

TABLE DES MATIERES

Introduction générale. _____	10
1. FIEVRE DE LA VALLEE DU RIFT (FVR) : GENERALITES ET IMPORTANCE DE LA COMPOSANTE VECTORIELLE. _____	11
1.1. Présentation de la FVR. _____	12
1.1.1. Définition. _____	12
1.1.2. Manifestations. _____	13
1.1.3. Historique et répartition géographique. _____	13
1.1.4. FVR : une arbovirose préoccupante. _____	14
1.2. Importance des vecteurs dans l'épidémiologie de la FVR. _____	15
1.2.1. Sources de virus. _____	15
1.2.2. Transmission. _____	15
1.2.3. Les vecteurs de la FVR. _____	16
1.2.3.1. Les espèces de moustiques vectrices en Afrique de l'Est. _____	16
1.2.3.2. Les espèces impliquées en Afrique de l'Ouest. _____	16
1.2.3.2.1. Genre <i>Aedes</i> . _____	16
1.2.3.2.2. Genre <i>Culex</i> . _____	18
1.2.3.2.3. Rôle épidémiologique de ces vecteurs. _____	19
2. <i>AEDES VEXANS</i> : SYNTHESSES DES CONNAISSANCES ACTUELLES SUR L'ADULTE. _____	21
2.1. Classification. _____	22
2.2. Morphologie d' <i>Aedes vexans</i> . _____	22
2.2.1. La tête. _____	23
2.2.1.1. Les yeux. _____	24
2.2.1.2. Les antennes. _____	24
2.2.1.3. Les pièces buccales. _____	24
2.2.1.4. Les palpes maxillaires. _____	25
2.2.2. Le thorax. _____	25
2.2.2.1. Le prothorax. _____	26
2.2.2.2. Le mésothorax. _____	26
2.2.2.3. Le métathorax. _____	26
2.2.3. Les pattes. _____	27
2.2.4. Les ailes. _____	28
2.2.5. L'abdomen. _____	29
2.2.5.1. Les genitalia mâles. _____	30
2.2.5.2. Les genitalia femelles. _____	31
2.2.5.2.1. Morphologie des genitalia femelles. _____	31
2.2.5.2.2. Morphologie de l'appareil génital femelle interne. _____	31

2.3.	Biologie et cycles de développement d' <i>Aedes vexans</i> .	34
2.3.1.	Les mâles.	35
2.3.2.	Les femelles.	35
2.3.2.1.	La nutrition.	35
2.3.2.2.	Les déplacements.	35
2.3.2.3.	Les préférences trophiques.	36
2.3.2.4.	Stimuli d'attraction.	37
2.3.2.5.	Longévité.	37
2.3.2.6.	Rythme d'agressivité – cycle nyctéméral.	38
2.3.2.7.	Reproduction et ponte.	38
2.3.3.	Les œufs.	39
2.4.	<i>Aedes vexans</i> : un complexe d'espèce ?	40
3.	TRAVAUX PERSONNELS : ETUDE DE LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS ADULTES D' <i>AEDES VEXANS</i> ET CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES.	41
3.1.	Objectif.	42
3.2.	Site et période d'étude.	42
3.3.	Protocole.	43
3.3.1.	Comparabilité des données.	43
3.3.2.	Zones et lieux de capture.	44
3.3.3.	Les données météorologiques.	45
3.3.4.	Capture des moustiques.	45
3.3.5.	Identification des moustiques capturés.	45
3.3.6.	Dissection.	46
3.4.	Résultats météorologiques et description climatique du site et de la période d'étude.	48
3.4.1.	La pluviométrie.	48
3.4.2.	Les températures et le taux d'humidité relative.	49
3.4.3.	La vitesse du vent.	50
3.4.4.	Commentaires.	51
3.5.	Résultats entomologiques.	51
3.5.1.	Biodiversité.	51
3.5.1.1.	Biodiversité au niveau du site d'étude.	51
3.5.1.2.	Biodiversité par point de capture.	53
3.5.2.	Etude de la dynamique de la population d' <i>Aedes vexans</i> .	55
3.5.2.1.	Description des données.	56
3.5.2.2.	Expérience complémentaire.	56
3.5.2.3.	Discussion.	57
3.5.2.4.	Conclusions et perspectives.	58
	Conclusion générale.	60

Annexe 1: clé d'identification des genres chez les culicidés. _____	61
Annexe 2: clé d'identification des espèces du genres <i>Aedes</i> présentes dans le Ferlo, au Sénégal _____	64
Annexe 3: récapitulatif des sigles utilisés et leur signification _____	60

BIBLIOGRAPHIE _____	67
---------------------	----

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : situation du site d'étude. _____	43
--	----

Figure 1 : morphologie générale d'un moustique adulte _____	23
Figure 2 : coupe transversale de la trompe _____	25
Figure 3 : morphologie schématique et emplacement des soies du thorax – vue latérale. ____	27
Figure 4 : morphologie de la patte 3 d' <i>Aedes vexans</i> _____	28
Figure 5 : morphologie schématique de l'aile chez les moustiques _____	29
Figure 6 : morphologie schématique des genitalia mâles, face dorsale. _____	30
Figure 7 : détails d'un gonocoxite. _____	31
Figure 8 : morphologie de l'appareil génital interne femelle. _____	32
Figure 9 : morphologie schématique d'une ovariole de femelle moustique nullipare. ____	33
Figure 10 : cycle biologique d' <i>Aedes vexans</i> . _____	34
Figure 11: morphologie schématique d'une ovariole de moustique femelle pare _____	47
Figure 12: pluviométrie de la zone de Barkédji entre le 16 juin 2002 et le 21 juillet 2002. __	48
Figure 13: variation des températures et du taux d'humidité relative sur la zone de Barkédji du 6 juillet au 21 juillet 2002. _____	49
Figure 14: détail des variations journalières . Exemple du 9 juillet 2002. _____	49
Figure 15: vitesse du vent du 6 juillet au 21 juillet 2002. _____	50
Figure 16: abondance relative des espèces culicidiennes capturées sur hommes à Ngao mare du 9 juillet au 21 juillet 2002. _____	53
Figure 17: abondance relative des espèces culicidiennes capturées sur hommes à Ngao campement du 9 juillet au 21 juillet 2002. _____	54
Figure 18: abondance relative des espèces culicidiennes capturées sur hommes à Furdu mare du 9 juillet au 21 juillet 2002. _____	54
Figure 19: abondance relative des espèces culicidiennes capturées à Furdu campement du 9 juillet au 21 juillet 2002. _____	54
Figure 20: variation du nombre de femelles capturées sur hommes sur le site de Barkédji du 9 juillet au 21 juillet 2002, en fonction de l'âge physiologique et de la date (exprimée en jour après la pluie du 7 juillet). _____	55

Tableau 1 : présentation des espèces animales chez lesquelles le virus de la FVR a été isolé	11
Tableau 2 : liste des espèces culicidiennes capturées sur hommes sur le site de Barkédji du 9 juillet au 21 juillet 2002 _____	46

Introduction générale.

Les maladies émergentes zoonotiques alimentent l'actualité sanitaire de ces dernières années. Menaces palpables pour les pays du Nord (fièvre West Nile, dengue), elles constituent une entrave au développement des pays du Sud, où les populations sont encore souvent rurales et ont des contacts étroits avec les animaux domestiques, fréquemment au centre des systèmes de production.

Ainsi, la Fièvre de la Vallée du Rift (FVR) considérée jusqu'aux années 60 comme une maladie relativement secondaire, a suscité l'intérêt des vétérinaires et des médecins en raison de flambées épizoo-épidémiques de plus en plus nombreuses ces dernières années. Aucune mesure de lutte n'étant actuellement applicable à grande échelle, les recherches s'orientent vers l'élaboration de modèles prédictifs de l'occurrence et de la diffusion des foyers de FVR afin d'orienter les actions de surveillance et de focaliser les mesures de lutte dans des endroits et à des périodes à risque.

C'est sur ce thème que l'ISRA, l'IRD et le CIRAD ont initié un projet de recherche sur la FVR au Sénégal intitulé " Analyse et modélisation des interactions entre l'environnement, la dynamique des populations de vecteurs d'arbovirus et le contact entre hôtes et vecteurs".

L'émergence d'une arbovirose, en particulier de la FVR en Afrique de l'Ouest, correspond à la présence simultanée, dans le temps et l'espace de vecteurs ayant une capacité vectorielle suffisante, d'hôtes sensibles et du virus sous forme d'une souche pathogène.

Un des sujets d'étude de ce projet consiste ainsi à étudier l'aspect vectoriel de la FVR, en s'intéressant à l'influence des paramètres climatiques et environnementaux sur la dynamique des populations de vecteurs de FVR au Sénégal.

Ce travail de thèse s'inscrit dans ce cadre, en participant aux premières études entomologiques réalisées en début de saison des pluies de l'année 2002 au Sénégal, dans la vallée du Ferlo.

Nous verrons dans un premier temps l'importance de la FVR. Puis nous nous intéresserons plus particulièrement à *Aedes vexans*, vecteur de FVR dans la région du Ferlo. Nous commencerons par une présentation des connaissances bibliographiques actuelles sur la morphologie et la biologie de ce vecteur, avant d'envisager les premières études entomologiques de ce projet.

**1. FIEVRE DE LA VALLEE DU RIFT (FVR) : GENERALITES ET
IMPORTANCE DE LA COMPOSANTE VECTORIELLE.**

Présentation de la FVR.

Importance des vecteurs dans l'épidémiologie de la FVR.

Les arbovirus sont des virus transmis à l'homme, aux animaux ou aux plantes par des arthropodes qui peuvent être des moustiques, des phlébotomes, des cérapotogonidés, des tiques etc... De nombreux arbovirus, plus ou moins pathogènes, ont ainsi été recensés et identifiés en Afrique de l'Ouest.

Le schéma épidémiologique est le même pour la plupart de ces virus : ils circulent dans un cycle selvatique faisant intervenir des vecteurs arthropodes et un réservoir animal sauvage. L'homme ou les espèces animales domestiques sont contaminées lors d'introgressions dans les zones où un cycle selvatique existe. Ensuite, un cycle domestique, incluant des vecteurs et ces derniers, peut éventuellement démarrer.

Pour certains arbovirus, l'importance en santé publique et vétérinaire est réelle puisqu'ils sont responsables chez l'homme ou les animaux de syndromes allant de simples fièvres à des symptômes hémorragiques, parfois mortels. Ces virus ne sont pas jugulés : leur circulation à bas bruit est souvent décelée, et des foyers apparaissent régulièrement. Ainsi, la Fièvre Jaune reste endémique avec des épidémies récentes au Sénégal en 1995, 1996, et 2000 malgré un vaccin efficace. On a observé une importante circulation du virus Wesselsbron en 1999, tout comme du virus Chikungunya qui est très actif au Sénégal (Institut Pasteur de Dakar, 1998).

D'autres arbovirus (Bagaza, Sanar...), pour lesquels on ne dispose d'aucune information sur les symptômes cliniques découlant de leur infection, sont souvent isolés d'arthropodes.

Les arboviroses constituent donc une préoccupation importante en Afrique de l'Ouest, de part le nombre et leur importance pathologique. Parmi ces arboviroses, la Fièvre de la Vallée du Rift, absente jusqu'aux années quatre-vingt dans cette région, a provoqué deux épidémies importantes en Mauritanie en 1987 et en 1998.

1.1. Présentation de la FVR.

1.1.1. Définition.

C'est une arbovirose, commune à l'homme et à de nombreuses espèces animales domestiques et sauvages. Elle est due à un virus de la famille des *Bunyaviridae*, genre *Phlebovirus*. Elle est inscrite sur la liste A de l'OIE, et donc à déclaration obligatoire.

1.1.2. Manifestations.

Chez l'homme, la clinique se limite en général à un syndrome grippal de courte durée. Dans un petit nombre de cas, cette phase peut s'aggraver par différentes formes : pathologies oculaires, méningo-encéphalites (pour ces deux formes, on observe une létalité faible) et fièvres hémorragiques. Cette dernière forme est plus grave, puisqu'elle s'accompagne d'atteintes hépatiques graves et d'une létalité atteignant 50%.

Parmi les espèces animales domestiques, les petits ruminants, puis les bovins sont les plus sensibles, et constituent la cible essentielle du virus.

Chez les ovins et les caprins, cette maladie se manifeste surtout par une mortalité importante, et par des avortements très nombreux deux semaines après l'infection du troupeau. On observe aussi de la mortalité qui peut atteindre 20-30 % chez les adultes.

Pour les bovins, les manifestations principales de la maladie sont une mortalité des veaux et des avortements pouvant toucher 80 à 90 % du troupeau.

1.1.3. Historique et répartition géographique.

L'histoire de la FVR se déroule en 4 étapes géographiques et chronologiques : sa découverte en Afrique du Sud et de l'Est, sa diffusion en Afrique du Nord puis en Afrique de l'Ouest et enfin son apparition hors du continent africain.

La Fièvre de la vallée du Rift fut décrite pour la première fois en 1931 par Montgomery au Kenya, dans la région de la vallée du Rift, près du lac de Naivasha. Jusqu'en 1976, elle fut responsable de nombreuses épizooties limitées au bétail et à l'Afrique subsaharienne. Ces épizooties, de grande importance économique (100 000 moutons morts en Afrique du sud en 1951, 60 000 avortements au Zimbabwe en 1978) atteignaient principalement l'Afrique de l'Est et du Sud. La maladie était alors considérée comme peu dangereuse pour l'homme.

En 1976, le virus passa des régions d'altitude aux grandes vallées fluviales, en commençant par le Soudan, puis en 1977, l'Égypte fut la première grande victime de la FVR au plan humain. L'épidémie suivit l'épizootie de quelques mois. Elle toucha au moins un million de personnes et provoqua 2000 cas cliniques dont 600 mortels (Lefèvre, 1997). Depuis, la FVR persiste en Égypte sous forme enzootique, avec résurgence régulière de cas dans le bétail.

En 1979, le virus de la FVR fut mis en évidence pour la première fois à Madagascar. Il n'y eu aucun impact sur la santé humaine ou animale avant 1990 et 1991, où il provoqua plusieurs épizooties marquées par des avortements massifs chez les bovins.

L'épidémie de Rosso, en Mauritanie, survint en 1987. On recensa officiellement 1264 cas dont 224 mortels. Ce pays fut touchée par une seconde épidémie en 1998, dans le sud-ouest, où elle provoqua de nombreux avortements parmi les troupeaux, et le décès de six personnes.

Alors que la maladie ne sévissait, jusqu'alors, qu'en Afrique, des épidémies frappèrent la péninsule arabique, au Yémen et en Arabie Saoudite, en août et novembre 2000. Celles-ci entraînèrent officiellement la mort de 87 personnes, pour 516 cas sévères.

1.1.4. FVR : une arbovirose préoccupante.

Malgré des épizooties rares et dispersées temporellement et géographiquement, l'importance économique de cette maladie est considérable en raison des pertes qu'elle entraîne dans les troupeaux. Celles-ci sont d'autant plus préoccupantes qu'elles touchent des populations pour lesquelles l'élevage est la seule ressource de grande importance.

Longtemps considérée comme une maladie uniquement animale, la multiplication des cas humains à partir de 1977 et la classification de la FVR comme une zoonose dangereuse soulignent l'importance sanitaire de cette arbovirose.

En période inter-épidémique, les enquêtes sérologiques montrent la circulation à bas bruit du virus dans différentes régions, ce qui reflète son expansion insidieuse, mais surtout l'émergence potentielle de foyers épidémiques à partir de ces zones endémiques.

Enfin, son extension en dehors des frontières africaines, alors qu'elle n'était, jusqu'en 2000, présente que sur ce continent, renforce les inquiétudes. Ces éléments conduisent à considérer la FVR comme une maladie émergente préoccupante, d'autant plus que le développement des échanges commerciaux et alimentaires, le réchauffement de la planète, les grands aménagements hydro-agricoles, la surpopulation humaine et animale, ainsi que les très nombreuses espèces vectrices potentielles, sont autant de facteurs pouvant faciliter son expansion.

De nombreuses recherches ont été entreprises pour tenter de mieux appréhender son épidémiologie et ont permis d'élaborer un modèle simulant son développement en Afrique de l'Est.

Par contre, il y a peu de données concernant l'épidémiologie de la FVR en Afrique de l'Ouest, et de nombreuses interrogations restent encore en suspens.

1.2. Importance des vecteurs dans l'épidémiologie de la FVR.

1.2.1. Sources de virus.

Les sources de virus pour les vecteurs hématophages sont tous les animaux ou humains en phase virémique.

Le virus suit un cycle extrinsèque chez le vecteur qui peut ensuite le transmettre à des hôtes.

1.2.2. Transmission.

La transmission de la maladie dans les populations animales est essentiellement vectorielle : le rôle vecteur potentiel des moustiques a été suggéré par l'isolement du virus chez ces derniers, et prouvé indirectement par la coïncidence des épizooties de FVR avec la présence de populations anormalement élevées de moustiques.

L'homme est essentiellement contaminé à la suite de contacts directs avec des sources de virus (manipulations d'avortons, abattage d'animaux en phase virémique). La transmission vectorielle est supposée possible pour l'homme.

1.2.3. Les vecteurs de la FVR.

1.2.3.1. Les espèces de moustiques vectrices en Afrique de l'Est.

En Afrique de l'Est et du Sud, les vecteurs de FVR sont des *Aedes* : *Ae. cumminsii*, *Ae. circumluteolus* et *Ae. mcintoshi*. Ils utilisent des mares temporaires comme gîtes larvaires, remplies par débordement des rivières à l'occasion de fortes pluies. Ces vecteurs pullulent alors et peuvent s'en suivre des cas d'émergence et/ou d'épidémie (Fontenille *et al.*, 1998).

1.2.3.2. Les espèces impliquées en Afrique de l'Ouest.

1.2.3.2.1. Genre *Aedes*.

En Afrique de l'Ouest, de nombreux isollements du virus RVF ont été réalisés à partir de différentes espèces d'insectes hématophages (cf. tableau 1), néanmoins, toutes ne semblent pas jouer le même rôle épidémiologique.

Hôte	Nombre d'isolements	Lieu	Année(s)
<i>Aedes dalzieli</i>	3	Kédougou, Sénégal	1974
<i>Ae. dalzieli</i>	1	Kédougou, Sénégal	1983
<i>Ae. ochraceus</i>	3	Barkédji, Sénégal	1993
<i>Ae. vexans</i>	10	Barkédji, Sénégal	1993
<i>Ae. cumminsii</i>	1	Burkina-Faso	1983
<i>Ae. fuscifer</i>	1	Burkina-Faso	1983
<i>Culex antennatus</i>	1	Nigeria	1967-1970
<i>Culicoides sp.</i>	2	Nigeria	1967
<i>Ae. palpalis</i>	1	République Centrafricaine	1969
<i>Amblyomma variegatum</i>	1	République Centrafricaine	1983
Homme	2	Sénégal	1975
	1	Sénégal	1980
	201	Mauritanie	1987
	12	République Centrafricaine	1971-90
Chauve souris	2	Guinée	1981-1983
Ovin	1	Barkedji, Sénégal	1993
Bovin	1	Kolda, Sénégal	1993

Tableau 1 : Présentation des espèces animales chez lesquelles le virus de la FVR a été isolé (Fontenille *et al.*, 1998).

Au Sénégal, à la suite de l'épidémie de FVR dans le sud de la Mauritanie en 1987, des études entomologiques ont été menées afin de rechercher le virus chez des vecteurs potentiels dans différentes zones, en particulier à Barkédji, (zone climatique sahélienne) et à Kédougou (zone climatique guinéenne).

A Barkédji, 228 000 moustiques répartis en 52 espèces furent capturés de 1993 à 1998. Le genre *Aedes* représentait 29% des captures : *Aedes vexans* était le plus abondant, suivi par *Ae. ochraceus*, alors qu'*Aedes mcintoshi* et *Aedes dalzieli* étaient très rares. A Kédougou, le genre *Aedes* représentait 50% des captures. *Ae. dalzieli* était prédominant alors qu'*Ae. vexans*, *Ae. mcintoshi* et *Ae. ochraceus* étaient beaucoup moins abondants.

A Barkédji, dix isolements du virus RVF concernaient *Aedes vexans* et trois *Aedes ochraceus*. A Kédougou, aucun virus ne fut isolé pendant la période d'étude, mais il le fut à plusieurs reprises à partir d'*Aedes dalzieli* en 1974 et 1982 (Fontenille *et al.*, 1998).

Même si la compétence vectorielle d'*Aedes vexans*, *Ae. ochraceus*, et *Ae. dalzieli* n'a pas été confirmée expérimentalement, l'abondance de ces vecteurs, leur tropisme pour l'homme et les grands mammifères (bovins, équins, ovins et caprins), ainsi que les isolements viraux réalisés tendent à montrer qu'ils constituent des vecteurs de la FVR au Sénégal : *Aedes dalzieli* pour le Sénégal oriental (zone de Kédougou), et *Aedes vexans* (*Ae. ochraceus* dans une moindre mesure) pour le centre du Sénégal (Ferlo).

1.2.3.2.2. Genre *Culex*.

Suite à la ré-émergence de la FVR en Mauritanie en 1998, de nouvelles enquêtes entomologiques furent réalisées dans la zone de l'Hodh El Gharbi, dans les localités où des cas confirmés avaient été signalés, ainsi que le long du fleuve Sénégal pour mesurer le risque d'extension de la maladie au Sénégal (Thillé Boubacar, Kanel, Dembankané et Diawara).

31 944 moustiques, appartenant à 20 espèces et 6 genres, ont été capturés. Les genres *Culex* et *Mansonia* furent les plus représentés. Les *Culex* constituaient 50% des prélèvements à eux seuls, et les *Mansonia* 45%. *Culex poicilipes* et *Mansonia uniformis* ont été les espèces les plus abondantes avec respectivement 47 % et 45% des moustiques capturés. En raison de la période de l'année, les *Aedes* étaient représentés seulement par deux spécimens d'*Aedes vexans* et *Ae. sudanensis*. Au total, 36 souches du virus RVF furent isolées, toutes à partir de *Culex poicilipes* sur le site de Diawara (Diallo, 2000).

L'abondance de *Culex poicilipes*, les nombreux isolats de virus réalisés sur cette espèce et sa compétence vectorielle démontrée expérimentalement (Jupp *et al.*, 1988) sont autant de facteurs suggérant l'implication de l'espèce *Culex poicilipes* dans la transmission du virus RVF.

Ainsi le rôle principal de vecteur de FVR au Sénégal est attribué à *Aedes dialzeli* pour le Sénégal oriental, *Aedes vexans* (et *Aedes ochraceus* dans une moindre mesure) et *Culex poicilipes* pour le centre du Sénégal (le Ferlo). *Aedes vexans*, *Aedes ochraceus* et *Culex poicilipes* sont incriminés dans un cycle domestique, faisant essentiellement intervenir des ruminants domestiques (ovins, caprins et bovins), tandis que *Aedes dialzeli* serait plutôt impliqué dans un cycle selvatique pour lequel on ne dispose que de peu de données actuellement. Ces trois espèces diffèrent des trois principales espèces connues en Afrique de l'Est. Ces dernières existent aussi en Afrique de l'Ouest mais leur rôle dans la transmission n'a pas été démontré (Turell *et al.*, 1987; Logan *et al.*, 1991).

1.2.3.2.3. Rôle épidémiologique de ces vecteurs.

On attribue aux genres *Aedes* et *Culex* des rôles différents dans l'épidémiologie de la FVR. Certaines espèces d'*Aedes* sont capables de transmission transovarienne du virus (contrairement au *Culex*) au travers d'œufs survivant en état de dessiccation pendant toute la saison sèche, voire plusieurs saisons. Le maintien du virus dans une même zone pendant une longue période est donc théoriquement possible, même en l'absence de cas cliniques de FVR chez les animaux. Néanmoins, cette transmission verticale étant peu efficace, il est indispensable que les hôtes assurent une amplification virale au moment de l'émergence du virus dans les nouvelles générations de moustiques pour permettre la contamination d'un grand nombre de femelles *Aedes vexans* qui, pondant des œufs infectés, permettront ainsi la pérennisation du virus dans la nature.

Culex poicilipes, dont les œufs ne survivent pas à la sécheresse, colonise les mares temporaires les unes après les autres, progressivement au cours de la saison des pluies, à partir de points d'eau permanents. Il est plutôt incriminé dans la phase d'amplification épidémique au cours de la seconde partie de la saison des pluies, car il peut être extrêmement abondant et possède de bonnes capacités vectorielles.

Ces considérations montrent l'importance de la dynamique des populations de vecteurs dans la survenue, le maintien et l'expansion d'un foyer de FVR. Le risque d'apparition d'un foyer et de transmission de FVR sont liés à l'abondance des moustiques

adultes. Or nous disposons de peu d'informations sur la biologie de ces espèces au Sénégal, ainsi que sur les rapports entre les facteurs environnementaux et la densité de ces espèces.

C'est l'objet de ce travail qui s'intéresse aux populations d'*Aedes vexans* adultes dans le centre du Sénégal.

Après la présentation morphologique d'*Aedes vexans*, et des particularités qui en permettent la diagnose, les données biologiques de populations provenant de différentes régions seront exposés et permettront d'effectuer des comparaisons avec les observations réalisées au Sénégal.

**2. *Aedes vexans* : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES ACTUELLES
SUR L'ADULTE.**

Classification.

Morphologie.

Biologie et cycle de développement de l'adulte.

Aedes vexans : un complexe d'espèce?

2.1. Classification.

Parmi les insectes Diptères Nématocères, les Culicidae constituent l'ensemble des moustiques. Les *Aedes* appartiennent à la sous-famille des Culicinae. Le genre *Aedes* est divisé en différents sous-genres, notamment *Aedimorphus*, auquel appartient *Aedes vexans*, décrit pour la première fois par Meigen en 1830.

Cet insecte connaît une répartition très large sur la planète. Il est présent en Amérique du Nord, en Europe, sur le pourtour méditerranéen, en Asie et dans la zone Pacifique.

Il est considéré comme un insecte très nuisible durant le printemps et l'été. A ces périodes, des populations très importantes émergent et assaillent les hommes.

2.2. Morphologie d' *Aedes vexans*.

Le corps est composé de trois parties : tête, thorax, abdomen. *Aedes vexans* est de petite taille : une femelle fraîche à jeun pèse 3 mg, pour une taille de 3- 4,5 mm (Briegel *et al.*, 2001).

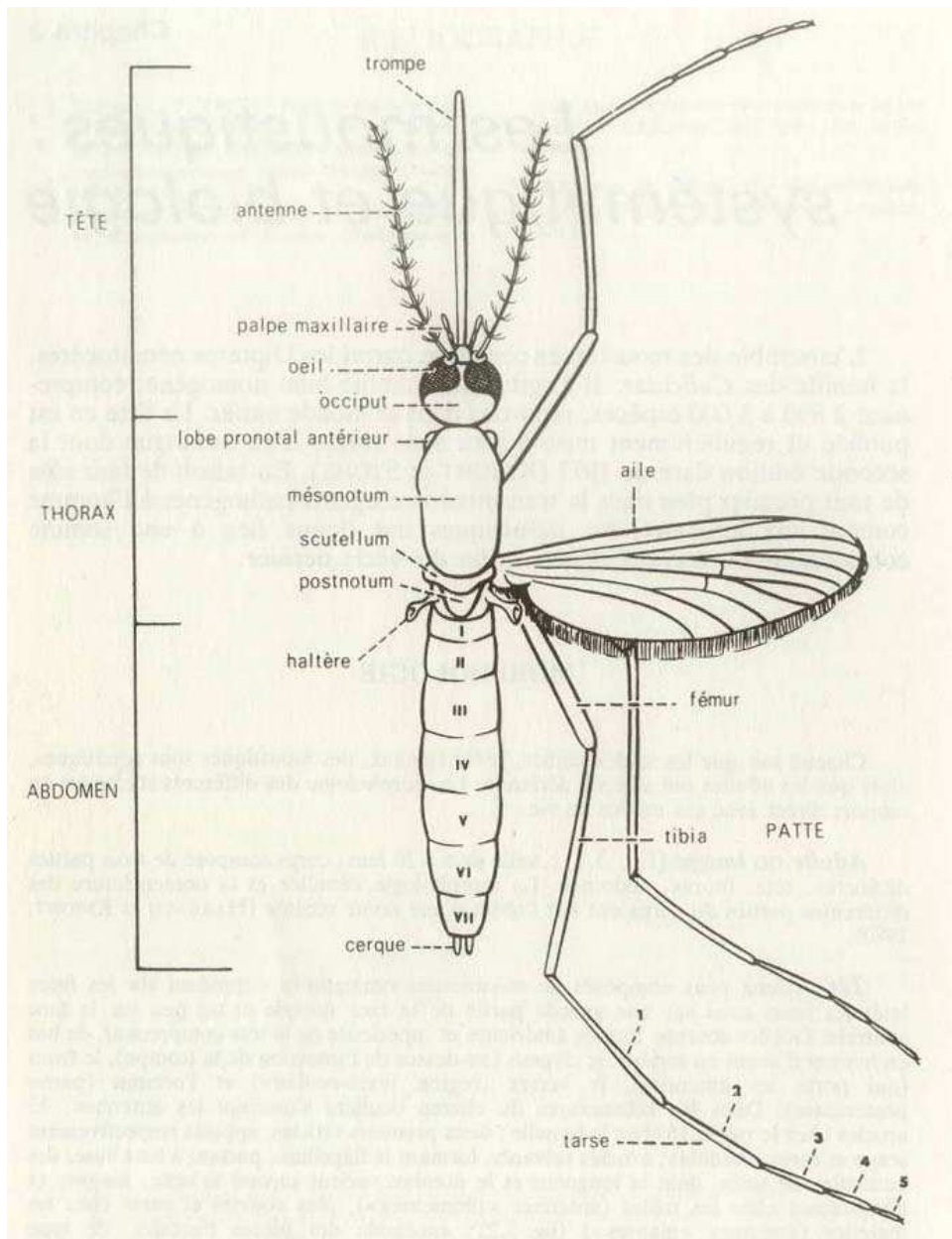


Figure 1 : morphologie générale d'un moustique adulte (Rodhain *et al.*, 1985).

2.2.1. La tête.

La tête est une capsule formée par plusieurs pièces unies par des lignes de suture. On y distingue des organes récepteurs (les yeux, les antennes) et les pièces buccales (la trompe).

2.2.1.1.Les yeux.

Aedes vexans possède deux yeux, en position latérale, composés de nombreuses ommatidies. Il n'y pas d'ocelles.

2.2.1.2.Les antennes.

Elles s'insèrent dans les échancrures du champ oculaire, et sont composées de 15 articles chez le mâle et de 16 chez la femelle. Les deux premiers articles (modifiés) sont appelés le scape et le torus. Ils sont suivis de treize autres formant le flagellum, et portant à leur base des verticilles de soie. Celles-ci sont longues et nombreuses chez le mâle (qui portent donc des antennes plumeuses), tandis qu'elles sont courtes et rares chez la femelle (antennes glabres) (Brunhes, 1970).

2.2.1.3.Les pièces buccales.

Elles forment la trompe ou proboscis. Celui-ci comporte le labium, en forme de gouttière qui entoure et protège les pièces vulnérantes au nombre de six (= les stylets). On y distingue deux mandibules, deux maxilles, l'hypopharynx dans lequel passe le canal salivaire, et le labre qui forme un canal dans lequel remonte le sang. Chez le mâle, le proboscis n'est pas vulnérant car les mandibules et les maxilles sont très peu développées (Rodhain, 1985). Chez *Aedes vexans*, le proboscis est court, droit et clair sur sa partie médiane (Brunhes *et al.*, 2000).

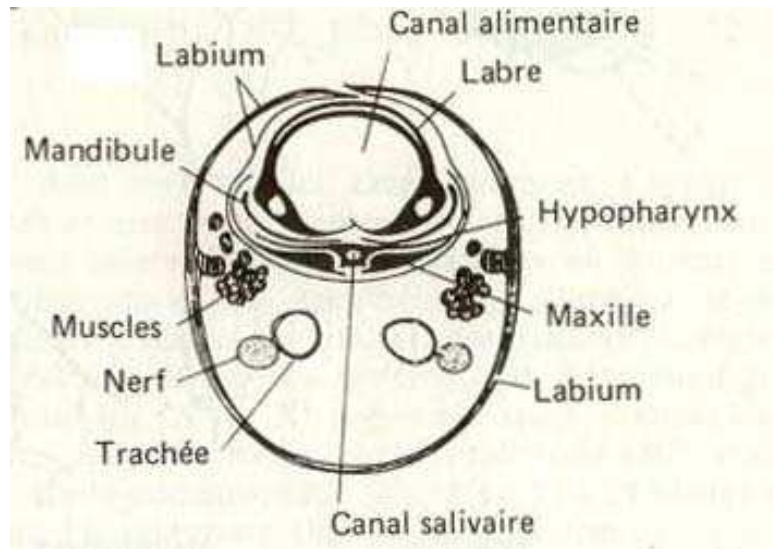


Figure 2 : coupe transversale de la trompe (Clements, 1963).

2.2.1.4. Les palpes maxillaires.

Deux palpes maxillaires sont situés de part et d'autre de la trompe. Ils atteignent la taille de la trompe chez le mâle, tandis qu'ils sont nettement plus courts chez les femelles (sauf chez les *Anophèles*) Ils présentent des écailles claires à leur extrémité chez les femelles d'*Aedes vexans*.

2.2.2. Le thorax.

Il est formé de trois métamères fusionnés, de développement très inégal. Ceux-ci sont composés de plaques sclérifiées (sternites pour les plaques ventrales, pleurites pour les plaques latérales et tergites pour les plaques dorsales), reliées entre elles par des membranes souples (Brunhes, 1970). Le thorax porte trois paires de pattes, une paire d'aile et une paire d'haltères, ou "balanciers" remplaçant la deuxième paire d'ailes.

Il se termine par le scutellum. Sur les faces latérales, se placent des écailles et des soies utilisées pour la diagnose des espèces.

2.2.2.1.Le prothorax.

Il est très réduit, et ne porte qu'une paire de pattes.

2.2.2.2.Le mésothorax.

C'est le plus développé des trois métamères et porte une paire d'ailes, une paire de pattes, et une paire de stigmates. La quasi totalité de la face dorsale est occupée par le scutum. Chez *Aedes vexans*, celui-ci ne présente pas de dessin particulier, mais on y observe des écailles de couleur jaune seulement, ou jaune et crème, ou jaune et blanche (Brunhes *et al.*, 2000). Ce dernier est prolongé dorsalement par le scutellum nettement trilobé. Cette espèce présente aussi des paratergites écaillées et des soies postspiraculaires (Brunhes *et al.*, 2000).

2.2.2.3.Le métathorax.

Très réduit, il porte une paire de pattes, une paire d'haltères (homologues d'une paire d'ailes vestigiales) et une paire de stigmates.

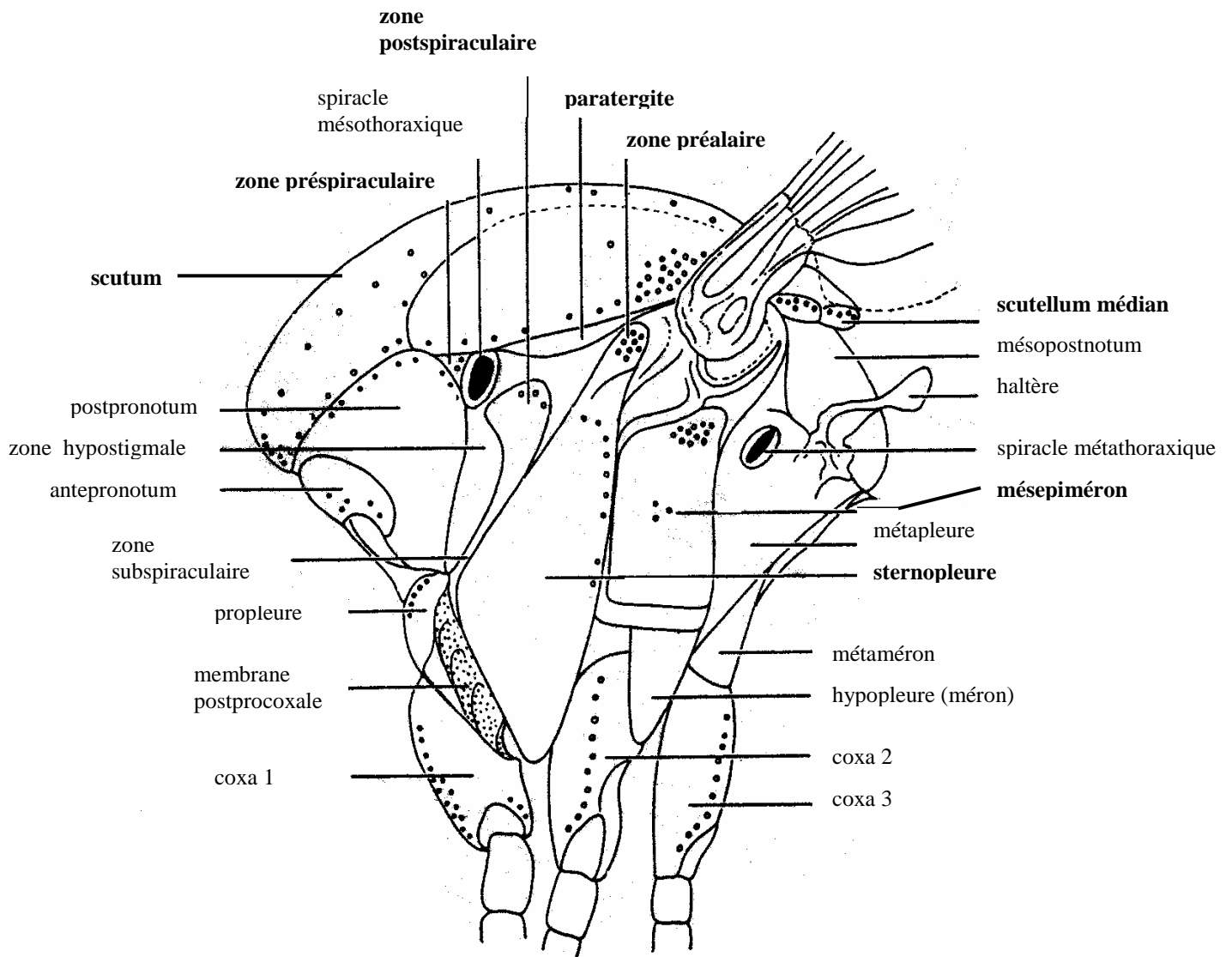


Figure 3 : morphologie schématique et emplacement des soies du thorax – vue latérale (Huang *et al.*,1981).
(en gras, les zones importantes pour la taxonomie).

2.2.3. Les pattes.

Elles s'insèrent à la face inférieure du thorax, et sont composées de 9 articles : coxa, trochanter, fémur, tibia et 5 tarsomères qui forment le tarse. Le dernier article du tarse porte une paire de griffes et un empodium médian. Chez *Aedes vexans*, les différents articles de la

patte trois sont remarquables : le tibia et les cinq tarsomères portent un anneau blanc basal (Brunhes *et al.* 2000). Le tarsomère 3 des trois paires de pattes est également annelé à la base.

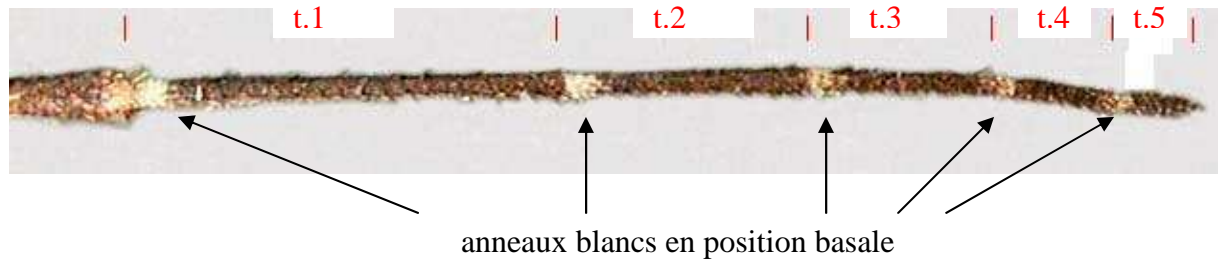


Figure 4 : morphologie de la patte 3 d'*Aedes vexans* (Brunhes *et al.*, 2000).

2.2.4. Les ailes.

Les deux ailes sont formées d'une membrane couverte de microtriches, tendue sur une armature de nervures et recouverte d'écailles. Le bord postérieur et distal porte une frange d'écailles larges, courtes et sombres chez *Aedes vexans* (Brunhes *et al.*, 2000). A l'articulation se trouvent deux lobes membraneux : l'alula (qui présente aussi une frange d'écaille) et la squama (Brunhes, 1970).

La taille de l'aile d'*Aedes vexans*, étudiée sur des spécimens sauvages de Floride, présente une grande variabilité : de 2,7 à 4,2 mm (longueur mesurée de l'encoche à partir de laquelle le bord postérieur de l'aile commence à s'étendre à l'extrémité, les franges apicales étant exclues). Cette mesure sert à déterminer la taille de l'insecte à jeun (« cell mass ») (Van Handel *et al.*, 1989).

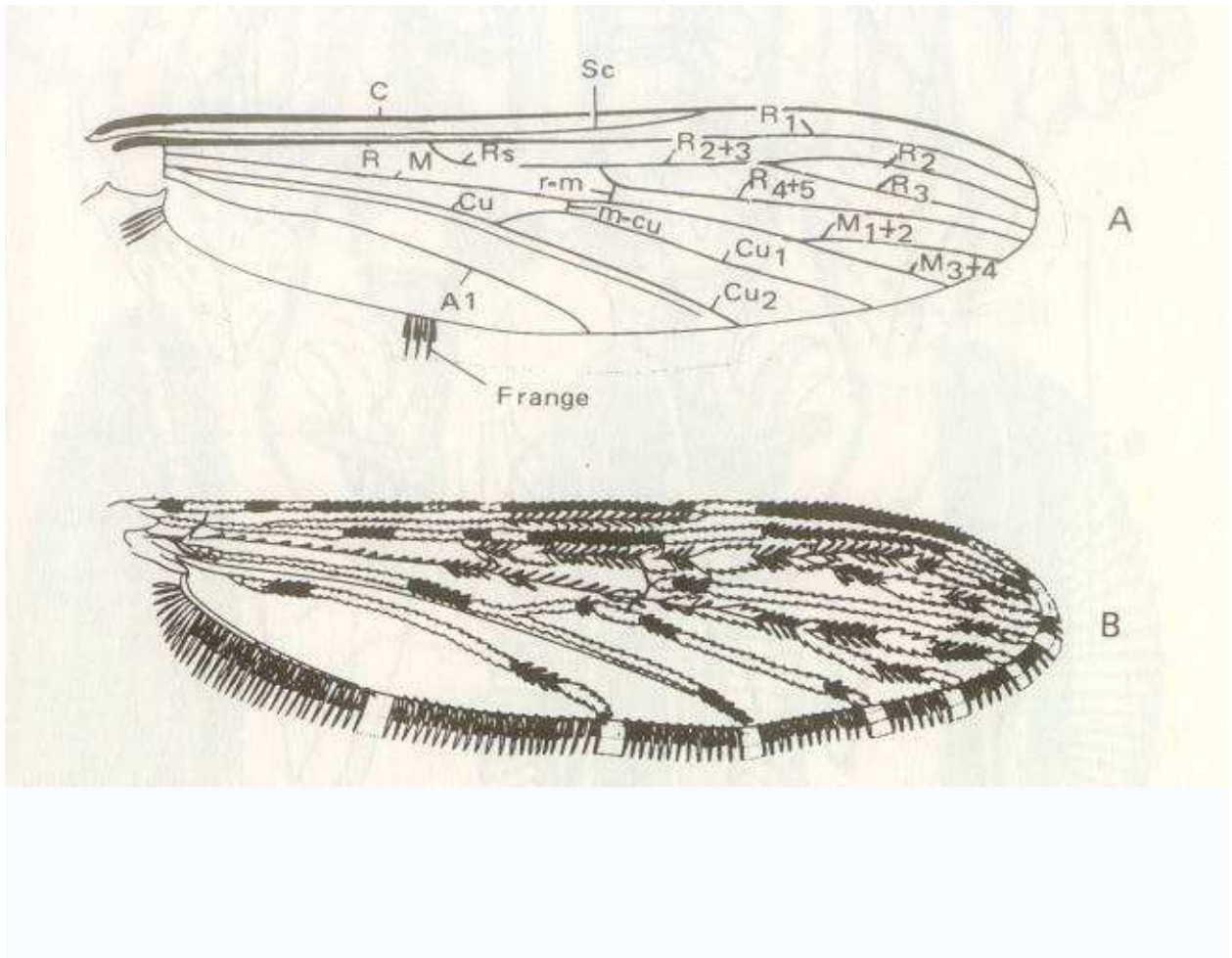


Figure 5 : morphologie schématique de l'aile chez les moustiques (aile d'*Anopheles*):

A : nervation

B : nervation et écailles en place.

(Faran *et al.*, 1981)

2.2.5. L'abdomen.

Il est constitué de 10 segments. Les sept premiers sont distincts et constitués d'une plaque dorsale (tergite) et d'une plaque ventrale (sternite) reliées latéralement par une membrane pleurale souple qui porte les stigmates abdominaux. Les trois derniers segments sont modifiés, peu distincts et forment les appendices génitaux. Chez *Aedes vexans*, les sternites ainsi que les tergites portent des écailles, formant de larges bandes pâles transversales (Brunhes *et al.* 2000).

2.2.5.1. Les genitalia mâles.

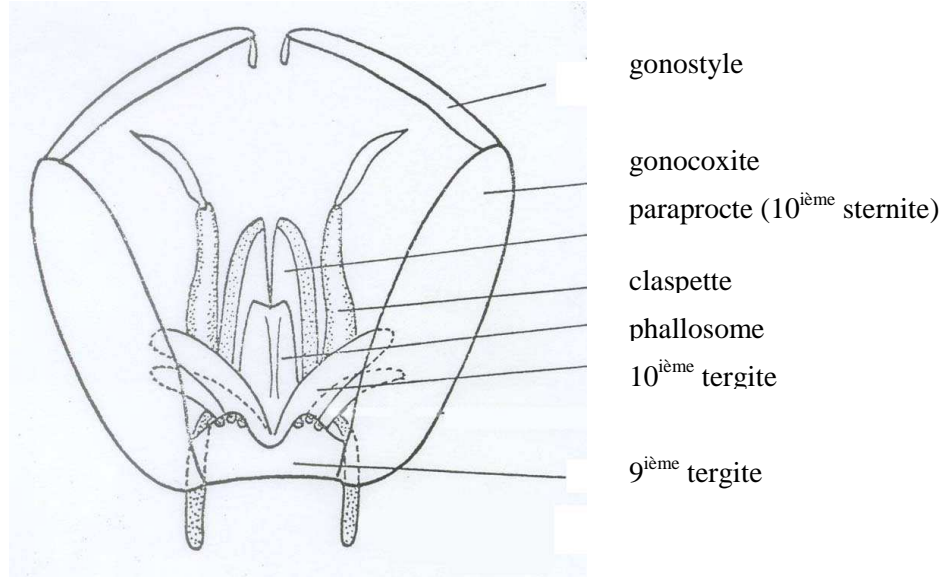


Figure 6 : morphologie schématique des genitalia mâles, face dorsale (Brunhes, 1970).

Les trois derniers segments abdominaux (8, 9 et 10), subissent une rotation de 180° dans les 12-24 heures qui suivent l'émergence. Les sternites apparaissent donc en position dorsale, et les tergites en position ventrale. Le segment 8 est très peu modifié. Le segment 9 (segment génital) l'est beaucoup plus: il porte dorsalement deux gonocoxites, à la base desquels s'insèrent des claspettes dont l'apex est arrondi. Les gonostyles prolongent les gonocoxites, et portent à leur extrémité des épines en position subterminales chez *Aedes vexans* (Brunhes *et al.*, 2000). L'orifice génital est bordé par une pièce dure : le phallosome. Le segment 10 (ou segment anal) comprend notamment le paraprocte qui entoure l'anus.

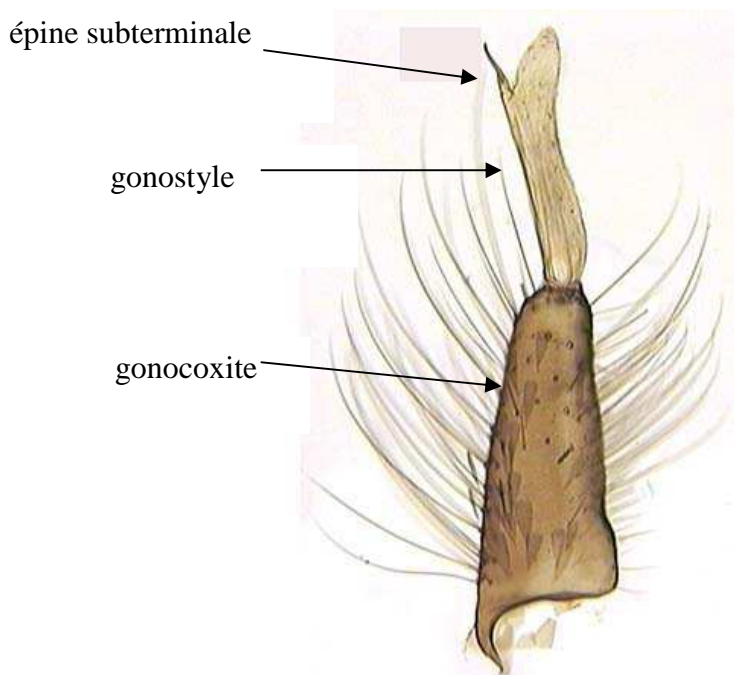


Figure 7 : détails d'un gonocoxite (Brunhes *et al.*, 2000).

2.2.5.2. Les genitalia femelles.

2.2.5.2.1. Morphologie des genitalia femelles.

Le segment 8 est bien développé, tandis que le segment 9 est très réduit. L'orifice du rectum s'ouvre entre la plaque postérieure génitale et une paire de cerques dorsaux portant des soies. L'orifice vaginal, placé ventralement, est limité par deux lèvres qui en obstruent la lumière.

L'étude de l'appareil génital interne femelle fournit de précieuses indications sur le stade physiologique et l'âge de l'insecte.

2.2.5.2.2. Morphologie de l'appareil génital femelle interne.

Il existe deux ovaires composés d'ovarioles. Dans chaque ovaire se trouve un oviducte interne (calice) dans lequel débouche les ovarioles. A la sortie des ovaires, les deux oviductes

externes se réunissent pour former l'oviducte commun. Ce dernier est suivi d'un vagin dans lequel s'ouvrent les deux canaux des trois spermathèques (deux spermathèques ayant des conduits se réunissant pour n'en former qu'un avant l'ouverture dans le vagin) et celui de la glande annexe. La bourse copulatrice, en forme de sac et à la paroi élastique, prend place près de l'ouverture génitale, dans l'atrium (Mondet, 1993).

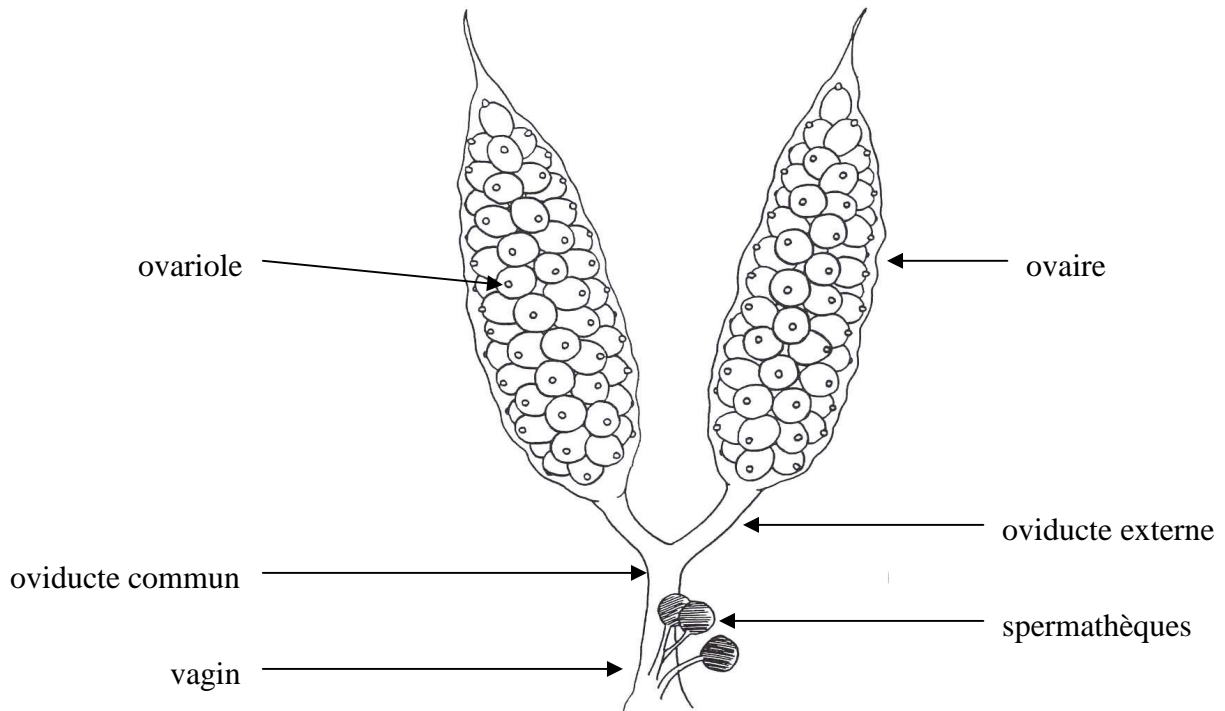


Figure 8 : morphologie de l'appareil génital interne femelle (Eldridge *et al.*, 2000).

L'ovariole est constitué d'un germarium et de deux follicules : le primaire, le plus éloigné du germarium et le secondaire, le plus proche. Le tout est enveloppé d'abord par l'intima, qui forme le tube ovariole puis par l'épithélium ovariole. Le tube ovariole entre les deux follicule se nomme funicule. Entre le follicule primaire et le calice, il s'agit du pédicelle.

Le follicule est composé de sept cellules nourricières (les trophocytes) et d'une cellule germinale (l'oocyte) enveloppées d'un épithélium folliculaire, lui-même entouré par l'intima.

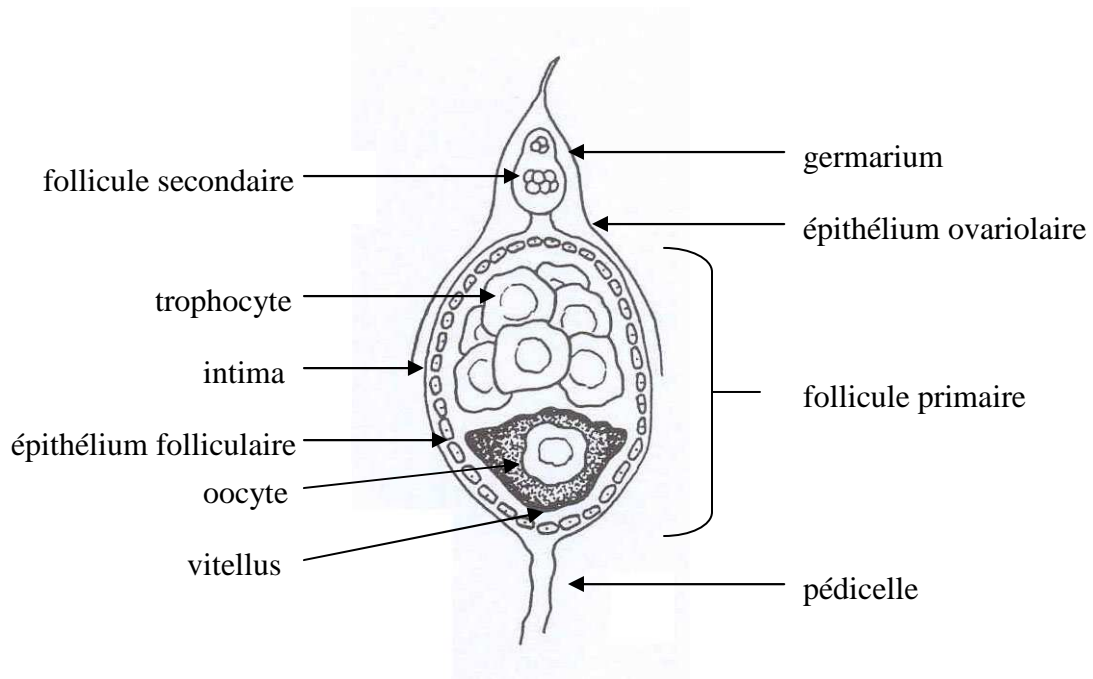


Figure 9 : morphologie schématique d'une ovariole de femelle moustique nullipare (Eldridge *et al.*, 2000).

L'observation des ovarioles (et notamment du pédicelle), corrélée à l'apparence des ovaires permet de déterminer de façon précise l'âge physiologique des femelles d'*Aedes vexans* (Mondet, 1993).

Ainsi, l'étude de la morphologie d'*Aedes vexans* est indispensable pour une diagnose correcte. Il est nécessaire également de connaître sa biologie pour mieux appréhender l'épidémiologie de la FVR. Dans un premier temps, nous procéderons au recensement des caractéristiques biologiques déjà observées sur des colonies d'*Aedes vexans*. Celles-ci nous serviront de base d'investigation, et autoriseront des comparaisons avec les données que nous avons récoltées.

2.3. Biologie et cycles de développement d'*Aedes vexans*.

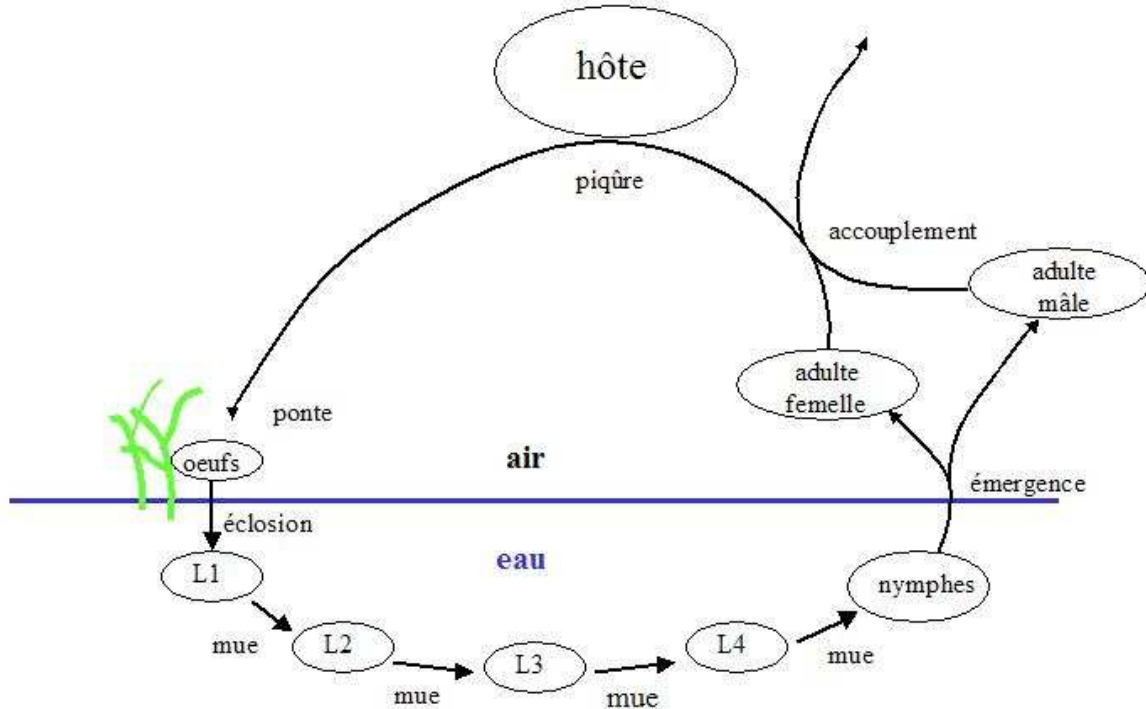


Figure 10 : cycle biologique d'*Aedes vexans*.

Le cycle biologique d'*Aedes vexans* se déroule dans deux milieux différents. Le milieu aquatique abrite les quatre stades larvaires et le stade nymphal. Les adultes (ou imago) évoluent dans le milieu aérien. Les femelles, après s'être accouplées avec les mâles, se gorgent sur un hôte auquel elles prélèvent du sang. Quelques jours après, elles pondent des œufs, qui à leur tour éclosent pour donner le premier stade larvaire.

Il est surtout intéressant d'étudier la biologie des femelles, car, en raison de leur régime hématophage, ce sont elles qui sont impliquées dans la transmission des virus, dont celui de la FVR.

2.3.1. Les mâles.

Ils ne se nourrissent que de sucres d'origine végétale. Ils se déplacent peu à partir de leur gîte d'émergence, et ont une faible longévité. Ils assurent la fécondation des femelles. (Rodhain, 1985). Leur rôle dans l'épidémiologie de la FVR est nul.

2.3.2. Les femelles.

2.3.2.1. La nutrition.

Elles se nourrissent également de sucres d'origine végétale (indispensables à la lipogénèse), mais elles sont aussi hématophages.

Les repas de sang sont indispensables à la maturation des ovaires et vont donc conditionner les pontes. Le mécanisme de la piqûre est simple : les stylets vulnérants (labre, maxilles, mandibules et hypopharynx) pénètrent dans le tégument et cathétérissent un capillaire sanguin. Le labium ne suit pas les stylets : il se replie à la surface de la peau. La salive est injectée, via le canal salivaire de l'hypopharynx, à plusieurs reprises durant la piqûre. Le prélèvement de sang effectué par des femelles *Aedes vexans* au cours d'un repas a été évalué à 2-4,7mg (Horsfall, 1973). La quantité de sang et sa qualité peuvent influencer sur le nombre d'œufs produits.

2.3.2.2. Les déplacements.

La femelle a la nécessité de rechercher un hôte (en accord avec ses préférences trophiques), ce qui entraîne sa dispersion à partir de son gîte d'origine.

Cette dispersion active sera plus ou moins large suivant la facilité avec laquelle la femelle va trouver son hôte. Ainsi, Horsfall *et al.* (1973) ont rapporté des vols de 15 km pour des *Aedes vexans* à la recherche d'un hôte. La distance maximale parcourue par une femelle en une nuit serait de 17 km (vol actif) (Briegel *et al.*, 2001). Il faut néanmoins préciser que ces mesures ont été faites dans des conditions de vol artificiel (vol forcé pendant neuf heures).

La distance parcourue dépend également de l'âge des femelles, et de l'accès à de la nourriture sucrée (source d'énergie). Ainsi, durant la première semaine suivant l'émergence, la majorité des femelles effectue des vols de courte distance (entre 1 et 5 km), alors que plus de 50 % d'entre elles parcourent des distances de plus de 5 km en une nuit pendant les deuxième et troisième semaines suivant l'émergence (Briegel *et al.*, 2001).

Pour l'ensemble d'une population, la vitesse moyenne de vol a été évaluée à 1 km/h, en vol actif.

En plus du vol actif, il faut également considérer le vol passif, résultant essentiellement du vent. Durant ces phases, les moustiques sont « portés » par le vent et atteignent des distances très importantes (plusieurs centaines de kilomètres).

Il faut noter que la recherche de l'hôte est corrélée à la température moyenne du crépuscule (période d'activité maximale des femelles). Lorsque cette température diminue, l'activité des femelles diminue aussi, jusqu'à un certain seuil où elle devient nulle (Petric *et al.*, 1995). Ainsi, pour une population d'*Aedes vexans* provenant du Rhin en Allemagne, Petric *et al.* ont estimé à 9-10°C la température seuil inférieure (température à partir de laquelle le premier moustique d'une colonie commence à rechercher son hôte)

2.3.2.3. Les préférences trophiques.

Les déplacements actifs sont essentiellement motivés par la recherche d'un hôte convenable, c'est à dire en accord avec les préférences trophiques de l'espèce considérée.

Les hôtes privilégiés sont les gros mammifères (bovins, équidés, petits ruminants...). Ainsi, Nasci (1984) a montré, dans le Nord de l'Indiana, qu'*Aedes vexans* se gorgeait essentiellement sur des cerfs, des bovins et des équidés quelque soit le milieu (urbain, péri-urbain ou rural). Une très faible proportion choisissait des hôtes plus variés : chiens, lapins, humains, porcs, petits ruminants, chats, rats, opossum, écureuils...

Cette préférence trophique peut varier significativement sur de courtes distances, et d'un jour à l'autre. Elle serait prédéfinie génétiquement, mais suffisamment flexible pour pouvoir s'adapter à différentes situations. Ainsi, *Aedes vexans* se gorge majoritairement sur l'hôte le plus présent, choisi parmi ses préférences trophiques prédéfinies. Cette flexibilité se limite aux grands mammifères, et on ne trouvera pas des proportions importantes d'*Aedes vexans* gorgés sur petits mammifères (Nasci, 1984).

2.3.2.4. Stimuli d'attraction.

L'attraction pour les hôtes est conditionnée par différents stimuli, opérant à différents niveaux. Ainsi, l'orientation à longue distance repose sur l'odeur de l'hôte. Puis à moyenne distance, elle est conditionnée par l'odeur de l'hôte renforcée par le gaz carbonique. Enfin, l'orientation à courte distance se base sur le CO₂, et divers stimuli : olfacto-chimiques, visuels, thermiques ou hydriques propres à l'hôte (Gillies *et al.*, 1969; Gillies *et al.*, 1970; Gillies *et al.*, 1972).

Dans tous les cas, le CO₂ joue un rôle attracteur puissant, notamment lorsqu'il est combiné à d'autres produits. Ainsi, une élévation du taux de diffusion de CO₂ de 1000 mL/min à 4000 mL/min, augmente la distance d'attraction d'*Aedes vexans* de 3-7m à 7-11m (McIver *et al.*, 1989). Le tropisme orienté d'*Aedes vexans* pour les grands mammifères serait donc une réponse à des taux d'excrétion élevés de CO₂ ainsi qu'aux grandes images visuelles.

Il semble également qu'une régulation de l'attraction soit opérée par les moustiques eux-mêmes. Il a été observé, en utilisant un nouveau type de piège sur appât humain, que les moustiques s'accumulaient jusqu'à un certain seuil autour de l'hôte, et que, par la suite, le nombre de moustiques gravitant autour de l'hôte n'augmentait plus (Rooker *et al.*, 1994).

2.3.2.5. Longévité.

Elle est de trois à six semaines pour des *Aedes vexans* « sauvages » (Horsfall, 1973). En laboratoire, elle serait de 42 jours à 25°C et 82 jours à 13°C. Cet effet de la température a été confirmé par Costello *et al.* (1971), qui ont mesuré des durées maximales de survie de 70-80 jours pour les femelles, et de 60 jours pour les mâles.

L'humidité et l'accès à la nourriture influent aussi sur la longévité : privé de nourriture, la durée de vie du moustique n'atteint que neuf jours à 21°C, et 42 jours à 13°C (Costello *et al.*, 1971).

2.3.2.6. Rythme d'agressivité – cycle nycthéral.

Aedes vexans exerce surtout son activité au coucher du soleil, mais peut également piquer durant la journée, lorsque l'humidité augmente.

2.3.2.7. Reproduction et ponte.

L'accouplement a lieu tôt, une seule fois durant la vie d'une femelle. Durant celui-ci, le mâle transfère à la femelle, en plus du sperme, la phéromone matrone. Produite par les glandes accessoires du mâle, elle rend ensuite la femelle réfractaire à d'autres accouplements (Craig, 1967; Fuchs *et al.*, 1969).

Les femelles conservent les spermatozoïdes dans leur spermathèque. Par la suite, l'alternance des repas de sang et des pontes se poursuivra jusqu'à la mort de l'insecte (la ponte ayant lieu entre 6 et 9 jours après un repas de sang, pour une souche d'*Aedes vexans* de l'Indiana (Shroyer *et al.*, 1977)).

Le nombre d'œufs déposés lors d'une ponte varie suivant les conditions expérimentales : Horsfall (1973) observa des pontes moyennes de 132 œufs pour des femelles sauvages capturées puis mises en élevage, alors que Breeland *et al.* (1964) ont observé une moyenne de 55 œufs par ponte pour des *Aedes vexans* du Tennessee, en captivité.

D'après Shroyer *et al.* (1977), les femelles n'effectueraient leur ponte qu'exceptionnellement en une fois. La ponte correspondant à un repas sanguin s'étalerait sur 3-5 jours en fonction de l'accès à la nourriture sucrée (souche Tippecanoe de l'Indiana). Ces observations contredisent Breeland *et al.* qui n'ont jamais observé ce phénomène (la ponte s'effectuant en une fois pour eux) (Breeland *et al.*, 1964). D'après Rozeboom *et al.* (1973), c'est le confinement et l'adaptation aux conditions d'élevage de laboratoire qui pousseraient les moustiques à effectuer leur ponte en une seule fois.

L'intervalle séparant l'émergence de la première ponte dépend de la possibilité d'effectuer un repas sanguin, mais aussi d'une période de maturation nécessaire à l'augmentation des réserves lipidiques.

Ces réserves ont une importance majeure puisque la femelle transfère une grande partie de celles-ci aux ovaires en maturation (pour la formation du vitellus) (Briegel *et al.*, 2001). À son émergence, ces réserves sont insuffisantes pour initier l'oogénèse. La femelle doit les accroître jusqu'à un certain seuil, seuil à partir duquel l'oogénèse pourra débuter (1,5

calorie par femelle) (Briegel *et al.*, 2001). Ces lipides sont synthétisés à partir des substances sucrées (sucs et nectars d'origine végétale) que la femelle ingère lors des premiers jours. Ce n'est que lorsque le seuil est atteint que la femelle cherchera un hôte pour effectuer son repas sanguin, lui aussi nécessaire à la maturation des ovaires.

La quantité initiale de lipides à l'émergence, la vitesse de lipogénèse, le seuil à partir duquel l'oogenèse se déclenchera et l'accès à une source de nourriture sucrée vont donc déterminer la date du premier repas sanguin. Il faut une semaine avant que toutes les femelles, nourries en laboratoire, avec du jus sucré, se gorgent et initient une oogénèse qui aboutira (souche provenant d'Allemagne) (Briegel *et al.*, 2001).

2.3.3. Les œufs.

Les œufs d'*Aedes vexans* sont pondus isolément sur le sol ou sur un support, au raz de l'eau.

Le développement embryonnaire pourrait durer plus de dix jours pour une grande partie des œufs (McHaffey, 1972).

Suite à ce développement, certains œufs pourront éclore s'ils sont immédiatement immergés dans une eau à la température adéquate. Pour d'autres, l'éclosion sera différée de quelques semaines à quelques mois.

Les œufs qui n'éclosent pas subissent un phénomène de diapause (induite par les conditions saisonnières, essentiellement une baisse des températures) (Horsfall, 1956). Ces œufs peuvent alors résister à une dessiccation prolongée. Des survies de 2-3 ans dans la vallée du fleuve Columbia ont été observées (Gjullin *et al.*, 1950).

La réactivation de ces œufs nécessite une exposition prolongée à des conditions comme des températures basses (Horsfall, 1956). Souvent, des successions de déshydratations et réhydratations permettront l'éclosion des œufs en diapause.

McHaffey (1972) a étudié les facteurs (température et photopériode) influençant le pourcentage d'entrée en diapause d'œufs d'*Aedes vexans* dans l'état de Washington (USA). Il a ainsi montré qu'à 32°C, la photopériode n'a plus d'influence sur l'entrée en diapause, alors qu'à 25°C, le pourcentage de diapause augmente si la photopériode diminue. Des températures basses entraînent également une augmentation de ce pourcentage.

Enfin, cette entrée en diapause est très variable selon les colonies collectées sur le terrain, et est soumise à une influence maternelle : des œufs de femelles exposés à des

photopériodes de 14h30 étaient plus sensibles à des variations de photopériode que des œufs de femelles exposées à des périodes d'éclairage plus courtes ou plus longues (13h30 et 16h00) (McHaffey, 1972).

Enfin, cette diapause permet à *Aedes vexans* de maintenir des populations abondantes, plusieurs années consécutives, au même endroit (Horsfall, 1973).

2.4. *Aedes vexans* : un complexe d'espèce ?

Cet insecte connaît une répartition très large sur la planète :Amérique du Nord, Europe, pourtour méditerranéen, Asie et zone Pacifique. Face à une telle répartition, on peut raisonnablement penser que ce moustique représente en fait un complexe d'espèce.

L'espèce *Aedes vexans* actuelle, ubiquiste, pourrait regrouper, en fait, différentes espèces. Ceci a une importance fondamentale, puisque les caractéristiques génétiques et physiologiques seraient susceptibles de changer. La compétence vectorielle, pourrait donc varier d'une espèce à l'autre (Rodhain, 1991). Des études de biologie moléculaire (isoenzymes...) seraient nécessaires pour déterminer le statut réel d'*Aedes vexans*.

Les connaissances déjà acquises sont donc à extrapoler avec prudence quand on s'adresse à *Aedes vexans* au Sénégal. Elles pourront néanmoins servir de base de travail, et permettre de réaliser des comparaisons. Les études de biologie entreprises sur l'*Aedes vexans* du Sénégal vecteur de FVR et autres arbovirus vont permettre d'obtenir des données sur la dynamique des populations dans une zone (le Ferlo) caractérisée par la présence de mares temporaires, dépendant exclusivement du régime des pluies.

**3. TRAVAUX PERSONNELS : ETUDE DE LA DYNAMIQUE DES
POPULATIONS ADULTES D'*Aedes vexans* ET
CARACTERISTIQUES BIOLOGIQUES.**

Objectif.

Site et période d'étude.

Protocole.

Résultats météorologiques et description climatique du site et de la période
d'étude.

Résultats entomologiques.

3.1. Objectif.

Le risque d'émergence de la FVR est maximal quand la densité vectorielle, et notamment d'*Aedes vexans*, est maximal.

La densité de ce moustique dépend de l'existence de gîtes larvaires, et de la dynamique des populations adultes. Les gîtes larvaires sont tributaires du régime climatique (présence d'eau, surtout, qui permet l'apparition et le maintien du gîte). La dynamique des populations adultes est, quand à elle, liée à l'existence de ressources trophiques et à des données climatiques (vent, humidité relative...). Il apparaît donc clairement que les facteurs climatiques influencent majoritairement le nombre de moustiques adultes présents.

L'un des objectifs du projet en cours réalisé conjointement par l'ISRA, l'IRD et le CIRAD au Sénégal est donc d'étudier la dynamique des populations adultes d'*Aedes vexans* en fonction des données climatiques. Ce travail de thèse s'inscrit dans ce cadre, en participant aux premières études entomologiques de ce projet.

3.2. Site et période d'étude.

Le site d'étude se situe à Barkédji (15°16'78"N, 14°52'07"W) village situé dans le sud-ouest du Ferlo à 30 kilomètres à l'est-sud-est de Linguère. Cette zone présente un climat sahélien typique, avec une moyenne pluviométrique de 250-350 mm répartie de juillet à septembre. Ces pluies entraînent la formation de mares temporaires qui s'accompagne de l'émergence d'importantes populations de moustiques. De plus, l'abondance des pâturages disponibles en cette saison en fait une région de forte concentration animale. Les conditions sont alors réunies pour favoriser la circulation du virus de la FVR comme le soulignent les enquêtes sérologiques, virologiques et entomologiques réalisées dans cette zone (Fontenille *et al.*, 1995; Zeller *et al.*, 1997; Fontenille *et al.*, 1998; Diallo, 2000).

Zeller *et al.* (1997) et Diallo (2000) montrent qu'*Aedes vexans* ne produirait qu'une seule génération par saison des pluies : sa population explose en début de saison, et disparaît ensuite assez rapidement. Il est donc indispensable de pouvoir effectuer les premières observations dès les premières pluies ayant une influence sur les mares.



Carte 1 : situation du site d'étude.

3.3. Protocole.

3.3.1. Comparabilité des données.

Afin de pouvoir étudier l'influence des facteurs climatiques, et pour que les données collectées puissent être utilisées pour la modélisation, il est nécessaire que celles-ci soient comparables d'une année à l'autre (pendant les trois années du projet). De ce fait, les méthodes du protocole (technique de capture, points de capture, et horaires de captures), ont été choisies non seulement en fonction des données capitalisées sur le site de Barkédji mais aussi avec l'impératif de pouvoir maintenir ce même protocole durant trois ans.

3.3.2. Zones et lieux de capture.

Trois zones distinctes ont été choisies à l'intérieur du site d'étude (site de Barkédji) pour réaliser les prospections entomologiques : la zone de Barkédji même, la zone de Furdu, et la zone de Ngao. Chaque zone est centrée sur une mare. Les deux dernières sont respectivement distantes de 2,5 km et 4,2 km de Barkédji. Les mares sont en fait des dépressions qui ne se remplissent d'eau qu'après les premières pluies de l'hivernage. Leur niveau et la durée pendant laquelle elles sont en eau dépendent directement de la pluviométrie.

Dans chaque zone, deux points de capture ont été choisis : un point près de la mare, et un deuxième près d'un campement éloigné de la mare (pour Furdu et Ngao), ou dans le village (pour Barkédji). Il y a donc six points de capture :

❖ A Barkédji

- Barkédji village (point de capture situé dans le village) : 15°16'64" N, 14°51'94" W
- Barkédji mare (point situé près de la mare, à 330 mètres du point précédent) : 15°16'81" N, 14°51'89" W

❖ A Furdu (situé à 2,5 km de Barkédji)

- Furdu mare (point de capture situé près de la mare) : 15°15'30" N, 14°51'62" W.
- Furdu campement (point situé dans le campement de Furdu à 400 mètres de la mare) : 15°15'08" N, 14°51'63" W.

❖ A Ngao (situé à 4,2 km de Barkédji) :

- Ngao mare (point de capture situé près de la mare) : 15°14'51" N, 14°51'10" W.
- Ngao campement (point situé dans le campement de Ngao éloigné de 410 mètres du point précédent) : 15°14'71" N, 14°51'22" W.

Les deux campements étaient occupés, et des troupeaux de petits ruminants (environ une centaine par campement) y étaient parqués pour la nuit.

Toutes les captures ont été réalisées sur le site de Barkédji. Donc, quelque soit le statut ultérieur d'*Aedes vexans* et donc celui des populations du site de Barkédji (changement éventuel de nom d'espèce), les résultats obtenus concerneront la même souche.

3.3.3. Les données météorologiques.

Dans le cadre du projet, deux stations météorologiques ont été installées : l'une d'elle dans le village de Barkédji, et l'autre près de la mare de Furdu. Elles enregistrent, en continu, les températures, le taux d'humidité, la force et la direction du vent, la pluviométrie et la pression atmosphérique. Pour chaque facteur, nous disposons d'une valeur moyenne, de la valeur maximale et de la valeur minimale enregistrées pendant l'heure. Ces stations fourniront ainsi les données météorologiques de la zone pendant les trois années du projet.

3.3.4. Capture des moustiques.

Les captures ont été réalisées sur hommes. Cette méthode utilise le pouvoir attractif de l'homme sur les moustiques. Une équipe de deux hommes est disposée au point de capture. Les deux captureurs sont assis, jambes nues, et capturent les moustiques venant se poser sur leurs jambes, à l'aide de tube en verre (de type Vacutainer®), juste avant la piqûre. Cette méthode offre l'avantage d'obtenir des moustiques non gorgés, et en bon état.

Des captures sur hommes ont ainsi été menées tous les soirs, dans les six points de capture, du 9 juillet au 21 juillet inclus (soit treize jours de capture). Les *Aedes* étant réputés crépusculaires, elles ont eu lieu de 18h00 à 22h00 T.U. (le soleil se couchant à 19h34 T.U. le 9 juillet et à 19h33 T.U. le 21 juillet).

Pour minimiser les variations dues à "l'effet captureur" (variations dues à la différence d'attractivité, de dextérité, de vigilance des captureurs...), la composition des équipes changeait chaque soir.

3.3.5. Identification des moustiques capturés.

Les tubes contenant les moustiques sont placés au réfrigérateur et leur identification à la loupe binoculaire est réalisée le lendemain en utilisant les clés d'identification établies par Fontenille spécialement pour la région du Ferlo (cf. annexes 1 et 2) (Fontenille, communication personnelle).

3.3.6. Dissection.

La dissection concerne les femelles des vecteurs de la Fièvre de la Vallée du Rift dans le Ferlo (*Aedes vexans*, *Aedes ochraceus* et *Culex poicilipes*) en vue de déterminer leur âge physiologique. Les dissections ont été effectuées selon la méthode de Polovodova, qui s'est révélée être performante sur les *Aedes* (Mondet, 1993).

La détermination de l'âge physiologique des femelles consiste à les grouper en femelles nullipares (n'ayant jamais pondu) et en femelles pares (ayant déjà pondu au moins une fois). Dans certains cas, il est possible de déterminer le nombre de cycle trophogoniques effectués par les femelles multipares.

La méthode de Polovodova consiste à noter les modifications consécutives à la ponte se produisant au niveau des ovarioles. C'est au niveau du pédicelle de l'ovariole que se situent les transformations physiologiques différenciant une femelle pare d'une femelle nullipare. L'œuf en cours d'expulsion entraîne une dilatation importante du tube ovariole (formé par l'intima). Alors que l'œuf est expulsé, les cellules épithéliales ayant participé à la formation du chorion restent sur place et commencent à dégénérer. Elles s'accumulent dans le pédicelle encore dilaté qui forme ainsi le sac de ponte. Celui-ci se rétracte progressivement et les cellules se rassemblent en un amas, appelé «corps jaune», qui sera progressivement éliminé des oviductes. Une partie plus ou moins importante de ces débris cellulaires peut être retenue au moment de la rétraction de l'intima, ce qui entraîne la formation d'une dilatation du pédicelle (appelée «relique folliculaire» dans le cas où des débris cellulaires sont visibles à l'intérieur de la dilatation). La présence de telles dilatations du pédicelle (sac de ponte ou relique) signe la parité d'une femelle. Les reliques folliculaire sont définitives et irréversibles. Chez *Aedes vexans*, à chaque ponte une nouvelle relique semble apparaître, ce qui devrait permettre de dénombrer le nombre de cycles trophogoniques effectués par la femelle au moment de sa capture (Mondet, 1993).

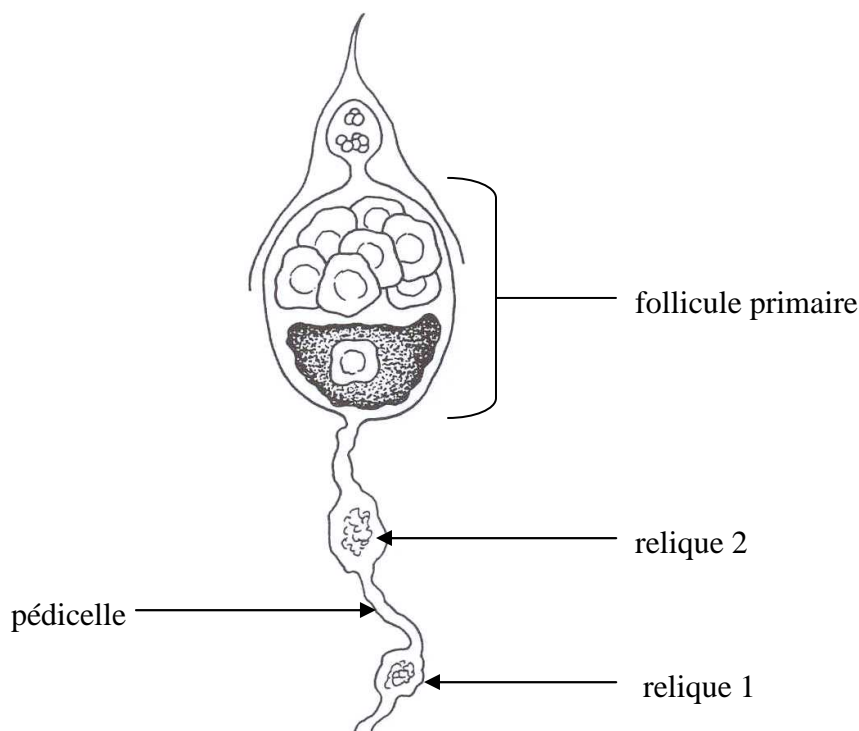


Figure 11: morphologie schématique d'une ovariole de moustique femelle paré (présentant deux reliques folliculaires).

Les cas douteux sont confirmés en utilisant la méthode de Detinova (Detinova, 1963), qui consiste à noter les modifications du réseau trachéolaire consécutives à la ponte. Chaque ovaire de moustique est pénétré par deux troncs trachéens qui se ramifient à l'intérieur de l'organe, formant ainsi un réseau dense de trachéoles. Avant leur extrémité, les trachéoles sont enroulées sur elles-mêmes et forment des pelotons chez les femelles n'ayant jamais eu d'oogénèse. Au cours de l'oogénèse, la taille de l'ovaire augmente de façon importante. Les pelotons se déroulent alors progressivement. Chez les femelles qui viennent de pondre et qui possèdent encore des ovaires de grande taille (non encore rétractés), les pelotons sont entièrement déroulés. Cette particularité constatée au microscope est irréversible, puisque les trachéoles gardent leur aspect déroulé, malgré la rétraction de l'ovaire (Mondet, 1993).

3.4. Résultats météorologiques et description climatique du site et de la période d'étude.

3.4.1. La pluviométrie.

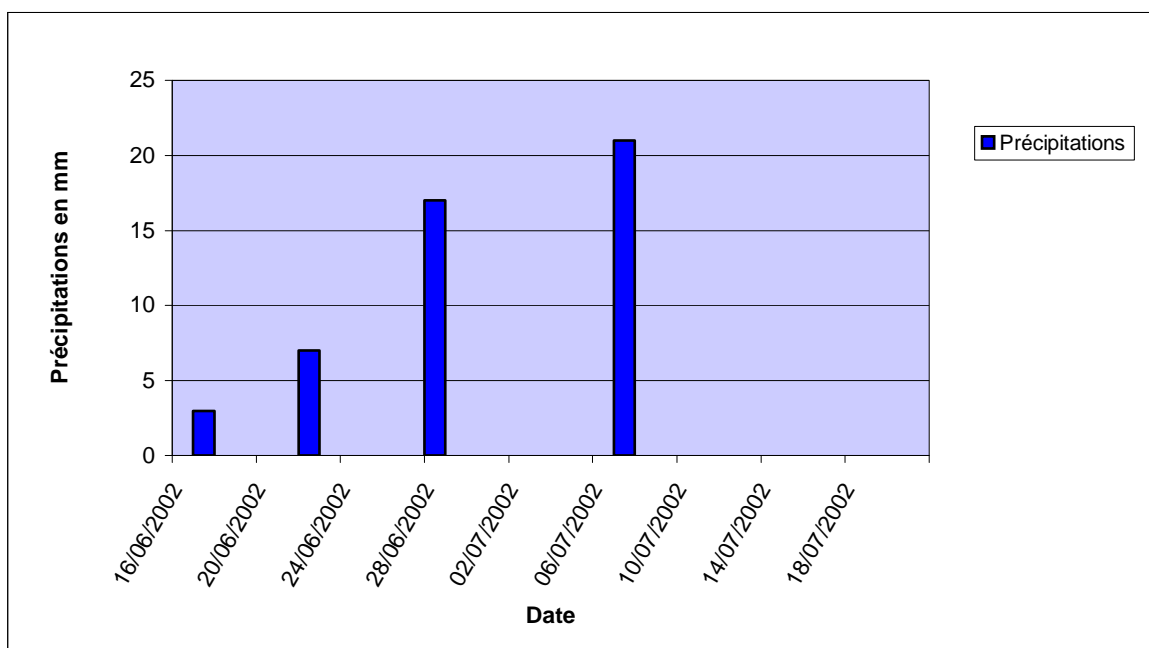


Figure 12: pluviométrie de la zone de Barkédji entre le 16 juin 2002 et le 21 juillet 2002.

Quatre pluies ont eu lieu pour ce début d'hivernage, pendant la période du 16 juin au 21 juillet 2002 :

- Deux premières pluies (le 17 juin et le 22 juin) respectivement de 3 et 7 mm.
- Une troisième pluie le 28 juin de 17 mm.
- Une quatrième pluie de plus grande ampleur, le 7 juillet entre 00h00 et 01h00 : 21mm.

3.4.2. Les températures et le taux d'humidité relative.

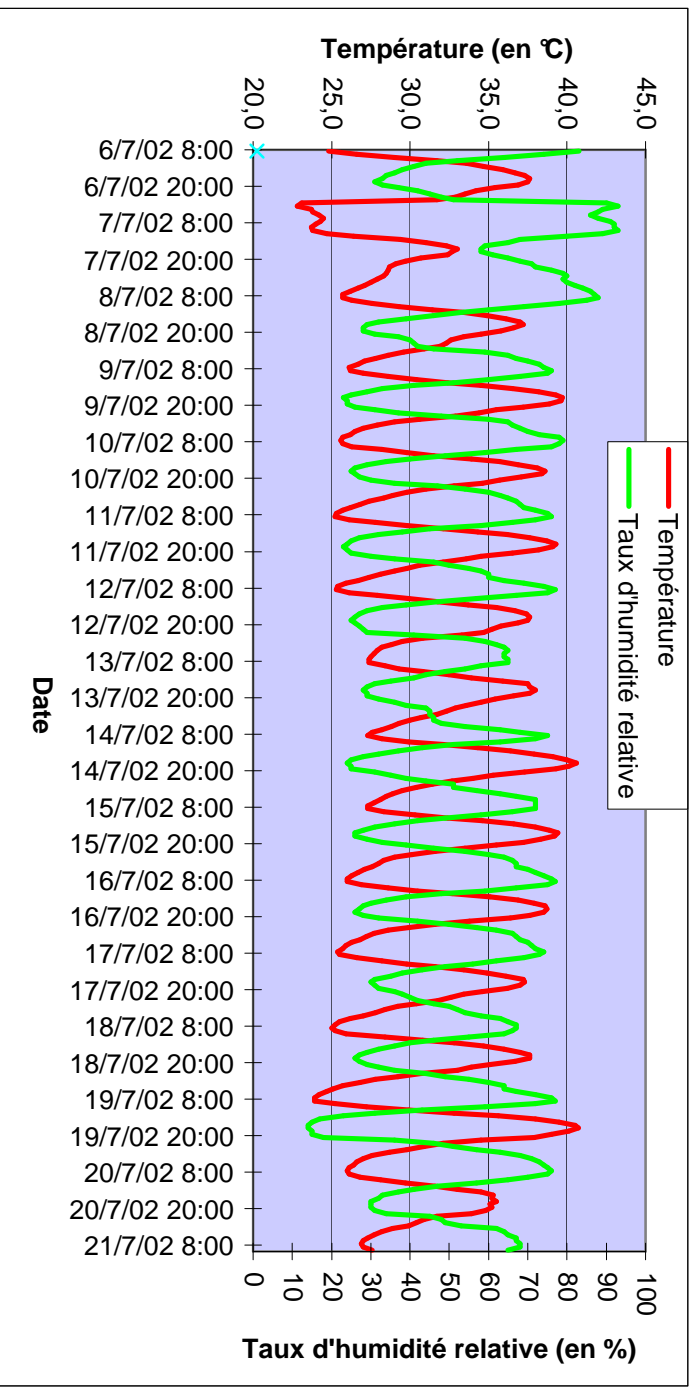


Figure 13: variation des températures et du taux d'humidité relative sur la zone de Barkédji du 6 juillet au 21 juillet 2002.

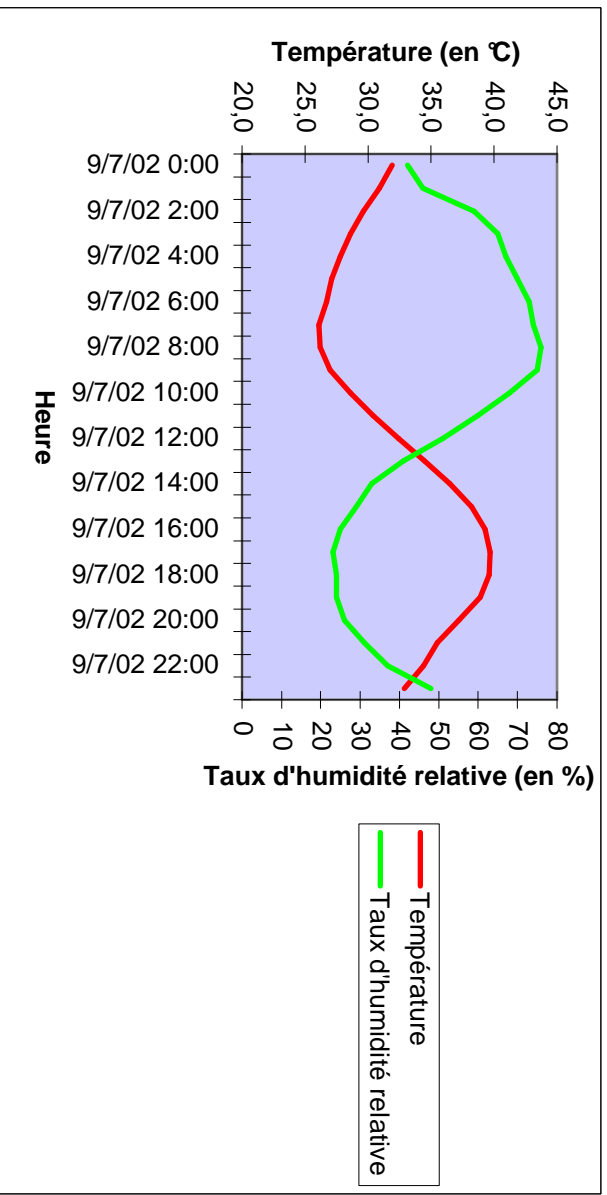


Figure 14: détail des variations journalières . Exemple du 9 juillet 2002.

Les températures oscillent entre 23 et 40,7°C. Les variations journalières sont homogènes durant toute la période d'étude (hormis la journée suivant la pluie du 7 juillet 2002) :

- Le minimum se situe à 8h00 à 25-28°C.
- Le maximum se situe à 18h00 à 37-40°C.

Le taux d'humidité oscille entre 15 % et 92 % . (A noter que le 7 juillet vers 1h00, date de la pluie, la valeur maximale devrait avoisiner les 100%, à la place de 92 %. Il s'agit sûrement d'une imprécision de l'appareil de mesure). On observe également que les variations journalières sont homogènes sur l'ensemble de la période d'étude (hormis la journée suivant la pluie) :

- Le minimum se situe à 18h, entre 25 et 32%.
- Le maximum se situe à 9h entre 65 et 75%.

3.4.3. La vitesse du vent.

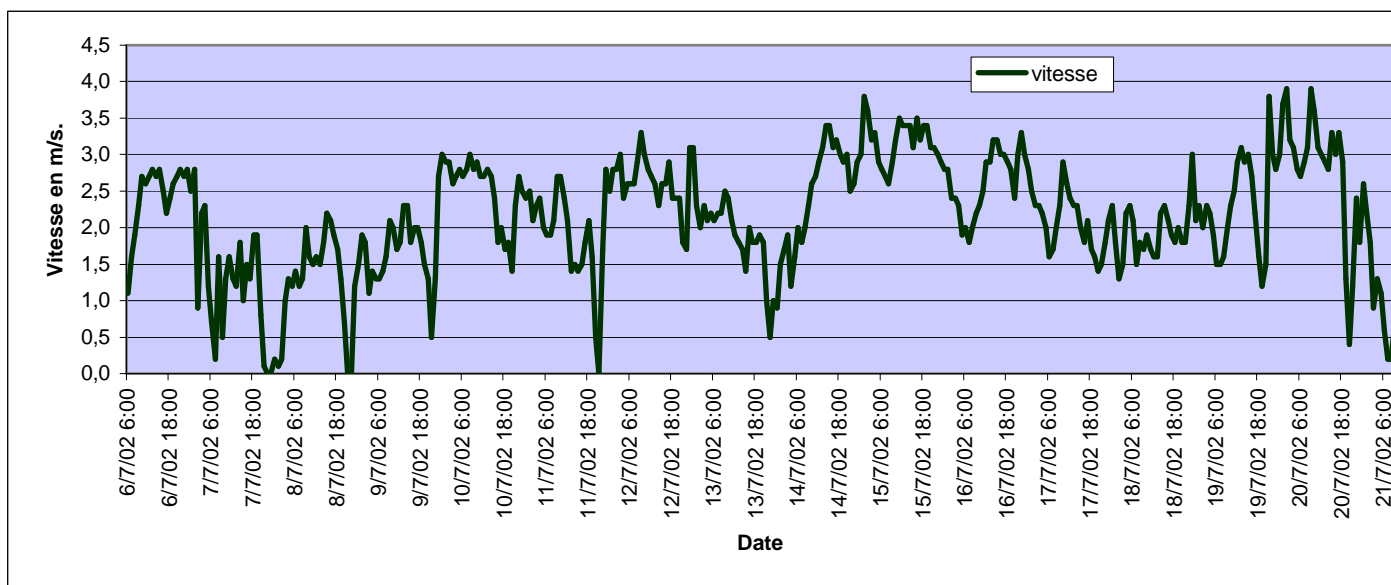


Figure 15: vitesse du vent du 6 juillet au 21 juillet 2002.

Sur l'ensemble de la période, la vitesse du vent varie de 0 à 3,9 m/s.

3.4.4. Commentaires.

Le cumul pluviométrique (de 48 mm) est faible un mois après le début de la saison des pluies. Si le début (fin juin) est dans la norme (avec quelques pluies très faibles), la suite apparaît tout à fait inhabituelle, avec un déficit pluviométrique, sans pluie importante. Seules les pluies suffisamment importantes (au moins 20 mm semble-t-il) permettent la mise en eau des mares en début de saison des pluies. Elles jouent donc un rôle primordial.

Le remplissage des mares a été très déficitaire, voir nul. Seule la pluie du 7 juillet a eu un effet : la mare de Ngao a été mise en eau de façon notable et pendant toute la période d'étude, tandis que la mare de Furdu n'a été en eau que pendant quatre jours, et celle de Barkédji a été très peu remplie.

On observe en outre que la pluie influe de façon importante sur les températures et le taux d'humidité de la journée suivante: les températures sont plus basses, et le taux d'humidité reste élevé (supérieur à 50%) pendant toute la journée du 7 juillet.

Cette influence s'étend également sur plusieurs jours, mais de façon beaucoup moins perceptible. Le taux d'humidité moyen journalier diminue très faiblement jusqu'au 14 juillet, avant de se stabiliser (le coefficient de la courbe de tendance pour le taux d'humidité relative du 8 juillet au 14 juillet inclus est -0,106). Il en est de même pour la température qui semble évoluer de façon inverse (le coefficient de la courbe de tendance pour les températures du 8 juillet au 14 juillet inclus est 0,017). Cette influence à long terme pourrait se révéler très importante en modifiant l'activité des populations d'*Aedes vexans*.

3.5. Résultats entomologiques.

3.5.1. Biodiversité.

3.5.1.1. Biodiversité au niveau du site d'étude.

606 moustiques ont été capturés, pendant la période du 9 juillet au 21 juillet. Ils se répartissent en 4 genres différents, répartis en 15 espèces : 8 espèces du genre *Aedes*, 1 du genre *Mansonia*, 2 du genre *Anopheles* et 4 du genre *Culex*.

Genre	Sous-genre	Espèce	Première description
<i>Aedes</i>	<i>Stegomyia</i>	<i>metallicus</i>	Edwards, 1910
		<i>unilineatus</i>	Theobald, 1906
	<i>Diceromyia</i>	<i>furcifer</i>	Edwards, 1913
	<i>Neomelaniconion</i>	<i>mcintoshii</i>	Huang, 1985
		<i>circumluteolus</i>	Theobald, 1908
	<i>Aedimorphus</i>	<i>vittatus</i>	Bigot, 1861
		<i>ochraceus</i>	Theobald, 1901
		<i>vexans</i>	Meigen, 1830
<i>Mansonia</i>	<i>Mansonioides</i>	<i>uniformis</i>	Theobald, 1901
<i>Anopheles</i>	<i>Cellia</i>	<i>pharoensis</i>	Theobald, 1901
		<i>groupe gambiae</i>	Giles, 1902
<i>Culex</i>	<i>Culex</i>	<i>annulioris</i>	Theobald, 1901
		<i>poicilipes</i>	Theobald, 1903
		<i>decens</i>	Theobald, 1901
		<i>sitiens</i>	Wiedemann, 1828

Tableau 2: liste des espèces culicidiennes capturées sur hommes sur le site de Barkédji du 9 juillet au 21 juillet 2002.

Les clés d'identification élaborées par Fontenille dans le Ferlo ont permis d'identifier ces espèces. L'identification d'*Aedes circumluteolus* et *Culex sitiens* demanderait confirmation.

Le genre *Aedes* est largement majoritaire et représente $88 \% \pm 3\%$ des captures. *Aedes vexans* représente à lui seul $71\% \pm 4\%$ des captures.

Les *Culex* ne pondant pas d'œuf résistant à la dessiccation, ils colonisent les mares progressivement à partir de gîtes permanents et sont donc en petit nombre en début de saison des pluies. La faible proportion d'*Anopheles* s'explique par le choix de l'horaire de captures (18h00-22h00), qui ne correspond pas à leur pic d'agressivité. Par ailleurs, comme les *Culex*, une recolonisation des mares est obligatoire. Enfin, le faible nombre de *Mansonia* est en relation avec l'absence de végétation aquatique dans les mares en ce début de saison des

pluies. En effet, les larves de *Mansonia* vivent fixées par leur siphon respiratoire aux tiges et racines des plantes aquatiques.

On retrouve logiquement une proportion très importante d'*Aedes vexans*. En effet, leurs œufs, résistants à la dessiccation, sont pondus par les femelles au niveau des mares : ils y passent la saison sèche en état de diapause. L'année suivante, dès que celles-ci sont remplies à un niveau suffisant, les œufs éclosent. Ces observations sont en accord avec les études effectuées précédemment dans la zone (Diallo, 1995; Zeller *et al.*, 1997; Fontenille *et al.*, 1998).

3.5.1.2. Biodiversité par point de capture.

La biodiversité des points de capture de Barkédji (Barkédji village et mare) n'a pas été représentée en raison du trop faible nombre de moustiques collectés en ces points.

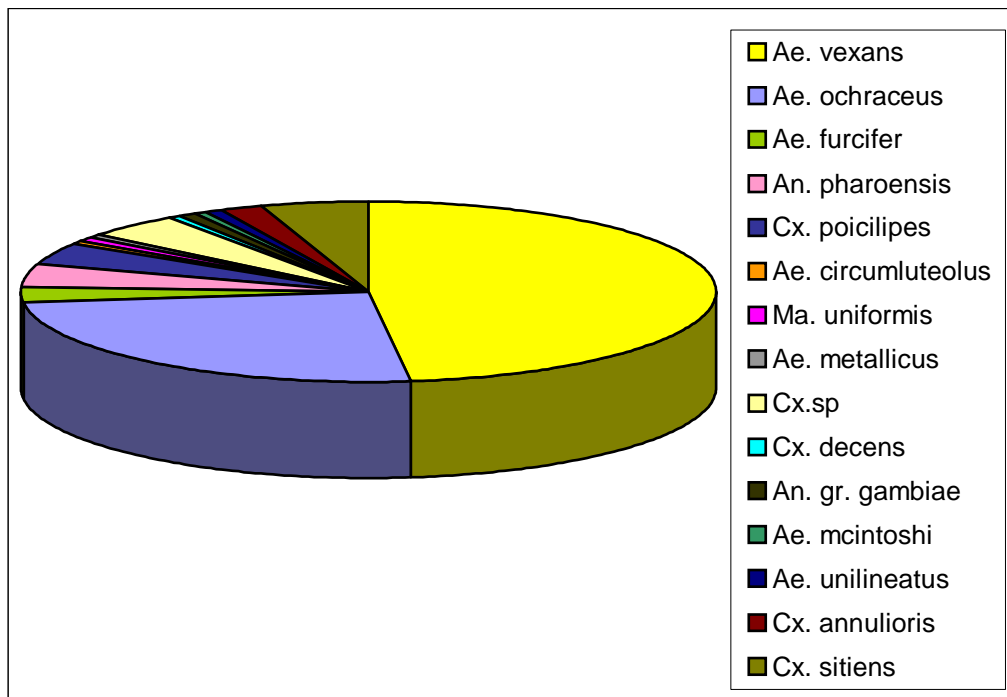


Figure 16: abondance relative des espèces culicidiennes capturées sur hommes à Ngao mare du 9 juillet au 21 juillet 2002.

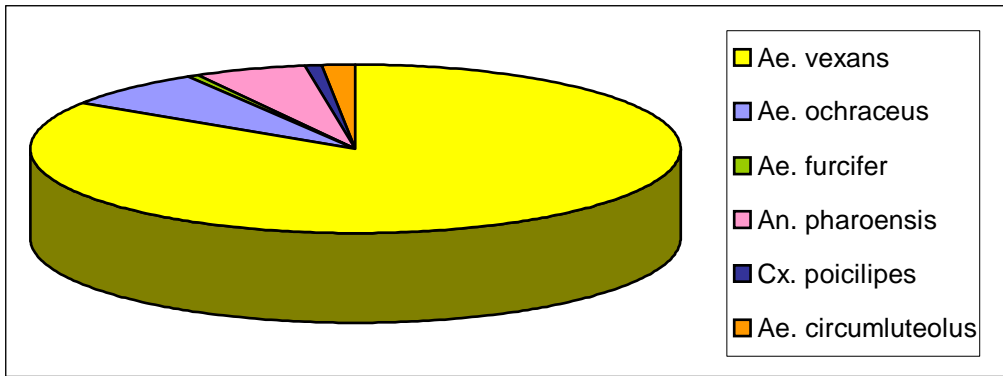


Figure 17: abondance relative des espèces culicidiennes capturées sur hommes à Ngao campement du 9 juillet au 21 juillet 2002.

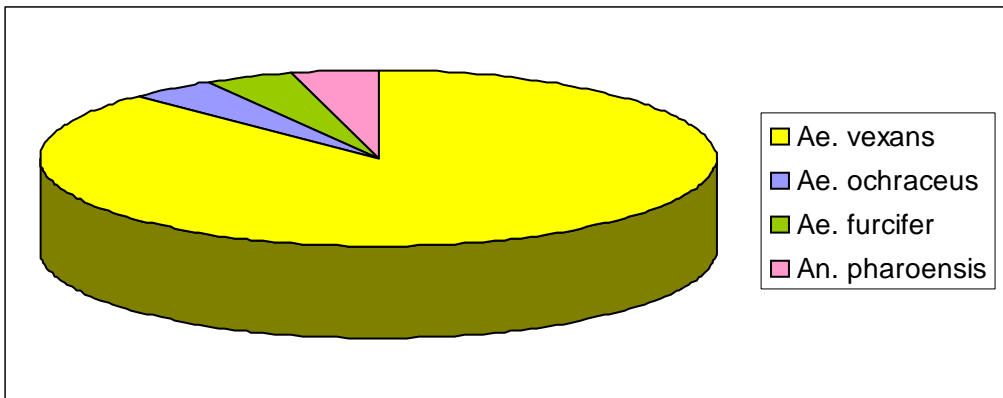


Figure 18: abondance relative des espèces culicidiennes capturées sur hommes à Furdu mare du 9 juillet au 21 juillet 2002.

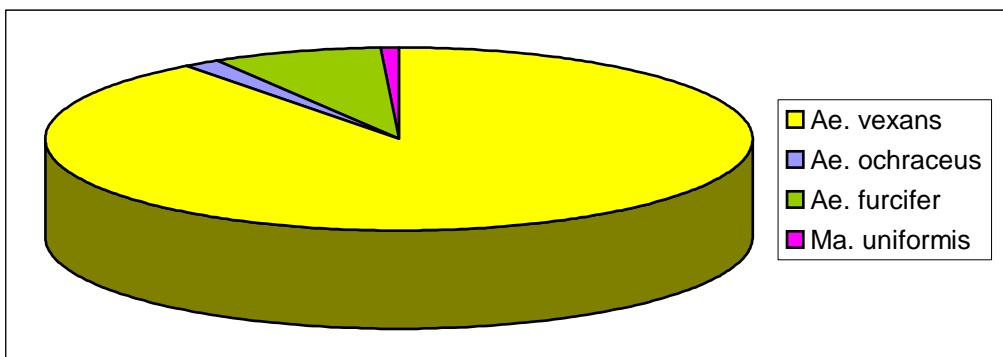


Figure 19: abondance relative des espèces culicidiennes capturées à Furdu campement du 9 juillet au 21 juillet 2002.

La diversité spécifique est importante à Ngao mare : on dénombre 14 espèces différentes. *Aedes vexans* représente 49% des captures. Cette diversité diminue beaucoup pour les autres points de capture : le nombre d'espèces présentes diminue, et l'abondance relative d'*Aedes vexans* augmente jusqu'à 89%.

On constate, en outre, que le nombre de femelles capturées à Ngao campement est plus élevé que celui de Ngao mare (165 contre 105). On peut donc avancer que *Aedes vexans* est un "bon voilier". En effet, les femelles *Aedes vexans* sont inféodées aux mares : c'est le lieu d'émergence des adultes, et elles viennent y pondre régulièrement. On constate donc que ces femelles n'hésitent pas à s'éloigner de celles-ci pour trouver un hôte, entre l'émergence et la ponte ou entre deux pontes.

3.5.2. Etude de la dynamique de la population d'*Aedes vexans*.

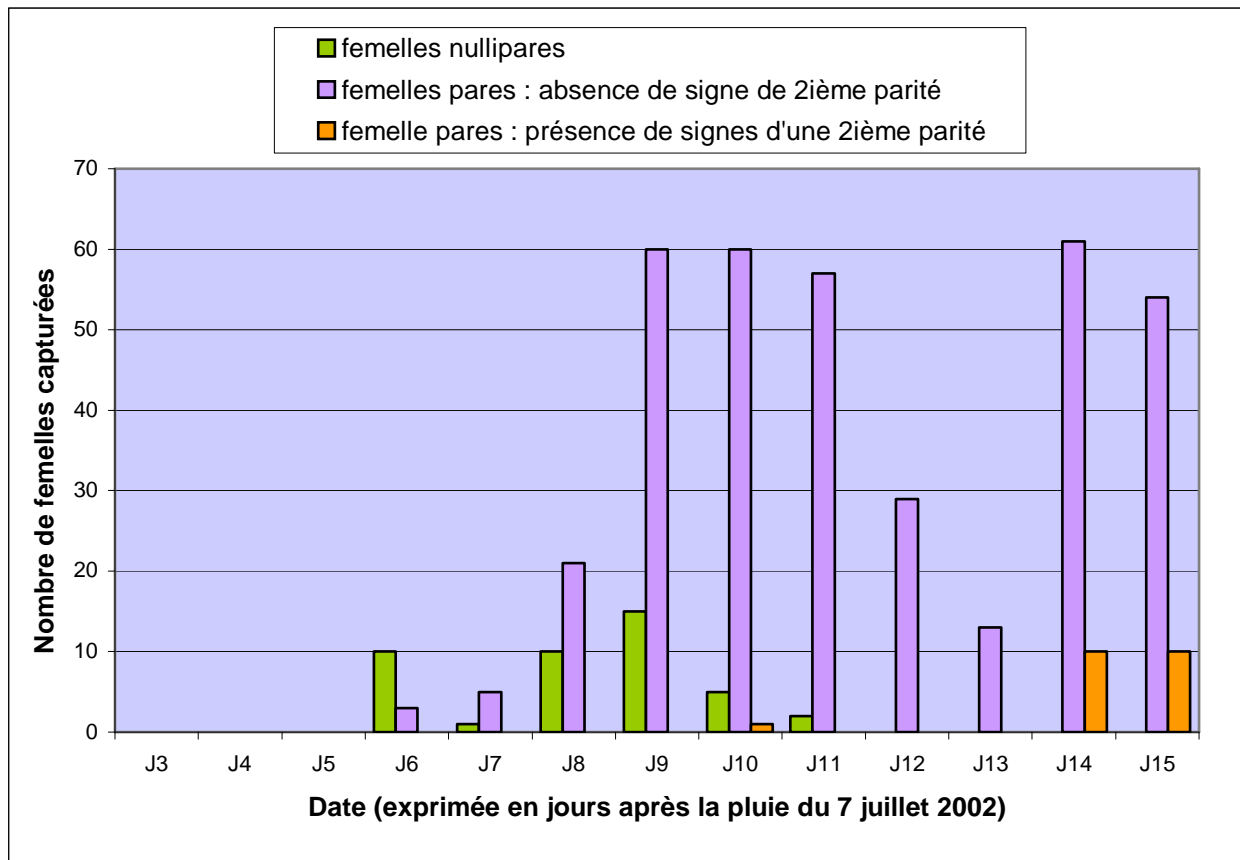


Figure 20: variation du nombre de femelles capturées sur hommes sur le site de Barkédji du 9 juillet au 21 juillet 2002, en fonction de l'âge physiologique et de la date (exprimée en jour après la pluie du 7 juillet).

Nous utiliserons la pluie du 7 juillet 2002 comme point de référence temporelle. C'est à dire que J0 commence le 7 juillet à 00h00 (heure du début de la pluie).

Précisons que les femelles sont capturées au moment où elles viennent piquer l'homme. Donc, nous parlerons de femelles (nullipares ou pares) agressives.

3.5.2.1. Description des données.

Les femelles nullipares sont capturées de J6 jusqu'à J11, avec un maximum pour J9. Après J11, plus aucune femelle nullipare n'a été capturée.

Les premières femelles pares (ne présentant pas de signe de seconde parité) apparaissent également à J6, et persistent jusqu'au dernier jour des captures (J15). On observe deux pics de captures : le premier à J10 et le second à J15.

Enfin, les femelles pares, présentant des signes de deuxième parité, apparaissent essentiellement à partir de J14, en nombre restreint.

3.5.2.2. Expérience complémentaire.

Des femelles capturées gorgées sur mouton dans la nuit du 13 au 14 juillet (capturées à l'aide d'un piège à appât animal, disposé de 18h00 à 6h00) ont été mises en cage d'élevage. Ces dernières contenaient une source d'alimentation (jus sucré) et des pondoires (cristallisoires à moitié remplis d'eau, et dont la paroi interne était tapissée de papier filtre à gros grain). Les conditions d'élevage étaient celles du site d'étude (même température, et même hygrométrie).

Les pontes ont eu lieu essentiellement dans la nuit du 16 au 17 juillet et dans la nuit du 17 au 18 juillet, soit 3-4 jours après le gorgement dans les conditions de température et d'humidité de cette période. On peut donc avancer une première estimation grossière du cycle trophogonique d'*Aedes vexans* de 3-4 jours (ce qui est une valeur raisonnable). Bien entendu, l'étude de la durée du cycle trophogonique fera l'objet d'études plus poussées durant les trois ans à venir.

3.5.2.3. Discussion.

Le pic de capture de femelles pares (ne présentant pas de signe de seconde parité) est très net à J10.

D'après les observations de l'expérience complémentaire, un pic de capture de femelles nullipares devrait avoir lieu à J6-J7. Ce pic n'est pas visible, en raison du faible nombre de données (seulement 43 femelles nullipares capturées). On peut néanmoins supposer, de façon assez certaine, que ce pic existe, c'est à dire que la population de femelles nullipares est nulle les trois premiers jours de capture, croit assez rapidement jusqu'à un maximum, et qu'elle disparaît ensuite rapidement. En effet, plus aucune femelle nullipare n'a été capturée après J11, ce qui renforce l'hypothèse d'un pic de femelles nullipares. En outre, l'amplitude de ce pic devrait au moins égaler le pic de capture des femelles pares (et devrait même être supérieur en raison de la mortalité des moustiques).

Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette absence de pic visible. On peut tout d'abord penser que le faible nombre de femelles capturées serait dû au manque de vigilance et de dextérité des captureurs lors des premiers jours. Ceci est à envisager, mais est quand même peu probable, car la technique de capture s'acquiert vite, et certains captureurs avaient déjà participé à des enquêtes entomologiques à Barkédji.

Il est souvent avancé que les femelles nullipares prennent leur premier repas de sang sur des sujets autres que leurs hôtes électifs. Ceci pourrait expliquer le très faible nombre de femelles capturées sur hommes. Dans ce cas, on peut envisager que les femelles néonates se gorgent sur l'hôte le plus accessible, c'est à dire, le plus abondant dans leur environnement immédiat (proche de la mare pour des femelles néonates). Ce rôle pourrait alors être rempli par des rongeurs, oiseaux, reptiles... Les enquêtes entomologiques des années suivantes devraient fournir plus de données à ce sujet.

Concernant les femelles pares, on observe un deuxième pic de femelles pares (sans signe de deuxième parité), à J14-J15 (soit 4-5 jours après le pic de femelles pares de J10). En considérant encore une fois que la durée du cycle trophogonique est de 3-4 jours, on pourrait s'attendre à ce que ce pic soit un pic de femelles pares de deuxième rang de parité. Or les femelles présentant des signes de seconde parité sont peu nombreuses. Par contre de très nombreuses femelles (37 % en J14 et 70 % en J15) étaient capturées au stade « sac de ponte » ce qui rend impossible l'observation d'éventuelles reliques. Ce n'est qu'après la résorption du sac que les reliques redeviennent visibles. Ainsi, une partie des femelles pares du pic de J14 et

ne présentant pas de signes de seconde parité pourraient être en fait des femelles de second rang de parité (qui présenteraient deux reliques une fois le sac de ponte résorbé).

Enfin, ces captures journalières sont sûrement dépendantes des conditions climatiques. Le vent, la température, et le taux d'humidité relative sont des facteurs dont l'influence est reconnue sur l'activité des moustiques adultes. Cette première étude ne permet pas de conclure à ce sujet en raison du faible nombre de données récoltées. Les études entomologiques qui seront menées pendant les trois années à venir devraient permettre d'éclaircir cet aspect, et d'étudier, entre autre, l'influence directe d'une pluie sur les populations d'*Aedes vexans* au Sénégal (mise en eau de gîtes larvaires), et son influence à plus long terme (modification des températures et de l'hygrométrie pendant plusieurs jours).

3.5.2.4. Conclusions et perspectives.

La limite principale de cette enquête résulte de la pluviométrie anormalement faible de ce début de saison des pluies 2002. De ce fait, seule la mare de Ngao s'est révélée productive en Culicidae durant toute la durée des captures. Ceci explique le faible nombre de données collectées lors de cette première enquête entomologique. On ne peut donc qu'esquisser des tendances à partir des résultats obtenus) :

- Les premières femelles nullipares commencent à piquer six jours après une pluie efficace (i.e. une pluie remplissant suffisamment les mares). Ceci revêt un intérêt particulier pour l'épidémiologie de la maladie si la transmission verticale est confirmée chez *Aedes vexans*.
- Le pic de femelles pares agressives se situe dix jours après une pluie efficace.
- Le cycle trophogonique d'*Aedes vexans* serait de 3-4 jours.

Ces observations sur la dynamique des populations d'*Aedes vexans* demandent donc à être confirmées. Cette dynamique dépend non seulement des variations intrinsèques (liées à la biologie du moustique), mais également des variations entraînées par d'autres facteurs comme les conditions climatiques, l'action humaine.... Il sera donc nécessaires de collecter un nombre très important de données, afin de pouvoir déterminer l'importance de chaque facteur dans la dynamique des populations d'*Aedes vexans*.

De plus, certaines hypothèses, importantes pour l'épidémiologie de la FVR, peuvent être retenues :

- Le repas de sang des femelles nullipares ne serait pas pris sur les hôtes habituels.
- *Aedes vexans* semble être un "bon voilier".
- Les femelles pourraient présenter une agressivité très importante sitôt après la ponte (en raison de la proportion importante de sacs de ponte observés chez des femelles agressives disséquées).

Il aurait été très intéressant de pouvoir mesurer l'effet d'une deuxième pluie sur la population d'*Aedes vexans*. Assiste-t-on dans ce cas à l'émergence d'une nouvelle cohorte? Quelle serait l'origine de cette cohorte (œufs de l'année précédente, ou œufs pondus dans l'année)?

Conclusion générale.

La Fièvre de le Vallée du Rift est une maladie émergente d'importance considérable du point de vue des pertes économiques mais aussi du risque sanitaire qu'elle représente. Dans un contexte de bouleversements climatiques et écologiques dus à l'anthropisation de la planète, elle représente un danger réel comme le prouve son extension récente à la péninsule arabique.

Si les « grands » facteurs favorisant son émergence sont identifiés (variations climatiques, aménagements hydro-agricoles, pratiques agraires et pastorales...), leur contribution dans l'émergence d'un foyer de FVR dans une zone épidémiologique particulière n'a pas encore été mesurée en Afrique de l'Ouest, et les modèles prédictifs de l'occurrence d'un foyer ne sont pas encore opérationnels.

Le domaine entomologique ne fait pas exception, et les seules études réalisées jusqu'à présent ne reflètent pas précisément la dynamique des populations et n'étudient pas l'influence des facteurs climatiques sur ces dernières.

L'évolution de la dynamique des vecteurs en relation avec l'environnement est un des aspects des recherches menées par l'ISRA, l'IRD et le CIRAD. Les compétences multidisciplinaires nécessaires étant réunies, et les moyens de travail adaptés, les années à venir devraient permettre de collecter de nombreuses données qui pourront être utilisées dans des modélisations

En outre, il sera également nécessaire de travailler sur les stades larvaires, en identifiant notamment les mares productives et des indicateurs de celles-ci. D'autres études, réalisées en insectarium, seront également nécessaires afin de déterminer certaines données biologiques d'*Aedes vexans* (taux d'éclosion, nombre d'œufs pondus, survie...) en environnement contrôlé. Ces résultats, combinés à l'étude des autres facteurs conditionnant l'apparition d'un foyer de FVR devraient permettre de mieux appréhender l'épidémiologie de cette maladie, et d'élaborer un modèle prédictif.

Annexe 1: clé d'identification des genres chez les culicidés.

(Fontenille, communication personnelle)

(en gras, les étapes menant à la diagnose du genre *Aedes*)

Etape	Critères d'identification	Genre
1	Proboscis long et recourbé moustique de grande taille (8-13 mm) de couleur métallique segment postérieur de l'abdomen avec des expansions latérales	<i>Toxorhynchites</i>
	Proboscis court et droit moustique de petite taille	2
2	Sternites et tergites abdominaux dépourvus d'écailles scutellum arrondi palpe aussi long que la trompe chez la femelle palpe renflé à l'apex et aussi long que la trompe chez le mâle aile généralement tachetée	<i>Anopheles</i>
	Sternites et tergites abdominaux avec des écailles scutellum généralement trilobé palpe des femelles généralement plus courtes que la trompe palpes des mâles de taille variable et jamais renflé.	3
3	Nervure anale aboutissant à peu près à l'opposé de la fourche de la nervure CuA et M3+4 calypter sans écaille mésopostnotum sans soie espèces de petite taille (2,5-4 mm)	4
	Nervure anale aboutissant après l'intersection avec la tangente de la fourche calypter frangé d'écailles mésopostnotum peut avoir ou manquer de soies espèces de petite taille (4,5-7 mm)	5

Etape	Critères d'identification	Genre
4	Branches R2 ou R3 plus courte que R2+3 antennes des femelles non plumeuses antennes des mâles moins ou très plumeuses	<i>Uranotaenia</i>
	R2 ou R3 plus long que R2+3 antenne des 2 sexes non plumeuses	<i>Malya</i> <i>Hodgesia</i>
5	Fémur des pattes médianes et postérieures avec des écailles bien visibles à l'apex antennes de la femelles courte avec les 2 flagellomères apicaux plutôt plus épais que le proboscis espèces très écailleuses	<i>Aedomyia</i>
	Fémur des pattes médianes et postérieures sans écaille antennes effilées et normales dans les deux sexes palpes des femelles courtes, palpes des mâles aussi long que le proboscis	6
6	Soies postspiraculaires présentes patte antérieures avec des griffes simples ou dentelées.	7
	Soies postspiraculaires absentes patte avec des griffes simples	8
7	Paratergites larges et sans écailles mésopostnotum avec un petit groupe de soies thorax en partie ou totalement jaune	<i>Eretmapodites</i>
	Paratergite nue surface des ailes avec des écailles sombres et claires asymétriques griffes des tarse des femelles simples moustique marron et "trapu"	<i>Mansonia</i>
	Paratergite avec des écailles surface des ailes avec des écailles larges et courte plutôt symétrique griffes des tarse des pattes I et II généralement dentelées	<i>Aedes</i>

Etape	Critères d'identification	Genre
8	Soies spiraculaire présente taille 7-10 mm	<i>Culiseta</i>
	Soies spiraculaires absente taille variable	9
9	Chez les deux sexes, les tarsomères 1 des pattes I et II plus long que les 4 tarsomères restant	<i>Orthopodomyia</i>
	Différent des caractères précédents	10
10	Pulvilli à l'apex du tarsomère 5 formant 2 petites touffes griffes des tarse des pattes III très petites presque invisibles alule avec des soies fins palpe des mâles plus long que le proboscis et replié vers le haut	<i>Culex</i>
	Pulvilli absent alule sans écailles ou avec de larges écailles	11
11	Soies absente sur l'alule branche R2 ou R3 inférieure ou égale à R2+3	<i>Mimomyia</i>
	Soies présentes sur l'alule branche R2 OU R3 supérieure ou égale R2+3	<i>Ficalbia</i>
	Moustique jaune	<i>Coquilletidia</i>

**Annexe 2: clé d'identification des espèces du genres *Aedes* présentes dans le Ferlo,
au Sénégal**

(Fontenille, communication personnelle).

(en gras, les étapes menant à la diagnose de l'espèce *Aedes vexans*)

Etape	Critères d'identification	Espèces
1	Pattes recouvertes d'écaillés hérissées, nervures transverses 4-5 et suture au delà de la 3-4 rembrunies (<i>Mucidus</i>)	2
	Caractères différents	3
2	Tibia I avec 3 anneaux pâles distincts , dont un au milieu	<i>sudanensis</i> (<i>scatophagoides</i>)
	Tibias différents	autres <i>Mucidus</i>
3	Scutum avec une bordure d'écaillés blanchâtres ou jaunâtres (<i>Neomelaniconion</i>), tarses non bandés, moustiques largement noirs	4
	Scutum différent	5
4	Tergites abdominaux largement sombres (bandes jaunes étroites)	<i>mcintoshii</i> (<i>lineatopennis</i>)
	Tergites abdominaux largement jaunes (bandes jaunes larges)	<i>circumluteolus</i>
5	Moustique largement jaunâtre, fémur et tibia jaunâtres à bandes noires antérieures Tarses jaunâtres noircissant en 4-5	<i>ochraceus</i>
	Moustique différent	6
6	Tarses non annelés	7
	Tarses annelés	9
7	Tergites à bandes basales pâles, scutellum à écaillés étroites	<i>dalzieli</i>
	Tergites non bandés, scutellum à écaillés plates larges	8

Etape	Critères d'identification	Espèces
8	Quatre points blancs sur le scutum, fémur II et III avec un point blanc pré-apical	<i>argenteopunctatus</i>
	Pas de marque sur le scutum, tâche blanche bien visible à l'apex du tibia III	<i>minutus</i> (groupe <i>tarsalis</i>)
9	Ailes couvertes d'écailles toutes sombres	10
	Ailes tachetées à écailles claires et sombres	13
10	Moustique plutôt marron, sternites largement claires (crème)	<i>vexans</i>
	Moustique plutôt noir	11
11	Une ligne médiane sur le scutum, tibia III tout noir	<i>unilineatus</i>
	2 tâches d'écailles blanches sur le scutum	12
12	Tibia III avec une tâche blanche au deux tiers, lobes latéraux du scutellum noirs	<i>apicoargenteus</i>
	Tibia III tout noir, écailles préscutellaires larges	<i>metallicus</i>
13	Trompe non annelée	<i>fowleri</i>
	Trompe annelée	<i>groupe taylori</i>

Annexe 3 : récapitulatif des sigles utilisés et de leur signification.

CIRAD	Centre de Coopération en Recherche Agronomique pour le Développement.
FVR	Fièvre de la Vallée du Rift.
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
ISRA	Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
OIE	Office Internationale des Epizooties.
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
RVFV	Rift Valley Fever Virus

BIBLIOGRAPHIE

BREELAND, S.G. et PICKARD, E.

Insectary studies on longevity, blood feeding and oviposition behavior of four floodwater mosquito species in the Tennessee valley.

Mosq. News, 1964, **24**, 186-192.

BRIEGEL, H., WALTERT, A. et KUHN, A.R.

Reproductive physiology of *Aedes (Aedimorphus) vexans* (Diptera: Culicidae) in relation to flight potential.

J Med Entomol, 2001, **38**(4), 557-565.

BRUNHES, J.

Les *Culicidae* : morphologie et systématique. *Communication personnelle*. 1970.

BRUNHES, J., RHAIM, A, GEOFFROY, B. et al. Les moustiques de l'Afrique méditerranéenne. [CD-ROM]. [Montpellier, France]: IRD diffusion, 2000.

CLEMENTS, A.N.

The Physiology of Mosquitoes. Londres : Pergamon Press, 1963, 393p.

COSTELLO, R.A. et BRUST, R.A.

Longevity of *Aedes vexans* under different temperatures and relative humidities in the laboratory.

J. Econ. Entomol, 1971, **64**, 324-325.

CRAIG, G. B.

Mosquitoes : female monogamy induced by male accessory gland substance.

Science, 1967, **156**, 1499-1501.

DETINOVA, T.S.

Méthodes à appliquer pour classer par groupes d'âge les Diptères présentant une importance médicale, notamment certains vecteurs du paludisme.

In : Série de Monographies. OMS, 1963, **47**.

DIALLO, M.

Dynamique comparée des populations de *Culicidae* à Kédougou (zone soudano-guinéenne) et à Barkédji (zone de savane sahélienne): conséquences dans la transmission des arbovirus.

Mémoire de DEA : biologie animale : Dakar (Sénégal), Université Cheikh Anta Diop: 1995. 87p.

DIALLO, M.

Ecologie et transmission d'arbovirus à vecteurs culicidiens au Sénégal. Thèse de Doctorat Universitaire : biologie animale : Dakar (Sénégal, : Université Cheikh Anta Diop: 2000. 126p.

ELDRIDGE, B.F. et EDMAN, J.D.

Medical Entomology. Kluwer Academic Publisher, 2000.

FARAN, M.E. et LINTHICUM, K.L.

A handbook of the Amazonian species of *Anopheles (Nyssorhynchus)* (Diptera : *Culicidae*). *Mosquito Systematic*, 1981, **13** (1), 1-81.

FONTENILLE, D., TRAORE-LAMIZANA, M., ZELLER, H. et al.

Short report: Rift Valley fever in western Africa: isolations from *Aedes* mosquitoes during an interepizootic period.

Am J Trop Med Hyg, 1995, **52** (5), 403-404.

FONTENILLE, D., TRAORE-LAMIZANA, M., DIALLO, M. et al.

New vectors of Rift Valley fever in West Africa.

Emerg Infect Dis, 1998, **4** (2), 289-293.

FONTENILLE, D.

Clés d'identification des genres chez les culicidés; clés d'identification des espèces du genre *Aedes* présentes dans le Ferlo, au Sénégal.

Communication personnelle.

FUCHS, M.S., CRAIG, G.B., DESPOMMIER, D.D.

The protein nature of the substance inducing female mombamy in *Aedes aegypti*.

J. Insect. Physiol., 1969, **15**, 701-709.

GILLIES, M.T. et WILKES, T.J.

A comparison of the range of attraction of animal baits and of carbon dioxide for some West African mosquitoes.

Bull. Entomol. Res., 1969, **59**, 441-456.

GILLIES, M.T. et WILKES, T.J.

The range of attraction of single baits for some West African mosquitoes.

Bull. Entomol. Res., 1970, **60**, 225-235.

GILLIES, M.T. et WILKES, T.J.

The range of attraction of animal baits and carbon dioxide for mosquitoes. Studies in a freshwater area of West Africa.

Bull. Entomol. Res., 1972, **61**, 389-404.

GJULLIN, C.M., YATES, W.W. et STAGE, H.H.

Studies on *Aedes vexans* (Meig.) and *Aedes stricticus* (Meig.) floodwater mosquitoes in the lower Columbia River Valley.

Ann. Ent. Soc. Amer., 1950, **43**, 262-275.

HORSFALL, W. R.

Eggs of floodwater mosquitoes III (Diptera : Culicidae). Conditioning and hatching of *Aedes vexans*.

Ann. Ent. Soc. Amer., 1956, **49**, 66-71.

HORSFALL, W. R., FOWLER, H.W., MORETTI, Jr.L.J et al.

Bionomics and embryology of the inland floodwater mosquito *Aedes vexans*. Urbana : University of Illinois Press, 1973.

HUANG, Y.M. et WARD, A.

Pictorial Key for the Identification of the mosquitoes Associated with Yellow Fever in Africa. *Mosquito Systematics*, 1981, **13** (2), 138-149.

INSTITUT PASTEUR DE DAKAR

Rapport sur le fonctionnement technique, 1998.

JUPP, P. et CORNEL, A.

Vector competence test with Rift valley fever virus and five South African species of mosquito.

J Am Mosq Control Assoc, 1988, **4** (1), 4-8.

LEFEVRE, P.C.

Actualité de la fièvre de la vallée du Rift. Quels enseignements tirer des épidémies de 1977 et 1987?

Med. Trop., 1997, **57**, 61-64.

LOGAN, T.M. et LINTHICUM, K.J.

Egg hatching of *Aedes* mosquitoes during successive floodings in a Rift Valley fever endemic area in Kenya.

J Am Mosq Control Assoc., 1991, **7** (1), 109-112.

McHAFFEY, D.G.

Photoperiod and temperature influences on diapause in eggs of the floodwater mosquito *Aedes vexans* (Meigen) (Diptera: Culicidae).

Med Entomol., 1972, **9** (6), 564-571.

McIVER, S.B. et McELLIGOT, P.E.

Effects of release rates on the range of attraction of carbon dioxide to some southwestern Ontario mosquito species.

J Am Mosq Control Assoc., 1989, **5** (1), 6-9.

MONDET, B.

Application de la méthode de Polovodova à la détermination de l'âge physiologique des *Aedes* (diptera : Culicidae) vecteurs de fièvre jaune.

Ann. Soc. Entomol. Fr., 1983, **29** (1), 61-76.

NASCI, R.S.

Variations in the blood-feeding patterns of *Aedes vexans* and *Aedes trivittatus* (Diptera: Culicidae).

J Med Entomol., 1984, **21** (1), 95-99.

PETRIC, D., ZGOMBA, M., LUDWIG, M. et al.

Dependence of CO₂-baited suction trap captures on temperature variations.

J Am Mosq Control Assoc., 1995, **11** (1), 6-10.

RODHAIN, F. et PEREZ, C.

Précis d'entomologie médicale et vétérinaire.

Paris : Maloine, 1985, 458p.

RODHAIN, F.

Le fonctionnement des systèmes virus-vecteurs.

Ann. Soc. Belg. Méd. Trop., 1991, **71** (Suppl.1), 189-199.

ROOKER, J.R., READ, N.R., SMITH, M.E. et al.

A whole-person sampler for assessing numbers of host-seeking adult mosquitoes.

J Am Mosq Control Assoc., 1994, **10** (1), 127-130.

ROZEBOOM, L.E., ROSEN, L., et IKEDA, J.

Observations on oviposition by *Aedes (S.) albopictus* Skuse and *A. (S.) polynesiensis* Marks in nature.

J. Med. Entomol., 1973, **10**, 397-399.

SHROYER, D.A. et SANDERS, D.P.

The influence of carbohydrate-feeding and insemination on oviposition of an Indiana strain of *Aedes vexans* (Diptera: culicidae).

J Med Entomol., 1977, **14** (1), 121-127.

TURELL, M.J. et BAILEY, C.L.

Transmission studies in mosquitoes (*Diptera : Culicidae*) with disseminated Rift Valley Fever virus infections.

J Med Entomol., 1987, **24** (1), 8-11.

VAN HANDEL, E. et DAY, J.F.

Correlation between wing length and protein content of mosquitoes.

J Am Mosq Control Assoc., 1989, **5** (2), 180-182

ZELLER, H.G., FONTENILLE, D., TRAORE-LAMIZANA, M et al.

Enzootic activity of Rift Valley fever virus in Senegal.

Am J Trop Med Hyg., 1997, **56** (3), 265-272.