

Généralités sur les moustiques vecteurs du paludisme

La découverte par Alphonse Laveran des parasites dans le sang de patients atteints de paludisme en 1880 marque le début de la connaissance du paludisme. Plus tard, Ronald Ross démontra que les parasites humains du paludisme étaient transmis par des moustiques du genre *Anopheles* (Ross, 1897). Le paludisme est donc une infection parasitaire due à un protozoaire appartenant au genre *Plasmodium* transmis par des moustiques femelles du genre *Anopheles* (OMS, 2007). Cinq espèces du genre *Plasmodium* sont impliquées : *Plasmodium vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* et *P. falciparum*.

P. falciparum est le parasite du paludisme le plus prévalent dans la région Afrique de l'OMS. Il est en effet à l'origine de 99,7 % des cas de paludisme estimés en 2017, tout comme dans les régions d'Asie du Sud-Est (62,8 %), de la Méditerranée orientale (69 %) et Pacifique occidental (71,9 %). *P. vivax* prédomine dans la région Amérique de l'OMS où il représente 74,1% des cas de paludisme (OMS, 2018).

Les moustiques ont un rôle dans les écosystèmes mais avant tout en épidémiologie humaine et animale. En plus de leur caractère nuisant par les piqûres qu'ils infligent, ils représentent le groupe le plus important de vecteurs d'agents pathogènes transmissibles à l'être humain mais également de zoonoses. Ils sont vecteurs principalement de trois groupes d'agents pathogènes pour l'être humain: *Plasmodium*, filaires ainsi que de nombreux arbovirus.

Les anophèles femelles prélèvent le parasite en prenant sur un sujet infecté au cours de leur repas de sang. Ce dernier est indispensable pour le développement de leurs œufs. Les parasites se développent ensuite dans l'organisme de l'insecte. Lorsque la femelle du moustique se nourrit de nouveau, elle inocule les parasites avec sa salive dans le sang d'un nouvel individu. De ce fait, la lutte contre cette maladie exige sans doute une bonne connaissance de la biologie des *Plasmodium*, d'une part et, d'autre part, de la bio-écologie des anophèles vecteurs.

La multiplication des parasites se fait de façon rapide dans le foie, puis dans les globules rouges du sujet infecté. Une à deux semaines plus tard, les premiers symptômes du paludisme se manifestent: en général de la fièvre, des céphalées, des frissons et des vomissements. S'il n'est pas traité rapidement au moyen de médicaments efficaces, le paludisme peut tuer en infectant et en détruisant les globules rouges, puis en obstruant les capillaires qui irriguent le cerveau et d'autres organes vitaux.

Ces dernières années, on a enregistré aussi certains cas de paludisme du singe chez des humains dans des zones de forêts d'Asie du Sud-Est (WHO, 2016). Le paludisme est une affection fébrile

aigue. Chez un sujet non immunisé, les symptômes apparaissent généralement au bout de 10 à 15 jours après la pique de moustique infectante. Les premiers symptômes (fièvre, maux de tête et frissons) peuvent être modérés et difficiles à attribuer au paludisme. S'il n'est pas traité dans les 24 heures, le paludisme à *Plasmodium falciparum* peut évoluer vers une affection sévère souvent mortelle (OMS, 2018).

À ce jour, environ 3 546 espèces de moustiques réparties en 111 genres sont inventoriées dans le monde. Parmi elles, seules une soixantaine d'espèces assure la transmission des *Plasmodium* humains (Carnevale & Robert, 2009).

I.1.1 Les vecteurs du paludisme au Sénégal

Une vingtaine d'espèces anophéliennes ont été décrites au Sénégal (Diagne *et al.*, 1994). Parmi ces espèces, une demi-douzaine sont connues pour leur implication dans la transmission du paludisme (*An. gambiae*, *An. coluzzii*, *An. arabiensis*, *An. funestus*, *An. melas*, *An. nili* et *An. pharoensis*). *An. gambiae*, *An. coluzzii*, *An. arabiensis* et *An. funestus* ont une large distribution et un rôle prépondérant dans la transmission tandis qu'*An. melas*, *An. nili*, *An. pharoensis* sont confinés dans certaines zones géographiques et ont un rôle vectoriel secondaire. *An. gambiae* et *An. arabiensis* sont sympatriques dans presque tout le territoire et leurs fréquences relatives varient en fonction des conditions climatiques. *An. arabiensis* est plus abondant en zones sahéliennes et soudano-sahéliennes alors qu'*An. gambiae* est prédominant dans les zones de savane humide (Vercruyssen *et al.*, 1981; Vercruyssen, 1985; Petrarca *et al.*, 1987, Dia *et al.*, 2008; Lemasson *et al.*, 1997; Fontenille *et al.*, 1997; Robert *et al.*, 1998). *An. melas* du fait de ses affinités aux eaux saumâtres, est localisé sur le long du littoral mais également à l'intérieur des terres le long des cours d'eau du Sine-Saloum et de la Casamance jusqu'aux limites de la remontée des eaux marines. Il est également présent dans les zones de mangrove du Sine-Saloum, de basse Casamance et de Saint-Louis (Diop *et al.*, 2002). *An. funestus*, absent auparavant des zones sahéliennes suite aux sécheresses récurrentes des années 70, est actuellement présent dans toutes les zones biogéographiques du Sénégal notamment dans les localités à proximité de zones marécageuses ou de cours d'eau (Dia *et al.*, 2003, 2008). *An. pharoensis* est présent également dans toutes les zones biogéographiques mais est prédominant surtout dans les zones de rizières de la vallée du fleuve Sénégal et de Casamance (Faye *et al.*, 1995). La présence d'*An. nili* est signalée uniquement dans la zone du Sénégal oriental et de Casamance (Dia *et al.*, 2003, 2005).

I.1.2 Systématique, cycle de développement et morphologie

I.1.2.1 Systématique

Plusieurs espèces vectrices de parasitoses ou d'arboviroses sont des *Culicidae* (moustiques) appartenant à:

- l'embranchement des arthropodes (pattes articulées),
- la classe des insectes (corps segmenté en trois parties),
- la sous classe des ptérygotes (présence d'ailes),
- l'ordre des diptères (deux ailes fonctionnelles)
- le sous-ordre des nématocères (antennes rondes et longues).
- La famille des *Culicidae*

Cette famille comprend trois sous familles:

- les *Anophelinae* (avec les genres *Anopheles*, *Bironella* et *Chagasia*),
- les *Culicinae* (*Aedes*, *Culex*, *Mansonia*, etc.) et
- les *Toxorhynchitinae* (*Toxorhynchites*) (Knight & Stone, 1977).

I.1.2.2 Cycle de développement

Les moustiques sont des insectes à métamorphose complète (insectes holométaboles). Leur cycle biologique comprend deux (2) phases:

Une phase aquatique qui concerne les stades pré-imaginaux ou immatures: œuf, larves (avec 4 stades larvaires différents par leur taille entrecoupés chacun d'une mue) et nymphe. Après une dizaine de jours environ, la dernière mue transforme la larve du 4e stade en une nymphe qui ne se nourrit pas et subit d'importants bouleversements morphologiques, libérant l'anophèle adulte en un à deux jours environ.

Une phase aérienne qui concerne le stade adulte ou imaginal, avec des mâles et des femelles.

C'est à ce stade que s'effectue la reproduction et la dispersion. Le mâle se nourrit exclusivement de jus sucrés, tandis que la femelle s'alimente non seulement du nectar des fleurs pour disposer de l'énergie nécessaire pour le vol mais aussi de sang humain ou animal pour la maturation des œufs. Cependant seule la femelle est hématophage. C'est au cours d'un repas sanguin qu'elle peut ingérer le parasite et le transmettre plus tard (Carnevale & Robert, 2009).

Chaque espèce de moustique préfère pondre ses œufs dans une collection d'eau particulière (OMS, 2013). Les gîtes préférentiels des anophèles sont généralement des eaux douces, claires avec ou sans végétation. Ces points d'eau comprennent les mares temporaires ou permanentes, des flaques d'eau de pluie, des puits, des bassins etc. Toutefois, certaines espèces se développent dans

des eaux saumâtres (*An. melas* et *An. merus*) ou dans des sources d'eau thermales (Gillies & De Meillon, 1968).

Le développement larvaire est influencé par la température, la luminosité et la quantité de nourriture. C'est une période de croissance avec une augmentation notable de la taille du stade un au stade quatre, qui peut être de l'ordre de 10 fois. Le dernier stade nymphal se termine par l'émergence qui marque le passage à la vie adulte.

La femelle s'accouple généralement juste après l'émergence en s'introduisant dans les essaims formés par les mâles. La vie de la femelle est ensuite rythmée par un cycle de prise de repas sanguin sur un hôte vertébré.

En fonction des comportements de piqûre des imagos et des habitudes de repos, on distingue des populations endophages et exophages qui s'alimentent respectivement à l'intérieur ou à l'extérieur des habitations.



Figure 1: Représentation du cycle de développement des Anophèles

I.1.2.3 Morphologie

Les moustiques sont des insectes à métamorphose complète (insectes holométaboles) de sorte que l'adulte, la larve et la nymphe ont des morphologies très différentes, adaptées à leurs modes de vie, aquatique pour les stades pré imaginaires et aérien pour le stade adulte ou imaginal. (Carnevale & Robert, 2009).

I.1.2.3.1 Les œufs

Une ponte d'anophèle est composée habituellement de 50 à 300 œufs, de forme allongée, chacun ayant 1/2 millimètre de longueur. Les œufs sont pondus de couleur blanche, puis brunissent. Les œufs d'*Anopheles* sont pondus isolément, en vol, sur la surface de l'eau, et possèdent généralement deux flotteurs latéraux. Ces œufs sont soumis au jeu des tensions superficielles, se regroupent parfois par leur extrémité pour former des sortes d'étoiles (à 6 œufs) sur l'eau. Les œufs d'anophèle ne résistent généralement pas à la dessiccation et éclosent dans les 48 heures après l'oviposition, dès que l'embryon est entièrement développé. Ce délai est allongé lorsque la température diminue (Carnevale & Robert, 2009).

I.1.2.3.2 Les larves

Les larves d'anophèle se reconnaissent des autres larves d'insectes aquatiques par, entre autres, l'absence de pattes et un thorax relativement gros.

Au cours de son développement, la larve subit 3 mues et passe ainsi par 4 stades larvaires morphologiquement comparables. La mue qui survient entre chaque stade permet l'accroissement de la taille de la larve pendant que la nouvelle cuticule durcit. Au stade IV, la larve d'anophèle mesure environ 12 à 15 mm. Morphologiquement, la larve se compose de trois parties: la tête, le thorax et l'abdomen (Carnevale & Robert, 2009).

✓ Tête:

La tête porte les 2 antennes, 2 gros yeux composés, une paire de brosses buccales qui servent à créer un courant d'eau apportant les particules alimentaires (levures, bactéries, micro-planctons, micro-algues, grains de pollen, etc.) au niveau de la bouche qui est en position ventrale.

Chez les anophèles, la larve s'alimente en surface (surface feeder), tandis qu'elle s'alimente en profondeur chez les autres moustiques de la sous-famille Culicinae. La tête comporte en effet de nombreuses soies qui sont utilisées pour la diagnose spécifique (identification des espèces), notamment les soies préclypéales internes et externes. À l'éclosion, la larve de stade I mesure 1 à 2 mm ; elle présente, sur la tête, une dent d'éclosion qui a servi à percer, et ouvrir, le chorion de l'œuf. Cette dent n'existe pas chez les stades ultérieurs (Carnevale & Robert, 2009).

✓ Thorax

La liaison entre la tête et le thorax se fait par l'intermédiaire d'une membrane, au niveau du cou, qui permet la rotation à 180° de la tête lors de l'alimentation.

Le thorax n'apparaît pas segmenté, mais il se compose de 3 segments coalescents (pro-, méso- et métathorax), chacun portant de nombreuses soies dont la forme et la taille diffèrent selon leur implantation et selon les espèces. Ces soies ont reçu une numérotation (chéto-taxie) et sont utilisées pour la diagnose spécifique (Carnevale & Robert, 2009).

✓ Abdomen

Il comprend 9 segments bien visibles, chacun portant différentes ornements, notamment la plaque tergale et les plaques accessoires, des soies simples, branchues ou palmées, etc. qui sont utilisées pour l'identification des différentes espèces. Les larves d'anophèles vivent dans l'eau, s'alimentent, effectuent des mues et respirent l'air atmosphérique. La durée de vie larvaire est d'une à deux semaines selon les espèces et les conditions écologiques (dont la température) (Carnevale & Robert, 2009).

I.1.2.3.3 La nymphe

La fin de la vie larvaire est suivie d'une métamorphose complète; la cuticule de la larve se fend longitudinalement pour laisser place à une nymphe.

Le stade nymphal est caractérisé par:

- La coalescence de la tête et du thorax qui forment un céphalothorax volumineux ;
- La nymphe est mobile grâce à des contractions brusques de l'abdomen qui lui permettent de se déplacer efficacement et d'échapper aux prédateurs ;
- elle a une respiration aérienne via deux trompettes respiratoires situées non plus à l'extrémité de l'abdomen comme la larve, mais reliées latéralement sur le céphalothorax, et qui affleurent à la surface de l'eau lorsque la nymphe est au repos ;
- elle ne s'alimente pas

La durée de vie de la nymphe est courte, un à deux jours généralement, rarement plus (3-5 jours maximum selon la température). La nymphe représente le dernier stade de la vie pré-imaginale, et de la phase aquatique.

Au moment de l'émergence, la nymphe mature se positionne juste sous la surface de l'eau, une suture ecdysiale située sur la face dorsale du thorax se fend longitudinalement et laisse sortir l'adulte hors de l'exuvie nymphale et donc hors de l'eau.

Cette émergence ne dure que quelques minutes. C'est une phase spectaculaire et délicate de la vie du moustique qui est alors exposé aux risques des prédateurs comme aux moindres mouvements d'air ou d'eau, entraînant la noyade (Carnevale & Robert, 2009).

I.1.2.3.4 L'adulte

L'adulte ou imago mène une vie aérienne. Morphologiquement, l'adulte comprend trois parties:

- La tête (avec des yeux composés, une trompe, des palpes et un appareil buccal de type suceur pour le mâle et de type piqueur-suceur chez la femelle),
- Le thorax (avec trois paires de pattes, une paire d'ailes et deux balanciers) et

- L'abdomen (comprenant l'appareil reproducteur au niveau du 7ème segment abdominal pour le mâle et entre le 8ème et 9ème segment abdominal pour la femelle).

On remarque qu'au repos, les anophèles adoptent généralement une position oblique par rapport au support, les différenciant facilement des autres *Culicinae* qui se positionnent parallèlement au support (Carnevale & Robert, 2009).

Leur accouplement a lieu peu après l'émergence. La femelle ne s'accouple en général qu'une seule fois, parce qu'elle reçoit à ce moment-là suffisamment de sperme pour féconder les œufs durant les pontes successives.

On note chez les anophèles une agressivité avec des tranches horaires différentes: la plupart des anophèles piquent la nuit, certains au crépuscule; d'autres piquent plus tard, au milieu de la nuit ou même tôt le matin. Il existe des moustiques dites endophages c'est-à-dire qui piquent à l'intérieur des habitations, et d'autres dites exophages c'est-à-dire qui piquent à l'extérieur des habitations. Après son repas de sang, le moustique se repose en général pendant une courte période. Les moustiques qui ont pénétré dans une maison se reposent habituellement sur un mur, sous le mobilier ou sur les vêtements pendus. On dit alors qu'ils sont endophiles. Les moustiques qui piquent à l'extérieur se reposent en général sur la végétation, dans des trous, dans les arbres, sur le sol ou dans d'autres endroits frais et sombres; on les qualifie d'exophiles.

Les préférences trophiques c'est-à-dire les hôtes de prédilection, varient selon les espèces. Certains moustiques préfèrent le sang humain et sont qualifiés de moustiques anthropophiles. Par contre d'autres ont un tropisme vers les animaux, ce sont des moustiques zoophiles. Ceux qui préfèrent le sang humain sont les plus dangereux, car ils sont capables de transmettre l'infection dans les populations humaines (OMS, 2014).

Leurs gîtes sont nombreux et variés: On peut trouver les adultes sur la végétation, sur des surfaces solides dans des endroits protégés, sur les rives des cours d'eau et des fossés, des trous de rochers, des caniveaux, des fissures, des grottes, des terriers, des troncs d'arbres ou des termitières (OMS, 2013).