

Classification et caractère Bioécologique des moustiques

I-2-1 Classification des moustiques

Les moustiques sont des diptères appartenant à la classe des insectes. Ce sont des insectes volants dotés d'une paire d'ailes et dont les femelles piquent et sucent le sang de l'Homme ou des Animaux.

On note trois grandes sous-familles de culicidae :

- Sous-famille des Anophelinae: Comporte les Anophèles dont les femelles piquent le plus souvent la nuit et surtout entre minuit et 4h du matin.
- Sous-famille des Aedinae: Comporte les *Aedes*. Ils sont soit selvatiques ou péri-domestiques, les femelles piquent le plus entre 16h et 19h.
- Sous-famille des Culicinae: Comporte le genre *Mansonia* dont les espèces *uniformis* et *africana* sont très agressives pour l'Homme et le genre *Culex* exemple: *Culex quinquefasciatus* dont sa bioécologie est fortement liée à l'urbanisation.

I-2-2 Caractères bioécologiques des moustiques

Le développement des moustiques se caractérise par 2 phases distinctes :

- un cycle pré-imaginal qui se déroule en milieu aquatique et regroupe l'œuf, les 4 stades larvaires et la nymphe,
- la phase aérienne qui concerne l'adulte ailé ou imago.

I-2-2-1 Cycle de développement

D'après **ROZENDAAL (1999)** on distingue 4 étapes dans le cycle de développement des moustiques : l'œuf, la larve, la nymphe, et l'adulte ou l'imago. En général la femelle ne s'accouple qu'une seule fois, mais pond périodiquement pendant toute son existence. Pour y parvenir, la plupart d'entre elles doivent prendre un repas de sang. Ce sont les repas de sang qui apportent les substances nutritives indispensables à chaque maturation ovarienne (**DETINOVA, 1963**). La digestion et le développement ultérieur des œufs durent 2 à 3 jours sous les tropiques et plus dans les régions tempérées. Une femelle pond 30 à 300 œufs à la fois selon l'espèce et soit isolément pour le genre *Anophèles*, soit en amas sous de barquettes pour le genre *Culex* (**ROZENDAAL, 1999**).

A l'éclosion, la larve mesure environ 1,5 mm et 10 mm au stade 4. Les larves n'ont pas de pattes mais sont pourvues de soies et nagent grâce à des mouvements ondulants. En cas de pénuries de nourriture dans les climats chauds, le stade larvaire dure 4 à 7 jours ou d'avantage.

Sous les tropiques, le stade nymphal dure 1 à 3 jours et lorsque les conditions sont réunies, le passage de l'œuf à l'imago prend 7 à 13 jours (**ROZENDAAL, 1999**).

A la fin du stade 4, se produit la nymphose. La cuticule de la larve se fend dorsalement et laisse échapper une nymphe très mobile et qui ne se nourrit pas. Elle respire par des trompettes situées sur le céphalothorax. Ce stade dure souvent moins de 48 heures. L'adulte est préformé à la fin de ce stade.

Après l'émergence, les femelles doivent généralement se reposer 12 à 24 heures et les mâles pendant trois jours pour que leur exosquelette durcisse et que la mise en place des organes reproducteurs soit effective. Après le 3^{ème} jour de leur vie imaginale, les mâles essaient et s'accouplent avec des femelles.

L'accroissement des ovocytes de certains moustiques jusqu'au terme de l'ovogenèse nécessite des protéines que le moustique trouve dans le sang des vertébrés sur lesquels il se nourrit. Après chaque repas de sang, le moustique cherche un lieu de repos et la digestion qui dure une ou deux heures élimine plus de 60% du volume de son repas de sang sous forme d'eau.

D'après **ROZENDAAL (1999)**, la vitesse de vol des moustiques est de l'ordre de 0,13 à 0,15 m/s. Le vol se fait généralement contre le vent qui transporte les signaux émis par les vertébrés (CO₂). Le déplacement dans ce cas n'excède pas quelques centaines de mètres. Ces moustiques peuvent aussi être assistés par le vent dans leur vol. Les moyens de transport peuvent favoriser aussi leur transport passif.

I-2-2-2 Gîtes de ponte

Aux alentours des habitations, le biotope des larves peut se diviser en deux groupes :

a- Les gîtes larvaires en eau claire ou récipients remplis d'eau pour les genres *Anopheles* et *Aedes* :

- Gîtes temporaires à l'intérieur et à l'extérieur
- Gîtes permanents constitués par les récipients ou réservoirs d'eau, les puits et les mares ou étangs.

b- Les gîtes larvaires en eaux polluées pour le genre *Culex* :

- Latrines à fosse
- Fosses septiques
- Réseaux de drainage
- Puits perdus

I-3 Maladies transmises par les moustiques

Les maladies transmises par les moustiques ont des impacts économiques et médicaux. Les maladies causées sont principalement virales, bactériennes et parasitaires.

Selon **ROZENDAAL (1999)** les maladies transmises pour chaque moustique sont :

Moustiques	maladies
<u><i>Anophèles</i></u>	Paludisme, Filariose lymphatique
<u><i>Culex</i></u>	Filariose lymphatique, encéphalite japonaise, Autres viroses
<u><i>Aedes</i></u>	Fièvre jaune, Dengue, Filariose lymphatique, autres Viroses
<u><i>Mansonia</i></u>	Filariose lymphatique

Au Sénégal les maladies les plus fréquentes sont le paludisme et la fièvre jaune.

A lui seul, le paludisme affecte plus de 400 millions de personnes et des centaines de millions d'autres y sont exposées (**PAL, 1982** cités par **VINCENT et CODERRE, 1992**).

C'est en Afrique que le paludisme s'évit le plus, mais la maladie est présente dans le monde entier (**ANONYME 10, 2003**). L'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.) estime à plus de 300 millions le nombre de personnes atteintes de paludisme, et à 1 million au moins celui des personnes qui en meurent.

Les chiffres estimés en 1999 sont de 300.000.000 à 500.000.000 cas/an; 1.500.000 à 2.700.000 morts dont 1.000.000 d'enfants de moins de 5 ans.

Au total 101 pays sont concernés, mais 90% des cas intéressent les pays de l'Afrique subsaharienne (incidence en Afrique : 500 à 900/1000), (**ANONYME 1, 2003**)

Depuis les années 1980, la fièvre jaune est en recrudescence au Sénégal. La fièvre jaune a fait l'objet d'une étude au Sénégal par une équipe de l'I.R.D. et de l'Institut Pasteur de Dakar. D'après ces études, la transmission du virus de la fièvre jaune de la femelle de l'*Aedes aegypti* à sa descendance passe par les larves, c'est la transmission verticale. Le virus responsable de cette maladie peut se maintenir en un site d'une saison de pluies à une autre par le biais d'œufs infectés et demeurer à l'abri dans les gîtes de ponte lors de la saison sèche.

I-4 Les méthodes de lutte

I-4-1 La lutte mécanique

Le drainage des marais et la construction des marais salants sont moins pratiqués aujourd'hui. Dès l'antiquité, on utilisait déjà les filets pour se protéger contre les piqûres de moustique (**DANIS et MOUCHET, 1991**).

Actuellement, les moustiquaires sont utilisées contre la piqûre des moustiques. Leurs imprégnations entrent dans le cadre de la lutte chimique.

I-4-2 La lutte chimique

A- contre les adultes

Les expériences faites en 1970 au Burkina Fasso avec la Deltaméthrine sous forme de poudre mouillable ou sous forme huileuse adaptée à une pulvérisation électrodynamique, ont montré l'efficacité de celle-ci contre les anophèles. La concentration était de 0,1g /m² à 2g /m². En 1980 des résultats satisfaisants ont été obtenus avec l'utilisation de la Deltaméthrine (0,008g/m²) et du Pelméthrine (0,08g/m²), (**VINCENT et CODERRE, 1992**)

En 1984, des expériences réalisées sur les moustiques dans la station expérimentale de Soumosso au Burkina Fasso, ont donné des résultats satisfaisants grâce à l'imprégnation de moustiquaires par divers insecticides (**DARRIET *et al.*, 1984** cités par **VINCENT et CODERRE, 1992**). Les actions répulsives, l'exophilie, et le taux de gorgement de sang ont permis aux chercheurs de sélectionner 5 meilleurs produits organophosphorés (Malathion, Fénitrothion, le Chlorofibre, le Pirimiphos-méthyl et le bromophos), et 3 carbamates (Landin, propoxur, Moban).

Depuis quelques temps, les moustiquaires imprégnées d'insecticides sont de plus en plus utilisés au Sénégal pour se protéger contre les piqûres de moustique.

B- Contre les larves

Les larvicides organiques de synthèse généralement utilisés sont d'après **ROZENDAAL (1999)**

► **Téméphos** : C'est un produit extrêmement actif contre les larves de moustiques et très peu toxique contre les poissons, oiseaux et mammifères. Il est largement utilisé pour traiter les cours d'eau d'Afrique occidentale contre les simulies.

► **Fenthion** : C'est un produit dont la toxicité est élevée. Il est utilisé pour le traitement des eaux polluées, étangs, marécages, fosses septiques. L'eau est traitée au maximum à une concentration de 0,1mg /l.

► **Malathion** : Il est utilisé surtout contre les larves de *Aedes aegypti* à des doses comprises entre 224 et 400 g/ha

► **Chlorpyrifos** : Il est employé dans les bassins de captage, puits perdus, fosses d'évacuation des eaux d'égout. Il est très toxique. Il se présente sous forme de granulés ou poudre mouillable.

► **Pirimiphos-Méthyl** : Il est utilisé contre les larves et imagos de moustiques, il est toxique pour l'Homme. Il est sous forme de concentré émulsionnable appliqué à 50%, en raison de 100g /ha de matière active.

► **Pyréthrinoides** : Ce sont la Deltaméthrine et la Permethrine. On les utilise pour détruire les larves de moustiques mais peuvent avoir des effets graves sur les autres insectes.

Régulateurs de la croissance des insectes (ROZENDAAL, 1999)

Ils perturbent le développement des insectes, très toxiques contre les nymphes, larves et très peu toxiques contre les mammifères, oiseaux, poissons et insectes adultes.

- Les analogues d'hormones juvéniles, (comme le méthropène) empêchent les larves ou les nymphes de parvenir au stade adulte.

- Les inhibiteurs de la synthèse de la chitine perturbent le processus de mue et tuent la larve lorsqu'elle mue (Diflubenzuron, Triflumuron).

L'O.M.S. estime que l'utilisation du Méthropène est sans danger pour traiter l'eau. La matière active se décompose assez rapidement dans l'eau. On l'introduit généralement là où le gîte est le plus profond de manière à ce que l'action larvicide se maintienne durant la saison sèche. On l'utilise à des concentrations de 4 à 6 g de m.a. /ha contre *Aedes* et deux fois plus contre *Anopheles*, *Culex* et *Mansonia*.

Le Diflubenzuron est utilisé en pulvérisation sur les gîtes larvaires de moustiques en eau libre (polluée ou non), souvent sous forme de poudre mouillable 25% de m.a. avec 25 à 50g/ha sur les eaux claires, 50 à 100g /ha sur les eaux polluées.

Des larvicides ont été utilisés dans certains milieux aquatiques (mares, flaques, trous d'eau divers, caniveaux, puisards, etc.). A Diouloosso des larvicides ont été évalués pour leurs activités et leurs rémanences. Parmi ces larvicides on a 2 groupes, les Ecdysones qui perturbent la formation des cuticules, et les juvénoides qui bloquent la nymphose. Les résultats ont montré que la limite supérieure des concentrations létales CL100 la plus élevée était de 0,031mg /l d'O.M.S-3007 et la plus faible avec O.M.S-3009 à la concentration de 0,0004mg /l. Ils ont aussi une action ovicide et entraînent des malformations chez certains adultes (**DARRIET, 1998**).

Les substances (insecticides) qui continuent encore d'être utilisées aujourd'hui ont une action rapide mais peuvent avoir une rémanence tenace, comme dans le cas des organochlorés (**PHILOGENE, 1999; PERRIN ET SCHARFF, 1999** cités par **DRAME, 2003**).

C- Les inconvénients de la lutte chimique

C-1 Effets toxiques

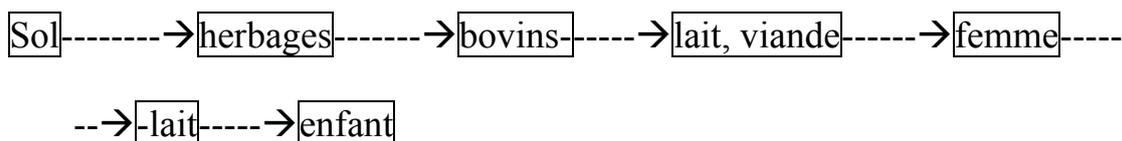
La démoustication est temporaire et une reprise fréquente des opérations peut revenir chère dans les zones où les gîtes larvaires sont nombreux ou étendus.

L'utilisation des insecticides de synthèse a des conséquences écotoxicologiques. L'effet des insecticides ne se limite pas aux insectes ciblés mais surtout sur le cortège de l'entomocoénose (insectes partageant le même milieu de vie) tels que les insectes pollinisateurs comme les abeilles. Certains larvicides peuvent être nocifs pour les autres êtres vivants du biotope, notamment pour les ennemis naturels des moustiques.

Dans la toxicologie humaine, l'usage des pesticides peut provoquer une morbidité et même une mortalité non négligeable chez les personnes qui sont exposées. L'O.M.S. a estimé dans les années 70 que près de 500 000 personnes voir 1 400 000 étaient intoxiquées dans le monde par l'usage de ces substances.

Les intoxications aiguës par pesticides sont fréquentes dans les pays en voie de développement. Selon le Bureau International du Travail (B.I.T.), environ 40 000 personnes meurent chaque année dans ces pays, victimes de ces intoxications (absence d'équipements de protection, surdosage...) alors que 3 à 5 millions sont gravement atteints (**ANONYME 6, 2004**).

D'une manière générale, des études ont montré, un phénomène de bioconcentration des composés organochlorés dans la chaîne alimentaire qui se résume ainsi :



Les insecticides utilisés dans les champs vont passer du sol, dans les végétaux puis dans l'ensemble du réseau trophique. Ainsi cette bioconcentration peut atteindre des milliers de fois la dose initiale (**ROSIVAL *et al.*, 1983** cités par **ESSAID, 1991**). Ces travaux ont montré qu'avec le D.D.T. dans les années 80, les laits maternels provenant de nombreux pays aussi bien industrialisés qu'en voie développement renfermaient des concentrations de cet insecticide.

Dans les pays sahéliens, les produits phytosanitaires achetés par les Services de Protection des Végétaux peuvent être à la portée des villageois, mais les précautions d'emploi (habits protecteurs, gants, masques etc.) sont relativement chères et rarement les paysans les prennent. La spéculation facile par les marchands ambulants ou intermédiaires << banabanas >> constitue aussi un grand danger dans l'utilisation des pesticides.

Toxicité des principaux insecticides utilisés dans la lutte antipaludique, exprimée en DL50 orale pour le rat femelle (en mg/kg) (ROZENDAAL, 1999)

PRODUITS	DL50 RAT ORAL	PRODUITS	DL 50 RAT ORAL
D.DT	113	Propoxur	90
Gamma H.C.H	88	Bendiocarbe	40
Malathion	2800	Bioalléthrine	845
Fénitrothion	800	Esbiothrine	670
Chlorphoxime	2500	Perméthrine	430
Temephos	8600	Deltaméthrine	135
Dichlorvos	56	Lambdacyhalothrine	1444

C-2 Phénomènes de résistance

Malgré l'efficacité des insecticides, une réaction imprévue est apparue avec la résistance des insectes. La résistance à un produit d'une classe donnée, entraîne celle à la plupart des produits de la même classe, c'est la résistance croisée. Mais la résistance au Malathion n'entraîne généralement pas celle aux autres organophosphorés. Les méthodes pour mesurer la sensibilité des anophèles et donc détecter leur résistance, ont été codifiées par l'O.M.S. dès 1960. Cette résistance est provoquée par deux types de processus génétiquement contrôlés, l'un enzymatique et l'autre physiologique (**DARRIET, 1998**). Selon l'O.M.S., << la résistance d'une souche ou race d'un insecte, correspond au développement d'une capacité de tolérer des doses toxiques qui seraient létales pour la majorité des individus d'une population normale de la même espèce >> (**O.M.S., 1957**). La résistance au D.D.T. est due à une enzyme, le D.D.T. déshydrogénase ou D.D.T.ase.

L'autre cas, c'est le fait que la gaine nerveuse perd sa perméabilité aux insecticides et ne leur permet plus d'atteindre leur site d'action. Ce mécanisme est codé par un gène dit Kdr (Knock-down résistance). L'insecticide ne provoque pas les résistances mais sélectionne les mutants spontanés (**GENTILINI, 1989**).

D'autres résistances sont de type métabolique (hydrolases, monooxygénases), (**DELORME, 1985** cité par **DARRIET, 1998**). Par exemple le carboxyle estérase transforme le Malathion en Malathion acide. Les monooxygénases réoxydent les cycles aromatiques. Ce qui entraîne une détoxification.

Depuis 1963, les experts de l'O.M.S. ont noté pour la famille des Anophelinae 32 espèces résistantes au D.D.T., 17 espèces de culicinae résistantes à l'H.C.H., au D.D.T. et à la Dieldrine (**O.M.S., 1963**). Des études

ont confirmé la résistance aux pyréthrinoïdes chez *Anopheles gambiae s.l* en Côte d'ivoire, Bénin et Burkina Fasso, Botswana, Cameroun, Sénégal (CHANDRE *et al.*, 2004).

Au Sénégal, parmi les espèces d'anophèles résistantes on peut citer : *Anopheles arabiensis* (D.D.T.), *Anopheles gambiae s.l* (D.D.T.), (O.M.S., 1980 cité par GENTILINI, 1989).

Dans le cas de *Culex*, des études ont montré des cas de résistance aux organophosphorés. Elles ont pu montrer que les populations larvaires de *Culex pipiens* sont devenues résistantes aux Chlorpyrifos, et au Téméphos dans les préfectures de Mohammedia, Rabat, et Skhirat Témara au Maroc, (FARAJ *et al.*, 2001).

En plus de la résistance aux insecticides, il se développe un autre phénomène qui est la chimiorésistance. Celle-ci est surtout observée avec *Plasmodium falciparum* (responsable du paludisme) à l' amino-4-quinoléine dans la lutte contre le paludisme, (GEORDES *et al.*, 1990).

Pour trouver des solutions à ces problèmes, la Science est à la recherche d'autres insecticides non toxiques pour les organismes non ciblés mais efficaces pour lutter contre ces insectes.

Des résultats intéressants ont été apportés par l'application de certains produits naturels d'origine animale ou végétale sur les insectes.

I-4-3 LA LUTTE BIOLOGIQUE

C'est un secteur de recherche en plein développement. Les agents de lutte biologique sont généralement les ennemis naturels des insectes. Pour cette lutte, les plus prometteuses utilisent différents agents.

I-4-3-1 Les prédateurs : la faune prédatrice des larves de moustiques concerne principalement les poissons (*Gambusia affinis*, le guppy, *Poecilia reticulata*, le panchax, Poisson perle d'Argentine, le tilapia, la carpe...) et les insectes entomophages.

I-3-2 Les agents entomopathogènes : concernent les nématodes parasites, les microsporidies, les champignons, les virus et les bactéries.

Dans le cas des Bactéries, des larvicides biologiques sont utilisés, c'est le cas de *Bacillus thuringensis var israelensis* (DE BARJAC, 1990 ; LACEYLA *et al.*, 1984 ; ANONYME 2, 2004) et *Bacillus sphaericus* contre les populations larvaires de *Culex quinquefasciatus* (O .M.S., 1985). Ces bactéries sont utilisées pour le traitement des puisards, des vases et des citernes.

Dans les années 1991-1992, l'application de ces bactéries a fait diminuer le nombre de piqûres jusqu'à 1,4 fois au Cameroun. Ce sont des biocides actifs ayant la propriété et la capacité d'autopropagation et donc d'autoamplification de l'effet régressif, on les appelle même les <<auxiliaires de lutte >>. Il existe une diversité d'entomophages exploitable en lutte biologique. C'est le cas du *Métarhizium anisopliae* qui est une espèce fongique à spectre large et agit par

ses toxines (**WRAIGHT et ROBERTS, 1987** cités par **VINCENT et CODERRE, 1992**).

Il est utilisé pour la lutte contre les mouches de l'oignon mais également contre l'infestation des criquets.

I-4-3-3 Utilisation des produits d'origine végétale dans la lutte contre les insectes

Depuis la prise de conscience sur les effets liés à l'utilisation des insecticides de synthèse, l'utilisation des produits d'origine végétale est mise en opération. En **1966**, le Tchèque **Slama** et l'américain **Williams** ont extrait du sapin baumier (*Abies balsamena*) un produit (juvabione), qui conservait le caractère juvénile chez les insectes et est reconnue comme l'ancêtre des larvicides. Des plantes particulières ont des caractéristiques qui révèlent la présence de substances à principe actif d'insecticide. L'action larvicide du *Persea americana* sur les larves de moustique a été démontrée (**KOUA, 1994**). La plante la plus utilisée pour le caractère insecticide est le margousier ou neem (*Azadirachta indica*). Cette plante renferme plusieurs composés dont leurs effets ne se limitent pas seulement à la phagorépression. Des chercheurs de plusieurs laboratoires ont pu caractériser les principes actifs de cette plante qui pousse surtout dans les régions arides ou semi-arides. Une plante moyenne de margousier peut produire 350 kg de feuilles et 50 kg de fruits dont on peut extraire environ 6kg d'huile (**ESSAID, 1991**). Ces chercheurs ont pu identifier 25 composés différents dont 9 ont une action sur la biologie des insectes en particulier la saanine et le méliantrol. Sur le plan pratique, les composés extraits du neem ont une structure complexe pour qu'on puisse envisager leur synthèse industriellement. Des produits phytosanitaires à base de margousier sont sur le marché :

- Le **Repelin** et le **Wellgo** sont utilisés en Inde contre les ravageurs du coton
- Le **Nimbasol** et le **Biosol** qui sont des sous produits de l'huile de neem utilisés en Inde
- Le **Neemark** utilisé aussi en Inde contre les ravageurs du coton, du riz, du tabac, des arachides, cannes à sucre et légumes.
- Le **Margosan-O** utilisé aux U.S.A. contre les phytophages.

L'International Rice Research Institute a mis au point une poudre hydrosoluble à partir des amandes de neem. Elle a été préparée et nommée <<betters>>. (**ESSAID, 1991**)

D'autres insecticides d'origine végétale (des alcaloïdes) sont connus à savoir :

- La **Nicotine** : alcaloïde extrait des feuilles de tabac sous forme de nicotine alcaloïde (95 à 98% de nicotine pure) ou sous forme de sulfate de nicotine (40%) très toxique pour les animaux à sang chaud,
- **Pyrèthre** et **pyréthrine** : les pyrèthres naturels proviennent des fleurs de composés. Les pyréthrines sont utilisés avec un activateur qui peut être le pipéronyl butoxide, le D.D.T. ou le Lindane. Ils sont fréquemment vendus en bombe aérosol et provoquent des <<knock-down>> chez les insectes,

- La **roténone** : C'est un insecticide extrait de racines de légumineuses *Deris*, *Tephrosia*, *Lonchocarpus*. On l'emploie souvent en poudrage, la poudre étant obtenue par broyage des racines de plantes à roténone.

Les extraits de neem sont généralement utilisés dans la lutte contre les insectes.

Au Canada, les travaux qui ont conduit à l'homologation du neem se sont produits au laboratoire et sur le terrain. Les résultats ont montré que l'extrait des graines de neem contenant l'azadirachtine a été très efficace contre 13 espèces de lépidoptères et de mouches à scie (hyménoptères).

Sur le terrain, des applications foliaires de neem effectuées à raison de 50g d'azadirachtine/ha se sont révélées efficaces contre le charançon du pin blanc (**ANONYME 3, 2004**)

Dans le cadre de la lutte biologique contre le diprion du sapin, des chercheurs ont montré que le neem peut agir comme insecticide stomacal, un anti-appétant et un inhibiteur de la croissance des insectes. Leurs expériences ont montré que l'utilisation du neem a été plus efficace en raison du faible taux d'application (20g /ha) pour la protection et la réduction de la survie des larves même dans le cas des stades larvaires avancés du diprion. (**ANONYME 5, 2003**).

En **1988**, l'efficacité des broyats de graines de neem en raison de 60g par litre a été démontrée sur la protection des céréales (**SECK, 1988**). Les travaux de **SECK et al. (1991)** sur des formulations de neem a apporté des résultats intéressants sur la protection des stocks de céréales de même que ceux de **KANDJI (1996)** sur la protection des semences.

Selon l'Indian Council of Medical Research, des produits à base d'huile de neem (le margousier) sont plus sûrs et moins chers que les insecticides chimiques de synthèses. Le neem permet de détruire les larves et empêche la reproduction des moustiques (**ANONYME 7, 2003**).

ALERIO (2003) a démontré le caractère insecticide du neem sur les larves d'anophèles en utilisant des extraits du neem (huile) avec des doses de 5,10 et 20% pour des mortalités de 83, 98 et 100%.

II MATERIEL ET METHODES