanistan. *Emerg Infect Dis* 2007 ; 13 : 1402-4.
6. Kelly DJ, Richards AL, Temenak J, Strickman D, Dasch GA. The past and present threat of rickettsial diseases to military medicine and international public health. *Clin Infect Dis* 2002 ; 34 : S145-63.
7. Utzinger J, Weiss MG. Editorial : armed conflict, war and public health. *Trop Med Int Health* 2007 ; 12 : 903-6.
8. Kaba D, Dje NN, Courtin F, Oke E, Koffi M, Garcia A, *et al.* The impact of war on the evolution of sleeping sickness in west-central Côte d'Ivoire. *Trop Med Int Health* 2006 ; 11 : 136-43.
9. Prinzing F. *Epidemics Resulting From Wars*. Clarendon Press ed, Oxford, 1916.
10. McCoy OR. Incidence of insect-borne diseases in U.S Army during world war II. *Mosq News* 1946 ; 6 : 214.
11. Aubry P. Comment le paludisme décima le corps expéditionnaire français à Madagascar. *Afrique Histoire* 1983 ; 7 : 32-6.
12. Harrison M. Medicine and the culture of command: the case of malaria control in the British Army during the two world wars. *Medical History* 1996 ; 40 : 437-52.
13. Sergent E, Sergent E. L'Armée d'Orient délivrée du paludisme. Librairie de l'Académie de Médecine ed, Paris, 1932 ; 93 p.

14. Bruce-Chwatt LJ. John Hull Grundy lecture. Mosquitoes, malaria and war; then and now. *JR Army Med Corps* 1985; 131 : 85-99.
15. Joy RJ. Malaria in American troops in the South and Southwest Pacific in World War II. *Medical History* 1999; 43 : 192-207.
16. McCoy OR. Malaria and the war. *Science* 1944; 100 : 535-9.
17. Shanks GD, Karwacki JJ. Malaria as military factor in Southeast Asia. *Mil Med* 1991; 156 : 684-6.
18. Blanc F. Bilan sanitaire de la campagne d'Indochine. *Bull Soc Pathol Exot* 1977; 70 : 341-64.
19. Greenwood D. Conflicts of interest: the genesis of synthetic antimalarial agents in peace and war. *J Antimicrob Chemother* 1995; 36 : 857-72.
20. Peragallo MS, Croft AM, Kitchener SJ. Malaria during a multinational military deployment: the comparative experience of the Italian, British and Australian Armed Forces in East Timor. *Trans R Soc Trop Med Hyg* 2002; 96 : 481-2.
21. Kotwal RS, Wenzel RB, Sterling RA, Porter WD, Jordan NN, Petruccioli BP. An outbreak of malaria in US Army Rangers returning from Afghanistan. *JAMA* 2005; 293 : 212-6.
22. Tuck JJ, Green AD, Roberts KI. A malaria outbreak following a British military deployment to Sierra Leone. *J Infect* 2003; 47 : 225-30.
23. Susi B, Whitman T, Blazes DL, Burgess TH, Martin GJ, Freilich D. Rapid diagnostic test for *Plasmodium falciparum* in 32 Marines medically evacuated from Liberia with a febrile illness. *Ann Intern Med* 2005; 142 : 476-7.
24. Kitchener S, Nasveld P, Russell B, Elmes N. An outbreak of malaria in forward battalion on active service in East Timor. *Mil Med* 2003; 168 : 457-9.
25. Migliani R, Pagès F, Josse R, Michel R, Pascal B, Baudon D. Epidémies de paludisme sur les théâtres d'opérations extérieures : Causes et déduction pour la prévention. *Med Armées* 2004; 32 : 293-9.
26. Pascal B, Baudon D, Keundjian A, Fusai T, Cochet P, Soupault JF, et al. Epidémie de paludisme au cours d'une opération militaro-humanitaire en Afrique. *Med Trop* 1997; 57 : 253-5.
27. Migliani R, Josse R, Hovette P, Keundjian A, Pagès F, Meynard JB et al. Le paludisme vu des tranchées: le cas de la Côte d'Ivoire en 2002-2003. *Med Trop* 2003; 63 : 282-6.
28. Michel R, Ollivier L, Meynard JB, Guette C, Migliani R, Boutin JP. Outbreak of malaria among policemen in French Guiana. *Mil Med* 2007; 172 : 977-81.
29. Verret C, Cabianca B, Haus-Cheymol R, Lafille JJ, Loran-Haranqui G, Spiegel A. Malaria outbreak in troops returning from French Guiana. *Emerg Infect Dis* 2006; 12 : 1794-5.
30. Ringwald P. Les antipaludiques actuels : résistances, nouvelles stratégies. *Bull Acad Natl Med* 2007; 191 : 1273-84.
31. Newton JA Jr, Schnepf GA, Wallace MR, Lobel HO, Kennedy CA, Oldfield EC 3rd. Malaria in US Marines returning from Somalia. *JAMA* 1994; 272 : 397-9.
32. Ciminera P, Brundage J. Malaria in U.S. military forces: a description of deployment exposures from 2003 through 2005. *Am J Trop Med Hyg* 2007; 76 : 275-9.
33. Bwire R, Sloodman EJ, Verhave JP, Bruins J, Docters van Leeuwen WM. Malaria anticircumsporozoite antibodies in Dutch soldiers returning from sub-Saharan Africa. *Trop Med Int Health* 1998; 3 : 66-9.
34. Orlandi-Pradines E, Penhoat K, Durand C, Poons C, Bay C, Pradines B, et al. Antibody responses to several malaria pre-erythrocytic antigens as a marker of malaria exposure among travellers. *Am J Trop Med Hyg* 2006; 74 : 979-85.
35. Orlandi-Pradines E, Almeras L, Denis de Senneville, Barbe S, Remoué F, Villard C, et al. Antibody response against saliva antigens of *Anopheles gambiae* and *Aedes aegypti* in travellers in tropical Africa. *Microbes Infect* 2007; 9 : 1454-62.
36. Peragallo MS, Nicoletti L, Lista F, D'Amelio R : East Timor Dengue Study Group. Probable dengue virus infection among Italian troops, East Timor, 1999-2000. *Emerg Infect Dis* 2003; 9 : 876-80.
37. Mathiot CC, Grimaud G, Garry P, Bouquety JC, Mada A, Daguisy AM, et al. An outbreak of human Semliki forest virus infections in Central African Republic. *Am J Trop Med Hyg* 1990; 42 : 386-93.
38. Peyrefitte CN, Rousset D, Pastorino BA, Pouillot R, Bessaud M, Tock F, et al. Chikungunya virus, Cameroon, 2006. *Emerg Infect Dis* 2007; 13 : 768-71.
39. Frangoulidis D, Meyer H. Measures undertaken in the German Armed Forces Field Hospital deployed in Kosovo to contain a potential outbreak of Crimean-Congo hemorrhagic fever. *Mil Med* 2005; 170 : 366-9.
40. Olfield EC 3rd, Wallace MR, Hyams KC, Yousif AA, Lewis DE, Bourgeois AL. Endemic infectious diseases of the Middle East. *Rev Infect Dis* 1991; 13 : S199-217.
41. Nikolaev VP, Perepelkin VS, Raevskii KK, Prusakova ZM. A natural focus of sandfly fever in the Republic of Afghanistan. *Zh Mikrobiol Epidemiol Immunobiol* 1991; 3 : 39-41.
42. Jumaian N, Kamhawi SA, Halalsheh M, Abdel-Hafez SK. Short report: outbreak of cutaneous leishmaniasis in a nonimmune population of soldiers in Wadi Araba, Jordan. *Am J Trop Med Hyg* 1998; 58 : 160-2.
43. Faulde MK, Heyl G, Amirih M. Zoonotic cutaneous leishmaniasis, Afghanistan. *Emerg Infect Dis* 2006; 12 : 1623-4.
44. Osman OF, Kager PA, Oskam L. Leishmaniasis in the Sudan: a literature review with emphasis on clinical aspects. *Trop Med Int Health* 2000; 5 : 553-62.
45. Myles O, Wortmann GW, Cummings JF, Barthel RV, Patel S, Crum-Cianflone NF, et al. Visceral leishmaniasis: clinical observations in 4 US army soldiers deployed to Afghanistan or Iraq, 2002-2004. *Arch Intern Med* 2007; 167 : 1899-901.
46. Bertherat E, Lamine KM, Formenty P, Thullier P, Mondonge V, Mitifu A, et al. Epidémie de peste pulmonaire dans un camp minier en République Démocratique du Congo : le réveil brutal d'un ancien fléau. *Med Trop* 2005; 65 : 511-4.
47. Galliard H. Outbreak of filariasis (*Wuchereria malayi*) among French and North African servicemen in north Vietnam. *Bull World Health Organ* 1957; 16 : 601-8.
48. WHO recommended long-lasting insecticidal mosquito nets (LNs). 2009 <http://www.who.int/whopes/en/>
49. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail – Relatif à l'évaluation des risques liés à l'utilisation des produits insecticides d'imprégnation des moustiquaires dans le contexte de l'épidémie de Chikungunya. Saisine Afsset n° 2006-007 du 22/08/06. <http://www.afsset.fr/index.php?siteid=53>
50. Anonymes. Recommandations sanitaires pour les voyageurs 2008. *BEH* 2008; 25-26 : 225-36.
51. Graham K, Mohammad N, Rehman H, Nazari A, Ahmad M, Kamal M, et al. Insecticide-treated plastic tarpaulins for control of malaria vectors in refugee camps. *Med Vet Entomol* 2002; 16 : 404-8.
52. Diabate A, Chandre F, Rowland M, N'guessan R, Duchon S, Dabire KR, et al. The indoor use of plastic sheeting pre-impregnated with insecticide for control of malaria vectors. *Trop Med Int Health* 2006; 11 : 597-603.
53. Graham K, Rehman H, Ahmad M, Kamal M, Khan I, Rowland M. Tents pre-treated with insecticide for malaria control in refugee camps: an entomological evaluation. *Malar J* 2004; 3 : 25.
54. Frances SP. Evaluation of bifenthrin and permethrin as barrier treatments for military tents against mosquitoes in Queensland, Australia. *J Am Mosq Control Assoc* 2007; 23 : 208-12.