

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER
20, rue Monsieur
PARIS VII^e

COTE DE CLASSEMENT N° 2047

ENTOMOLOGIE MEDICALE ET VETERINAIRE

Reactions des moustiques -

PHENOMENES DE REPULSION ET DE RESISTANCE AUX INSECTICIDES

par

J. HAMON

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 28.891 ex 1
Cote : B

REACTIONS DES MOUSTIQUES DEVANT L'EMPLOI DES INSECTICIDES

A ACTION RIEMANENTE

=====

Les premières applications d'insecticides à l'intérieur des habitations étaient faites à l'aide de solutions de DDT dans le pétrole et l'on observa que les premiers jours suivant le traitement aucun moustique ne pénétrait plus dans les habitations, puis ils réapparaissaient peu à peu. Si l'on augmentait la dose d'insecticide par mètre carré, l'action de protection durait plus longtemps, mais l'on observa que la nature ou la quantité de l'insecticide n'était pas en cause et que les pulvérisation de pétrole seul prévenaient tout aussi bien l'entrée des moustiques dans les maisons.

Au début des contrôles d'efficacité des insecticides, les captures de moustiques étaient faites dans les habitations au cours de la journée et l'on observait une réduction considérable du nombre de spécimens récoltés par pièce après le traitement au DDT. On ne tarda pas à constater dans des expériences de laboratoire que le contact des insectes avec le DDT ou le HCH avait pour premier résultat de les irriter et de les empêcher de rester au repos; dans les cas traités, cette action irritante entraînait un exode prématuré chez des espèces passant normalement quelques heures ou quelques jours au repos dans les habitations avant d'aller pondre; cet exode prématuré diminuait la durée de contact avec l'insecticide et l'insecte pouvait très bien y survivre; l'absence de moustiques dans les habitations traitées n'était donc pas un critère d'efficacité du traitement, puisque quelques jours après l'application les femelles recommençaient à entrer, se gorgeaient sur les habitants, puis sortaient peu de temps après pour aller se réfugier à l'extérieur.

La première étude rationnelle du phénomène fut faite par Muirhead Thomson sur A. gambiae aux environs de Dar es Salaam, sur la côte du Tanganyika. Outre les cases témoins non traitées, il utilisa une case traitée avec une poudre mouillable de DDT et une autre traitée avec une poudre mouillable de HCH. Selon Muirhead Thomson, les quantités d'insecticides appliquées par mètre carré étaient de 4 grammes de DDT et de 240 milligrammes d'isomère gamma d'HCH, seulement ces dosages furent calculés d'après la quantité d'insecticide utilisée et la surface traitée et non réellement mesurée d'après des grattages de parois après traitement. Enfin, le DDT provenait d'un stock de l'armée et n'était peut-être plus en très bon état, sa suspensibilité notamment laissait paraître-il beaucoup à désirer, si bien que l'on avait probablement dans la case des surfaces traitées au DDT pur et d'autres couvertes seulement de poudre inerte. Chaque case était munie d'une trappe de sortie. Les observations furent suivies pendant cinq semaines pour le DDT et treize semaines pour le HCH. Il observa d'abord que le traitement par poudres mouillables ne semblait pas perturber l'entrée des moustiques dans les cases. Dans celle traitée au DDT, deux femelles gorgées et neuf femelles à jeun furent trouvées mortes dans la case contre 449 gorgées et 104 à jeun trouvées vivantes dans la trappe de sortie; ces dernières, mises en observation pendant 48 heures ne présentèrent aucune mortalité; au delà de 48 heures, aucun contrôle n'était valable car les lots témoins présentaient alors une forte mortalité; en comparant la population d'une trappe de sortie de case témoin et celle de la case traitée au DDT, il observa que, dans le cas de la

case traitée, 20 % des femelles étaient à jeun contre 6 % seulement dans le cas des moustiques pris dans la trappe de la case témoin; le traitement au DDT, conclut Muirhead Thomson, n'empêche pas l'entrée des anophèles, diminue un peu les attaques et n'entraîne pratiquement pas de mortalité. Il faut noter que, même si le traitement avait été fait avec un produit de bonne qualité, de telles conclusions auraient été prématurées; car le DDT a une action cumulative et plusieurs contacts répétés peuvent entraîner la mort, cette action se faisant particulièrement sentir quand une vaste zone est traitée. Dans la case traitée au HCH, il ne trouva pas un seul anophèle vivant dans la trappe de sortie pendant toute la durée de l'expérience; il n'en trouva pas non plus dans la case alors que de nombreux anophèles furent récoltés sur le sol à chaque visite; le pourcentage des femelles gorgées récoltées indiquait qu'une très forte mortalité avait lieu avant qu'elles aient pris le repas de sang, surtout pendant les deux ou trois premières semaines; il n'observait rien lui permettant de conclure à une action irritante du HCH sur les moustiques. Etant donné que la trappe de sortie n'était relevée qu'à l'aube et que le HCH possède une action fumigante indiscutable, on peut penser que la mortalité observée dans de telles conditions était un peu supérieure à celle que l'on aurait observée dans des circonstances normales, les moustiques pouvant continuer à être incommodés par les vapeurs de HCH pendant la longue période passée dans la trappe de sortie.

Lors du traitement d'un petit village des environs de LAGOS au DDT, à raison de 2 grammes par mètre carré, Muirhead Thomson rechercha à la fois les anophèles dans les cases et dans les abris naturels des environs du village, avant et après traitement; pendant les cinq semaines suivant le traitement, il ne trouva aucun anophèle dans les cases mais constata une nette augmentation du nombre des femelles d'A. gambiae et d'A. gambiae molax récoltées à l'extérieur; les femelles récoltées ainsi présentaient un indice sporozoïtique de 2 % alors qu'avant le traitement cet indice était de 2,7 %; il fait remarquer que le village traité étant à une faible distance de zones habitées non traitées, le taux de réduction de l'indice sporozoïtique aurait peut-être été plus fort dans le cas d'un village isolé.

Gébert, à l'île Maurice, comparant les cases d'une vaste zone traitée au DDT et celles d'une zone non traitée trouva que le nombre d'A. funestus pénétrant dans les cases traitées n'était guère que le 1/32^{ème} du nombre de ceux pénétrant dans les cases de la zone non traitée, alors que ces groupes de cases avaient été pris comme témoins parce qu'ils avaient une population comparable avant le traitement.

Hadaway reprit les expériences de Muirhead Thomson sur les rives du Lac Victoria, en Uganda. Il utilisait des cases du type local traitées avec une poudre mouillable de DDT à raison de 2 grammes d'isomère pp' par mètre carré. Selon les expériences, les cases étaient tout à fait closes ou bien munies d'une trappe de sortie, habitées ou inhabitées. Il travaillait dans une zone où les moustiques étaient constitués en majorité par des Taniorhynchus fuscopennatus et en minorité par A. gambiae et A. coustani. Il observa d'abord que le traitement des habitations ne modifie pas l'entrée des moustiques, mais que ceux-ci, après être entré en contact avec l'insecticide, deviennent très agités et font de courts vols d'un endroit à l'autre de la case. Dans une première série d'expériences, il laissait entrer les moustiques pendant une heure dans une case

habitée, puis la case était hermétiquement close et deux heures après on récoltait les moustiques vivants au tube sur les parois et sous le toit et les morts à terre; les moustiques survivants étant mis en observation, durant la première semaine suivant le traitement, il observa une mortalité de 98 % dans la case traitée contre 3 % seulement dans la case témoin; quinze semaines après le traitement, le pourcentage de survivants n'était encore que de 33 % dans la case traitée. Dans une seconde série d'expérience, il plaçait une trappe de sortie une heure après l'entrée des moustiques dans la case habitée et il observa que les moustiques n'étaient pas plus abondants dans la trappe que dans le cas d'une case non traitée. Dans une troisième série d'expériences, il fit des lâchers d'A. gambiae dans des cases traitées inhabitées munies de trappes de sortie; le lâcher avait lieu à 20 heures, la trappe était relevée à 21 h, 22 h, 7 h et 8 h, et à huit heures les moustiques restant dans les cases étaient récoltés par pulvérisation de pyréthrine; il observa que 14,5 % des moustiques s'échappaient par la trappe de sortie, tous dans l'heure qui a suivi leur introduction et que, mis en observation, ils présentaient une mortalité de 1 % (dans une autre série d'observation similaires, il observa une mortalité de 15 à 20 % chez les femelles s'échappant des cases traitées contre une mortalité de 5 % chez celles sortant des cases témoins); il considère que la quasi-totalité des moustiques pris à 8 heures par flitting étaient déjà morts, ce qui équivaut à une mortalité de l'ordre de 85 % chez les femelles lâchées dans les cases traitées.

Wilkinson, en Uganda, répéta lui aussi les expériences de Muirhead Thomson, en travaillant sur A. Gambiae et A. funestus. Il utilisa tantôt des cases en bois et plaques de fibres agglomérées, tantôt des cases du modèle local, en terre et paille, toutes étant munies de trappes de sorties. Les dosages d'insecticides, contrôlés chimiquement sur des papiers témoins suspendus dans les cases lors du traitement, étaient les suivants : Cases en bois : DDT pp₁ : 3,3 gr/m², HCH isomère gamma : 0,35 gr/m², cases en terre : DDT pp₁ : 1,4 gr/m², HCH isomère gamma : 0,27 gr/m². Tous les traitements étaient faits avec des poudres mouillables. Les cases étaient habitées par un homme qui dormait sans moustiquaire, un drap blanc couvrait le sol et les portes étaient hermétiquement closes à 20 heures; les moustiques étaient récoltés à l'aube et les survivants mis en observation dans des cages de calicot, Les contrôles durèrent seize semaines après le traitement.

Voici le résumé des observations :

- Cases en bois - traitées au DDT : 3 % de survivants chez A. gambiae, tous provenant de la trappe de sortie; aucun survivant chez A. funestus. Parmi les morts, 57 % des A. gambiae et 50 % des A. funestus étaient gorgés.
- traitées au HCH : 3 % de survivants chez A. gambiae comme chez A. funestus, tous pris dans les cases; parmi les morts, 44 % des A. gambiae et 26 % des A. funestus étaient gorgés.
- Cases en terre - Traitées au DDT : 38 % de survivants chez A. gambiae et 22 % chez A. funestus, tous étant pris dans les trappes; 23 % des A. gambiae et 13 % des A. funestus étaient gorgés.

- traitées au HCH : 2 % de survivants chez A. gambiae et 7 % chez A. funestus, tous pris dans la trappe; 31 % des A. gambiae et 35 % des A. funestus étaient gorgés.

La comparaison des résultats enregistrés dans les cases en bois et celles en terre est très intéressante; celles en bois ayant une surface lisse ont été beaucoup plus régulièrement traitées et la mortalité y est forte, avec le DDT comme avec le HCH; celles en terre ont une surface bien plus irrégulière et des débris se détachent de temps à autre des parois, ce qui diminue l'efficacité du traitement au DDT d'une façon relativement importante, tandis que cela nuit peu à l'efficacité du HCH qui agit partiellement comme fumigant. Dans les commentaires accompagnant l'exposé de ses expériences, Wilkinson signale que la suspension du DDT employé par Muirhead Thomson était très déficiente, les particules de DDT étant beaucoup trop grosses; il met formellement en cause le dosage qu'il estime n'avoir été que de 1 gramme de DDT/m².

Davidson, à Taveta, Kenya, répète également les expériences de Muirhead Thomson. Il travaille sur A. gambiae et A. funestus dans des cases africaines traitées avec toute une série de formulations de DDT, HCH et Dieldrin. Chaque case était munie d'une trappe de sortie; les trappes étaient relevées après le crépuscule et après l'aube. Les moustiques vivants étaient recherchés sur les parois et sous le toit de 7 à 9 h. Les moustiques morts étaient recherchés à terre à 7 h et à 14 h. Il n'est pas possible de donner une analyse détaillée des expériences et la publication mérite d'être lue dans le détail. Voici un résumé succinct :

- 1) avec le même produit que Muirhead Thomson, il n'observe pas l'absence presque complète de mortalité dans les cases traitées au DDT, relevées par cet auteur.
- 2) une proportion significative des femelles d'A. gambiae et d'A. funestus entrées dans les cases traitées au DDT peut s'échapper sans être intoxiquée, même dans la première semaine suivant le traitement, tandis qu'avec l'HCH et le Dieldrin, il n'y a aucun survivant dans le premier mois suivant l'aspersion.
- 3) Comparant les trois insecticides, il constate : que le DDT montre encore une très nette efficacité après 7 mois et est encore irritant après 9 mois; que le HCH est efficace trois à quatre mois, mais entraîne encore quelque mortalité au bout de sept mois, peut-être par action de fumigation à partir du HCH qui imprègne les murs, alors qu'il est impossible d'en trouver à la surface des parois traitées; que le Dieldrin est de loin le meilleur des trois insecticides testés et donne une forte mortalité au bout de sept mois et est le seul produit longtemps actif contre Culex fatigans.
- 4) il émet l'hypothèse que le Dieldrin peut agir sous forme de fines particules en suspension dans l'air des cases traitées, car il tue des moustiques contenus dans une cage suspendue au milieu de la case, sans aucun contact avec les murs traités.

Farid vient de signaler que, dans la vallée du Jourdain, en Asie Mineure, A. sergenti et A. superpictus, à la suite des trois années de campagnes antipaludiques, ont complètement abandonné les maisons. Ils continuent à piquer sous les tentes et à l'extérieur et se réfugient ensuite dans des abris naturels, principalement des anfractuosités de rocher, tout en continuant à transmettre le paludisme.

LA RESISTANCE AUX INSECTICIDES.

Quand on parle de résistance aux insecticides, il ne s'agit pas d'une tolérance de l'insecte à de petites doses d'insecticides, mais de l'insensibilité anormale d'une souche à des doses normalement mortelles pour l'insecte étudié.

Les phénomènes de résistance commencent à être largement répandus dans le monde et présentent un grand intérêt pratique. Les deux premiers cas connus sont la résistance du "Pou de San José" à l'acide cyanhydrique, apparue en Californie en 1916, et la résistance de Boophilus decoloratus aux bains arsenicaux en Union Sud-Africaine en 1939.

Le premier insecte d'intérêt médical devenu résistant aux insecticides est la mouche domestique; les premières observations furent faites en Suède et en Italie en 1946 et 1947. Cette résistance des mouches au DDT est connue actuellement en Europe, au Moyen Orient, en Afrique du Nord et aux Etats Unis d'Amérique. Etant donnée l'ampleur de cette résistance, la facilité l'élevage et de manipulation des mouches, c'est en travaillant sur leurs souches résistantes que l'on a le plus étudié ce phénomène.

On connaît différents types de résistance : par exemple, deux souches également atteintes par l'application d'une solution huileuse de DDT sur le thorax peuvent, pour l'une être sensible à l'action paralysante d'un dépôt sec de DDT sur les murs, pour l'autre être entièrement insensible à ce genre de dépôt.

Le degré de résistance varie beaucoup d'une souche à l'autre. Pour tuer les mouches de certaines souches il faut des doses de DDT 300 fois plus fortes que la dose normale, pour d'autres souches, il faut des doses 1.500 fois plus fortes. Quand on compare des souches entre elles, il faut faire attention au fait que la présentation du DDT joue un grand rôle : une certaine souche, résistant seulement seize fois plus que la normale à l'application de DDT en solution huileuse sur le thorax peut être 300 fois plus résistante que la normale si l'on emploie une solution acétonique.

La résistance est aussi plus ou moins spécifique : les souches danoises sont résistantes vis à vis du DDT et des insecticides étroitement apparentés, tels le méthoxychloro, mais pas vis à vis des autres insecticides chlorés; par contre, des souches américaines sont résistantes au DDT, gammexane, toxaphène, aldrin, dieldrin, chlordan et heptachlore. D'une façon générale, les souches faiblement résistantes au DDT sont sensibles aux autres insecticides, tandis que les souches fortement résistantes au DDT manifestent d'emblée une faible

sensibilité aux autres insecticides chlorés. Dans tous les cas, on a constaté que les souches DDT-résistantes ne peuvent jamais être contrôlées par d'autres insecticides chlorés car elles acquièrent une immunité contre ces produits en quelques mois : ainsi, en Corse et en Sardaigne, les mouches étaient devenues résistantes au DDT, les deux pays utilisèrent alors le chlordane dont l'efficacité fut complète un an en Sardaigne et de 4 à 6 mois en Corse; l'emploi expérimental dans une ville corse de gammexane montra alors que les mouches DDT et chlordano-résistantes étaient d'emblée insensibles au gammexane. Au Maroc où les mouches étaient devenues résistantes au DDT puis au gammexane, elles se montrèrent absolument insensibles au chlordane quand on l'utilisa pour la première fois dans le pays. Ces différences laissent penser que différents facteurs sont en cause.

On a recherché les raisons de la résistance dans des particularités morphologiques. Wiesmann remarqua que les souches résistantes avaient une plus forte chitinisation des tarses que les souches sensibles, mais cette observation ne fut pas confirmée par les autres chercheurs; ce facteur d'ailleurs ne saurait jouer un grand rôle puisque les souches résistantes survivent même quand le DDT est directement injecté dans le thorax.

En étudiant la physiologie des différentes souches, on constata que les souches résistantes métabolisaient très rapidement le DDT en DDE ou DDA inactif, probablement par l'intermédiaire d'une enzyme, car ce phénomène que l'on observait même chez les mouches tuées disparaissait après chauffage des mouches à 80 °C. La destruction du DDT s'observe aussi chez les souches sensibles, mais elle est beaucoup plus lente et les produits de destruction sont mal connus. Ce phénomène ne suffit pas à lui seul à expliquer la résistance car on peut extraire du corps d'une mouche résistante des quantités de DDT intact, plusieurs fois suffisantes pour tuer une mouche sensible.

L'étude génétique des souches résistantes a montré la complexité du phénomène. Des souches résistantes non exposées aux insecticides pendant un très grand nombre de générations conservent généralement un haut degré de résistance. Des croisements individuels entre une souche sensible et une souche résistante à l'effet knock down du DDT ont montré que cette résistance provient d'un gène récessif. D'autres croisements de souches sensibles et de souches résistantes à une dose déterminée de DDT, faits en mélangeant les deux souches, ont permis d'obtenir pour les quinze générations étudiées une résistance intermédiaire, les deux sexes semblant porteur du caractère résistant et ce caractère semblant multifactoriel.

On ne sait pas comment apparaissent les résistances. On avait pensé qu'elles provenaient de l'emploi de doses subléthales d'insecticides, mais les nombreuses expériences faites dans ce sens ont montré qu'il n'en était rien. On ne peut isoler une souche résistante qu'en soumettant une population à des doses entraînant une nette mortalité, et la sélection est plus rapide si l'on peut faire agir l'insecticide sur les larves comme sur les adultes. Cette sélection ne semble possible que si la population sur laquelle on travaille contient déjà des individus résistants, et l'on connaît des souches dont on n'a jamais pu isoler d'individus résistants; on ne sait pas si certaines mouches ont d'emblée les qualités requises, ou si, comme le suggère Monro, c'est l'action du DDT

qui provoque l'apparition de mutations résistantes. En tout cas, ces individus sont peu abondants dans la nature, et, si une population limitée peut ne pas contenir d'individus résistants, l'application sur une large échelle d'insecticides dans la nature suffit généralement à provoquer la sélection d'une race résistante si la possibilité s'en présente. Comme la résistance est liée à d'autres gènes, on constate quelques différences entre les souches résistantes et les souches sensibles, comme par exemple la durée du cycle de développement qui est plus longue chez les souches résistantes.

Chez les moustiques, la résistance au DDT est connue en Italie chez Culex pipiens autogenicus; elle est apparue après deux années de traitements au DDT et semble héréditaire. On a observé aussi de telles résistances aux Etats Unis chez Aedes sollicitans et Aedes taeniorhynchus après cinq années de traitement, cette résistance s'étendant d'emblée au chlordane et se manifestant aussi bien chez les larves que chez les adultes. A la Réunion, j'ai observé chez Culex pipiens fatigans, après deux années de traitement, l'apparition d'une résistance au DDT chez les larves comme chez les adultes, cette résistance au DDT étant accompagnée spontanément d'une moindre sensibilité à l'HCH bien que ce produit n'ait jamais été utilisé dans l'île. Aux Etats Unis, Aedes nigromaculatus présente chez la larve un accroissement de résistance au DDT dans les zones de Californie traitées depuis plusieurs années. Une moindre sensibilité au DDT a été obtenue expérimentalement chez Anopheles quadrimaculatus, aux Etats Unis, mais elle disparaît spontanément en deux générations. Dans le bassin méditerranéen, Anopheles sacharovi semble devenu résistant au DDT au Liban et résistant au DDT, au gammexane et au chlordane en Grèce, l'apparition de la résistance au chlordane ayant été immédiate pour les souches déjà résistantes au DDT et au gammexane.

Chez les autres insectes d'importance médicale ou domestique, on connaît aussi diverses résistances : au DDT chez Pediculus humani corporis en Corée (alors que les mêmes individus portaient des Pediculus humani capitis très sensibles au DDT); au DDT chez Cimex lectularius aux Hawaï; à l'HCH chez un Cimex sp. au Sénégal. Il est à peu près certain que différentes espèces de blattes et de puces sont résistantes aux insecticides chlorés. On connaît également des souches de mouches domestiques résistantes aux pyréthrinés.

Jusqu'à présent, on ne connaît aucun cas de résistance vis à vis des esters phosphoriques tels que le parathion, malheureusement ces produits ont une toxicité assez élevée pour les animaux à sang chaud.