

Lutte contre les vecteurs et nuisances en Santé publique

J. MOUCHET

Cet article est le complément du document présenté dans cette Encyclopédie « Insectes et Arachnides en Santé publique » (1). Il traite des méthodes de lutte contre les vecteurs et nuisances dont la biologie et l'importance médicale ont été précédemment décrites.

Les arthropodes ne sont pas seuls concernés et une place a été faite à la lutte contre les mollusques hôtes intermédiaires des schistosomes, et contre les rongeurs réservoirs de virus, de bactéries ou de parasites.

□ Historique

Depuis la plus haute antiquité, l'homme a cherché à se protéger contre l'agression des insectes vulnérants. Il a bâti ses villages loin des marais infestés de moustiques; il a pratiqué l'épouillage systématique. Puis, avec les moyens réduits de sa pharmacopée, il a inventé des lotions ou pommades antiparasitaires (vinaigre au sublimé contre poux et moryons, pommade d'Helmerich contre le sarcopte de la gale).

Les travaux de Ross et Manson Bahr, sur la transmission du paludisme et de la filaire de Bancroft par les moustiques ainsi que ceux de Finlay sur le rôle des *Aedes* dans les épidémies de fièvre jaune, ont ouvert au début de ce siècle l'ère de l'épidémiologie biologique. Le rôle des vecteurs dans les chaînes de transmission a été ensuite étudié de manière approfondie. Dès lors, la lutte contre les arthropodes n'a plus été seulement un moyen d'éviter une nuisance mais est devenue une partie intégrante de la prophylaxie contre un certain nombre d'affections.

Les moyens mis en œuvre pour de telles actions furent longtemps limités et visèrent, pour la plupart, à la réduction des biotopes favorables; assèchement des collections d'eau où se développent les larves de moustiques; suppression de leurs gîtes domestiques et périodestiques par renouvellement fréquent des eaux de boisson et élimination de tous objets où l'eau est susceptible de s'accumuler; déboisement et mise en culture des galeries forestières où vivent les tsé-tsé. Les poissons larvivores (*Gambusia*, *Lebistes*) furent introduits avec des succès mitigés pour assainir les collections d'eau permanentes en même temps qu'apparaissaient les premiers larvicides chimiques: huiles de pétrole et vert de Paris. Les hygiénistes de la première moitié de ce siècle firent souvent preuve de beaucoup d'imagination. C'est ainsi que Roubaud conseilla de placer des bovins ou des chevaux entre les gîtes larvaires et les villages; l'activité des moustiques adultes provenant de ces gîtes était déviée sur les animaux et les agressions sur les humains diminuaient d'autant. Cette zooprophyllaxie n'a certes jamais interrompu la transmission du paludisme mais elle a eu le mérite d'introduire l'idée d'une intervention dans le comportement des vecteurs.

Les résultats obtenus par ces diverses méthodes furent très différents suivant les situations; relativement modestes en ce qui concerne la prévention du paludisme, ils furent incontestablement très efficaces dans la prophylaxie de la fièvre jaune avant la découverte d'un vaccin. Gorgas put ainsi éviter les épidémies de cette affection pendant la construction du Canal de Panama, alors que quelques années plus tôt elles avaient obligé les Français à abandonner une telle entreprise.

J. MOUCHET: Inspecteur Général de Recherches de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

Toute référence à cet article doit porter la mention: MOUCHET J. - Lutte contre les vecteurs et nuisances en Santé publique. - Encycl. Méd. Chir. Paris. Maladies Infectieuses, 8120 B 10, 3-1980.

En 1939, la découverte du DDT par Muller à Bâle marque le début d'une véritable guerre chimique contre les insectes. Actif en milieu aquatique, dans le sol, dans l'air, peu toxique, bon marché, le DDT semblait de nature à résoudre tous les problèmes posés par les insectes tant en agriculture qu'en Santé publique. Il fut utilisé *larga manu* sur toute la surface du globe pendant plus d'un quart de siècle. En même temps, d'autres composés chlorés, le HCH (Hexachlorocyclohexane), la dieldrine et autres cycloclodienes, entraient dans l'arsenal de la désinsectisation. De toxicité diverse mais de rémanence élevée, ces produits allaient permettre d'envisager des campagnes de grande envergure contre les maladies à vecteurs dont la plus célèbre a été, sans conteste, la campagne mondiale d'éradication du paludisme.

Parallèlement, les chimistes mettaient au point de nombreuses molécules de composés organophosphorés à action insecticide puissante. Les premiers de ces produits et en particulier le Parathion ont laissé à juste titre le souvenir d'une très haute toxicité pour l'homme. Depuis, au contraire, ont été développés des composés: Temephos, Fenitrothion, Malathion, etc., efficaces mais de toxicité très faible, inférieure à celle du DDT. Plus de deux cents organophosphorés sont commercialisés, dont moins de vingt sont d'un emploi courant en Santé publique.

Les carbamates, à action similaire à celle des composés précédents, forment une famille importante d'insecticides actifs surtout en milieu aérien.

La production des insecticides végétaux étant limitée, l'industrie a synthétisé des composés apparentés aux constituants des extraits de Pyrethre: les Pyrèthrinoides, qui connaissent un grand essor dû à leur très haute activité et à leur faible toxicité pour les vertébrés homéothermes.

Mais depuis quelques années, le développement de multirésistances aux insecticides a hypothéqué l'emploi de nombreux composés. D'autre part, les défenseurs de l'environnement ont accusé les pesticides de polluer le milieu. Le DDT en particulier, qui s'accumule dans les chaînes écologiques fut le premier visé et son emploi fut limité, voire interdit, dans plusieurs pays.

Actuellement, les recherches pour de nouvelles formes d'intervention contre les vecteurs se déroulent dans plusieurs directions:

- Production de nouveaux composés, peu ou pas agressifs pour l'environnement, appartenant à des groupes chimiques différents de ceux précédemment énumérés pour ne pas présenter de résistances croisées. La recherche sur les molluscicides et les rodenticides obéit aux mêmes préoccupations. Les analogues des inhibiteurs de croissance des insectes comme le Methoprene, les inhibiteurs de sclérisations comme le Diflubenzuron, les antihormones sont à placer parmi les candidats prometteurs.

- Production d'agents bactériologiques, fongiques ou virologiques utilisables à grande échelle. Aucun d'entre eux n'est actuellement opérationnel en Santé publique. Mais le sérotype de *Bacillus thuringiensis israelensis* est très prometteur.

(1) MOUCHET (J.), COZ (J.), RAGEAU (J.), RICKENBACH (A.) et TAUFLLIEB (R.), 1978. Insectes et arachnides en Santé publique. - Encycl. Méd. Chir. (Paris). Maladies Infectieuses, Fas. 8120 A 10 (6-1978).

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: BX 7281 Ex: 1

Fonds Documentaire ORSTOM



010007281

- Lutte biologique par prédateurs ou parasites. Seuls, les poissons larvivores sont vraiment utilisés.
- Lutte génétique par lâchers de mâles stériles ou introduction de gènes délétères. De très vastes programmes de recherches notamment en Inde ont fourni un très gros volume d'informations mais aucune méthode opérationnelle en hygiène n'a réellement pu être dégagée; cependant la situation peut évoluer dans les années à venir.
- La lutte mécanique et écologique par destruction des gîtes et modification de l'environnement pour éliminer les possibilités de développement des espè-

ces nuisibles reprend et souvent renoue les méthodes utilisées par les Services d'hygiène dans la période «pré-DDT».

Le dernier Comité d'Experts de la lutte contre les vecteurs de l'O.M.S. a recommandé une attitude réaliste, c'est-à-dire l'emploi simultané de toutes les méthodes disponibles dans une région donnée contre un vecteur donné.

En fait, la plupart des grandes actions restent basées sur la lutte chimique à laquelle est intégré un complément de lutte biologique ou, le plus souvent, mécanique.

Principes et moyens de lutte contre les vecteurs

La lutte contre les vecteurs est quelquefois considérée comme une fin en soi lorsque son objectif est l'élimination d'une nuisance sans portée épidémiologique. Les opérations de démoustication en France et dans la plupart des pays tempérés industrialisés n'ont pas d'autre but. Mais le plus souvent, l'attaque du vecteur vise à la rupture d'un maillon de la chaîne épidémiologique. Elle s'intègre dans un ensemble de mesures prophylactiques contre une maladie et la place qu'elle doit y occuper dépend non seulement de la maladie mais du contexte écologique, économique, social, voire politique.

Chaque vecteur a une éthologie propre qui se manifeste en fonction du contexte écologique. S'il est possible de dégager des principes de lutte contre une espèce, voire un groupe d'espèces, il faudra les adapter aux situations particulières. C'est pourquoi il est certain qu'une opération de quelque envergure ne peut être décidée qu'après une enquête préalable, voire la réalisation d'un projet pilote.

Les techniques mises en œuvre seront d'autant plus efficaces qu'elles seront spécifiquement adaptées à la situation particulière envisagée. D'autre part, ne visant qu'une espèce ou un groupe d'espèces, elles n'interféreront que sur l'habitat de celle-ci, et dans le cas de lutte chimique, limiteront la dispersion des insecticides. Le triple objectif de la limitation de la pollution, de l'économie de produit et de la plus grande efficacité sera ainsi réalisé.

□ La lutte chimique

Elle se fonde sur l'emploi de produits synthétiques ou d'origine végétale qui tuent les insectes visés, par contact ou ingestion. Ces composés sont incorporés à des excipients qui diffèrent suivant les modalités d'application du produit. Celles-ci sont déterminées en fonction de l'écologie du vecteur pour l'atteindre au stade le plus vulnérable de sa vie ou au moment idoine pour l'interruption d'un cycle hôte-vecteur. En effet, la lutte contre les vecteurs se fixe comme objectif de minimiser le risque de transmission, celui-ci peut être atteint soit en réduisant les populations de vecteurs à un niveau très bas, soit en détruisant électivement une partie de ces populations à une charnière du cycle épidémiologique (lutte antipaludique). La lutte chimique se heurte à deux limitations, la résistance des vecteurs et réservoirs à un nombre croissant de composés ainsi que la pollution de l'environnement.

Les insecticides^o

Composés minéraux, dérivés du pétrole, lécithines

- Le vert de Paris [Acétoarséniate de cuivre, $Cu(CH_3COO)_2 \cdot 2Cu_3(AsO_2)_2$], très toxique avec une DL₅₀ per os de 22 mg par kg

Pour des informations plus détaillées en langue française on peut se référer à l'ouvrage de G. Queleener (1973), orienté vers les problèmes de Santé publique.

de rat^o fut un des larvicides les plus anciennement employés. Tombé en désuétude, il a été utilisé aux Etats-Unis contre les larves d'*Aedes* halophiles résistantes au DDT et au Malathion.

- Les huiles minérales dérivées du pétrole déversées depuis fort longtemps sur les gîtes larvaires de moustiques agissent à la fois mécaniquement en empêchant la respiration des larves et chimiquement en les intoxiquant. L'utilisation des huiles de vidange ou de mazout était assez polluante.

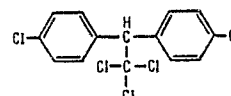
Récemment, on a proposé un produit purifié de même origine, le Flu MLO[®], susceptible de contrôler les populations multirésistantes de moustiques aux Etats-Unis.

- Les gels de Silice agissent comme abrasifs de l'épicuticule des insectes qui privés de leur revêtement protecteur se déshydratent et meurent. Ils sont utilisés pour détruire les ectoparasites des animaux à sang froid dans les zoos ainsi que les blattes et autres insectes des denrées entreposées.

- Les lécithines liquides, en couche monomoléculaire à la surface des gîtes larvaires provoquent une forte mortalité des nymphes de moustiques. Sur le terrain en utilisant 10 fois la dose de couverture monomoléculaire on maintient un contrôle sur toute la surface du gîte pendant 2 à 3 jours. Cette méthode est encore au stade expérimental (McMullen et Hill, 1977).

Les composés organochlorés

- Le D.D.T. (dichlorodiphényl-trichloroéthane) connu également sous les noms de Chlorophenothane ou de Zeidane, dont les propriétés insecticides ont été découvertes en 1939 par Muller à Bâle, a marqué le début d'une ère nouvelle dans la lutte contre les insectes. Il est peu toxique (150 à 300 mg/kg de rat) et très stable. Sous forme de concentré émulsionnable il agit en milieu aquatique, en particulier contre les larves de diptères. En poudre mouillable appliquée sur les murs, il a été le principal outil de la lutte antipaludique. En poudre, il est utilisé contre les ectoparasites, poux et puces. En agriculture, son emploi a encore été élargi et ce fut un des meilleurs insecticides du sol. En ajoutant à cette gamme très large d'utilisation, le fait que le prix du D.D.T. est très bas, on comprend qu'il ait vraiment été et reste encore dans certains pays, le chef de file des insecticides.



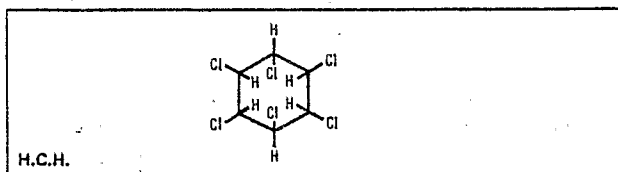
D.D.T.

^oSauf indication contraire, la toxicité est exprimée en mg par kg de rat et per os.

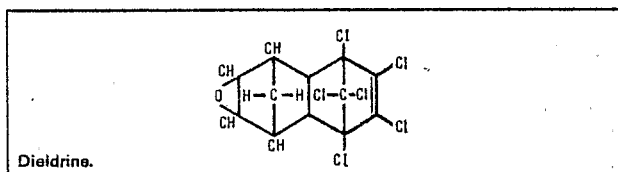
Toutefois, de nombreux arthropodes ont développé des résistances à son encontre ce qui limite son emploi. Sa remarquable stabilité lui a permis de s'accumuler et de se concentrer au sommet des chaînes alimentaires provoquant des accidents écologiques qui ont amené la limitation de son emploi, aux Etats-Unis et en U.R.S.S. notamment. Mais, pour beaucoup de pays en voie de développement, il reste un produit indispensable surtout en agriculture.

Le *Méthoxychlore* est un analogue du DDT au moins partiellement biodégradable, très peu toxique (DL₅₀ 5000-7000 mg/kg/rat) proposé en substitution du DDT mais dont les indications et les performances demandent à être précisées.

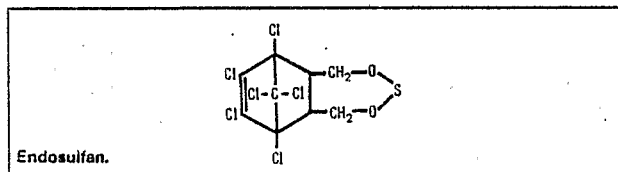
• Le *HCH* (Hexachlorocyclohexane) fut utilisé en France dès 1939 contre les poux. L'isomère δ (Lindane, Gammexane) isolé en 1942 par Slade, est pratiquement la seule forme commercialisée. Il a les mêmes indications que le DDT mais il est deux fois plus toxique (90 à 120 mg/kg/rat) et deux fois moins rémanent. C'est un produit facile à fabriquer, objet de très grosse consommation en particulier en U.R.S.S. et en Chine.



• La *Dieldrine* est un insecticide très efficace mais aussi très toxique (10 à 80 mg/kg/rat). Il fut surtout utilisé en poudre mouillable, pour le traitement mural des habitations dans la lutte antipaludique. Les résultats furent très bons, pratiquement parfaits, mais très tôt apparurent des résistances qui s'étendent actuellement à la plupart des grands vecteurs. La résistance à la Dieldrine est croisée avec la résistance aux autres cyclodiènes et au HCH. La Dieldrine est pratiquement sortie de l'arsenal de l'hygiéniste.



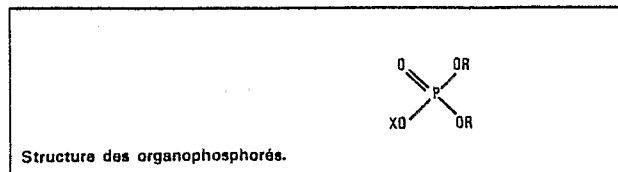
• L'*Endosulfan* est un cyclodiène, comme le produit précédent, du même ordre de toxicité. Il est actuellement utilisé pour la lutte par avion contre les glossines, en particulier celles du groupe *G. morsitans*.



• L'*Endrine*, composé de la même famille a été envisagé pour la lutte contre les mouches et les glossines. C'est un des insecticides les plus utilisés en Afrique contre les ravageurs de coton.

Les composés organophosphorés

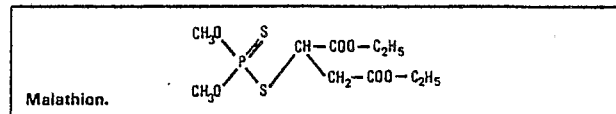
Ce sont des dérivés organiques de l'acide phosphorique ou l'acide thiophosphorique (où le S = remplace O =). Ils furent synthétisés dès les années 1940 par les chimistes travaillant sur les gaz de combat et les premiers composés étaient très toxiques.



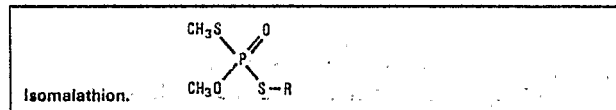
• Le *Parathion* commercialisé dès 1945 a une DL₅₀ de 4 à 15 mg/kg/rat. Largement utilisé en agriculture, il est également employé, ainsi que son dérivé méthylé, comme larvicide, aux Etats-Unis en particulier.

L'industrie a ensuite développé de très nombreuses molécules de haute qualité insecticide, certaines de toxicité très faible aussi bien pour les vertébrés homéothermes que pour les poissons. Le préjugé de haute toxicité qui était associé aux premiers organophosphorés n'a plus sa raison d'être avec les produits actuellement utilisés en Santé publique. Ce sont essentiellement :

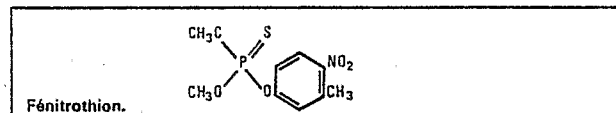
• Le *Malathion*, peu toxique (DL₅₀ 1 500 à 3 000 mg/kg/rat), est utilisé en traitements pariétaux (en poudre mouillable), en nébulisations aériennes à faible volume (produit technique pur) ainsi qu'en poudre contre les ectoparasites.



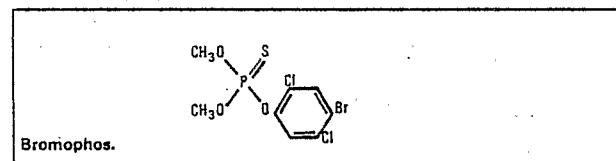
Par altération il peut donner un isomère, l'*isomalathion* très toxique, à l'origine d'accidents mortels au Pakistan. Il est donc important de s'assurer de la qualité et de la pureté des produits livrés par l'industrie.



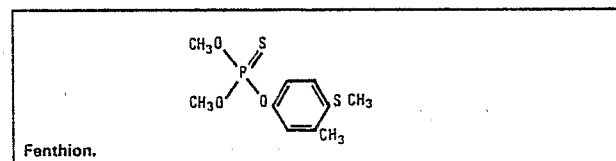
• Le *Fénitrothion* (Sumithion ®) est également peu toxique (DL₅₀ 250 à 500 mg/kg/rat) pour l'homme et les poissons. Il est utilisé comme larvicide en concentré émulsionnable ou granulé et comme adulticide en poudre mouillable en remplacement du D.D.T., en particulier dans les campagnes antipaludiques.



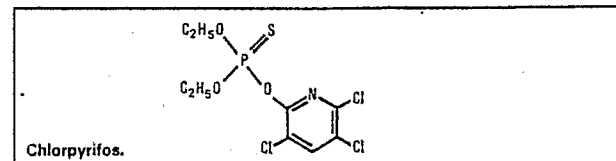
• Le *Bromophos* pratiquement sans toxicité (DL₅₀ 3 000 à 6 000 mg/kg/rat) a les mêmes indications que le Fénitrothion. Son dérivé éthylé plus actif a une innocuité beaucoup moins grande.



• Le *Fenthion* (Baytex ®) est un très bon larvicide de toxicité plus élevée (DL₅₀ 200-300 mg/kg/rat), recommandé en particulier contre les *Culex* urbains. C'est également un bon adulticide polyvalent mais son usage en traitement rémanent à l'intérieur des maisons n'est pas conseillé.

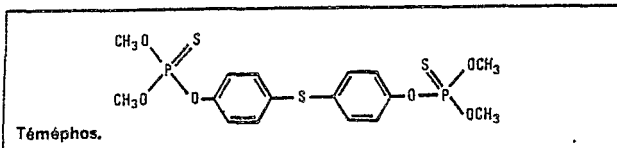


• Le *Chlorpyrifos* (Dursban ®) de toxicité moyenne (DL₅₀ 135-163 mg/kg/rat) a un très large spectre d'activité, mais il est le produit de choix pour la lutte contre les larves de moustiques. En particulier *Culex fatigans*, dans les eaux polluées ou il présente une forte rémanence. Son dérivé méthylé, le *Méthylchlorpyrifos* dérivé méthylé, 4 à 5 fois moins toxique pour une activité diminuée de 30 à 50%, a des indications similaires.



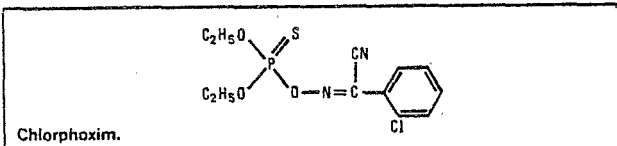
Le Chlorpyrifos n'a pas été conseillé par l'O.M.S. pour les traitements intradomiciliaires.

- *Le Téméphos* (Abate ®) est essentiellement un larvicide des eaux claires et même des eaux de boisson.



Non seulement il est peu toxique (2 000 mg/kg/rat) pour les vertébrés, mais il est certainement un des produits qui cause le moins de dommage à la faune des invertébrés d'eau douce. Il est actuellement utilisé dans la lutte contre les larves de simules et de moustiques.

- *Le Chlorphoxim*, également peu toxique pour les animaux à sang chaud (DL₅₀ 2 000 mg/kg/rat), stable en milieu aqueux, est un puissant larvicide. Son action sur les invertébrés non-cible serait toutefois plus nocive.



- *Le Dichlorvos* ou *D.D.V.P.*, se sublime spontanément et agit à l'état gazeux. Adsorbé sur des plaquettes de résine, il est un des insecticides domestiques les plus employés (*Vapona* ®).

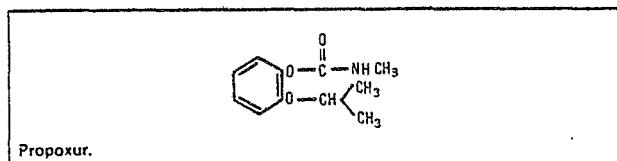
- *Le Diméthoate*, *le Naled*, *le Fenchlorphos* sont surtout employés en nébulisation à faible volume.

- *Le Diazinon* ® et *le Trichlorfon* (*Dipterex* ®) sont utilisés contre les mouches.

- *Le Tétrachlorvinphos* (*Gardona* ®), *l'Iodofenphos*, tous polyvalents, n'ont pas encore été utilisés extensivement en Santé publique.

Les Carbamates

- *Le Propoxur* (*Baygon* ®) est le seul composé de ce groupe qui ait vraiment retenu l'attention jusqu'ici. Très efficace contre les insectes domestiques, en particulier les blattes, il a également quelquefois remplacé le DDT dans la lutte antipaludique, notamment en Amérique centrale. Sa toxicité est faible (800-1 000 mg/kg/rat).

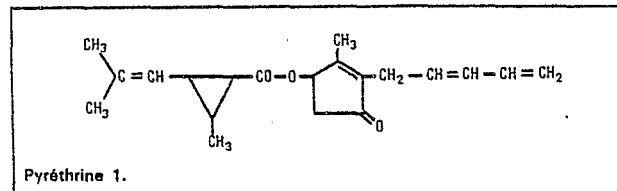


- *Le Carbaryl* (*Sevin* ®) est surtout utilisé en U.R.S.S. pour remplacer le D.D.T., partiellement ou totalement interdit.

Pyrèthre et Pyréthrinoïdes

Les propriétés insecticides du Pyrèthre, *Chrysanthemum cinerariifolium* sont connues depuis 2 000 ans en Chine (Lhoste, 1977); il est actuellement cultivé sur les hautes terres d'Afrique orientale, des Andes, de Nouvelle-Guinée et au Japon. La poudre était encore naguère utilisée comme antiparasitaire mais le produit commercialisé est l'Extrait de Pyrèthre ou mieux ses composants actifs les Pyréthrines. Ce sont des esters des acides chrysanthémiques et pyréthriques et des alcools, pyréthrolone et cinérolone.

- *Pyréthrines*



Les Pyréthrines sont peu stables mais agissent très rapidement produisant une immobilisation quasi immédiate de l'insecte connue sous le nom d'effet « knock-down ». C'est la raison de leur emploi dans les bombes insecticides à usage domestique.

Ces produits naturels onéreux, de production limitée, ont été progressivement remplacés par des molécules synthétiques extrêmement actives, les Pyréthrinoïdes dont la liste et les performances ne cessent de croître.

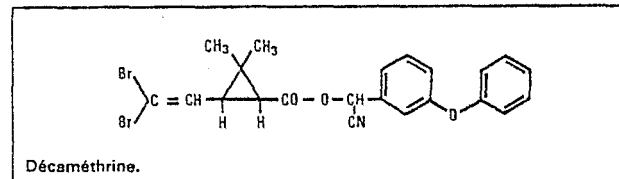
- *Pyréthrinoïdes*

Les premiers pyréthrinoïdes de synthèse, dont la *Bioalléthrine* découverte par Schechter furent produits industriellement à partir de 1950 (in Lhoste, 1977); ils contenaient tous de l'acide chrysanthémique estérifié par différents alcools.

Les composés de la deuxième génération, synthétisés par l'équipe d'Elliott en 1967, comportent tous le même alcool: 5 Benzyl 3 Furylméthyle mais l'acide varie. La *Bioresméthrine* en est le représentant le plus connu.

Tous ces premiers pyréthrinoïdes étaient très actifs mais peu stables à la lumière, donc dépourvus de rémanence. Tout comme les Pyréthrines il était recommandé de synergiser leur action par adjonction de Butoxide de Pipéronyle.

Il appartient encore à l'équipe d'Elliott d'avoir synthétisé à partir de 1973 toute une série de molécules photostables; parmi elles la *Perméthrine* et surtout un composé bromé, la *Décaméthrine* (*Decis* ®) semblent très prometteurs. Cette dernière, en effet, est le plus puissant insecticide actuellement connu et elle est dotée d'une rémanence non négligeable; toutefois son effet irritant pourrait limiter son emploi dans les traitements intradomiciliaires contre les vecteurs du paludisme.



La toxicité, pour les mammifères, très faible pour la *Bioalléthrine* et la *Bioresméthrine* est moyenne pour la *Décaméthrine*.

Il faut retenir que tous ces composés sont très toxiques pour les poissons ce qui limite leur emploi en milieu aquatique.

Toxicité des Pyréthrinoïdes (D'après Lhoste, 1977)

Produit	DL ₅₀ en mg par kg Rat per os
Pyréthrine	420
Bioalléthrine	1.030
Bioresméthrine	8.000
Décaméthrine	70 à 140

Autres insecticides végétaux et animaux

De très nombreuses plantes ont des propriétés insecticides mais une seule d'entre elles le *Derris elliptica* (Légumineuse) contient un composé, la *Roténone*, utilisé en santé publique, en particulier contre les ectoparasites.

Localement, certains végétaux fournissent des moyens de lutte contre les vecteurs. Ainsi en Tanzanie, l'œillet d'Inde, *Tagetes pumila* semble donner de bons résultats contre les larves de moustiques. En Somalie, les gommes de *Commiphora erythraea* et *C. molmol* diluées dans l'urine sont réputées acaricides et répulsives pour les liques de bétail.

La recherche de nouveaux insecticides végétaux vise deux objectifs; fournir aux pays en voie de développement des substances autochtones peu onéreuses; découvrir de nouvelles molécules utilisables contre les souches multirésistantes aux composés actuellement employés.

Un seul insecticide d'origine animale, la *Nérétozine* extraite de vers marins, les *Nereis*, a été sérieusement étudié au Japon.

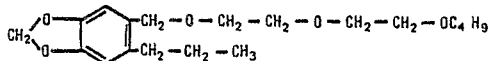
Pourtant de très nombreux insectes contiennent des produits très toxiques pour les arthropodes. Les Irédoïdes dont le type est l'*Iridomyrmécine*, sécrétée par les glandes anales de la fourmi d'Argentine. *Iridomyrmex humilis*, constituent une famille de composés présents dans de nombreux ordres d'insectes - Pédérine chez le coléoptère *Paederus fuscipes* - Périplanétine chez les blattes - Cossine chez le papillon *Cossus cossus*. La plupart de ces produits ont été synthétisés (Pavan, 1975). Des extraits d'Hémiptères Scutellérides de Nouvelle-Calédonie présentent une haute activité sur les larves de moustiques.

Les substances naturelles insecticides, au sens large du mot, constituent un domaine immense dont l'exploration est à peine commencée.

Les Synergistes

Ce sont des produits qui n'ont pas d'activité létale par eux-mêmes. Mais ajoutés à certains insecticides ils augmentent leur activité en bloquant les mécanismes de détoxification de l'arthropode.

Le *Butoxide de Pipéronyle* est le plus connu des composés de ce groupe, il est utilisé pour synergiser les Pyréthrinés naturels, les Alléthrinés et quelquefois certains carbamates et organophosphorés. L'huile de Sésame, aux propriétés analogues, semble tomber en désuétude.

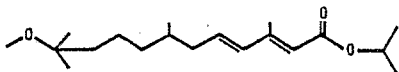


Butoxide de Pipéronyle.

Les analogues d'hormones

Enfin, les derniers venus dans l'arsenal de la lutte chimique sont les analogues d'hormones d'insectes.

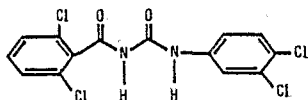
• Un Juvénoïde le *Méthoprène* (Altosid ®) analogue de l'hormone juvénile inhibe la nymphose. La larve meurt sans se nymphoser ou la nymphe meurt, ou, dans les cas les plus rares, l'adulte meurt au moment de l'émergence.



Méthoprène.

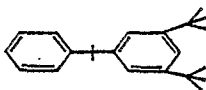
Ce composé agit seulement pendant la période qui précède immédiatement la nymphose. Comme il a une durée d'activité assez courte, son application pose des problèmes de périodicité. Des formulations augmentant la durée d'activité du produit sont en cours d'étude. Les premiers essais en vraie grandeur de ce composé contre les larves de moustiques ont été prometteurs.

• Le *Diflubenzuron* (Dimilin ®) [(4 Fluochlorophenyl) 3 (2,6 difluorobenzoyl) urée] est un ecdysoïde; il inhibe la sclérisation après les mues et entraîne donc la mort de la larve. Il peut être appliqué à tous les stades de la vie larvaire.



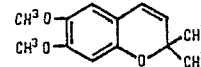
Diflubenzuron.

• Le *MON 0585* est un hydrocarbure qui interfère dans la métamorphose mais n'est pas un mimétique d'hormone (Sacher, 1971).



MON 0585.

Enfin très récemment sont apparus des antihormones. *Précocène 1* et *2*, extraits de la plante ornementale *Ageratum houstonianum*; ils inhibent l'action des juvénoïdes et leur application se traduit par la production d'adultes nains mal formés. Le *Précocène 2* est un 6,7-diméthoxy 2,2 diméthyl chromène.



Précocène 2.

Ces composés sont dénués de toxicité pour les vertébrés. Appartenant à des familles chimiques très différentes des insecticides classiques, ils ne semblaient pas concernés par les multirésistances croisées à l'intérieur ou entre ces groupes.

Cependant des baisses de sensibilité au Méthoprène et au Diflubenzuron ont été observées chez des souches de mouches multirésistantes (Oppenoorth et Van der Pas, 1977) ou provoquées au laboratoire par sélection.

Les molluscicides

• Le *sulfate de cuivre* fut un des produits les plus anciennement employés pour détruire les mollusques, hôtes intermédiaires des schistosomes. A 1 ou 2 ppm³ dans les eaux stagnantes, 10 à 30 ppm dans les eaux courantes, il a également une action sur les cercaires et malheureusement sur les poissons ainsi qu'une grande partie de la faune. C'est d'ailleurs un inconvénient de la plupart des molluscicides que d'être des biocides vis-à-vis de la plupart des éléments de la faune d'eau douce.

• Le *Pentachlorophénol* et le *Pentachlorophénate de sodium* en granulés ou briquettes sont actifs entre 5 et 20 ppm et présentent les mêmes inconvénients.

• Le *Nicosamide* (Baylucid ®) sous forme de poudre mouillable ou de concentré émulsionnable a donné de très bons résultats à 1-2 ppm. Il est cercaricide. C'est d'ailleurs un biocide très actif, en particulier pour les poissons.

• Le *N-trityl-morpholine* (Frescon ®)²² actif à la dose de 1 ppm en concentré émulsionnable ou en granulés est moins toxique que les précédents pour la faune non-cible mais; cependant non sans danger. Il n'est pas cercaricide. C'est un des composés les plus prometteurs.

• Le *Yurimin* (3-5 dibromo 4 hydroxy 4 nitroazo-benzène) est bien adapté à la lutte contre *Oncomelania* au Japon.

Beaucoup d'autres produits présentent des propriétés molluscicides.

• Le *Paraquat*, un herbicide, agit également sur les mollusques.

• Les composés organiques de l'étain (Triphényl étain) et du plomb ont été expérimentés avec un certain succès mais sont très toxiques. Les fongicides cupriques peu solubles, pourraient être utilisés comme composés d'ingestion.

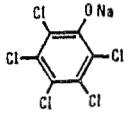
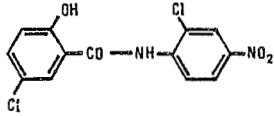
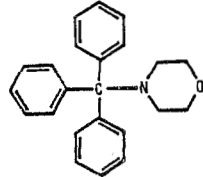
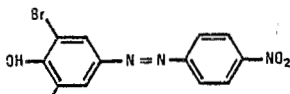
• De nombreuses plantes présentent des propriétés molluscicides; la mieux étudiée est *Phytolacca dodecandra* qui agit par ses saponines. Elle pourrait être utilisée localement par les collectivités rurales dans ses zones de croissance spontanée, de même que les fruits de *Balanites aegyptiaca*.

En laboratoire des composés actifs sur les bulins et les planorbes ont été récemment extraits de diverses plantes africaines; le *Warbuganal*, qui est aussi un anorexisant, de *Warbugia ugandensis* (Chapya, comm. pers.); un Chalone de *Polygonum senegalensis* (Marafudu et Ouma, 1978). Les performances de ces produits restent toutefois assez éloignées de celles du Frescon.

³ 1 ppm: une partie par million soit 1 mg par litre.

²² Ce composé n'est plus commercialisé.

Un opuscule en français sur les molluscicides a été récemment publié par Gayral et Cavier (1977); le sujet avait été revu par l'O.M.S. (Anonyme, 1973) et Cheng (1974).

Les molluscicides usuels	
 <p>Pentachlorophénate de sodium.</p>	 <p>Nicosamide.</p>
 <p>N-Triptyl Morpholine.</p>	 <p>Yurimin.</p>

Les rodenticides

L'utilisation de poisons sur appâts reste un des meilleurs moyens d'éliminer les rongeurs domestiques et, en particulier, les rats, *Rattus rattus* et *Rattus norvegicus*.

Parmi les nombreux rodenticides, les plus employés sont les anti-coagulants, dérivés de la coumarine comme le Coumafène (Warfarin®), Tomorin® et le Coumachlore ainsi que de l'indanedione (Pivalyl, Pival, Diphacinone); ils s'utilisent en appâts à 0.25 mg ou en poison de piste en poudre à 2 ou 3%. Les appâts sont choisis en fonction des préférences locales des rats (poisson, viande, céréales, etc.), et placés à l'écart de l'homme, après préappâtage. La poudre est répandue sur le passage des rats qui s'intoxiquent en léchant leur nourriture.

Ces produits ont une action lente et les appâts doivent être laissés en place deux à trois semaines puis renouvelés. Leur choix et leur mise en place sont aussi importants que les composés eux-mêmes.

L' α naphthyl thiourée (ANTU) qui provoque des œdèmes pulmonaires est beaucoup moins employé que naguère en raison des résistances des rats et du peu de sensibilité de *Rattus rattus*.

Les pâtes phosphorées sont interdites en Grande-Bretagne en raison de leur toxicité. Il en est de même en France pour le Fluoroacétate de Sodium.

La lutte contre les rongeurs sauvages, réservoirs de peste (*Citellus pygmaeus*, *Meriones libicus*, etc.) ou de leishmaniose (*Rhombomys opimus*) se pratique en U.R.S.S. à l'aide d'appâts au phosphore de zinc ou au fluoracétate de sodium placés à l'entrée des terriers ou éventuellement dispersés par avion.

La lutte contre les rongeurs fait en outre largement appel au piégeage. Des modifications architecturales des maisons et des entrepôts peuvent aussi éviter la pénétration des rats («rat-proofing»).

Il est possible que le développement en Afrique des fièvres hémorragiques virales, Lassa et groupes Marburg et Ebola, dans lesquelles les rongeurs et peut-être les primates jouent un rôle primordial, exige l'intensification de la lutte contre les vertébrés réservoirs de virus.

Répulsifs et attractifs

L'utilisation des répulsifs ne peut être envisagée que comme mesure de protection individuelle. En effet, leur durée d'activité ne dépasse pas quelques heures et leur prix de revient est onéreux. Pendant la deuxième guerre mondiale, les Alliés avaient popularisé le Diméthylphthalate qui est encore un des produits les plus utilisés sous des présentations plus sophistiquées: crèmes, bombes, etc. Les impré-

gnations de vêtements avaient, semble-t-il, eu quelque valeur prophylactique à l'égard des Trombiculidés, vecteurs du «Scrub-typhus» en Extrême-Orient.

Les autres produits: Dibutylphthalate, Dibutylène-N-tetrahydrofurfurof, Diéthyltoluamide, Isocinchomérone, ont des performances similaires.

Les attractifs spécifiques pour piéger efficacement les insectes et, en particulier, les phéromones, font l'objet d'un gros volume de recherche. Dans le domaine de la santé publique, le seul produit de ce genre isolé jusqu'ici est le «muscalure» analogue de la phéromone de *Musca domestica*. Il s'ajoute aux jus sucrés, cordelettes et papiers adhésifs, connus depuis très longtemps pour attirer les mouches domestiques. Il n'existe pas actuellement de bons attractifs pour les arthropodes hématophages.

Par contre, l'attraction visuelle est à la base des pièges pour les glossines; les écrans imprégnés d'insecticides actuellement en cours d'essai relèvent des mêmes principes.

Formulations

Suivant leur destination, les pesticides sont présentés sous diverses formulations:

- **Poudres à poudrer.** Elles contiennent 1 à 3% de produit actif incorporé à une poudre inerte; argile, bentonite, pyrophyllite, talc, diatomite, etc. Utilisées dans le déparasitage de l'homme, des animaux domestiques, des locaux.

- **Poudres mouillables.** Elles contiennent de 20 à 75% de produit actif mélangé à une poudre inerte à laquelle est ajouté un agent tensioactif (Triton X 100 par exemple), assurant une suspension homogène dans l'eau. Ces formulations diluées dans l'eau sont appliquées sur les murs, la végétation, etc., lors des traitements rémanents, en particulier pour la lutte antipaludique. Elles peuvent aussi être déversées dans l'eau des gîtes pour la destruction des larves de moustiques, des mollusques, etc.

- **Concentrés émulsionnables.** Ce sont des solutions concentrées de pesticides, généralement dans un solvant organique (Kérosène par exemple), additionnées d'agents tensioactifs qui assurent une émulsification homogène du produit lorsqu'il est mélangé à l'eau. Ces concentrés sont quelquefois utilisés pour les aspersions rémanentes des murs ou de la végétation mais un de leurs emplois majeurs est le traitement des surfaces aquatiques. La densité de la formulation et la dimension des particules jouent un très grand rôle. Lors des traitements des rivières contre les larves de simules par exemple, l'insecticide doit se maintenir dans les 30 à 40 cm supérieurs du plan d'eau; sa densité doit donc être voisine de 1. Si la formulation a une densité trop élevée, le produit va au fond, si elle est trop faible, il reste en surface et dans les deux cas le but n'est pas atteint.

Les concentrés émulsionnables sont en outre utilisés pour des nébulisations. En particulier, les traitements à très faible volume (U.L.V. des auteurs anglo-saxons) requièrent des formulations très concentrées: le Malathion par exemple, produit liquide, est employé presque pur.

- **Les granulés.** Ils se composent d'argiles (Bentonite, Montmorillonite, Vermiculite, Kaolinite, Attapulgite, Celite) sur lesquelles sont adsorbés des insecticides; immergés, ils relarguent lentement leur produit actif.

- **Les briquettes.** Elles ressortissent du même principe, mais le support inerte est constitué par du ciment ou du plâtre.

- **Les résines.** Elles servent de fixateurs aux insecticides volatils, en particulier au D.D.V.P. (plaquettes de Vapona®).

- **Les bombes insecticides** utilisent comme véhicule du butane ou fréon (dichloro-difluorométhane) gaz liquéfiés sous pressions qui se vaporisent lorsqu'ils sont libérés entraînant les produits actifs: pyréthrines (pour leur effet «knock-down»), composés organophosphorés, plus rarement D.D.T. ou HCH. Elles servent à la désinsectisation de locaux clos surtout domestiques.

● *Les peintures insecticides* sont réservées à la protection des habitations et des navires en particulier contre les Blattes.

● *Les microcapsules*. Ce sont des préparations de la taille des particules de nourriture ingérées par les insectes (5 à 15 μ). Le produit est enrobé dans un excipient à base de gélatine ou de matière plastique qui ne se dissout que dans le tube digestif de l'arthropode. Il devient ainsi possible d'utiliser des produits peu stables en milieu aqueux comme les analogues d'hormone, de prolonger l'action des pesticides dans les eaux courantes où les composés dispersés par les méthodes conventionnelles passent rapidement et enfin de limiter leur impact sur les organismes non-cible. En effet, seuls les invertébrés s'alimentant de particules d'une taille voisine de celle des microcapsules sont susceptibles d'être victimes du pesticide ainsi appliqué: les prédateurs, d'une grande importance dans la régulation des populations de vecteurs, seraient ainsi peu affectés. Un vaste programme d'étude de ces formulations est en cours pour élargir les spectres des insecticides utilisables dans un environnement « fragile », en particulier pour la lutte contre les simuliés dans les eaux courantes.

Mode d'épandage

Suivant la nature des traitements, les superficies à désinsectiser et les moyens matériels des pays, les épandages d'insecticides peuvent se faire au sol avec des appareils à dos d'homme ou tractés, ou bien par des aéronefs, avions et hélicoptères.

Les pulvérisations dans les habitations ou sur la végétation se font, le plus souvent, avec des appareils à pression préalable, portés à dos d'homme. Les avions équipés de rampes à buses ne présentent un réel intérêt que pour traiter de grandes surfaces homogènes.

Les aérosols à chaud et à froid, en particulier à très bas volume, sont émis par des appareils à moteur, portés quelquefois à dos d'homme, mais le plus souvent tractés ou placés sur aéronefs (petites turbines).

Le largage de quantités importantes de pesticides en une seule décharge est utilisé pour la lutte contre les larves de simuliés dans les eaux courantes. L'opération se fait avec un appareil « vide-vite » fixé sur un aéronef. Le courant disperse le produit.

Les granulés sont répandus du sol ou d'aéronefs.

La dernière revue sur les équipements de traitement a été éditée par l'Organisation Mondiale de la Santé en 1974 (b).

Si les pulvérisations par appareils à dos, à pression préalable, sont simples et exécutables avec un personnel de qualification modeste, il n'en est pas de même des traitements à grande échelle, par terre ou air, nécessitant de gros moyens mécaniques; ils demandent l'intervention de spécialistes ou tout au moins de personnel ayant subi un entraînement adéquat. Les grandes opérations comme la démonstration dans le Midi de la France, le Programme de lutte contre l'Onchocercose dans le bassin des Volta, sont de véritables entreprises industrielles.

Mode d'action et résistance aux insecticides

Chez l'arthropode, le D.D.T. est un poison du nerf, qui interviendrait dans la répartition des ions K^+ . Le HCH aurait vraisemblablement une action analogue.

Les organophosphorés sont des inhibiteurs de la cholinestérase de même que les carbamates, ce qui explique que la résistance aux premiers provoque fréquemment une baisse de sensibilité aux seconds.

Les pyréthroides immobilisent très rapidement les arthropodes (effet knock-down); ils provoquent une modification de la perméabilité de la gaine nerveuse aux ions K^+ et Na^+ et perturbent l'équilibre entre ces deux ions.

L'action des « juvénoïdes » et des « ecdysoïdes » a été évoquée lors de la description de ces composés.

Quelques années après le début de l'utilisation intensive du D.D.T., on a observé, en Suède notamment, que les mouches domestiques

n'étaient plus tuées par les traitements habituels. C'était le premier cas de résistance physiologique aux insecticides que le Comité O.M.S. d'Experts des insecticides définissait en 1957 comme « l'apparition dans une souche d'insectes de la faculté de tolérer des doses de substances toxiques qui exerceraient un effet létal sur la majorité des individus composant une population normale de la même espèce ».

La détermination de la sensibilité (ou de la résistance) se fait à l'aide de différentes séries de tests bien codifiés par l'O.M.S. Les techniques utilisées varient suivant l'espèce étudiée et ses différents stades: applications topiques pour les mouches, les tsé-tsé, les réduvidés; contacts avec des papiers imprégnés de différentes concentrations d'insecticides pour les moustiques adultes, les mouches, les tsé-tsé, les phlébotomes; immersion dans des solutions dont la concentration croît en progression géométrique, pour les larves de moustiques et de simuliés. L'ensemble des techniques de tests et leur interprétation a été décrit en 1970 dans le rapport du 17^e Comité d'Experts de l'O.M.S., organisme qui procure en outre le matériel pour ces essais.

La sensibilité d'un insecte à un pesticide s'évalue par la détermination des CL_{50} et CL_{95} , c'est-à-dire les concentrations létales qui tuent respectivement 50 et 95 % des spécimens en expérience. La détermination graphique de ces valeurs, sur des papiers log-probit est très facile. On peut parler de résistance lorsque la CL_{50} augmente de 10 fois chez les larves, 5 fois chez les adultes, ou lorsque le rapport CL_{95}/CL_{50} est supérieur à 5; dans ce dernier cas, la population comprend un mélange d'individus résistants et sensibles, ce qui se produit au début de l'apparition du phénomène de résistance. Il faut tenir compte de la variabilité normale de la sensibilité à un insecticide donné à l'intérieur d'une même espèce; c'est ainsi que la sensibilité des larves d'*Aedes aegypti* à l'Abate et au Dursban varie de 1 à 7 suivant les souches. Ce n'est que lorsque les CL_{50} et CL_{95} d'une souche se situent au-delà de ces limites de variation qu'elle peut-être considérée comme résistante. A ses débuts le phénomène de résistance n'est pas toujours facile à établir du fait de cette variabilité intraspécifique, aussi certains auteurs ont-ils utilisé le terme de tolérance; s'il n'est pas très explicite au plan scientifique il attire néanmoins l'attention des utilisateurs sur les risques de défaillance de l'insecticide.

Les résistances résultent en général de l'augmentation des processus enzymatiques de détoxification. C'est ainsi que les *Aedes aegypti* résistants au D.D.T. possèdent davantage de déhydrochlorinase qui transforme le D.D.T. en D.D.E. peu toxique pour les insectes. Dans les résistances aux organophosphorés interviennent les carboxyestérases, les phosphatases, les aliéstérases. Des oxydases à fonction mixte interviennent dans les résistances au D.D.T., aux organophosphorés, aux carbamates et probablement aux pyréthroides. Le mécanisme de la résistance à la dieldrine, la plus répandue, est pratiquement inconnu. Des phénomènes physiologiques non spécifiques comme l'abaissement de la perméabilité cuticulaire et la vigueur de la souche ont été également considérés comme intervenant dans le développement des résistances.

Le développement des souches résistantes est un phénomène de sélection darwinienne des mutants les plus aptes à survivre sous la pression d'insecticides parce que dotés d'un équipement enzymatique plus efficace.

Les résistances ne se manifestent pas seulement vis-à-vis d'un seul produit mais d'un ou plusieurs groupes (résistance croisée). La résistance au D.D.T. s'étend à ses analogues. La résistance à la Dieldrine est croisée avec celle au HCH. La résistance à un organophosphoré peut s'étendre à tous les produits de ce groupe et même aux carbamates; il y a cependant des cas où depuis plus de 10 ans la résistance à un organophosphoré (Malathion chez *Aedes taeniorhynchus* aux Etats-Unis) ne s'est pas étendue à d'autres composés du même groupe.

La résistance est souvent apparue chez une espèce après l'emploi massif d'un produit pour la détruire mais dans de nombreux cas la sélection a été provoquée par les insecticides utilisés en agriculture; en effet, drainés par les pluies ils s'accumulent dans les collections d'eau où se développent les moustiques, soumis ainsi à une forte pression sélective. Un des exemples les plus frappants est cer-

tainement celui d'*Anopheles albimanus* en El Salvador. Cette espèce était résistante à tous les organophosphorés et carbamates avant même leur emploi pour la lutte antipaludique car ces insecticides avaient été épanchés *largu manu* contre les ravageurs du coton.

Brown et Pal ont fait en 1971 une révision du problème de la résistance aux insecticides dont l'importance grandit chaque jour. Les tableaux 1 à 4, tirés du 22^e Rapport du Comité d'Experts

O.M.S. des insecticides (An. 1976) donnent une idée du nombre d'espèces impliquées et de la répartition géographique des souches concernées. La résistance au D.D.T. paralyse nombre de campagnes antipaludiques car les produits de remplacement sont trop onéreux pour les budgets de pays souvent démunis. Les multirésistances aux D.D.T., dieldrine et organophosphorés rendent la lutte chimique contre certaines espèces (ex. : *Aedes nigromaculis* aux Etats-Unis) très difficile.

Tableau 1

Répartition de la résistance chez les anophèles

Espèce*	D.D.T.	Dieldrine
<i>An. sacharovi</i> *	Grèce, Yougoslavie, Albanie, Iran, Liban, Syrie, Turquie	Grèce
<i>An. maculipennis</i>	Grèce, Italie, Iran, Roumanie, Albanie	Roumanie
<i>An. maculipennis messeae</i> *	Roumanie, Bulgarie	Roumanie, Bulgarie
<i>An. labranchiae</i>	Italie, Maroc	Maroc, Algérie
<i>An. labranchiae atroparvus</i>	Italie, Roumanie	Roumanie, Bulgarie
<i>An. claviger</i>	Italie ?	
<i>An. superpictus</i>	Grèce, Turquie, Népal, Java, Inde septentrionale, Pakistan	Grèce, Java, Ceylan, Inde septentrionale, Pakistan
<i>An. sergenti</i>		Jordanie
<i>An. pharoensis</i>	Egypte, Somalie	Egypte, Soudan, Israël
<i>An. pulcherrimus</i>	Arabie Saoudite	Arabie Saoudite
<i>An. coustani tenebrosus</i>	Ile Maurice, Somalie	Egypte, Arabie Saoudite
<i>An. funestus</i>	Somalie	Nigeria, Haute-Volta, Bénin, Mali
<i>An. gambiae</i>	Haute-Volta, Sénégal, Nigeria, Côte-d'Ivoire, Cameroun	Nigeria, Liberia, Côte-d'Ivoire, Kenya, Bénin, Haute-Volta, Togo, Cameroun, Sierra Leone, Soudan, Congo, Ghana, Mauritanie, Mali, Madagascar
<i>An. nili</i>		Ghana
<i>An. rufipes</i>		Mali
<i>An. stephensi</i>	Arabie Saoudite, Irak, Iran, Inde méridionale, Pakistan, Afghanistan	Iran, Irak
<i>An. culicifacies</i> *	Inde occidentale et méridionale, Pakistan, Népal	Inde occidentale, Népal
<i>An. fluviatilis</i>	Inde occidentale	Arabie Saoudite
<i>An. aconitis</i>	Java	Java, Inde
<i>An. vagus</i>	Viêt-Nam, Inde	Java, Philippines
<i>An. barbirostris</i>		Java
<i>An. minimus flavirostris</i>		Philippines, Java, Ile Madure
<i>An. filipinae</i>		Philippines
<i>An. sinensis</i> *	Ryu-Kyu	
<i>An. splendens</i>		Inde septentrionale
<i>An. subpictus</i>	Inde septentrionale, Népal, Java, Pakistan	Inde septentrionale, Java, Pakistan, Ceylan
<i>An. philippinensis</i>		Sabah
<i>An. annularis</i>	Inde	Java
<i>An. sundicus</i>	Java, Sumatra	Java, Sumatra, Sabah
<i>An. quadrimaculatus</i>	U.S.A. (Maryland, Georgie), Mexique	U.S.A. (Mississippi, Georgie), Mexique
<i>An. albimanus</i> *	El Salvador, Nicaragua, Honduras, Guatemala, Mexique, Cuba	El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Jamaïque, Equateur, Cuba, Mexique, Haïti, Colombie, Honduras britannique, République Dominicaine
<i>An. pseudopunctipennis</i>		Mexique, Nicaragua, Venezuela, Pérou, Equateur
<i>An. aquasalis</i>	Brésil	Trinité, Venezuela, Brésil
<i>An. albitarsis</i>	Colombie	Colombie, Venezuela
<i>An. punctimacula</i>	Colombie	
<i>An. nunez-tovari</i>	Venezuela	
<i>An. crucians</i>	U.S.A. (Caroline du Sud)	République Dominicaine
<i>An. rondoni</i>	Brésil	
<i>An. neomaculipalpis</i>		Trinité, Colombie
<i>An. triannulatus</i>		Venezuela
<i>An. strodei</i>	Brésil	Venezuela
<i>An. rangeli</i>		Venezuela
<i>An. grabhami</i>	Cuba	
<i>An. galvaoi</i>	Brésil	
<i>An. vestipennis</i>	Guatemala	

* Espèces résistantes aux organophosphorés.

Ces tableaux sont largement inspirés du 22^e Rapport du Comité O.M.S. d'Experts des Insecticides. «Résistance des vecteurs et des réservoirs de maladie aux insecticides». Sér. Rap. tech. n° 585 - 1975 - pp. 11-22.

Tableau 2

Répartition de la résistance chez les Culicidés du genre Aedes

Espèce	D.D.T.	Dieldrine/NCH	Organophosphorés
<i>Aedes aegypti</i>	Toute la zone américaine La plupart des pays d'Asie Tous les pays d'Afrique prospectés Dans le Pacifique: Tahiti, Moorea, Gambier, Nouvelle-Calédonie, Niue		Venezuela, Guyane, Porto-Rico, Iles Vierges, Viêt-Nam, Malaisie, Santa Lucia, Thaïlande, Barbade, Guadeloupe, Dominique, St-Vincent, Grenade, Curaçao, Rép. Dominicaine, El Salvador, Panama, Congo, Panama, Surinam, Colombie, Malaisie, U.S.A. (Fla), Nouvelle-Calédonie
<i>Aedes albopictus</i>	Inde, Thaïlande, Indonésie, Japon, Malaisie, Viêt-Nam, Philippines, Cambodge	Inde, Malaisie, Japon, Thaïlande, Indonésie, Philippines, Viêt-Nam	Viêt-Nam, Malaisie, Madagascar
<i>Aedes polynesiensis</i>	Tahiti		
<i>Aedes vittatus</i>	Inde		
<i>Aedes fijiensis</i>	Fidji		
<i>Aedes pseudocutellaris</i>	Fidji		
<i>Aedes nigromaculis</i>	U.S.A. (Ca.)	U.S.A. (Ca.)	U.S.A. (Ca.)
<i>Aedes togoi</i>			Corée du Sud
<i>Aedes melaninon</i>	U.S.A. (Ca.)		U.S.A. (Ca.)
<i>Aedes sierrensis</i>	U.S.A. (Ca.)		U.S.A. (Ca.)
<i>Aedes taeniorhynchus</i>	U.S.A. Grand Cayman	U.S.A. Grand Cayman	U.S.A.
<i>Aedes sollicitans</i>	U.S.A.	U.S.A.	U.S.A.
<i>Aedes detritus</i>	France		
<i>Aedes caspius</i>	Soudan		
<i>Aedes triseriatus</i>	U.S.A. (Virg.)		
<i>Aedes atropalpus</i>	U.S.A. (Okla.)		
<i>Aedes cantator</i>	Canada		
<i>Aedes vexans</i>	Canada		
<i>Aedes cantans</i>	République fédérale allemande, Tchécoslovaquie		

Tableau 3

Répartition de la résistance chez les Culicidés (sauf Aedes)

Espèce	D.D.T.	Dieldrine/NCH	Organophosphorés
<i>Psorophora discolor</i>	U.S.A.	U.S.A.	
<i>Psorophora confinis</i>	U.S.A.	U.S.A.	
<i>Armigeres subulbatus</i>	Japon, Malaisie	Japon	Japon, Malaisie
<i>Armigeres subulbatus</i>	Sri-Lanka	Sri-Lanka	Sri-Lanka
<i>Culiseta inornata</i>	U.S.A. (Ca.)	U.S.A. (Ca.)	U.S.A. (Ca.)
<i>Culex pipiens molestus</i>	Italie, Grèce, Maroc, Israël, Japon, France	Italie, Maroc, Japon, Israël, France	Israël
<i>Culex pipiens pipiens</i>	Turquie, Iran, Géorgie, Ukraine, Azerbaïdjan, Albanie, Bulgarie, Egypte, U.S.A., France, Russie	France, Iran, Maroc, Egypte, Tunisie, Azerbaïdjan, U.S.A., Tchécoslovaquie	Egypte, France
<i>Culex pipiens pallens</i>	Japon, Corée, Chine	Japon, Corée, Chine	Japon, Corée
<i>Culex pipiens fatigans</i>	Pertout dans son	Pertout dans son	Cameroun, Guinée, Sierra-Leone, Japon, Madagascar
<i>Culex peus</i>	U.S.A.	U.S.A.	Viêt-Nam
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	Japon, Taïwan, Nigeria, Corée du Sud, Bénin	Japon, Taïwan, Nigeria, Corée du Sud	U.S.A. (Ca.) Ile Ryu-Kyu Corée du Sud
<i>Culex annulus</i>	Taïwan	Taïwan	Taïwan
<i>Culex fuscocephalus</i>	Taïwan	Taïwan	Taïwan
<i>Culex tarsalis</i>	U.S.A. (Ca.)	U.S.A. (Ca.)	Bénin
<i>Culex nebulosus</i>			Bénin
<i>Culex poellips</i>			Bénin
<i>Culex gelidus</i>	Thaïlande	Thaïlande	
<i>Culex coronator</i>	Panama		
<i>Culex salinarius</i>	U.S.A.	U.S.A.	
<i>Culex restuans</i>	U.S.A.		
<i>Culex erythrorhax</i>	U.S.A.		
<i>Culex nigripalpus</i>	U.S.A.		

Tableau 4
Répartition de la résistance chez les autres arthropodes nuisibles

Espèce	D.D.T.	Dieldrine/HCH	Organophosphorés
<i>Leptoconops kerteszi</i> ..	U.S.A. (Ca.)	U.S.A.	
<i>Culicoides furcator</i> ..		U.S.A. (Fa.), Panama	
<i>Hippelates coltosor</i> ..		U.S.A. (Ca.)	
<i>Leptocera hirtula</i> ..	Malaisie	Malaisie	
<i>Simulium sokil</i> ..	Japon		
<i>Simulium ornatum</i> ..	Japon		
<i>Simulium vanusatum</i> ..	Canada		
<i>Simulium demnosum s.l.</i>	Côte-d'Ivoire		
<i>Chironomus zelandicus</i> ..		Nouvelle-Zélande	
<i>Glyptotendipes paripes</i> ..		U.S.A. (Fa.)	U.S.A. (Fa.)
<i>Cheoborus astictopus</i> ..	U.S.A. (Ca.)		
<i>Psychoda alternata</i> ..	U.S.A. (Ill.)	Angleterre	
<i>Phlebotomus papatasi</i> ..	Inde		
<i>Cimex hemipterus</i> ..	Taiwan, Chine, Inde, Somalie, Kenya, Malaisie, Thaïlande, Madagascar, Haute-Volta	Inde, Tanzanie, Kenya, Haute-Volta, Benin, Madagascar, Malaisie	
<i>Cimex lectularius</i> ..	U.S.A., Congo, Israël, Corée, Grèce, Japon, Italie, Iran, Guyane, Trinité, Turquie, Hongrie, Pologne, Brésil, Rhodésie, Indonésie, Colombie, Afrique du Sud, Egypte, Grande-Bretagne	Italie, Israël, Inde, Indonésie, Zambie, Rhodésie, Brésil, Afrique du Sud, Egypte, Grande-Bretagne	Israël, U.R.S.S.
<i>Musca domestica</i> ..	Partout dans son aire de répartition où elle a été traitée		
<i>Stomoxys calcitrans</i> ..	Suède, Norvège, Italie, Allemagne	U.S.A., Norvège, Allemagne, U.S.A.	
<i>Lucilia cuprina</i> ..		Australie	Australie
<i>Lucilia sericata</i> ..		Nouvelle-Zélande, Afrique du Sud, Liban, Zaïre, Tanzanie, Madagascar	Zaïre
<i>Chrysomya putoria</i> ..			
<i>Protophormia torrensensis</i>	U.R.S.S. (Europe)		
<i>Haematobia irritans</i> ..		U.S.A. (Tex.)	U.S.A. (Louis.)
<i>Fannia canicularis</i> ..	Espagne, Japon, U.S.A. (Ca.), Grande-Bretagne	U.S.A. (Ca.)	
<i>Fannia ferox</i> ..	U.S.A. (Ca.)	U.S.A. (Ca.)	
<i>Rhodnius prolixus</i> ..		Venezuela	
<i>Triatoma maculata</i> ..		Venezuela	
<i>Stetotermes germanicus</i> ..	U.S.A.	U.S.A.	U.S.A.
<i>Pulex irritans</i> ..	Pérou, Equateur, Grèce, Turquie, Brésil, Egypte, Israël, Tchecoslovaquie	Tanzanie, Turquie, Egypte	
<i>Xenopsylla cheopis</i> ..	Inde, Egypte, Viêt-Nam, Thaïlande, Israël, Chine, Brésil, Philippines, Inde	Inde, Thaïlande, Viêt-Nam, Equateur, Brésil, Inde	Viêt-Nam
<i>Xenopsylla astia</i> ..			
<i>Pedicularis humanus humanus</i> ..	Corée, Japon, Egypte, Iran, Turquie, Libye, Ethiopie, Chili, Inde, Pérou, Yougoslavie, France, Afghanistan, Mexique, Burundi, Sénégal, Ouganda, Hongrie, Soudan, Roumanie	France, Japon, Inde, Burundi, Sénégal, Afrique du Sud, Iran, Tanganyika, Corée, Soudan, Egypte	Egypte, Burundi, Sénégal
<i>Pedicularis humanus capitata</i>	Grande-Bretagne, France, Danemark, Hongrie, Afrique du Sud	Grande-Bretagne	
<i>Amblyomma americanum</i>		U.S.A. (Ok.)	
<i>Amblyomma variegatum</i>		Tanzanie	
<i>Boophilus microplus</i> ..	Australie, Brésil, Argentine	Australie, Brésil, Guadeloupe, Inde	Australie, Argentine, Brésil, Venezuela, Colombie
<i>Boophilus decoloratus</i> ..	Afrique du Sud, Rhodésie	Afrique du Sud, Rhodésie, Ouganda	Afrique du Sud
<i>Dermacentor variabilis</i>	U.S.A. (Mass.)	U.S.A. (Mass.)	
<i>Hyalomma marginatum</i>		Espagne	

Actuellement, le lancement de nouveaux insecticides est si onéreux que l'industrie a ralenti sérieusement ses recherches alors que l'arsenal disponible se réduit continuellement du fait de ces résistances. Or, le seul moyen de les pallier est de changer d'insecticide, voire de groupe d'insecticides. Force est donc d'employer au mieux les ressources disponibles et de s'assurer avant l'utilisation de tout nouveau composé que les souches locales y sont sensibles.

Nous dirons quelques mots de la toxicité pour l'homme des pesticides et de leur impact sur l'environnement avant d'aborder l'étude des méthodes non chimiques.

Action des pesticides sur l'homme et l'environnement

La toxicité des pesticides varie considérablement suivant les composés comme en témoignent les DL₅₀ per os par kg de rat mention-

nées à l'occasion de leur description. En outre, la toxicité percutanée est très importante, en particulier pour les organophosphorés et les carbamates; elle impose un certain nombre de mesures de protection pour les personnels qui manipulent les insecticides.

D'une façon générale sont recommandés: le port de vêtements appropriés (tabliers, gants, bottes, masques), des lavages corporels fréquents, en particulier des parties du corps en contact avec les pesticides, le changement de vêtements; la manipulation des produits dans des locaux aérés et l'utilisation de bons appareils. Ces mesures doivent être d'autant plus strictes que le composé utilisé est plus toxique.

Le personnel devra subir des examens médicaux périodiques; le taux de cholinestérase devra être contrôlé chez ceux qui manipulent des organophosphorés et des carbamates.

Le traitement des intoxications aiguës est essentiellement symptomatique mais dans le cas des organophosphorés l'atropine et la pralidoxime ont une action spécifique.

L'ensemble des mesures à prendre est décrit dans le 12^e rapport du Comité d'Experts O.M.S. des Insecticides (1962) et diverses autres publications.

De grandes campagnes de presse ont stigmatisé l'action néfaste des pesticides, et en particulier du D.D.T., sur l'environnement. Ces polémiques se sont déroulées dans un climat passionnel qui ne permet souvent pas de mettre en balance les effets nocifs de ces produits et les services qu'ils rendent, parce que les deux aspects n'ont pas été étudiés par des techniciens chargés des mêmes responsabilités.

Le D.D.T., très stable, ne se décompose que très lentement et certains auteurs estiment que le quart du D.D.T. déversé sur la planète persiste actuellement. De plus, il s'accumule et se concentre dans les chaînes alimentaires, atteignant de très hautes teneurs chez les prédateurs, terrestres ou aquatiques, placés au sommet des chaînes; en particulier la reproduction des rapaces semble en être perturbée. L'évidence d'effets nocifs sur l'homme n'a pu être réellement faite. De plus, de par sa polyvalence, le D.D.T. détruit une grande partie de la faune arthropodienne du milieu où il est déversé ou drainé, ce qui accélère les ruptures de l'équilibre biologique (disparition de beaucoup d'espèces, pullulation de certaines, en particulier de celles moins élevées dans la hiérarchie zoologique). Les pesticides ne sont d'ailleurs pas les seules causes de perturbation de cet équilibre et certaines méthodes culturales modernes, en particulier les monocultures le modifient profondément.

Nombre de pays de l'hémisphère septentrional ont réglementé et quelquefois interdit l'emploi du D.D.T. De ce fait, sa fabrication a été réduite et beaucoup de pays du Tiers Monde envisagent de fabriquer le D.D.T. qu'ils considèrent comme indispensable à la solution de leurs problèmes de développement.

Le HCH, la dieldrine et les autres cyclodiènes s'accumulent moins dans les chaînes alimentaires, mais étant très stables et très toxiques, ils provoquent de gros dégâts sur les animaux insectivores et sur le milieu, ce qui a également provoqué leur réglementation.

Les autres produits sont nettement moins stables et souvent biodégradables. Ils ne présentent donc pas de phénomènes d'accumulation. Cependant, leur utilisation fréquemment répétée peut provoquer à long terme des modifications de l'écosystème. Ainsi l'Abate répandu hebdomadairement dans certains cours d'eau d'Afrique de l'Ouest pour lutter contre les simulies a amené une réduction de la biomasse des arthropodes de l'ordre de 20 à 30% dont l'incidence sur la faune ichtyologique n'est pas encore sensible. L'importance du programme en cours est telle que les conclusions sur l'action des épandages d'insecticides sur les écosystèmes ne doivent être formulées qu'avec prudence.

En fait l'établissement de bilans objectifs des conséquences de l'emploi des pesticides demande la mise en place de grosses équipes de recherches dont les travaux ne peuvent être interprétés qu'avec un certain recul.

Enfin, il faut signaler les griefs récemment retenus contre le fréon, utilisé notamment dans les bombes insecticides, qui détruirait la couche d'ozone de la haute-atmosphère.

□ Les méthodes de lutte non-chimique

Lutte mécanique et modifications de l'environnement

L'assèchement des marais pour éviter la pullulation des moustiques est certainement un des procédés de lutte contre les insectes les plus anciennement utilisés. La rectification des berges, le fauchage de la végétation aquatique, la modification de la salinité par ouverture de canaux ou, au contraire, construction de digues, concourent au même but. Ces procédés de réduction des sources, actuellement très conseillés par les protecteurs du « milieu » modifient néanmoins considérablement l'environnement et souvent de façon irréversible. De plus, s'ils ne sont pas étayés par des connaissances écologiques approfondies, ils risquent d'amener le remplacement d'une espèce par une autre tout aussi nocive.

La destruction des récipients abandonnés, des vieux pneus, des plantes à feuilles engainantes, le renouvellement des eaux domestiques, l'obturation des creux d'arbres, ont été des méthodes très efficaces, longtemps les seules employées, et avec succès, contre les *Aedes domestiques* et péridomestiques, en particulier *Aedes aegypti*. Reprises dans des programmes d'éducation sanitaire, elles peuvent se révéler très précieuses.

Les barrages suppriment les gîtes des larves de simules dans leurs lacs de retenue, mais peuvent en créer d'autres sur le trajet de leur déversoir.

L'élimination des ordures ménagères et organiques diminue la reproduction des mouches.

L'amélioration de l'habitat et la séparation des animaux domestiques ont fait disparaître les Ornithodores, vecteurs de fièvres récurrentes.

Pendant longtemps, la lutte contre les glossines fut basée uniquement sur des déboisements totaux ou sélectifs, suivis de mise en culture des zones récupérées. Ces méthodes sont onéreuses et modifient considérablement l'environnement facilitant l'érosion le long des cours d'eau. La destruction du gros gibier, source de nourriture présumée pour les mouches, quelquefois préconisée n'est heureusement plus conseillée.

L'assèchement des collections d'eau, définitif ou temporaire et la destruction de la flore, contribuent à l'élimination des hôtes intermédiaires de bilharzioses. A l'opposé, la création d'un courant rapide dans les canaux d'irrigation évite que les mollusques ne s'y établissent mais les simules vectrices d'onchocercose (en Afrique de l'Ouest, par exemple) peuvent y trouver des conditions favorables à leur développement. Le remplacement de l'irrigation par l'arrosage ou la construction de canalisations souterraines constituent deux palliatifs à l'extension des schistosomiasis mais sont onéreux alors que les pays concernés sont souvent pauvres.

Les grands travaux d'hydraulique, liés à la mise en valeur, permettent donc de supprimer les gîtes de certains vecteurs comme nous l'avons vu, mais créent d'autres problèmes. Ils peuvent ainsi favoriser les vecteurs du paludisme, de la filariose de Bancroft, de l'onchocercose et de la bilharziose. Aussi, est-il souhaitable que des études préalables permettent de minimiser les risques à défaut de les supprimer. De même, les programmes de développement devraient s'accompagner de la mise en place d'une structure sanitaire pour éviter à des populations souvent non immunisées de se trouver placées dans un contexte épidémiologique de nature à décourager leur établissement.

Utilisation des agents pathogènes

Bien qu'aucun agent pathogène ne soit encore opérationnel contre les vecteurs, plusieurs d'entre eux retiennent l'attention.

Les virus iridescents qui attaquent les larves de moustiques n'ont pas dépassé les études préliminaires.

La bactérie, *Bacillus sphaericus* provoque des mortalités importantes chez les moustiques *Culex* et *Anopheles*, à un degré moindre sur les *Aedes*. Elle ne se reproduit pas dans le milieu naturel et devrait

être appliquée comme insecticide biologique. Le sérotype 14 de *Bacillus thuringiensis israelensis* de Barjac est très prometteur pour la lutte contre les larves de moustiques et de simules. Sa fraction active en milieu aquatique est composée de cristaux d'exotoxine fixés sur les spores. L'action est rapide et le produit se comporte comme un insecticide d'origine biologique. Mais il est dépourvu de toxicité pour les mammifères et la faune non-cible. Toutefois le problème des formulations reste à résoudre.

Certains champignons comme *Metarhizium anisopliae* n'ont pas confirmé les premiers espoirs qu'ils avaient suscité. Les recherches sur les *Entomophthora* n'ont pas dépassé le stade du recensement des espèces pathogènes. Les essais d'infestation des larves de moustiques par les *Coelomomyces* n'ont pas été concluants, on a récemment découvert que leur cycle passait par des copépodes avant qu'ils n'atteignent leur hôte définitif.

L'O.M.S. envisage un programme de développement par étapes des agents pathogènes en perfectionnant les formulations, en sélectionnant les souches les plus actives et en s'assurant de leur innocuité pour la faune aquatique avant qu'ils ne puissent être conseillés.

Les nématodes de la famille des Mermithides sont parasites des insectes. *Romanomeris culicivora* a permis de lutter avec succès contre les larves de moustiques dans des projets expérimentaux de terrain à grande échelle dans le Sud des Etats-Unis. L'utilisation de nématodes de ce groupe pour lutter contre les simules fait l'objet d'études, encore préliminaires, en Amérique du nord et en Côte-d'Ivoire. Il n'apparaît pas que dans un proche avenir ils puissent suppléer les insecticides.

Lutte biologique

Parmi les nombreux prédateurs des arthropodes d'intérêt médical, seuls les poissons larvivores et les larves de moustiques prédatrices ont été utilisés.

Le poisson larvivore *Gambusia affinis* a été introduit en Europe, au Moyen-Orient, aux Etats-Unis pour lutter contre les moustiques. Son action est cependant limitée aux eaux permanentes. Aussi, n'est-il pas rare de le voir coexister avec de très fortes densités de moustiques se développant dans des eaux temporaires comme en Camargue et en Corse. Aux Etats-Unis, Hoy et al. (1972) ont constaté que les gambusies dévorant les insectes prédateurs, il s'ensuivait une augmentation des populations de moustiques. En Afghanistan, il est très largement utilisé pour lutter contre les Anophèles dans les rizières; cependant l'hiver très rigoureux oblige à un réempoissonnement annuel. Le guppy, *Lebistes reticulatus* supporte des eaux très polluées et a été recommandé pour contrôler *Culex fatigans* dans les drains en Extrême-Orient et en Nouvelle-Calédonie. En Chine les carpes élevées dans les rizières dévorent les plantes et les larves de moustiques se trouvent exposées aux prédateurs. Cependant l'emploi des insecticides intradomiciliaires n'est pas supprimé pour autant (Kung et Huang, 1976).

L'emploi des poissons est très fortement encouragé comme un élément de la lutte intégrée contre les moustiques. Il faut cependant rester conscient de ses limitations; en effet, ils seraient de peu d'efficacité contre un vecteur comme *Anopheles gambiae* dont la plupart des gîtes sont très temporaires. Les poissons « annuels » dont les œufs résistent à la dessiccation (*Cynolebias* et *Notobranchius*) sont envisagés depuis plus de 20 ans pour ces situations mais aucun essai d'envergure n'a été tenté sur le terrain. Enfin, il faut s'assurer que l'introduction de certaines espèces ne serait pas de nature à nuire à la faune piscicole indigène.

Les larves de moustiques non-piqueurs du genre *Toxorhynchites* vivant dans les gîtes péridomestiques et les creux d'arbres dévorent les larves des autres culicidés en particulier des *Aedes*. Ces prédateurs ont été introduits avec un certain succès aux Samoa américaines pour lutter contre *Aedes polynesiensis* et plus récemment à Tahiti où ils se sont répandus dans toute l'île; les premières analyses montrent une réduction de 20 à 30% des populations d'*Aedes*, résultat insuffisant pour supprimer la transmission de la filariose. Des recherches sont en cours pour tenter d'améliorer cette méthode de lutte biologique par des lâchers « inondatifs ».

L'utilisation des prédateurs qui, a priori, semble très séduisante, présente souvent de sérieuses difficultés. L'efficacité des poissons, par exemple, varie considérablement d'un milieu à l'autre et son évaluation réelle en terme épidémiologique n'a jamais été vraiment faite. Les effets adverses que peut provoquer l'introduction de nouvelles espèces sont difficiles à prévoir et les risques de jouer les apprentis sorciers ne sont pas négligeables; certains mollusques, par exemple, qui détruisent les hôtes intermédiaires de bilharziose semblent également s'attaquer à nombre d'autres invertébrés et leur dissémination pourrait être suivie de désastres écologiques. Les espèces prédatrices indigènes sont l'objet des mêmes processus de régulation que les vecteurs et il faut donc procéder à des lâchers répétés de spécimens produits en laboratoire. Or, leur élevage en masse pose de sérieux problèmes de même que leur dissémination ultérieure.

Certaines plantes, en particulier des Crucifères, ont des graines mucilagineuses qui attirent les larves de moustiques; celles-ci peuvent difficilement dégager leurs mandibules de la graine et meurent asphyxiées. Les résultats de laboratoire demandent confirmation sur le terrain.

En Guadeloupe, on utilise un Trématode *Ribeiroia marini* pour des essais de lutte biologique contre le mollusque *Biomphalaria glabrata*, vecteur de bilharziose. Ce parasite évolue à l'état adulte chez le rat qui en expulse les œufs avec ses déjections. Les œufs éclosent en milieu aquatique et les larves pénètrent chez le mollusque dont elles dévorent les glandes génitales et provoquent la stérilité. Les larves sont ensuite libérées puis passent chez des poissons qui seront dévorés par les rats. Les premières expériences ont montré qu'il était possible d'obtenir une réduction considérable des populations de mollusques, au moins sur une aire réduite (Golvan, 1978).

Lutte génétique

Elle envisage la lutte contre les vecteurs par modification de leur patrimoine génétique ou par leur autodestruction. Un programme de lutte contre une myiase du bétail (« screw-worm ») provoquée par *Cochliomyia hominivorax* couronné de succès aux Etats-Unis, a servi de catalyseur à un nombre considérable d'expériences où la créativité des chercheurs a pu se donner libre cours. La destruction des populations de ce diptère en Floride et en Alabama avait été obtenue par des lâchers répétés de mâles stérilisés aux rayons X à raison de 5 mâles stériles pour 1 mâle normal. La majorité des femelles s'étant accouplées avec ces mâles stériles ne donnaient pas de descendance et la population s'éteignait progressivement. Un des principes de base était l'accouplement unique des femelles de cette espèce (comme d'ailleurs chez beaucoup d'insectes); 4 femelles sur 5 ayant ainsi leur spermathèque remplie d'un liquide séminal dont les spermatozoïdes possédaient des chromosomes altérés, pondaient des œufs qui ne se développaient pas. Après quelques mois l'espèce disparut, sans qu'il soit prouvé qu'elle eût été réellement éradiquée. En Floride le « screw-worm » avait été importé il y a une trentaine d'années, ce qui, certainement favorisa l'expérience car les mêmes techniques appliquées sur les frontières du Mexique, aire de répartition originelle de l'espèce, n'eurent pas des résultats aussi brillants.

De très nombreuses expériences de lutte génétique ont été réalisées sur les arthropodes d'intérêt médical, (Mouchet et Rageau 1963, Mouchet, 1971).

La stérilisation des mâles peut s'obtenir non seulement par des radiations mais aussi par des composés chimiques: antimétabolites, agents alkylants qui « cassent » les chromosomes, antimétabolites. L'apholate et le thiotepa ont été parmi les plus prometteurs. Un nouveau chimiostérilisant le Bazarone, extrait de la plante *Aeorus calamus*, ne possède pas de groupement aziridine et serait donc beaucoup moins dangereux à manipuler (Saxena et al., 1977).

D'autre part, il est possible d'obtenir des mâles stériles par hybridation. Le croisement d'*Anopheles gambiae* B et d'*Anopheles melas* ne fournit pratiquement que des mâles qui sont naturellement stériles. A l'intérieur de l'espèce *Culex pipiens* il existe des incompatibilités cytoplasmiques entre les souches, peut-être dues à des rickettsioses; le lâcher de mâles d'une souche incompatible avec la souche locale se traduit par la production d'œufs infertiles dans les mêmes proportions que celle des mâles incompatibles par rapport aux mâles locaux.

L'introduction de translocations chromosomiques abaissant la fertilité a été tentée sans beaucoup de succès car les individus porteurs de translocation sont éliminés par la population normale.

Il a été envisagé de remplacer les souches locales de vecteur par des souches inaptes à transmettre. Mais cette manipulation génétique pose les mêmes problèmes que la substitution d'une espèce à une autre. Or ceci n'a pas encore pu être obtenu. Une expérience dans un atoll de Polynésie visant à remplacer *Aedes polynesiensis* vecteur de filariose par *Aedes albopictus* a échoué, l'espèce importée ayant disparu en moins d'un an. Par contre, à la suite de traitements insecticides notamment, des nouvelles espèces ont quelquefois occupé spontanément les niches écologiques libérées.

L'introduction de gènes délétères de tous ordres dans le patrimoine génétique des vecteurs fait partie des projets des chercheurs.

Toutes ces manipulations génétiques exigent en fait des connaissances extrêmement poussées non seulement dans le domaine de la génétique mais aussi dans celui de l'écologie et de l'éthologie. Les lâchers de mâles stériles nécessitent une production de masse considérable de spécimens compétitifs dans les conditions naturelles. Des progrès importants ont été accomplis, en particulier pour la colonisation des glossines mais les conditions des élevages de masse tendent à sélectionner des souches qui se différencient des populations naturelles soumises à la pression sélective constante des composantes de l'environnement. En développant des élevages à l'obscurité de *Cochliomyia hominivorax*, on a même obtenu des mâles qui avaient perdu leur capacité de vision diurne.

En écologie il reste encore beaucoup à connaître sur le mécanisme de régulation des populations naturelles; chez les moustiques, par exemple, moins de 5% des œufs poursuivent leur développement jusqu'au stade adulte et le nombre des adultes issus d'un gîte ne dépend pas seulement du nombre d'œufs pondus dans ce gîte mais aussi de la « capacité écologique » de celui-ci. La réduction provoquée par les méthodes génétiques doit s'ajouter à celle de la sélection naturelle et non s'y incorporer. C'est certainement un des points difficiles à surmonter aussi bien pour la lutte génétique que pour la lutte biologique.

Des travaux considérables exécutés en Inde sur les moustiques urbains ont fourni un énorme volume d'information mais les conclusions au plan de la lutte manquent de consistance; le programme a été interrompu pour des raisons politiques.

En El Salvador, une petite population isolée d'*Anopheles albimanus*, donc très vulnérable a été exterminée par lâchers de mâles stériles. Ce succès demande à être confirmé en milieu « ouvert ».

En Afrique, des lâchers de mâles stérilisés de glossines sont envisagés pour compléter des opérations de lutte chimique et des laboratoires pour leur production fonctionnent déjà.

Les espoirs ne sont donc pas vains, mais il ne faut pas s'attendre à une panacée. Chaque espèce, dans chaque milieu, posera des problèmes différents et sa destruction demandera probablement la mise en place d'un contexte scientifique autrement plus important que celui nécessité par la lutte chimique. Sauf dans quelques cas, comme la destruction d'*A. aegypti* en milieu urbain, les opérations de lutte non chimique sont très complexes et souvent onéreuses contrairement à l'opinion généralement répandue.

Méthodes spécifiques de lutte contre les différents vecteurs

□ Lutte contre les anophèles - Lutte antipaludique

Jusqu'à la Deuxième Guerre mondiale, les mesures prophylactiques contre le paludisme, outre la protection individuelle par la quinine et les moustiquaires, consistaient essentiellement en une réduction des populations de vecteurs par assèchement des gîtes larvaires; ces opérations, très onéreuses, étaient le plus souvent associées à des projets de développement (assèchement des Marais Pontins en Italie par ex.). Des traitements larvicides aux huiles de pétrole et au vert de Paris, en milieu urbain notamment, des essais de zooprophyllaxie, de pulvérisations intradomiciliaires d'extraits de pyrèthre, l'introduction de poissons larvivores, furent également exécutés. Les résultats en furent limités tant au point de vue de l'efficacité que de l'ampleur géographique.

En 1944, Cahan aux Etats-Unis, utilisa le D.D.T. en pulvérisations intradomiciliaires contre les insectes domestiques. Le résultat fut si spectaculaire vis-à-vis des anophèles que cette technique fut appliquée dès la fin de la guerre en Italie, en Grèce, en France (Corse), aux Etats-Unis, en Inde, au Venezuela, etc. Partout, les indices malarométriques s'effondrèrent et de vastes régions furent débarrassées du paludisme. Les vecteurs n'avaient pas disparu mais la transmission de la maladie avait été interrompue. En effet, la plupart des anophèles sont nocturnes et donc piquent l'homme dans les maisons où il dort; ensuite, ils se reposent sur les murs durant la digestion de leur repas de sang et sont alors tués par l'insecticide qui a été déposé sur les parois. Tout anophèle ayant piqué un humain n'a plus la possibilité d'en piquer un deuxième puisqu'il périt après la première piqure; la chaîne de transmission se trouve rompue. Les insecticides utilisés furent généralement des poudres mouillables de D.D.T. à 2 g/m² de produit actif en cycle semestriel, la Dieldrine à 0,5 g/m² en cycle annuel, le δ -HCH à 0,5 g/m² en cycle trimestriel.

Devant les succès obtenus dans les pays précités l'Organisation Mondiale de la Santé incita tous les pays à développer leurs actions contre le paludisme pour arriver à l'éradication de la maladie sur l'ensemble de notre planète. Le déroulement des opérations avait été parfaitement codifié par différents Comités d'Experts. Après les études préliminaires débutait la phase d'attaque basée sur l'emploi d'insecticides résiduels qui devaient interrompre la transmission; cette absence de transmission devait persister pendant trois ans avant que ne débute la phase suivante dite de surveillance; les derniers porteurs de parasites étaient alors dépistés et traités par chimiothérapie; enfin dans la phase de maintenance, les éventuelles résurgences de la maladie devaient être éteintes. L'éradication était une opération limitée dans le temps, véritable investissement qui séduisit les économistes. De gigantesques opérations de lutte contre les vecteurs se déroulèrent dans toutes les zones tropicales et subtropicales du monde.

Partout la transmission du paludisme diminua sensiblement et, parallèlement, l'incidence de la maladie régressa*. Cependant dans de nombreuses régions, surtout dans les zones d'hyperendémie d'Afrique, d'Asie du Sud-Est et de Nouvelle-Guinée, l'interruption de la transmission ne devint jamais une réalité (Mouchet, 1963; Hamon et al., 1963); or elle constituait le premier échelon des opérations d'éradication.

On peut s'interroger sur la disparité des résultats obtenus par les mêmes méthodes et les mêmes produits dans des régions où la transmission palustre était relativement modérée comme le bassin méditerranéen et des zones à haut niveau de transmission comme les savanes d'Afrique de l'Ouest. La réponse réside dans l'aspect quantitatif de l'épidémiologie de la maladie. Dans le premier cas il suffira de détruire 50% voire moins des vecteurs piquant effectivement l'homme alors que dans le deuxième cas il faudra en supprimer au moins 80% pour obtenir une interruption de la transmission. Si le premier objectif fut assez aisément atteint, le second le fut beaucoup plus rarement pour un ensemble de causes qui peuvent se classer dans quatre groupes:

1. - Le comportement de certains vecteurs qui piquent à l'extérieur ou tout au moins ne se reposent pas dans les maisons lorsqu'ils y entrent pour se nourrir.
2. - L'insuffisance de l'activité du D.D.T. dont les performances avaient été surestimées; en effet, ce produit a sur les moustiques un effet excito-répulsif qui les incite à quitter les parois traitées avant d'avoir pris une dose létale d'insecticide; une fraction non négligeable de la population de vecteur passe ainsi au travers des traitements insecticides.
3. - La résistance aux insecticides qui élimina rapidement la dieldrine de l'arsenal du paludologue. Il dut donc se rabattre sur le D.D.T. aux performances plus limitées. Puis apparurent un peu partout des résistances au D.D.T., et récemment aux organophosphorés et aux carbamates en Amérique Centrale et au Moyen-Orient.
4. - Les difficultés d'exécution des traitements dues à l'absence de voies de communications, au manque de personnel qualifié, aux carences logistiques et budgétaires, etc.

En 1968, une réévaluation du programme mondial d'éradication du paludisme montra que l'objectif qu'il se proposait n'avait aucune chance d'être atteint dans un proche avenir. L'O.M.S. recommanda alors que les pays qui ne pouvaient envisager l'éradication reviennent à une lutte antipaludique non limitée dans le temps. Le rêve de l'éradication du paludisme sur la planète venait de s'achever en laissant une profonde amertume à tous les techniciens qui en avaient fait leur credo.

La lutte antipaludique s'est donc redéfinie comme une opération intégrant chimiothérapie, chimioprophyllaxie et lutte antivectorielle; cette dernière doit envisager les méthodes de lutte imagocides (traitements intradomiciliaires) et antilarvaires (chimique², mécanique, écologique et biologique), ainsi que la protection individuelle (moustiquaires de lit et fenêtres, répulsifs). Les longues listes de techniques antilarvaires ne sont souvent qu'une exhumation de procédés qui dans le passé n'avaient donné que des résultats très limités; les traitements insecticides domiciliaires, mesurés certainement les plus efficaces, sont très onéreux, surtout s'ils nécessitent l'utilisation de composés organophosphorés à la suite des résistances au DDT; en effet, le coût des traitements par les organophosphorés est de 8 à 32 fois supérieur au coût des traitements au DDT.

* Les traitements insecticides intradomiciliaires ont en général donné de très bons résultats pour la prévention de la filariose de Bancroft là où les vecteurs (Anophèles) étaient identiques à ceux du paludisme. La disparition des formes cliniques de la maladie (Éléphantiasis, hydrocèle) à la Réunion en est un bon exemple.

² La lutte larvicide contre les anophèles utilise les mêmes composés que la lutte contre les *Culex* avec une certaine prééminence accordée à l'Abate. Elle n'est vraiment très efficace que dans des circonstances particulières (milieu urbain, zones semi-désertiques, par ex.), et n'est le plus souvent qu'un complément à la lutte imagocide.

En fait, il y a un certain désarroi, aussi bien dans les Etats qui, ayant commencé à grands frais des programmes d'éradication depuis plus de quinze ans, ne peuvent les achever, que dans les Etats qui ne disposent pas des ressources budgétaires suffisantes pour entreprendre une action efficace bien qu'étant très touchés par cette endémie. Il est bien évident qu'actuellement la lutte antipaludique cherche des voies nouvelles.

□ Lutte contre les culicidés

Lutte contre les *Culex* urbains

La forme urbaine autogène de *Culex pipiens pipiens* et la sous-espèce cosmotropicale *C. p. fatigans* Wied. (= *C. quinque fasciatus* Say des auteurs américains) sont des nuisances nocturnes pour les citadins. En outre, *C. p. fatigans* est un vecteur urbain de filariose de Bancroft sur tout le pourtour de l'Océan Indien, dans la région du Pacifique occidental, en Amérique du Sud et risque fort de le devenir en Afrique de l'Ouest et du Centre. Résistant aux insecticides chlorés, il peut être efficacement combattu au niveau larvaire par des composés organophosphorés. Le Chlorpyrifos (Dursban®) d'une rémanence de 2 à 3 mois dans les eaux polluées est un des produits de choix à des doses de 0,5 à 1 ppm (Subra et al., 1970); le Fenthion aux mêmes doses, donne également d'excellents résultats (Self et Tun, 1970). L'Abate ne peut être utilisé que dans les eaux claires. Il faut noter que *Culex fatigans* est résistant aux organophosphorés au Japon et aux Etats-Unis. En fait, la pullulation des *Culex* urbains provient souvent de relâchement des mesures d'hygiène: le curage des fossés et des drains, l'étanchéisation des fosses septiques, l'aménagement des latrines, l'élimination des eaux croupissantes, réduiraient considérablement la production de ces moustiques en attendant l'installation de systèmes d'égoûts généralisés.

Les *Aedes* domestiques et périodestiques

La vaccination contre la fièvre jaune assurant une protection totale, il semblerait que la lutte contre son vecteur épidémique *Aedes aegypti* ne revête qu'un caractère accessoire. En fait, il n'en est rien car dans beaucoup de pays, une forte proportion de la population n'est pas vaccinée. D'autre part, ce moustique est vecteur d'autres arboviroses: Chikungunya, Encéphalite vénézuélienne et surtout la Dengue dont les formes hémorragiques peuvent être fatales. Or, il n'existe actuellement aucun vaccin contre la Dengue dont les épidémies déferlent de plus en plus fréquemment sur les îles du Pacifique, l'Asie du Sud-Est et l'Amérique tropicale.

Un minimum de discipline collective permettrait aisément la réduction des gîtes d'*A. aegypti* au-dessous du seuil épidémiologiquement dangereux (indice de Breteau 5). Il suffirait de supprimer les récipients, les vieux pneus et les autres petits gîtes autour et dans les maisons et de renouveler ou d'isoler les stocks d'eau. Ce résultat avait été obtenu dans la plupart des pays d'Amérique latine. Mais, le relâchement des mesures élémentaires d'hygiène a été suivi de la réinvasion de toute la partie tropicale du nouveau monde sauf le Brésil. Ceci a coïncidé avec le développement d'une double résistance aux insecticides chlorés qui a rendu caduques les méthodes de lutte chimique utilisées basées sur des traitements périphocaux au DDT autour des gîtes. Il a fallu utiliser le Malathion qui n'a pas la même action bivalente, sur les larves et les adultes, que le DDT.

L'Abate à 1 ppm est l'insecticide de choix pour les traitements antilarvaires contre ce moustique. Il peut être appliqué à tous les gîtes y compris les eaux de boisson, sous forme de granulés à 1% ou de concentré émulsionnable.

Ces traitements ont une valeur préventive mais pour arrêter les épidémies il faut agir sur les moustiques adultes. Le Malathion en ULV à 450 g/ha, dispersé par voie aérienne ou terrestre, pénètre jusque dans les maisons et donne un excellent résultat (Pant et al., 1971); deux traitements à 10 jours d'intervalle semblent capables de briser une épidémie de Dengue en milieu urbain ou densément peuplé. Le Naled, le Fénitrothion, les Pyrèthrinoides peuvent égale-

ment être utilisés. Dans ce dernier groupe, la Bioresméthrine est active à 40-50 g/ha et probablement à des doses moindres. Les traitements aérosols répétés, notamment avec le Fénitrothion, peuvent supprimer les gîtes larvaires pendant de longues périodes.

Les traitements aériens en ULV de Malathion ont été essayés avec moins de succès contre *Aedes simpsoni* dans les bananeraies en Afrique de l'Est.

Lutte contre les autres moustiques

En Corée, *Culex tritaeniorhynchus*, vecteur épidémique de l'Encéphalite japonaise, se développe dans les rizières. Il est bien « contrôlé » par les insecticides employés contre les ravageurs du riz, en particulier le Fénitrothion. Les traitements en aérosols ULV de Malathion ou Fénitrothion sont à envisager en cas d'épidémie. Il faut noter qu'au Japon, la vaccination des porcs, amplificateurs presque obligatoires du virus de cette maladie, a donné de très bons résultats pour limiter l'apparition des cas humains.

Les *Mansonia* dont les larves sont fixées sur les racines des plantes aquatiques, sont vecteurs de *Brugia malayi* en Asie du Sud-Est et constituent en outre des nuisances importantes un peu partout dans le monde. La destruction des plantes aquatiques par faucardage est un bon moyen de lutte étant donné que les larves sont naturellement peu sensibles aux insecticides. L'utilisation de dés herbants est souvent trop polluante.

Culex tarsalis vecteur des encéphalites nord-américaines est justifiable de mesures larvicides (Fenthion, Abate, Dursban) ou adulticides (Malathion ULV). La lutte contre les souches de ce moustique résistantes aux organophosphorés a amené l'utilisation d'huile minérale, le Flit M.L.O.®, avec des résultats satisfaisants.

La destruction des moustiques halophiles (*Aedes taeniorhynchus*, *Aedes sollicitans* en Amérique, *Aedes caspius*, *Aedes detritus* en Europe) ou de zones d'inondation (*Aedes vexans*) fait l'objet d'opérations très élaborées, basées sur la lutte antilarvaire ou éventuellement l'utilisation d'aérosols imagocides en cas d'échec des premières mesures. Ce ne sont pas des vecteurs et leur destruction est dictée par le seul désir d'améliorer le bien-être des habitants, de supprimer un obstacle au développement de l'économie et du tourisme. Les hygiénistes chargés de la lutte contre les vecteurs ne peuvent ignorer ces travaux qui utilisent souvent des techniques de pointe.

□ Lutte contre les phlébotomes

Les traitements intradomiciliaires exécutés contre le paludisme eurent généralement un effet drastique sur les Phlébotomes domestiques vecteurs de leishmaniose et le Kala-azar disparut presque totalement en Inde et en Chine. Puis à la suite de l'interruption de la lutte contre les anophèles, *Phlebotomus argentipes* réapparut dans les maisons et le kala-azar explosa; en 1977 on dénombrait plus de 70 000 cas en Inde. Il est envisagé dans les foyers les plus touchés de reprendre les aspersions de DDT à 2 g/m², étant donné que ce phlébotome est encore sensible à ce produit. La désinsectisation des locaux de stabulation peut s'avérer utile pour les espèces anthrozoophiles.

La destruction des rongeurs en Uzbekistan a sérieusement réduit les populations de Phlébotomes qui leur étaient associées.

□ Lutte contre les cératopogonidés

Les diptères de cette famille ne sont pas des vecteurs d'affections graves mais leurs piqures, souvent très nombreuses, sont particulièrement prurigineuses. Il n'est pas possible d'intervenir contre toutes les espèces et notamment pas contre les *Culicoides* des zones forestières africaines qui se développent électivement dans les souches de bananiers. Mais les traitements contre les gîtes larvaires des espèces des bords de mer ont donné de bons résultats pour autant que les gîtes aient été bien délimités et que le rythme de développement fût connu. Les organochlorés, très efficaces contre *Leptoconops kerteszi* aux Etats-Unis, ne sont cependant pas à con-

sciller à cause de leur effet cumulatif. Le Chlorpyrifos et l'Abate, ainsi que le Fenthion et le Malathion s'emploient en granulés à 120 g/ha pour les premiers, 250 et 450 g/ha pour les seconds. (Kettle, 1969).

□ Lutte contre les simulies

La lutte imagicide basée sur des traitements par avion au Malathion ou au Naled a été peu développée jusqu'ici. Il est possible qu'elle connaisse un nouvel essor comme complément de la lutte antilarvaire pour protéger les zones traitées de la réinvasion de spécimens infectés. Les pyréthri-noïdes s'avèrent prometteurs pour des actions de ce type.

Des résultats spectaculaires ont été obtenus dans la lutte contre les larves de simulies, en particulier *Simulium damnosum*, le principal vecteur de l'Onchocercose en Afrique. Le DDT, longtemps utilisé, est maintenant remplacé par l'Abate, peu nocif pour l'environnement. Le produit est largué en amont des biefs où se développent les larves : entraîné par le courant, il peut être actif sur 40 à 60 km si le courant est fort, beaucoup moins si les rapides sont entrecoupés de zones calmes. Les épandages hebdomadaires de 0,1 ppm pendant 10 minutes sont réalisés en une seule fois. La formulation en concentré émulsionnable, doit avoir une densité voisine de 1 pour rester dans les 50 cm au-dessus de la surface. Il existe de grandes différences d'un lot à l'autre de produit même si la formulation est supposée identique.

En l'absence de médicaments suffisamment sûrs pour être utilisés en campagne de masse, la lutte contre le vecteur est actuellement la seule voie pour entreprendre de grandes campagnes contre l'Onchocercose.

Le programme régional de lutte contre l'Onchocercose en Afrique de l'Ouest a été mis en place par l'O.M.S. sur les bassins des affluents de la rive Sud du Niger, des Volta, du Bandama, de la Comoë-Leraba, de l'Oti. Il intéresse le Mali, la Haute-Volta, la Côte-d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin et le Niger et des extensions sont envisagées au sud, à l'ouest et à l'est de cette zone. La disparition des simulies et partant de l'Onchocercose devrait permettre l'occupation et la mise en valeur des vallées. Ce programme est étalé sur 20 ans c'est-à-dire pendant une durée supérieure à la longévité estimée de la filaire adulte. Il associe directement les opérations de santé publique au développement rural.

□ Lutte contre les glossines

Pendant longtemps, la lutte contre les glossines a été basée sur le déboisement sélectif ou total, avec mise en culture des terres récupérées dans le second cas.

Depuis 1955, ont débuté des campagnes chimiques de destruction des Glossines, au Kenya d'abord puis au Nigéria. Elles furent longtemps basées sur la pulvérisation d'insecticides résiduels, DDT, Dieldrine ou HCH, sur la végétation. Généralement un seul traitement fut suffisant pour éliminer les mouches mais des réinvasions se produisirent. Les campagnes d'éradication ne peuvent donc se concevoir que sur de très vastes étendues pour éviter les conséquences de ce phénomène.

Les résultats de ces luttes insecticides, très bons en savanes sèches, furent moins satisfaisants dans les savanes humides ; en forêt où le pouvoir de dispersion des glossines est mal connu aucune opération d'envergure n'a encore été entreprise.

Les traitements exécutés par voie terrestre avec des appareils portés à dos d'homme sont généralement suffisants lorsqu'il s'agit de combattre les espèces riveraines (*G. palpalis*, *G. fuscipes*, *G. tachinoides*) ne s'écartant guère des galeries forestières ; ils sont mal adaptés à la lutte contre les espèces du groupe *morsitans* dont l'aire de répartition est très vaste dans les savanes arborées. Ce sont pourtant, les principaux vecteurs de trypanosomiasés animales d'un intérêt économique considérable ; elles sont la cible de vastes programmes de traitements aériens avec l'Endosulfan à 30

g/ha et, éventuellement la Dieldrine et l'Isobenzan. Ces produits étant toxiques, les recherches actuellement en cours visent à leur substituer des organophosphorés, des carbamates ou des pyréthri-noïdes à faible rémanence. Ces derniers, en particulier, la dècaméthrine et la perméthrine en UI.V, à quelques grammes par hectare en traitements aériens éventuellement répétés se sont révélés très prometteurs.

Des essais sont en cours en Afrique de l'Ouest et en Tanzanie pour compléter la lutte chimique par des lâchers de mâles stériles destinés à éliminer les populations résiduelles. La production de grandes quantités de mâles, malgré l'amélioration constante des techniques d'élevage, reste difficile et onéreuse du fait du faible taux de reproduction des mouches.

Les essais sur la lutte contre les glossines sont en plein développement. À côté des grands programmes d'élimination on essaie notamment de protéger les foyers de maladie du sommeil. Outre l'application classique d'insecticides on teste l'efficacité d'écrans attractifs imprégnés d'insecticides et l'utilisation de pièges (Challier et Laveissière, 1973). Dans les foyers forestiers, Côte-d'Ivoire, en particulier, toutes les méthodes sont intégrées pour obtenir des résultats efficaces susceptibles de contenir la montée de la maladie du sommeil qui tend à se manifester un peu partout en Afrique.

□ Lutte contre les mouches domestiques

L'élimination des ordures, excréta, amoncellements de matières des larves de mouches dans leur excréta ; sont recommandés à cet moyen de réduire les mouches domestiques. La protection des aliments et les pièges domestiques (papier tue-mouches, grilles d'électrocution) sont des palliatifs.

La lutte chimique se heurte au rapide développement des résistances, vis-à-vis des organochlorés d'une façon générale et localement à l'encontre de nombreux organophosphorés voire de carbamates ou de pyréthri-noïdes. Toute opération d'envergure doit être précédée d'une étude de la sensibilité des souches locales aux divers composés dont l'utilisation est envisagée.

Le traitement hebdomadaire des gîtes larvaires peut se faire avec le Diazinon, le Fenchlorphos, le Malathion. L'adjonction d'insecticides aux aliments des volailles ou du bétail empêche la prolifération des larves de mouches dans leur excréta ; sont recommandés à cet usage, le Diazinon, le Diméthoate, le Fenchlorphos, le Trichlorfon.

Les mouches adultes sont détruites par le traitement des locaux avec les organophosphorés peu toxiques : Malathion, Diméthoate, Fenchlorphos, Dichlorvos, Naled ou la pose de cordelettes et de bandelettes imprégnées de ces produits.

Les pyréthri-noïdes en aérosols donnent de bons résultats. Ils sont d'ailleurs les constituants de beaucoup de « bombes » aérosols à usage domestique.

Le développement des attractifs (dont le muscalure, mimétique de phéromone) relance l'intérêt des pièges devant le développement de souches multirésistantes.

□ Lutte contre les réduviides

Les *Triatoma*, *Rhodnius*, *Panstrongylus*, vecteurs de la maladie de Chagas en Amérique du Sud, ne peuvent être contrôlés qu'à l'intérieur des habitations par les méthodes classiques de traitement intradomiciliaire au DDT, Dieldrine, HCH, ou en cas de résistance au Malathion.

Cependant, ces insectes se réfugient dans les anfractuosités des murs de terre ou sous les revêtements de papiers et sont de ce fait difficiles à atteindre. Les campagnes de désinsectisation n'ont pas été toujours pleinement satisfaisantes et des recherches sont en cours, en particulier au Venezuela, pour améliorer les techniques.

□ Lutte contre les puces

Les *Xenopsylla*, vecteurs de peste, se tiennent préférentiellement au voisinage des rongeurs. Il faut traiter les endroits fréquentés par les rats avec des poudres à base de DDT ou de HCH (1 à 3%), ou, en cas de résistance, au Malathion et au Carbaryl (2 à 5%). Ces produits ont également été utilisés dans les terriers des rongeurs sauvages aux États-Unis. Une méthode très sophistiquée basée sur l'emploi du dichlorvos a été récemment proposée. Cet insecticide fixé sur une résine est incorporé à des boulettes de céréales répandues autour des terriers; elles sont entraînées et stockées à l'intérieur de ceux-ci par les rongeurs eux-mêmes: le produit se sublime alors et provoque une mortalité rapide et totale des puces de terrier.

Les puces de chien sont éliminées par le traitement des animaux avec des lotions, des poudres ou des aérosols au Pyrèthre ou Pyrèthrinolides, Roténone, Malathion, etc. Il existe également des colliers au Dichlorvos ou au Temephos qui éliminent les puces et les tiques. Les lieux de repos des animaux doivent être traités avec les mêmes produits.

Le DDT, ou, en cas de résistance, des organophosphorés peu toxiques, appliqués au bas des murs et dans les interstices des parquets permettent la destruction de *Pulex irritans*, la puce de l'homme. nombre de personnes à mettre également en doute l'efficacité des

□ Lutte contre les poux

Les poux de corps *Pediculus humanus humanus* et les poux de tête *Pediculus humanus capitis* constituent, même sur un seul sujet, des populations séparées; ils sont localisés à des parties différentes du corps humain et la taille des premiers est sensiblement supérieure à celle des seconds.

Les poux de corps, vecteurs du typhus épidémique et de fièvres récurrentes, ont développé un peu partout dans le monde des résistances au DDT et au δ -HCH. Dans ces conditions, les poudrages au DDT (10%), ou au δ -HCH (1%), qui avaient permis l'obtention de résultats spectaculaires après la fin de la Deuxième Guerre Mondiale, ont dû être remplacés par des traitements au Malathion (poudre à 4%). En Egypte et au Burundi, les souches locales ayant à leur tour développé une résistance vis-à-vis de ce dernier produit, on a utilisé des poudres de Mobam (2%) ou de Carbaryl (5%).

Les poux de tête, heureusement sans impact épidémiologique, marquent une très nette progression dans les pays industrialisés; dans certaines écoles de la région parisienne 30% des élèves sont parasités. Pendant les dernières décennies on utilisait pour leur destruction des préparations au DDT ou au δ -HCH additionné d'acide acétique; l'adjonction de benzoate de benzyl étendait leur spectre d'activité aux *Sarcoptes* de la gale. Actuellement, plusieurs souches de poux de tête, en France et en Grande-Bretagne, présentent une résistance au DDT.

Récemment ont été lancés sur le marché des aérosols et des lotions à base de pyrèthroïdes, (notamment de Bioalléthrine, 0,3 à 0,6%) synergisés par du butoxide de pipéronyle. Ces produits dénués de toxicité sont très actifs contre les poux de tête aussi bien que de corps et leurs lentes. Les shampooings bien que satisfaisants n'ont pas une efficacité aussi complète que les lotions contenant les mêmes composés actifs. Les morpions, *Phthirus pubis* sont aisément et rapidement éliminés par toutes les préparations insecticides précédemment citées sans qu'il soit nécessaire de raser les poils des parties parasitées.

□ Lutte contre les insectes domestiques

Les punaises des lits, *Cimex* sp., et les blattes sont les fléaux de beaucoup d'habitations, notamment dans les régions tropicales. Elles furent détruites de façon spectaculaire lors des traitements antipaludiques au DDT, à la grande joie de la population, mais elles devinrent rapidement résistantes à ce composé, ce qui amena

traitements contre les anophèles et à les refuser. Dans beaucoup de pays, et, notamment à Madagascar, ce fut un obstacle sérieux pour les opérations antipaludiques.

La destruction des punaises est une nécessité dans les locaux hospitaliers où elles peuvent transmettre mécaniquement des germes pathogènes² et perturbent le repos des malades. Le Bromophos sans toxicité, à 2 g/m² donne d'excellents résultats en pulvérisations intradomiciliaires de même, que le Malathion, le Fénitrothion, le Propoxur et la Bioresméthrine; le rythme des traitements est fonction des réinvasions.

Les mêmes traitements sont valables contre les Blattes. Si ces insectes seuls sont visés, il est plus économique d'utiliser des appâts (sucre, pain, pommes de terre) imbibés d'insecticide en particulier de Propoxur ou de Fénitrothion. Dans beaucoup de pays, les Blattes sont encore sensibles aux organochlorés et l'emploi de ces produits est évidemment peu coûteux. Toutefois, la Diéldrine très toxique ne devrait être utilisée qu'avec prudence dans les locaux contenant des aliments. Par contre, dans d'autre pays, notamment aux États-Unis, la Blatte germanique, *Blattella germanica* est résistante non seulement aux insecticides chlorés mais aussi au Malathion et au Diazinon. Le Propoxur étant également peu efficace, ce sont les Pyrèthrinolides, le Fénitrothion et le Chlorpyrifos qui se montrent les plus actifs (Grayson et Robinson, 1976).

□ Lutte contre les acariens

La lutte contre les tiques est essentiellement du domaine vétérinaire. Toutefois, la présence d'animaux dans les locaux d'habitations, peut entraîner des pullulations de larves de tiques, justiciables des mêmes traitements que les autres parasites des animaux domestiques.

L'amélioration de l'habitat a contribué à la réduction de la tique *Ornithodoros moubata*, vecteur de fièvre récurrente en Afrique de l'Est qui vivait dans le sol des habitations. Les traitements domiciliaires au δ -HCH sont efficaces contre cette tique et contre *O. tholozani* d'Asie.

Les aspersiones de la végétation par des émulsions de Fenthion, Malathion, Propoxur, etc., pour détruire les Trombiculidés, vecteurs de typhus de brousse, en Asie du Sud-Est, n'ont pas donné des résultats très probants.

Enfin, *Sarcoptes scabiei*, l'agent de la gale humaine est facilement détruit par des lotions à base de DDT ou de δ -HCH associé à du Benzoate de Benzyle et de la Benzocaïne (N.B.I.N.).

□ Lutte contre les mollusques

La lutte chimique contre les mollusques n'est possible que dans un nombre limité de situations étant donné l'impact des molluscicides sur la faune aquatique. Les essais de lutte biologique qui se déroulent en Guadeloupe seront donc suivis avec intérêt. Les manipulations de l'environnement et l'aménagement des installations hydrauliques entrent dans les mesures préventives.

Devant l'extension des bilharzioses souvent concomitante à la mise en place des programmes de développement rural, on assiste à une intensification des recherches pour instaurer des mesures prophylactiques efficaces. Parallèlement à la lutte contre les mollusques, l'éducation sanitaire et le développement de médicaments applicables en campagne de masse sont les éléments qui s'intègrent dans une politique de lutte contre les bilharzioses.

² Récemment elles ont été soupçonnées d'être à l'origine de cas de trypanosomiase humaine dans le Nord de la Haute-Volta et le virus de l'Hépatite virale B a été mis en évidence sur leurs pièces buccales au Sénégal.

L'énumération, probablement assez fastidieuse des méthodes de lutte contre les vecteurs, fait ressortir la grande diversité des techniques mises en œuvre. Encore faut-il bien se pénétrer qu'elles doivent être ajustées aux contextes écologiques, épidémiologiques, sociaux et économiques, voire politiques de chaque pays. L'échec du programme mondial d'éradication du paludisme a montré les dangers d'une généralisation hâtive d'une méthodologie extrapolée à partir de quelques situations privilégiées.

Le Comité d'Experts O.M.S. d'écologie et de lutte contre les vecteurs en Santé publique dans son 21^e rapport (1975), a clairement montré que :

- Les opérations de lutte antivectorielle font partie de la lutte contre les maladies transmissibles et doivent être exécutées conjointement avec les autres modes d'interventions.
- Les techniques de lutte chimique, biologique, écologique, génétique, etc., doivent être intégrées dans le même projet suivant leur disponibilité opérationnelle.
- La population doit participer à la mise en œuvre des programmes de lutte antivectorielle dans toute la mesure du possible et toutes les ressources locales doivent être mobilisées.
- Les opérations de lutte antivectorielle doivent également s'articuler avec les programmes de développement économique.

Ces résolutions sont certes très sensées mais il faut bien reconnaître que, le plus souvent, l'hygiéniste ne dispose que d'une marge de manœuvre très étroite dans le choix de ses modes d'intervention. Les détracteurs systématiques de l'emploi des insecticides qui font état de longues listes de méthodes de lutte non chimique, ne se rendent pas toujours compte combien peu sont opérationnelles et quelles sont leurs limites. La lutte antivectorielle est dans une période de mutation mais les voies nouvelles sont lentes à se dessiner, alors qu'à l'inverse, le développement de la résistance limite de plus en plus le nombre des insecticides utilisables.

index bibliographique

- [1] ANONYME. - La toxicité des pesticides pour l'homme. - 12^e rapport du Comité d'Experts O.M.S. des Insecticides. - Org. mond. Santé, Sér. rapp. techn. 1962, n° 227, 35 p.
- [2] ANONYME. - Résistance aux insecticides et lutte antivectorielle. - 17^e rapport du Comité d'Experts O.M.S. des Insecticides. - Org. mond. Santé, Sér. rapp. techn. 1970, n° 443, 304 p.
- [3] ANONYME. - Schistosomiasis Control. Report of a WHO Expert Committee. - Org. mond. Santé, Sér. rapp. techn. 1973, n° 515, 47 p.
- [4] ANONYME. - Comité O.M.S. d'Experts du Paludisme. 16^e rapport. - Org. mond. Santé, Sér. rapp. techn. 1974, n° 549, 95 p.
- [5] ANONYME. - Matériel de lutte contre les vecteurs. - O.M.S., Genève, 2^e éd., 1974, 188 p.
- [6] ANONYME. - Ecologie et lutte antivectorielle en Santé Publique. - 22^e rapport du Comité d'Experts O.M.S. des Insecticides. - Org. mond. Santé, Sér. rapp. techn. 1975, n° 561, 37 p.
- [7] ANONYME. - Resistance of Vectors and Reservoirs of Diseases to Pesticides. - 22^e rapport du Comité d'Experts O.M.S. des Insecticides. - Org. mond. Santé, Sér. rapp. techn., 1976, n° 585, 86 p.
- [8] BROWN A.W.A. et PAL R. - Insecticide resistance in arthropods. - Org. mond. Santé, Sér. monogr., 1971, n° 38, 491 p.
- [9] CHALLIER A. et LAVEISSIERE C. - Un nouveau piège pour la capture des glossines: description et essais sur le terrain. - Cah. ORSTOM, Sér. Ent. Méd. Parasitol., 1973, 11, 251-263.
- [10] CHENG T.C. - Molluscicides in Schistosomiasis Control. - Academic Press, édité, London, 1974, 266 p.
- [11] GAYNAL P. et CAVIER R. - Actualité et perspectives d'avenir des molluscicides. - Actual. Chim. Thérap., 5^e série, 1977, 179-207.
- [12] GOLVAN Y. - Lutte biologique contre la bilharziose. - La Recherche, 1978, 9, 486-488.
- [13] GRAYSON J.M. et ROBINSON W.H. - Cockroach control research in 1975. Comparative effectiveness of various insecticides against cockroaches. - Pest Control, 1976, 44, 30-32.
- [14] HAMON J., MOUCHET J., CHAUVET G. et LUMARET R. - Bilan de quatorze années de lutte contre le paludisme dans les pays francophones d'Afrique tropicale et à Madagascar. Considérations sur la persistance de la transmission et perspectives d'avenir. - Bull. Soc. Path. Ent., 1963, 56, 933-971.
- [15] HOY B.J., KAUFFMAN E.E. et O'BENG A.G. - A large scale field test of *Gambusia affinis* and chlorpyrifos for mosquito control. - Mosquit News, 1972, 32, 161-171.
- [16] KETTLE D.S. - The ecology and control of blood-sucking ceratopognich. - Acta Trop (Basel), 1969, 26, 235-248.
- [17] KUNG C.C. et HUANG S.C. - Malaria control in China, with special reference to bioenvironmental methods of control. - Chinese Med. J., 1976, 2, n° 3, 195-202.
- [18] LHOSTE J. - Pyréthres et pyréthroides de synthèse. - Trav. Soc. Pharm., Montpellier, 1977, 37, 307-327.
- [19] MARAFUDU A. et OUMA J.H. - A new chalcone as a natural molluscicide from polygonum senegalense. - Phytochemistry (Oxford), 1978, 17, 823-824.
- [20] McMULLEN A.I., REITER P. et PHILLIPS M.C. - Mod. of action of insoluble monolayers on Mosquito pupal respiration. - Nature, 1977, 267, n° 5608, 244-245.
- [21] MOUCHET J. - Les facteurs entomologiques impliqués dans la persistance de la transmission paludéenne au cours des campagnes d'éradication. - Cah. ORSTOM, sér. Ent. med., 1963, 1, 17-26.
- [22] MOUCHET J. - La stérilisation par les moyens physiques et chimiques et son utilisation dans la lutte contre les insectes vecteurs. - Ann. Parasit. Hum. Como., 1971, 46, 67-89.
- [23] MOUCHET J. et RAGEAU J. - Sexual sterilization and auto-destruction of the species in the campaign against insects. - Maroc Med., 1963, 42, 474-487.
- [24] OPPENOORTH F.J. et VAN DER BRAS L.J.T. - Cross resistance to diflubenzuron in resistant strains of housefly. - *Musca domestica*. Ent. exp. et app. Amsterdam, 1977, 21, 217-228.
- [25] PAMPANA E. - A textbook of malaria eradication. - Oxford Univ. Press, edit., London, 1963, 509 p.
- [26] PANT C.P., MOUNT G.A., SUJARTI JATANUSEN et MATHIS H.L. - Ultra-Low-Volume Ground Aerosols of Technical Malathion for the control of *Aedes aegypti* L. - Bull. Org. Mond. Santé, 1971, 45, 805-817.
- [27] PAVAN M. - 1975. Les Iridoides des insectes. - Publ. dell'istituto di Entomol. agraria dell'Univers. di Pava, 1975, n° 2.
- [28] QUELENNEC G. - 1974. Pratique de la lutte contre les arthropodes d'intérêt médical. - ORSTOM, Bondy, éd., 1974, 185 p.
- [29] SACHER R.M. - A mosquito larvicide with favorable environmental properties. - Mosquito News, 1971, 31, 513-516.
- [30] SAXENA B.P., KOUL B., TIKKU K. et ATAL C.K. - A new insect chemosterilant isolated from *Acorus calamus* L. - Nature (Lond.), 1977, 270, 152-153.
- [31] SELF L.S. et TUN M.M. - Summary of Field Trials in 1964-69 in Rangoon, Burma, of organophosphorus larvicides and oils against *Culex pipiens fatigans* larvae in polluted water. - Bull. Org. Mond. Santé, 1970, 43, 841-851.
- [32] SUBRA R., BOUCHITE B. et GAYRAL Ph. - Evaluation à grande échelle du durban et de l'abate pour le contrôle des larves de culex pipiens fatigans. Wiedemann 1828. Dans la ville de Bobo-Dioulasso (Haute-Volta). - Méd. trop. (Marseille), 1970, 30, n° 3, 393-402.