جامعة سيدي محمد بن عبد الله بفاس
UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDALLAH DE FES
كلية العلوم ظهر المهراز فاس
FACULTE DES SCIENCES DHAR EL MEHRAZ FES

*N° d'Ordre* : **35/2021**

***Formation Doctorale :*** **Ressources Naturelles, Environnement et Développement Durable**

***Discipline*** : **Biologie**

***Spécialité :*** **Gestion et Valorisation des Bioressources**

***Laboratoire :*** **Biotechnologie, Conservation et Valorisation des Ressources Naturelles**

## THESE de DOCTORAT

Présentée par

**FILALI MOUATASSEM Touria**

# *Bioécologie des moustiques (Diptera : Culicidés) dans la région de Fès*

Soutenue le 16 / 07 / 2021 devant le jury composé de :

| | | |
|---|---|---|
| ***Pr. Hicham BEKKARI*** | ***Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fès*** | ***Président*** |
| ***Pr. Oumnia HIMMI*** | ***Institut Scientifique, Rabat*** | ***Rapporteuse*** |
| ***Pr. Aziz BOUCHELTA*** | ***Faculté des Sciences, Meknès*** | ***Rapporteur*** |
| ***Pr. Lahsen EL GHADRAOUI*** | ***Faculté* des *Sciences et Techniques*, Fès** | ***Rapporteur*** |
| ***Pr. Abdellatif JANATI IDRISSI*** | ***Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fès*** | ***Examinateur*** |
| ***Pr. Noureddine RAIS*** | ***Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fès*** | ***Examinateur*** |
| ***Pr. Raja GUEMMOUH*** | ***Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Fès*** | ***Directrice de thèse*** |
| ***Pr. Abdelhakim EL OUALI LALAMI*** | ***Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé, Fès*** | ***Co- Directeur de thèse*** |

**Année universitaire : 2020-2021**

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Professeur Mohamed BENLAMLIH, Doyen de la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Fès, Monsieur le Professeur Mohamed El HASSOUNI, Vice Doyen Chargé de la Recherche et de la Coopération Scientifique et Directeur du Centre d'Études Doctorales Sciences et Technologies, pour les efforts qu'ils déploient dans l'encouragement de la recherche scientifique.

J'exprime toute ma reconnaissance envers Madame BAHHOU Jamila, Professeur de microbiologie à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, et directrice du Laboratoire de Biotechnologie, Conservation et Valorisation des Ressources Naturelles pour m'avoir accueilli au sein de son laboratoire.

Mes remerciements sincères vont à Madame la Professeure Raja GUEMMOUH, enseignante de Faunistique, à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz, Coordonnatrice du Master EPE2D et Coordonnatrice de la Filière SVI pour avoir accepté de m'encadrer et de diriger cette thèse, qui m'a suivi tout au long de mon parcours doctoral. Je n'oublierai pas non plus qu'elle m'a consacré beaucoup de son temps précieux pour le travail systématique et jusqu'à la rédaction définitive du manuscrit, je tiens à vous exprimer chère professeure ma profonde gratitude pour votre encadrement, vos conseils et vos critiques constructives.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance et adresser mes remerciements les plus sincères à Monsieur le Professeur Abdelhakim EL OUALI LALAMI, Professeur de Biochimie et Entomologie Médicale et Directeur de l'Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé Fès, Direction régionale de la santé, Hôpital EL Ghassani pour son encadrement théorique et pratique, il a suivi de près tous mes travaux depuis le début de ma thèse malgré ses nombreuses occupations. J'ai trouvé en vous cher Professeur tant de valeurs scientifiques qu'humaines, tous mes respects, je n'oublierai jamais l'aide que vous m'avez apportée et votre soutien même dans les moments les plus difficiles de la rédaction.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance à Monsieur Hicham BEKKARI, Professeur de Génétique à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Fès. Il me

fait l'honneur de présider ce jury et de juger ce travail malgré ses nombreuses tâches. Veuillez agréer Monsieur l'expression de mon profond respect et ma haute considération.

Que Madame Oumnia HIMMI, Professeur Chercheur d'Ecologie animale à la Faculté des Sciences et à l'Institut Scientifique de Rabat trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance. Ses articles ont largement contribué à l'enrichissement et à l'achèvement de ce travail. Elle me fait l'honneur d'être rapporteur de ma thèse.
J'adresse également ma profonde gratitude et mes remerciements les plus vifs à Monsieur Lahsen EL GHADRAOUI, Professeur de Bioécologie à la Faculté *des* Sciences et Techniques *de* Fès, malgré ses nombreuses charges et occupations, il me fait l'honneur d'être rapporteur de ce travail.
Je voudrais exprimer ma gratitude et mes remerciements à Monsieur Aziz BOUCHELTA, Professeur de Biologie animale à la Faculté des Sciences, Meknès, Veuillez trouver ici cher Professeur, l'expression de ma haute considération. Je tiens à vous dire que c'est un grand honneur pour moi que vous soyez rapporteur de mon travail.

Je voudrais tout particulièrement exprimer ma reconnaissance à Monsieur Abdellatif JANATI IDRISSI, Professeur d'Ecologie générale II à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Fès, qui m'a appris à aimer l'écologie et nous a initié au travail de terrain, qui a toujours été là avec ces précieux conseils lors des traitements des données écologiques, je suis très heureuse qu'il soit examinateur de ce travail, merci cher Professeur.

Que Monsieur Noureddine RAIS, Professeur de Mathématiques à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Fès, trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères pour son aide très précieuse en tant qu'expert en statistique, c'est une immense joie que vous acceptiez de juger ce travail. C'est grâce à votre disponibilité, au temps que vous m'avez toujours consacré, à vos qualités et à vos compétences que j'ai eu de la chance de valoriser mes travaux et de les publier.

Mes remerciements vont aussi à ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé ou ont contribué à la réalisation de ce travail, en l'occurrence :

Je voudrais tout particulièrement exprimer ma reconnaissance à Madame Chafika FARAJ, chef du Laboratoire d'Entomologie de l'Institut National d'Hygiène de Rabat, elle m'a suivi depuis le début de cette thèse, c'est grâce à

elle que j'ai pu orienter mon travail, je ne la remercierai jamais assez pour sa relecture de tous mes articles, et pour la confirmation des espèces identifiées pour s'être intéressée à l'avancement de mon projet de recherche, sa disponibilité, ses compétences et sa large documentation personnelle qu'elle m'a toujours fait partager et pour ses conseils très précieux.

J'adresse également mes remerciements à Messieurs Mohammed ELKOHLI, Elhousseine LAKRAA, techniciens au Laboratoire d'Entomologie de l'Institut National d'Hygiène de Rabat qui m'ont fait profiter de leurs connaissances sur les Culicidés, et c'est grâce à eux que j'ai acquis la pratique et que j'ai appris les techniques de laboratoire et de terrain. Qu'ils trouvent ici l'assurance de ma sincère gratitude.

Je n'oublierai jamais l'aide précieuse du Pr. Mohcine FADIL Professeur à l'Ecole Normale Supérieure de Rabat, c'est grâce à lui que les traitements d'ACP et d'ACM ont faits ressortir tant de données enrichissantes dans ce travail. Je lui suis très reconnaissante, merci cher Professeur.

Que Madame BARI Amina, Professeur de Floristique et de Conservation et biodiversité végétale à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz trouve ici le témoignage de ma sincère gratitude pour le temps précieux qu'elle m'a consacré, pour avoir confirmé mes déterminations floristiques.

Un grand merci à toute l'equipe du laboratoire d'Epidémiologie et d'Hygiène du Milieu de Fès pour leur serviabilité.

Mes plus vifs remerciements vont également à Mademoiselle Fatima Zahra FAQIHI et Monsieur Hicham EL ASMI, doctorants en géologie pour leur aide remarquable, et à tous les doctorants de Biotechnologie, Conservation et Valorisation des Ressources Naturelles pour leur soutien durant l'exécution et la rédaction de ce travail.

A tous ceux que j'ai pu oublier et qui ont cru en moi et en ce projet, je vous remercie du fond du cœur.

Dédicaces

Je dédie ce travail

À ma mère,

Tu es ma ligne de vie. Tes prières et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études ;

À mon père,

Aucune dédicace ne serait éloquente à ton égard pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu as faits pour moi. Sans ta présence jamais je n'aurai pu réaliser les sorties sur le terrain ;

À mes frères

Adnane, Anas, Oussama, Zakaria, Hassan, Hatim .je vous suis reconnaissante d'avoir toujours cru en moi et de montrer de l'intérêt pour ce que je fais. J'espère du fond du cœur terminer le chemin de la vie à vos côtés;

À Ma sœur Roukia.

Tu m'as soutenue au quotidien tout au long de cette thèse;

À mes belle sœurs Charifa et Malika, à mes chères nièces Aya, Sara et à mon cher petit neveu Saâd. Puisse Dieu vous préserver et vous procurer santé et bonheur;

À Ma grand- mère,

A mes oncles et mes tantes,

Je vous dédie ce travail en témoignage de mes grands respects. Merci d'avoir pris régulièrement de mes nouvelles et de m'avoir toujours aidé d'aller de l'avant;

À mes cousine et cousins qu'ils trouvent ici l'expression de mes profondes prédilections;

À mes ami(e)s

Asmae, Bouchra, Codou, Fatima-zehra, Hanane, Hasnae, Hinde, Ihssane, Kassem, Mohammed, Mounaîm, Najwa, Narjiss, Nezha, Rachida, Safae, Sanae, Souad, Soumia, Youness. J'ai eu de la chance de vous rencontrer.

## Résumé

Les moustiques constituent un problème majeur de santé, en tant que vecteur potentiel de la transmission de nombreux agents pathogènes. Etudier l'inventaire, la dynamique, la biotypologie des espèces Culicidiennes et évaluer la perception de la population et les moyens de prévention et de lutte envers ces vecteurs de maladies au niveau de la région de Fès sont des étapes indispensables dans toute stratégie de lutte. Ce qui fait l'objectif de cette thèse.

Le travail de recherche sur le terrain a été mené entre Novembre 2015 et Décembre 2016, au niveau des gîtes étudiés à Fès. Le suivi de l'inventaire des Culicidés a été effectué sur 27 gîtes tous les deux mois, l'étude de la fluctuation saisonnière et celle des facteurs abiotiques et biotiques influençant la prolifération des espèces ont été réalisées par quinzaine au niveau de quatre gîtes représentatifs. L'échantillonnage des larves de moustiques a été fait via la méthode de « Dipping » en tenant compte des paramètres physico-chimiques et écologiques du milieu. La mesure de ces facteurs et la récolte des espèces présentes (flore et faune) ont été réalisées simultanément. Une enquête descriptive des connaissances de la population estudiantine sur les vecteurs de maladies (cas du paludisme) et sur les moyens de prévention et de lutte anti vectorielle a été menée de Janvier à Juillet 2020.

Les données recueillies ont été traitées par des indices écologiques de composition et de structure, à l'aide de l'Excel version 2007 et par des analyses statistiques via les logiciels R version 3.4.3 (2017) et SPSS version 23.0.

La récolte d'un total de 1531 larves de Culicidés, au niveau des différents gîtes prospectés, a révélé la présence de 11 espèces appartenant à deux sous-familles (Culicinae et Anophelinae) et cinq genres (*Anopheles, Culex, Culiseta, Aedes* et *Uranotaenia*). Les vecteurs majeurs du paludisme (*Anopheles maculipennis* s. l. et *Anopheles sergentii*) et les vecteurs principaux de la maladie de West Nile (*Culex pipiens, Culex theileri* et *Culex perexiguus*) ont été recueillis. Le suivi de la fluctuation saisonnière des espèces selon des facteurs abiotiques et biotiques a montré une hétérogénéité dans leurs répartitions spatio-temporelles. Subséquemment, leur abondance a été influencée principalement par les facteurs: saison, nature du gîte, pH, oxygène dissous, conductivité électrique, taux des solides dissous, salinité, turbidité, profondeur, présence de végétation et d'algues. Par ailleurs, l'étude des espèces accompagnant les moustiques Culicidés a révélé que les anophèles cohabitent harmonieusement avec les Hydropsychidae, les Tabanidae, les Dytiscidae et les Chironomidae. Les résultats des analyses factorielles (Analyse en Composantes Principales et Analyse des Correspondances Multiples) ont fait ressortir des groupements d'espèces répartis en fonction de plusieurs facteurs essentiellement l'oxygène dissous et le débit de l'eau. L'enquête sur la population estudiantine a montré un manque de connaissance sur les moustiques vecteurs de maladies. Ce qui nécessite le renforcement des efforts en matière de sensibilisation, d'information et d'éducation vis à vis de ces vecteurs d'interêt médical.

Les résultats de ce travail, original et le premier du genre dans la région de Fès et au Maroc, contribueraient certainement à l'apport d'informations pour la surveillance entomologique afin de mieux planifier et orienter les activités de la lutte anti vectorielle aux niveaux local et national.



**Mots clés** : Culicidés, Inventaire, Biotypologie, Dynamique, Facteurs abiotiques et biotiques, Espèces présentes, Perception, Fès, Maroc.

## Abstract

Mosquitoes are a serious health problem as a potential vector for the transmission of many pathogens. Studying the inventory, the dynamics, the biotypology of Culicidian species, assessing the perception of population, and the control and prevention means against these vectors of diseases in the region of Fez are key steps in any control strategy. This is the aim of this thesis.

The research fieldwork was conducted between November 2015 and December 2016, at the level of studied breeding sites in Fez. The inventory Monitoring Culicidae was conducted on 27 breeding sites every two months, the study of seasonal fluctuation and the biotic and abiotic factors influencing the proliferation of species were carried out fortnightly at four representative breeding sites. The sampling of mosquito larvae was done using the "Dipping" method, taking into account the environmental physicochemical and ecological parameters.The measurement of the physico-chemical parameters and the collection of species present (flora and fauna) were carried out simultaneously. A descriptive survey of the student population's knowledge of disease vectors (case of malaria) and the means of prevention and vector control was conducted from January to July 2020.

The data collected was processed through ecological indices of composition and structure, by using Excel version 2007 and statistical analyses using R version 3.4.3 (2017) and SPSS version 23.0 software.

The collection of 1531 Culicidae larvae, at the level of the different sites prospected, revealed the presence of 11 species belong to two subfamilies (Culicinae and Anophelinae) and five genera (*Anopheles*, *Culex*, *Culiseta*, *Aedes* and *Uranotaenia*). The principal vectors of malaria (*Anopheles maculipennis* s. l. and *Anopheles sergentii*) and the major vectors of West Nile disease (*Culex pipiens*, *Culex theileri*, and *Culex perexiguus*) have been collected.The monitoring of the seasonal fluctuation of the species based on abiotic and biotic parameters showed heterogeneity in their spatio-temporal distributions. Subsequently, their abundance was influenced mainly by the following factors: season, nature of the breeding sites, pH, dissolved oxygen, electrical conductivity, dissolved solids, salinity, turbidity, depth, vegetation, and presence of algae. Furthermore, the study of species accompanying Culicidae mosquitoes revealed that *Anopheles* cohabit harmoniously with Hydropsychidae, Tabanidae, Dytiscidae, and Chironomidae. Factor analysis results (Principal Component Analysis and Multiple Correspondence Analysis) revealed species groupings based on several factors, primarily dissolved oxygen and water flow. The survey of the student population showed a lack of knowledge about disease-carrying mosquitoes. This requires reinforcing efforts in terms of awareness, information, and education about these vectors of medical interest.

The findings of this original fieldwork, which was the first in the region of Fez and Morocco, would certainly contribute to the supply of information on entomological surveillance in order to better design and coordinate vector control activities at both local and national levels.



**Keywords**: Culicidae, Inventory, Biotypology, Dynamics, Biotic and abiotic factors, Species present, Perception, Fez, Morocco.

## TRAVAUX SCIENTIFIQUES

### Articles publiés

**1-Touria Filali Mouatassem**, Chafika Faraj, Raja Guemmouh, Noureddine Rais, Abdelhakim EL Ouali Lalami. Quantitative Inventory of Mosquito Larvae (Diptera: Culicidae) and Physicochemical Analysis of Aquatic Habitats in the Region of Fez, Morocco. Bulletin de la Societe de Pathologie Exotique. **2019**. 9 pages. DOI 10.3166/bspe-2019-0084

**2- Touria Filali Mouatassem**, Abdelhakim El Ouali Lalami, Chafika Faraj, Noureddine Rais, and Raja Guemmouh. Study of Abiotic and Biotic Parameters Affecting the Abundance of Mosquito Larvae (Diptera: Culicidae) in the Region of Fez (Morocco). Hindawi International Journal of Zoology. **2020**. ID 5429472. 7 pages. https://doi.org/10.1155/2020/5429472

**3- Touria Filali Mouatassem**, Abdelhakim El Ouali Lalami, Chafika Faraj, Noureddine Rais, Raja Guemmouh. Dynamique saisonnière des larves de Culicidae dans la région de Fès-Meknès, Maroc. MTSI-Bulletin (Ancien Bulletin de la Societe de Pathologie Exotique). **2021**. 5 pages. DOI : 10.48327/mtsi bulletin.n1.2021.89.

### Article soumis

**1- Touria Filali Mouatassem**, Chafika Faraj, Raja Guemmouh, Mouhcine Fadil, Noureddine Rais, Hicham El Asmi, Moussa Benboubker and Abdelhakim El Ouali Lalami. Biotypology of Culicidian species through the use of statistical analysis methods in the region of Fez (central Morocco). Interdisciplinary Perspectives on Infectious Diseases. **2021**.

### Communications orales et affichées

1- Communication par affiche à la 1ère Edition des Journées Scientifiques de l'ISPITS de Fès (JS ISPITSF), Institut Supérieur des Professions Infirmières et Techniques de Santé de Fès. «Inventaire et évaluation de la productivité en larves de moustiques (Diptera : Culicidae) vecteurs de maladies dans le centre Nord du Maroc».

2- Communication orale à la 1ère Journée Scientifique dédiée aux Doctorants à la Faculté des Sciences Dhar El Mehraz Fès. « Inventaire des moustiques Culicidés d'intérêt médical circulants au niveau des gites larvaires de la Région de Fès ».

3- Communication affichée au deuxième forum de biotechnologie. Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Pôle De Recherche « Biothechnologie ». « Surveillance de l'environnement au

centre du Maroc : Étude entomologique et inventaire des moustiques (Diptera, Culicidae) vecteurs de maladies ».

4- Communication orale à la Journée nationale de la FST: Impact des changements climatiques sur le fonctionnement des écosystèmes, Faculté des sciences et technique Fès». « Répartition et inventaire des moustiques (Diptera : Culicidae) vecteur de maladies au centre Maroc et impact des changements climatiques ».

5- Communication orale au Colloque International de l'ISPITS de Meknès « Les Sciences au Service de la Santé » 2ème édition. « Étude des paramètres biotique et abiotique régissant la distribution spatio-temporelle de la faune Culicidienne au centre du Maroc ».

6- Communication affichée au 1er forum des doctorants, Pôle de Recherche Eau et Environnement (PR2E), Faculté des sciences et techniques Fès. « Surveillance des vecteurs de maladies infectieuses : Inventaire et sensibilité aux insecticides des moustiques (Culicidés) de la région de Fès ».

# LISTE DES ABRÉVIATIONS

**$Co_2$** **:** Dioxyde de Carbone

**AChE** **:** Acetylcholinesterase

**ACM** **:** Analyse des Correspondances Multiples

**ACP** **:** Analyse en Composantes Principales

**ADN** **:** Acide DésoxyriboNucléique

***Ae*** **:** *Aedes*

***An*** **:** *Anopheles*

***B*** **:** *Brugia*

**Bti** **:** *Bacillus thuringiensis israelensis*

**C** **:** Distribution

**CA-GALT** **:** Correspondence Analysis on Generalised Aggregated Lexical Tables (Analyse de correspondances pour tableaux lexicaux agrégés généralisés)

**C.b.m** **:** *Clostridium bifermentans serovar malaysia*

**CDC** **:** Centers for Disease Contol and Prevention (Centres pour le contrôle et la prévention des maladies)

**COI** **:** Cytochrome Oxydase I

**CTAB** **:** HexadecylTrimethylAmmonium Bromide

***Cu*** **:** *Culiseta*

***Cx*** **:** *Culex*

**DDT** **:** DichloroDiphényl-Trichloréthane

**DELM** **:** Direction de l'Epidémiologie et de Lutte contre les Maladies

**eDNA** **:** environmental DNA

**F** **:** Fréquence d'occurrence

**GABA** **:** Acide ϒ-Amino-Butyrique

**GILAV** **:** Gestion Intégrée de la Lutte Anti- Vectorielle

**GLM** **:** Generalized Linear Model (Modèle Linéaire Généralisé)

**G6PD** **:** Glucose-6-Phosphate Déshydrogénase

**IEC** **:** Information, Éducation et Communication

**INH** **:** Institut National d'Hygiène

**IPM** **:** Institut Pasteur du Maroc

**ITS** **:** Internal Transcribed Spacer (Espaceur Interne Transcrit)

**LAMP** **:** Loop Mediated Isothermal Amplification (Amplification isotherme médiée par les boucles)

**LRDEHM :** Laboratoires Régionaux de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu

**MALDI-TOF :** Matrix Assisted Laser Desorption Ionization - Time of Flight

**MILDA** **:** Moustiquaire Impregnée d insecticide a Longue Duree d'Action

**MS** **:** Ministère de la Santé

**n** **:** nombre de sites où l'espèce a été trouvée

**N** **:** Nombre total de sites étudiés

**OMS** **:** Organisation Mondiale de la Santé

***P*** **:** *Plasmodium*

**PCR** **:** Polymerase Chain Reaction (Réaction de polymérisation en chaîne)

**pH** **:** potentiel Hydrogène

**ppm** **:** parties par millions

**TDS** **:** Taux des Solides Dissouts

**TIC** **:** Techniques de l'Information et de la Communication

***Tx*** **:** *Toxorhynchites*

***Ur*** **:** *Uranotaenia*

**UV** **:** UltraViolet

***W*** **:** *Wuchereria*

**WNV** **:** West Nile virus (virus du West Nile ou du Nil occidental)

# LISTE DES FIGURES

**Figure 1 :** Cycle de transmission vectorielle (SVT 2de Magnard, 2019). ..... 8
**Figure 2 :** Forme du corps d'un moustique adulte (Site web: Humanité et biodiversité). ..... 11
**Figure 3 :** Vue générale d'une larve de moustique (Culicinae) (Brunhes *et al*, 2000). ..... 12
**Figure 4 :** Forme générale de la nymphe des Culicidés (Anonyme, 2000). ..... 12
**Figure 5 :** Classification des espèces Afro-méditerranéenne (Brunhes *et al*., 1999). ..... 13
**Figure 6 :** Principales caractéristiques morphologiques distinctives entre les *Anopheles*, les *Aedes* et les *Culex* (Lane *et al*., 1993). ..... 14
**Figure 7 :** Piège lumineux du CDC (https://fsnv.univ-setif.dz). ..... 15
**Figure 8 :** Piège pondoir (Site web : EID Rhône-Alpes). ..... 16
**Figure 9 :** Cycle de vie des Culicidés (Site Web Oscar à la ligne, 2020). ..... 18
**Figure 10 :** Forme des œufs des moustiques. ..... 19
**Figure 11 :** Moustique infecté du genre anophèle (Site web : INSECT ECRAN, 2020). ..... 27
**Figure 12 :** Cycle évolutif du plasmodium (Source CDC). ..... 29
**Figure 13 :** Moustique du genre *Aedes* (Site web : Doctissimo, 2018). ..... 31
**Figure 14 :** Localisation de la zone d'étude. ..... 47
**Figure 15 :** Localisation des gîtes échantionnés dans la région de Fès. ..... 48
**Figure 16 :** Types d'habitats étudiées (Photos personnelles, 2016). ..... 51
**Figure 17** : Localisation des quatre gîtes représentatifs. ..... 53
**Figure 18 :** Technique d'échantillonnage des larves de moustiques via la méthode de «Dipping » (Photos personnelles, 2016) ..... 54
**Figure 19 :** Technique de mesure des paramètres physico-chimiques ..... 55
**Figure 20 :** Répartition des moustiques dans les gîtes positifs. ..... 66
**Figure 21 :** Carte de répartition des espèces en fonction des localités et des altitudes. ..... 76
**Figure 22 :** Abondances relatives des espèces de Culicidés récoltées au niveau des gîtes représentatifs de la région de Fès (Novembre 2015 à Novembre 2016). ..... 82
**Figure 23 :** Répartition des espèces de Culicidés récoltées dans les quatre gîtes étudiés. ..... 82
**Figure 24 :** Variations spatio-temporelles du nombre des Culicidés dans les gîtes d'étude. ..... 84
**Figure 25 :** Évolution saisonnière des effectifs larvaires des Culicidés dans quatre biotopes différents de la région de Fès. ..... 85
**Figure 26 :** Barplot sous R horizontal des abondances des espèces de Culicidés omniprésentes récoltées au niveau des gîtes représentatifs de la région de Fès (Novembre 2015 à Novembre 2016). ..... 85
**Figure 27 :** Résultats de CA-GALT sur les 2 premiers axes totalisant plus de 78% de l'inertie ..... 88
**Figure 28 :** Lentilles d'eau *Lemna* sp de la famille des Lemnaceae. (Photo personnelle, 2016). ..... 93
**Figure 29 :** *Phragmites sp*. de la famille des Poaceae (Photos personnelles, 2016). ..... 94
**Figure 30 :** Herbacées *Juncus* sp de la famille des Juncaceae (Photo personnelle, 2016). ..... 94
**Figure 31 :** *Typha sp* de la famille des Typhaceae (Photo personnelle, 2016). ..... 95
**Figure 32 :** Graminée vivace de la famille des Poaceae (Photo personnelle, 2016). ..... 95

**Figure 33 :** *Najas marina*. L. de la famille des·Hydrocharitaceae (Photo personnelle, 2016). ..... 96
**Figure 34 :** *Polypogon monspeliensis* (L) de la famille des Poaceae (Photo personnelle, 2016)..... 96
**Figure 35 :** Algues vertes source Douwar Lhandiya (Photo personnelle, 2016)..... 97
**Figure 36 :** Exemples des familles d'invertébrés aquatiques recensés (Delaunay, 2016)..... 97
**Figure 37 :** Graphique des valeurs propres. ..... 108
**Figure 38 :** Projection des paramètres physicochimiques selon le plan factoriel $F_1$x$F_2$. ..... 108
**Figure 39 :** Distribution des espèces de Culicidae de la région de Fès selon le plan $F_1$-$F_2$. . 109
**Figure 40 :** Graphique Biplot des paramètres physico-chimiques et des espèces culicidienne. ..... 110
**Figure 41 :** Projection des variables étudiées selon l'ACM. ..... 111
**Figure 42 :** Étude des corrélations entre les espèces végétales étudiées et de leurs effets discriminant sur les espèces de moustiques. ..... 112
**Figure 43 :** Étude des corrélations les espèces de moustiques selon le milieu floristique. ... 113
**Figure 44 :** Étude conjointe des espèces de moustiques et des espèces végétales. ..... 114
**Figure 45 :** Étude des corrélations entre les espèces animales étudiées et de leurs effets discriminant sur les espèces de moustiques. ..... 116
**Figure 46 :** Étude des corrélations les espèces de moustiques selon les variables faunistiques. ..... 117
**Figure 47 :** Projection conjointe des espèces de moustiques et des espèces animales..... 118
**Figure 48 :** Connaissance du paludisme chez les étudiants en %..... 123
**Figure 49 :** Origine du paludisme selon les étudiants. ..... 123
**Figure 50 :** Moyen de transmission du paludisme selon les étudiants. ..... 124
**Figure 51 :** Symptômes du paludisme selon des étudiants..... 124
**Figure 52 :** Connaissance de la dangerosité des insectes chez les étudiants. ..... 124
**Figure 53 :** Connaissance des moustiques vecteurs du paludisme chez les étudiants..... 125
**Figure 54 :** Moustiques responsables de la transmission du paludisme selon les étudiants. 125
**Figure 55 :** Nourriture des moustiques vecteurs du paludisme selon les étudiants..... 125
**Figure 56 :** Lieux de reproduction des vecteurs du paludisme selon les étudiants. ..... 126
**Figure 57 :** Période d'activité des vecteurs du paludisme selon les étudiants..... 126
**Figure 58 :** Méthodes de lutte contre les moustiques selon les étudiants..... 126
**Figure 59 :** Moyens de lutte contre les moustiques selon les étudiants. ..... 127
**Figure 60 :** Moyens de prévention selon les étudiants. ..... 127

# LISTE DES TABLEAUX

**Tableau 1:** Moyennes des précipitations mensuelles de la région de Fès durant la période d'étude..... 46
**Tableau 2 :** Coordonnées géographiques des gîtes étudiés..... 49
**Tableau 3 :** Calcul de la taille d'échantillon. ..... 57
**Tableau 4 :** Liste des Culicidés identifiés dans la région de Fès (Maroc). ..... 65
**Tableau 5 :** Modèles retenus de l'analyse de la distribution des espèces en fonction du type de gîtes et des paramètres physico-chimiques..... 67
**Tableau 6 :** Résultats significatifs de la répartition des espèces en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau et du type de gîtes. ..... 67
**Tableau 7 :** Résultats significatifs du facteur abiotique et biotique affectant la distribution des espèces..... 77
**Tableau 8 :** Matrice *Mondrian* des variations spatio-temporelles du nombre de Culicidés abondamment présent dans les gîtes d'étude. ..... 87
**Tableau 9:** Répartition quantitative de l'ensemble des espèces de moustiques Culicidés récolté entre Novembre 2015 et Décembre 2016..... 103
**Tableau 10 :** Associations faunistiques des espèces de moustiques Culicidés récoltés..... 104
**Tableau 11 :** Valeurs des moyennes et des écarts types des paramètres physico-chimiques relevées en fonctions de la présence de chaque espèce.p..... 105
**Tableau 12 :** Variation des gîtes de pontes selon les espèces. ..... 105
**Tableau 13 :** Tableau indiquant la relation entre la présence des espèces Culicidienne avec la végétation. ..... 106
**Tableau 14 :** Tableau indiquant l'association des espèces avec la faune aquatique. ..... 107
**Tableau 15 :** Valeurs propres et pourcentages d'inertie des axes de l'analyse ACP. ..... 108
**Tableau 16 :** Récapitulatif du Score alpha de Cronbach, des valeurs propres et de la variabilité expliquée pour les deux premiers axes..... 110
**Tableau 17 :** Récapitulatif du traitement des observations ..... 112
**Tableau 18 :** Récapitulatif du traitement des observations. ..... 115
**Tableau 19 :** Suggestions des étudiants en matière d'amélioration des connaissances et dans le cadre de la prévention en lien avec les vecteurs de maladies infectieuses..... 128

**TABLE DES MATIÈRES**

INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 1

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE ..... 7

I. MALADIES À TRANSMISSION VECTORIELLE ..... 7

I.1. Généralités ..... 7

I.2. Cycle de transmission vectorielle ..... 8

I.3. Mécanismes de la transmission vectorielle ..... 8

I.4. Facteurs influençant la transmission vectorielle ..... 9

II. MOUSTIQUES VECTEURS DE MALADIES ..... 10

II.1. Description des moustiques ..... 10

II.2. Systématique ..... 13

II.3. Méthodes de piégeage ..... 15

II.4. Méthode d'identification des moustiques (Diptera: Culicidae) ..... 16

II.4. 1.Identification morphologique ..... 16

II.4. 2. Identification par des techniques cytogénétiques ..... 16

II.4. 3. Identification par des techniques d'analyses iso-enzymatiques ..... 16

II.4. 4. Identification moléculaire ..... 17

II.5. Bioécologie des moustiques ..... 18

II.5.1. Cycle de vie des Culicidés ..... 18

II.5.1.1. Œufs ..... 19

II.5.1.2. Larves ..... 20

II.5.1.3. Nymphes ..... 20

II.5.1.4. Adultes ..... 20

II.5.2. Cycle gonotrophique des Culicidés ..... 21

II.5.3. Préférence trophique des Culicidés ..... 21

II.5.4. Habitat de reproduction des Culicidés ..... 21

II.6. Facteurs favorables au développement des Culicidés ..... 23

II.7. Rôle des moustiques ..... 25

II.7.1. Rôle écologique des moustiques ..... 25

II.7.2. Rôle pathogène des moustiques ..... 26
II.7.2. 1. Principales maladies causées par la famille des Culicidés à l'échelle mondiale 26
II.7.2. 2. Maladies causées par la famille des Culicidés à l'échelle nationale et locale ... 34
III. CONTRÔLE DES MALADIES VECTORIELLES ..... 35
III.1. Méthodes de prévention et de protection individuelles et collectives ..... 36
III.1.1. Protection contre les piqûres de moustiques ..... 36
III.1.2. Vaccination ..... 36
III.1.3. Chimioprophylaxie ..... 37
III.2. 1. Lutte anti-larvaire ..... 37
III.2.1.1. Contrôle chimique antilarvaire par les insecticides organiques de synthèse ..... 38
III.2.1.2. Lutte mécanique antilarvaire ..... 38
III.2.1.3. Lutte biologique antilarvaire ..... 38
III.2.2. Lutte contre les adultes ..... 41
III.2.2.1. Lutte chimique anti-imaginale ..... 41
III.2.2.2. Lutte génétique anti-imaginale ..... 42
III.2.2.3. Lutte biologique anti-imaginale ..... 43
III.2.2. 4. Lutte physique anti-imaginale ..... 43
III.2.3. Amélioration de la lutte anti-vectorielle en biais de la mobilisation sociale ..... 43
MATÉRIEL ET MÉTHODES ..... 46
I. MILIEU D'ÉTUDE ..... 46
I.1. Gîtes étudiés ..... 48
I.2. Choix des gîtes représentatifs ..... 52
II. PÉRIODE D'ÉTUDE ..... 53
III. TRAVAIL AU TERRAIN ..... 54
III.1. Techniques d'échantillonnage ..... 54
III.2. Étude de l'habitat larvaire ..... 55
IV. TRAVAIL AU LABORATOIRE ..... 55
V. PERCEPTION DE LA POPULATION ENVERS LES VECTEURS CULICIDÉS ..... 56

V.1. Population de l'étude ..... 56
V.2. Echantillonnage ..... 56
V.3. Méthodes et instruments de collecte des données ..... 57
V.4. Critères du questionnaire destiné à la population estudiantine ..... 58
VI. TRAITEMENT DES DONNÉES ..... 58
VI.1. Analyse des données de l'inventaire et évaluation de la productivité en larves de moustiques (Diptera : Culicidae) dans la région de Fès ..... 58
VI.1.1. Analyses des données par les indices écologiques ..... 58
VI.1.2. Étude de la biotypologie de la faune Culicidienne dans la région de Fès par le modèle linéaire généralisé : ..... 59
VI.2. Analyse des données de l'étude des paramètres abiotiques et biotiques affectant l'abondance des larves de moustiques (Diptera : Culicidae) dans les quatre sites représentatifs de la région de Fès ..... 60
VI.3. Analyse des données de l'étude de la dynamique saisonnière de la faune Culicidienne à l'état larvaire de la région de Fès ..... 61
VI.4. Analyse des données de l'investigation entomologique et caractérisation des espèces de l'ensemble des gîtes larvaires étudiés dans la région de Fès par l'utilisation des méthodes d'analyses factorielles ..... 61
VI.5. Analyse des données recueillies auprès de la population estudiantine sur leurs perception envers le vecteur du paludisme et les moyens de préventions et de lutte anti-vectorielle ..... 62
RÉSULTATS ET DISCUSSION ..... 63
**CHAPITRE I :** INVENTAIRE ET ÉVALUATION DE LA PRODUCTIVITÉ EN LARVES DE MOUSTIQUES (DIPTERA : CULICIDAE) DANS LA RÉGION DE FÈS ..... 64
Introduction……. ..... 64
Résultats …….. ..... 65
Discussion……. ..... 69
Conclusion……. ..... 73
**CHAPITRE II :** ÉTUDE DES PARAMÈTRES ABIOTIQUES ET BIOTIQUES AFFECTANT L'ABONDANCE DES LARVES DE MOUSTIQUES (DIPTERA:CULICIDAE), DANS LA RÉGION DE FÈS ..... 74
Introduction……. ..... 74

Résultats…… ..... 75

Discussion……. ..... 78

Conclusion……..... 80

**CHAPITRE III :** ÉTUDE DE LA FLUCTUATION SAISONNIÈRE DE LA FAUNE CULICIDIENNE A L'ÉTAT LARVAIRE DANS LA RÉGION DE FÈS..... 81

Introduction……. ..... 81

Résultats…… ..... 81

Discussion…… ..... 89

Conclusion……..... 91

**CHAPITRE IV:** ÉTUDES DE LA FAUNE ET DE LA FLORE COLONISANT LES GÎTES DES ESPECÈS CULICIDIENNES ..... 92

Introduction……. ..... 92

Résultats…… ..... 93

**a.** Éspèces végétales présentes dans les gîtes de moustiques Culicidés: ..... 93

**b.** Espèces animales présentes dans les gîtes de moustiques Culicidés: ..... 97

Conclusion……..... 101

**CHAPITRE V:** BIOTYPOLOGIE DES ESPÈCES CULICIDIENNES PAR L'UTILISATION DES MÉTHODES D'ANALYSES STATISTIQUES : ACP ET ACM.....102

Introduction……. ..... 102

Résultats…… ..... 103

Discussion……. ..... 119

Conclusion……..... 121

**CHAPITRE VI :** ÉTUDE DES CONNAISSANCES DE LA POPULATION ESTUDIANTINE DE LA VILLE DE FÈS ET DES MOYENS DE LUTTE ET DE PRÉVENTION ANTI VECTORIELLE ENVERS LES VECTEURS DE MALADIES (CAS DU PALUDISME)..... 122

Introduction……. ..... 122

Résultats…… ..... 122

a. Caractéristiques de la population étudiée: ..... 122

b. Perception vis-à-vis de la maladie du paludisme: ..... 123

c. Perception vis-à-vis des vecteurs des maladies : cas du paludisme: ..... 124

d. Perception vis-à-vis des moyens de prévention et de lutte contre les vecteurs de transmission du paludisme: ..... 126

Discussion……. ..... 128

Conclusion……..... 130

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES ..... 132

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 137

WEBOGRAPHIE……...164

ANNEXES…… ..... 165

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les moustiques (Diptera: Culicidae) constituent les insectes hématophages piqueurs suceurs. Ils occupent une place importante dans la faune aquatique et terrestre ainsi que dans la transmission des maladies. Ils sont les principaux vecteurs de plusieurs agents pathogènes humains et animaux qui figurent parmi les principales causes de la morbidité et la mortalité dans le monde. Leurs effets sont perceptibles non seulement sur la santé mais également sur le développement socio-économique des pays touchés et principalement les pays tropicaux.

Il existe plus de 3500 espèces de moustiques Culicidés dans le monde, parmi lesquels les moustiques d'importance médicale sont largement répandus (Lorenz *et al*., 2019). Un total de 23 d'entre eux sont reconnus au Maroc comme des vecteurs potentiels de transmission d'agents pathogènes (Trari *et al*., 2017).

Ces moustiques sont à l'origine de plusieurs maladies à transmission vectorielle telles que le paludisme, la dengue, la Chikungunya, la fièvre du Nil occidental, la fièvre jaune, la fièvre de la vallée du Rift, l'encéphalite équine, l'encéphalite japonaise, l'encéphalite de Saint Louis. Celles-ci sont des maladies transmises d'un hôte vertébré infecté à un autre par l'intermédiaire d'un Arthropode hématophage (Marc *et al*., 2016) et peuvent être évitables, grâce à l'application des mesures de protection et à la mobilisation communautaire. Les maladies à transmission vectorielle sont responsables de plus de 17% des maladies infectieuses, et provoquent plus d'un million de décès chaque année (OMS, 2020a). Elles constituent ainsi un problème majeur de santé publique.

À l'instar de plusieurs pays, le Maroc est aussi confronté à l'émergence de maladies à transmission vectorielle dont le traitement et le suivi sont d'un grand intérêt. Quoique le Maroc ait adhéré au programme de la lutte instaurée par l'OMS pour mieux cerner ces pathologies, le danger d'introduction des maladies vectorielles émergentes et ré-émergentes, spécialement les arboviroses comme zika et la dengue, demeure toujours existant (Ameur *et al*., 2018). Vu cette situation, la déclaration de certaines maladies vectorielles telles que les leishmanioses, la fièvre du Nil occidental, la fièvre de la Vallée du Rift, la fièvre jaune et le paludisme est obligatoire (Bulletin Officiel, 1995 ; Ministère de la Santé, 2014). Bien que la situation épidémiologique au niveau de notre pays des principales maladies transmises par les vecteurs, soit bien maîtrisée.

Au Maroc, le nombre d'espèces de Culicidés compte actuellement 43 espèces dont deux sont confirmées être impliquées dans la transmission de maladies à savoir : *Anopheles labranchiae* et *Culex pipiens*. Ces moustiques constituent les insectes les plus nuisibles aux populations et continuent de transmettre dans le monde des maladies infectieuses en particulier le paludisme et la Fièvre de West Nile. Ces maladies peuvent donner lieu à des poussées épidémiques (Rguig *et al*., 2012) et engendrer des risques sanitaires graves. Notons qu'au Maroc, le paludisme autochtone a été éliminé depuis l'an 2005 (El Ouali Lalami *et al.*, 2009) par la mise en place d'un plan de veille et de prévention intégrant la surveillance épidémiologique et entomologique (Ministère de la Santé, 2016). Ainsi, notre pays a été déclaré et certifié par l'OMS indemne du paludisme autochtone en 2010. Malgré ces efforts, le paludisme d'importation reste une préoccupation majeure à cause d'une moyenne de 255,6 cas enregistrée entre les années 2012 et 2016. De plus, le nombre des cas de paludisme importé a connu également une augmentation allant de 266 en 2016 à 309 en 2017 (Maaroufi *et al*., 2018).

Le renforcement des capacités en matière de surveillance et de lutte antivectorielle ne peuvent être influents que par l'adoption d'une veille sanitaire stricte et l'application des règlements sanitaires locaux et internationaux. C'est le rôle qui a été attribué aux sites sentinelles via les Unités d'Entomologie Médicale implantées depuis l'année 2003 au niveau des Laboratoires Régionaux de Diagnostic Epidémiologique et d'Hygiène du Milieu (LRDEHM) relevant des Directions Régionales de la Santé. L'Institut National d'Hygiène (INH) et l'Institut Pasteur du Maroc (IPM) ainsi que la Direction de l'Epidémiologie et de Lutte contre les maladies (DELM) font partie des départements de l'organigramme du Ministère de la Santé impliqués également dans les processus de surveillance et de lutte contre les maladies à transmission vectorielle.

La lutte contre ces maladies transmises par des vecteurs et provoquées par des parasites, des virus ou des bactéries, nécessite d'agir contre le vecteur et l'agent infectieux. La lutte contre ce dernier se base sur un dépistage de l'infection, un diagnostic précoce et par des médicaments conçus dans le cadre de la chimiothérapie. Tandis que la lutte antivectorielle fait appel, en plus de la surveillance du vecteur, à quatre axes principaux à savoir : le contrôle physique, le contrôle chimique, le contrôle biologique et le contrôle génétique.

Rappelons que les moustiques, se distribuent sur de grandes surfaces et couvrent la plupart des zones d'habitat. C'est ce qui a poussé les chercheurs à mieux comprendre la relation

vecteur-milieux. Ainsi, la modification de l'aire de distribution des vecteurs et l'apparition de nombreuses espèces invasives exigent l'amélioration des connaissances sur les gîtes larvaires, le biotope nécessaire à la survie des stades pré-imaginaux et la reproduction des adultes (Morin *et al*., 2013), afin de bien identifier le lieu de développement des moustiques. Certains auteurs, ont aussi signalé que les caractéristiques physico-chimiques des sites de reproduction des moustiques pouvant avoir un certain effet sur l'oviposition /la ponte, la survie et la distribution spatiale des moustiques vecteurs (Emidi *et al*., 2017).

De nos jours, de nombreuses espèces de moustiques qui n'existaient pas avant, font leur apparition. D'ailleurs, la prolifération considérable des Culicidés dans certaines régions du pays, exige une véritable lutte durant la saison propice à leur invasion. La réduction des nuisances est en faveur des campagnes de démoustication. L'efficacité de telles luttes est tributaire à la connaissance de ces insectes. Ainsi, l'étude de leurs distributions, de leurs comportements et de leur écologie est indispensable pour aboutir à la maitrise et au contrôle des maladies qu'elles causent.

Des facteurs tels que les changements climatiques, la modification des écosystèmes sont également en faveur d'émergence ou réémergence des maladies à transmission vectorielle (Rodhain, 2000) et doivent être étudiés et pris en compte. La distribution et l'abondance de nombreuses espèces impliquées dans la transmission de l'agent pathogène sont aussi fortement influencées par les exigences en matière d'habitat.

La connaissance de l'influence des facteurs de l'habitat sur la production larvaire est essentielle à la compréhension des schémas de la distribution spatiale et temporelle des espèces de moustiques vecteurs et à l'évaluation des habitats des moustiques larvaires (Khawling *et al*., 2014). Aussi, la sensibilisation et l'éducation de la population envers les problèmes sanitaires liés notamment aux moustiques sont indispensables pour la lutte contre ces vecteurs. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif général de notre étude intitulée :

« Inventaire, dynamique et biotypologie des espèces Culicidiennes, perception de la population, moyens de prévention et de lutte envers ces vecteurs de maladies au niveau de la région de Fès ».

Nos travaux ont consisté à récolter toutes les espèces susceptibles d'être rencontrées dans la région centre Nord du Maroc et d'acquérir une vaste connaissance des moustiques Culicidés. Ceci avait pour but de savoir où, quand et comment se développent les moustiques.

Ainsi, nous nous sommes intéressés à l'inventaire et la biotypologie de la faune Culicidienne, tout particulièrement à l'évaluation de la productivité des larves de moustiques dans différents types de gîtes et à l'étude des paramètres physico-chimiques du milieu régissant leurs distributions. Nous avons aussi étudié les paramètres abiotiques et biotiques affectant l'abondance des larves de moustiques, dans la région de Fès et nous avons suivi la répartition spatiale et la dynamique saisonnière de cette faune, puis nous les avons traitées à l'aide des analyses statistiques sous le logiciel R.

En plus, nous avons entrepris une étude préliminaire basée sur une étude qualitative des espèces présentes dans les gîtes des moustiques dans l'objectif d'identifier les plantes et les espèces animales indicatrices de la présence des moustiques. Nous avons tenté également d'élucider la corrélation entre les facteurs environnementaux et les caractéristiques bioécologiques de chaque espèce. Des méthodes d'analyses statistiques (Analyse en Composantes Principales (ACP) et Analyse des Correspondances Multiples (ACM)) ont été utilisées via les logiciels SPSS et Unscrambler. Aussi, nous avons pu étudier la perception de la population envers les moustiques vecteurs de maladies grâce à un questionnaire. Le vecteur du paludisme a été pris comme exemple.

L'originalité de ce travail relève du fait qu'aucune étude entomologique du genre n'a été réalisée dans cette zone d'étude et au Maroc, à l'exception de deux travaux limités dans le temps et dans l'espace (El Ouali Lalami *et al*., 2010a, El Ouali Lalami *et al*., 2010b). En plus, aucune enquête considérée comme un outil d'aide pour évaluer la connaissance des populations de Fès vis-à-vis des vecteurs de maladies à transmission vectorielle n'a été effectuée auparavant.

Après une introduction générale, nous avons développé ce manuscrit en trois parties :

- La première partie traite une étude bibliographique. Elle recueille des données sur les maladies à transmission vectorielle et les Culicidés vecteurs de maladies ;
- La deuxième partie développe le matériel et les méthodes utilisées. Elle présente le milieu d'étude, la méthodologie adoptée sur le terrain et au laboratoire ainsi que l'outil statistique utilisé pour traiter les données et valider les résultats trouvés ;
- La troisième partie est constituée de six chapitres qui regroupent les résultats obtenus accompagnés d'une discussion. Ces résultats sont soutenus par des indices écologiques et par des analyses statistiques. Les six chapitres relatent :

- ✓ Chapitre I : Inventaire et évaluation de la productivité en larves des moustiques (Diptères : Culicidés) dans la région de Fès ;
- ✓ Chapitre II : Étude des paramètres abiotiques et biotiques affectant l'abondance des larves de moustiques (Diptères : Culicidés), dans la région de Fès ;
- ✓ Chapitre III : Étude de la fluctuation saisonnière de la faune Culicidienne à l'état larvaire dans la région de Fès ;
- ✓ Chapitre IV: Étude de la faune et de la flore colonisant les gîtes des espèces Culicidiennes ;
- ✓ Chapitre V: Biotypologie des espèces Culicidiennes par l'utilisation des méthodes d'analyses statistiques : ACP et ACM ;
- ✓ Chapitre VI : Étude des connaissances de la population estudiantine de la ville de Fès et des moyens de lutte et de prévention anti vectorielle envers les vecteurs de maladies (cas du paludisme).

En guise de conclusion générale, un résumé des principaux résultats obtenus est donné et des perspectives pour des études ultérieures ont été proposées.
L'ensemble de ces données constituera une aide précieuse dans l'investigation et la surveillance des gîtes larvaires et offrira aux responsables d'hygiène relevant des services de la santé et ceux des autorités locales une connaissance assez riche sur l'écologie, la biologie et la dynamique de la population Culicidienne locale.

Les résultats ainsi générés contribueront sans doute à l'élaboration de toute stratégie de surveillance entomologique et de lutte anti-vectorielle dans la région. Ces recherches méritent d'être poursuivies pour élaborer des stratégies de surveillance adaptées afin de mener une lutte plus efficace et efficiente contre les moustiques Culicidés vecteurs de maladies.

# PREMIÈRE PARTIE

# REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

# REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. MALADIES À TRANSMISSION VECTORIELLE

### I.1. Généralités

Les maladies à transmission vectorielle constituent un problème majeur de santé publique. C'est la cause de plus d'un milliard cas d'infections et un million de décès annuels réclamé dans le monde (Gwendolyn *et al*., 2017). Ils représentent 17% des maladies humaines transmissibles (OMS, 2017a). Ils sont des maladies infectieuses transmises par des vecteurs. Ces derniers sont des Arthropodes hématophages qui assurent la transmission d'un agent infectieux d'un vertébré à un autre.

Les agents pathogènes à transmission vectorielle, qui comprennent les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes, affectent les animaux et les humains dans le monde entier (Montarsi *et al.*, 2015), passent une partie de leur cycle de vie dans un vecteur d'Arthropodes à sang froid. Ils peuvent être particulièrement sensibles aux fluctuations périodiques et aux changements durables des climats mondiaux et locaux (Marinho *et al*., 2016). Aussi, l'évolution des agents pathogènes, l'aggravation de la lutte contre les vecteurs ainsi que les changements environnementaux et sociodémographiques peuvent influencer et faciliter l'expansion géographique des infections (Kulkarni, 2016).

Les maladies transmises par leurs vecteurs sont strictement humaines ou des zoonoses là où sont capables de se transmettre directement ou indirectement entre les animaux et les humains. Cette transmission peut être active ou passive, biologique ou mécanique. La menace potentielle de propagation de ces maladies est géographique et saisonnière, due à des activités humaines, des variations climatiques et écologiques (OMS, 2005).

Ces maladies sont véhiculées et inoculées par les moustiques, les tiques, les mouches, les phlébotomes, les puces, les triatomes et certains gastéropodes d'eau douce (OMS, 2020a). Les moustiques sont les vecteurs les plus connus, ils occupent le premier rang tant par leur poids épidémiologique et pathologique, que par leur expansion géographique. Deux milliards est le nombre de personnes estimé vivant dans des zones où les maladies transmises par les moustiques sont endémiques (Lovett *et al.*, 2019).

### I.2. Cycle de transmission vectorielle

Le cycle de transmission vectorielle se compose d'un agent pathogène qui peut se développer et/ou se multiplier à la fois dans les tissus de l'hôte vertébré et du vecteur, d'un réservoir (hôte vertébré) qui développe un niveau d'infection avec le parasite qui est infectieux pour un vecteur ; et d'un vecteur qui acquiert le parasite de l'hôte vertébré infectieux et qui est capable de le transmettre (Figure 1).

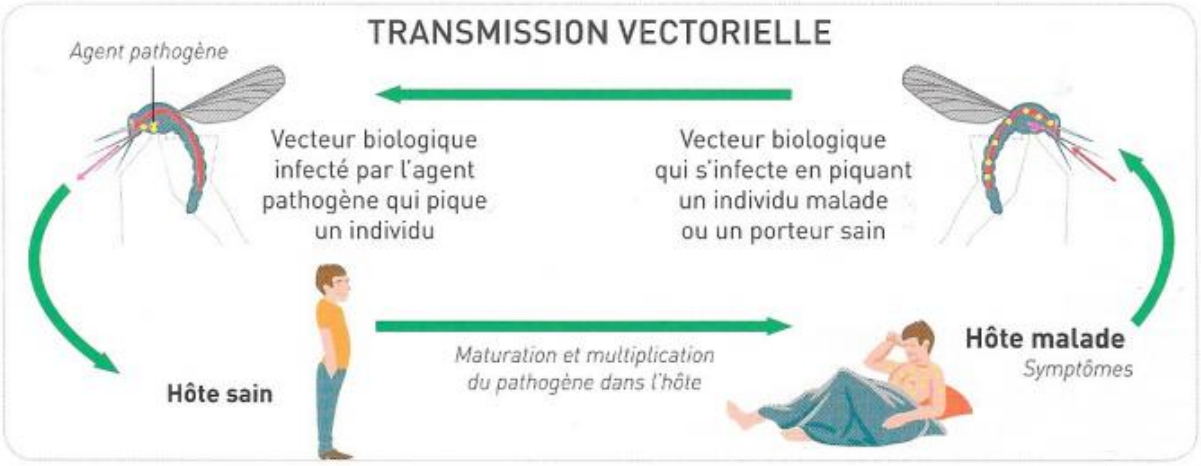



**Figure 1** : Cycle de transmission vectorielle (SVT 2$^{de}$ Magnard, 2019).

### I.3. Mécanismes de la transmission vectorielle

Les mécanismes de la transmission vectorielle se déroulent en trois phases consécutives: la contamination du vecteur; par un hôte parasité ; durant un repas sanguin, le développement de l'agent pathogène au sein de l'organisme du vecteur et la transmission de l'agent pathogène à un hôte vertébré sensible (Pottier, 2008).

De nombreux arthropodes hématophages sont des vecteurs potentiels de maladies. Ils peuvent être capables d'affecter exclusivement l'homme ou des zoonoses où l'homme est le plus souvent un hôte accidentel. Il peut agir par sa biologie, sa distribution et son comportement sur le risque de contamination de l'agent pathogène (Coosemans et Gompel., 1998).

Le développement de l'agent infectieux dans l'organisme peut être envisagé par deux modes de transmission:

- Une transmission mécanique dans laquelle le pathogène ne subit aucune transformation dans le vecteur. Les pièces buccales du vecteur se contaminent lors d'un repas de sang sur un hôte infecté et vont infester un hôte sain lors du prochain repas de sang. Le pathogène reste viable

durant une courte durée entre les deux repas. Par conséquent, une transmission efficace oblige une forte densité d'hôtes et un grand nombre de vecteurs au même endroit et au même moment.

- Une transmission biologique durant laquelle le pathogène réalise un cycle de transformation dans l'organisme du vecteur, au niveau duquel l'agent devient infestant et sera transmis à un hôte au cours du prochain repas sanguin du vecteur. Ce mode de transmission a une période d'incubation extrinsèque qui est la durée de temps qui sépare la contamination du vecteur par un repas de sang infestant et le moment où le vecteur, une fois infesté, devient à son tour infestant.

### I.4. Facteurs influençant la transmission vectorielle

Les changements climatiques, les facteurs démographiques et sociologiques comptent parmi les facteurs susceptibles d'influencer l'incidence des maladies à transmission vectorielle (Gubler *et al*., 2001). Ainsi, l'énorme croissance des voyages internationaux augmente le risque d'importation maladies à transmission vectorielle (Gubler *et al*., 2001). Toute modification de ces facteurs aura un impact sur le cycle de transmission de l'agent pathogène, sur la distribution et l'abondance des hôtes vertébrés naturels et sur le vecteur. Il influence surtout l'abondance de la population du vecteur, sa compétence, son comportement, son écologie et son habitat (Gubler *et al.,* 2001). Il agit également sur la modification du taux de survie des vecteurs et sur l'intensité de développement de l'agent pathogène au sein des vecteurs et des hôtes (Pottier, 2008).

La capacité vectorielle est un concept très large qui recouvre d'autres facteurs influençant l'aptitude du vecteur à transmettre des maladies. C'est une mesure du potentiel de transmission des agents pathogènes à transmission vectorielle. Elle englobe la capacité intrinsèque d'acquérir et de transmettre ultérieurement une maladie infectieuse, ainsi que les interactions entre les vecteurs et les vertébrés (Kramer *et al*., 2015).

Il est bien connu que chez les moustiques vecteurs de pathogènes humains, les conditions de température (Alto *et al*., 2013, Muturi *et al*., 2012, Westbrok *et al*., 2010, Lyimo *et al*., 1992), de nourriture (Telang *et al*., 2012, Joy *et al*., 2010, Takken., 2013, Moller-Jacobs *et al*., 2014), de compétition (Alto *et al*., 2005, Alto *et al*., 2008, Paaijmans *et al*., 2009, Ng'habi, 2005), de substrat du sol (Pfaehler *et al*., 2006, Okech *et al*.,2007) et d'exposition aux prédateurs (Roux *et al*., 2015) vécues pendant le développement larvaire peuvent perpétuer et affecter la

capacité vectorielle des adultes. Ainsi que, le microbiote des larves de moustiques joue un rôle dans la capacité des insectes adultes à transmettre des pathogènes humains (Dickson *et al*., 2017). Aussi, les densités des populations du vecteur et de ses hôtes peuvent influencer sur cette capacité (Verwoerd, 2015).

La compétence vectorielle est un autre caractère important qui désigne l'aptitude à transmettre une maladie spécifique. Elle est généralement héréditaire et dépend de facteurs génétiques (Verwoerd *et al*., 2015). Elle représente une mesure du niveau de coadaptation entre un pathogène et un invertébré vecteur. Chaque composante de ce système est soumise à l'influence de différents facteurs intrinsèques tels que la réceptivité à l'infection du vecteur par le pathogène (virus ou parasite), et des facteurs extrinsèques telles que la densité et la composition des populations de vecteurs et de l'hôte vertébré (Failloux *et al*., 1999).

## II. MOUSTIQUES VECTEURS DE MALADIES

Les insectes qui propagent les maladies sont tous caractérisées par leur comportement hématophage. Les moustiques Diptères Culicidés constituent la famille la plus importante de vecteurs d'agent pathogène qui assure la transmission de nombreuses maladies, en raison de leur état de santé et leur importance vétérinaire dans le monde entier (Lorenz *et al*., 2019).

### II.1. Description des moustiques

Les moustiques présentent une diversité morphologique et écologique remarquable. Ce sont des Insectes à métamorphose complète, leur corps est pourvu d'écailles de couleurs particulièrement variables en fonction des espèces. Ils se distinguent des autres insectes piqueurs par leur long corps grêle, leurs longues pattes et leurs pièces buccales en forme d'aiguilles.

La taille des moustiques adultes varie généralement entre 5 et 10 mm. La taille de la femelle est plus grosse que celle du mâle. Par la rigidité de ses pièces buccales, seule la femelle a la capacité de percer l'épiderme humain et donc se gorger de sang (Veillon, 2012).

Le corps du moustique adulte est constitué de trois segments : la tête, le thorax, et l'abdomen (Figure 2). Les antennes des moustiques portent de petites soies sensitives permettant de détecter les substances chimiques présentes dans l'air. Les soies présentes sur les antennes des mâles sont plus nombreuses et bien étalées, ils leur servent pour capter les messages chimiques présents dans l'air, envoyés par les femelles. Elles sont aussi pourvues d'un organe

de Johnston formé de soies spéciales permettant de percevoir des ondes sonores, comme les signaux émis par les femelles à la recherche d'un partenaire.

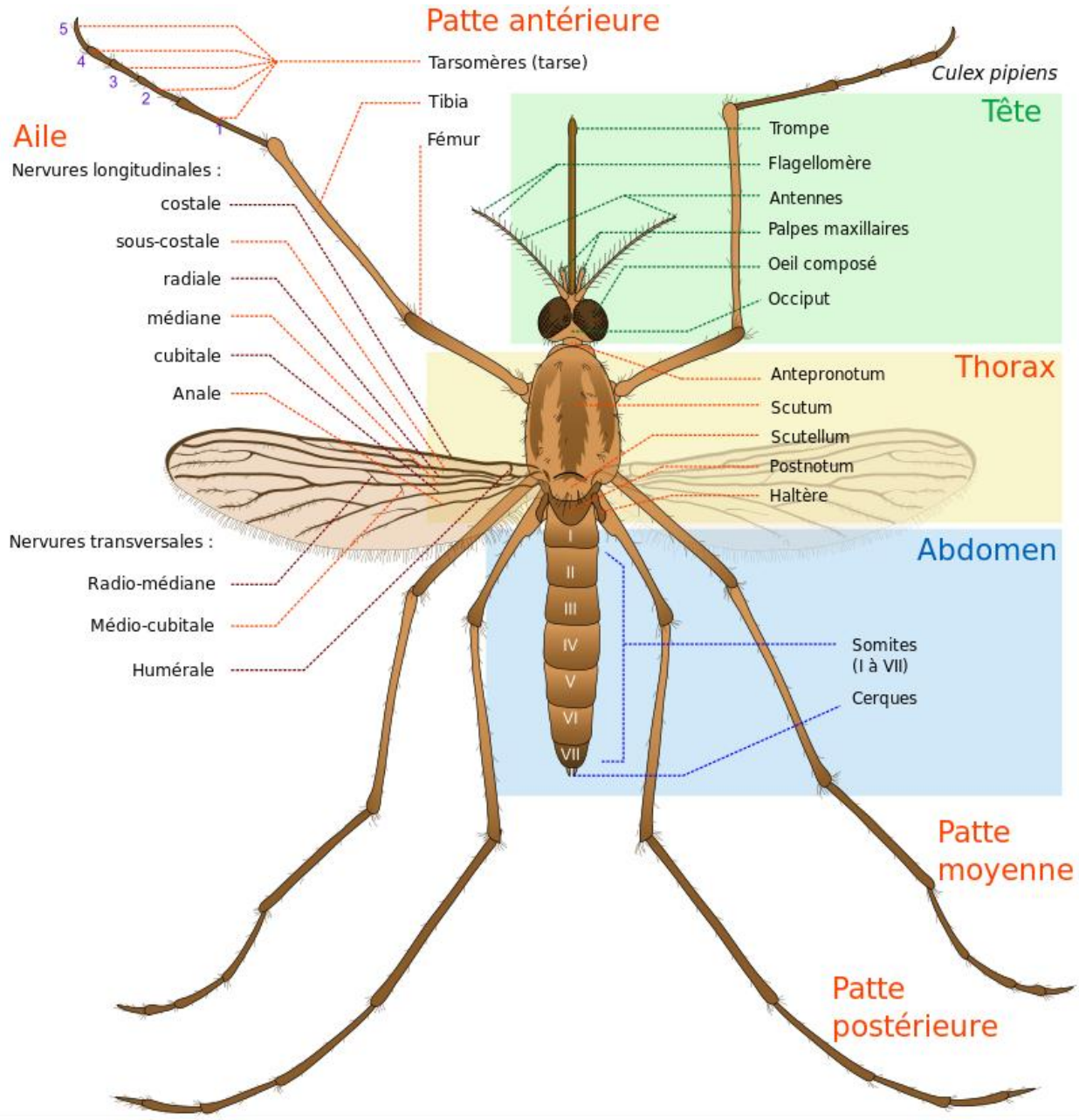



**Figure 2 :** Forme du corps d'un moustique adulte (Site web: Humanité et biodiversité).

Les larves sont clairement divisées en une tête, un thorax et un abdomen et peuvent présenter un siphon (Figure 3).

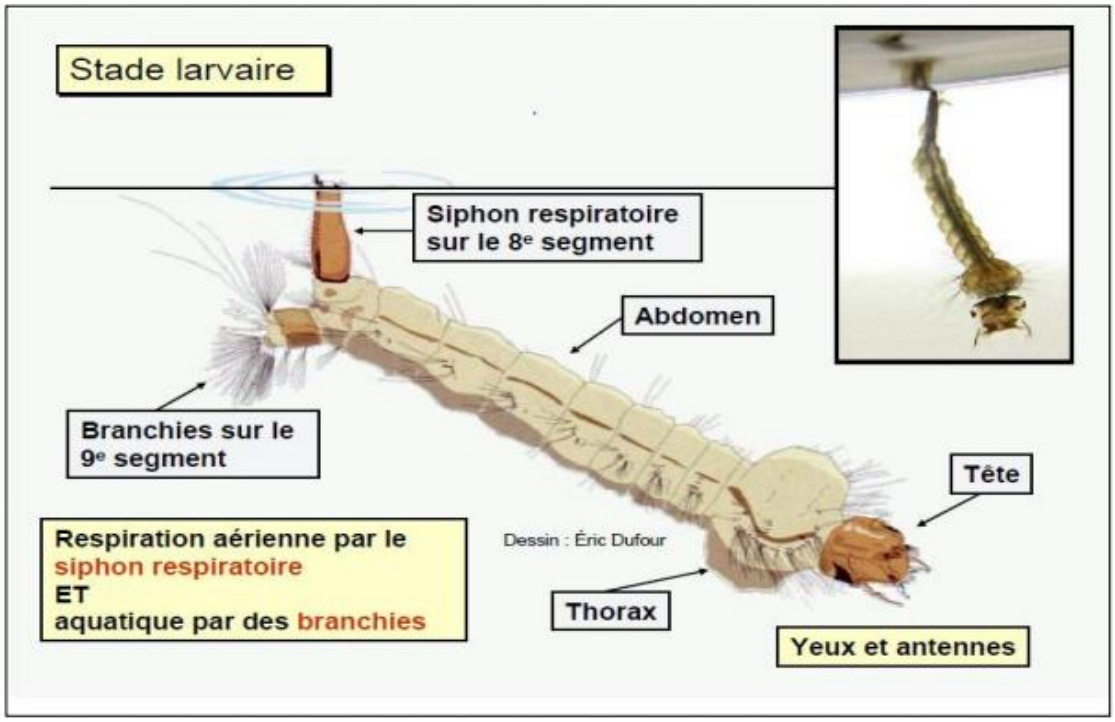



**Figure 3 :** Vue générale d'une larve de moustique (Culicinae) (Brunhes *et al*, 2000).

Les nymphes se forment d'après une métamorphose complète des larves (Singh *et al*., 2012). La tête et le thorax fusionnent en un céphalothorax volumineux et sclérifié par lequel il est possible de distinguer les futurs organes de l'adulte. Leur respiration aérienne se fait grâce à deux trompes respiratoires qui se trouvent sur le céphalothorax (Goulu, 2015) (Figure 4). Ces trompes se distinguent morphologiquement selon les genres de moustiques. Les anophèles ont des trompes respiratoires courtes et évasées alors que les Culicinae ont des trompes longues et régulières (Carnevale *et al*., 2009).

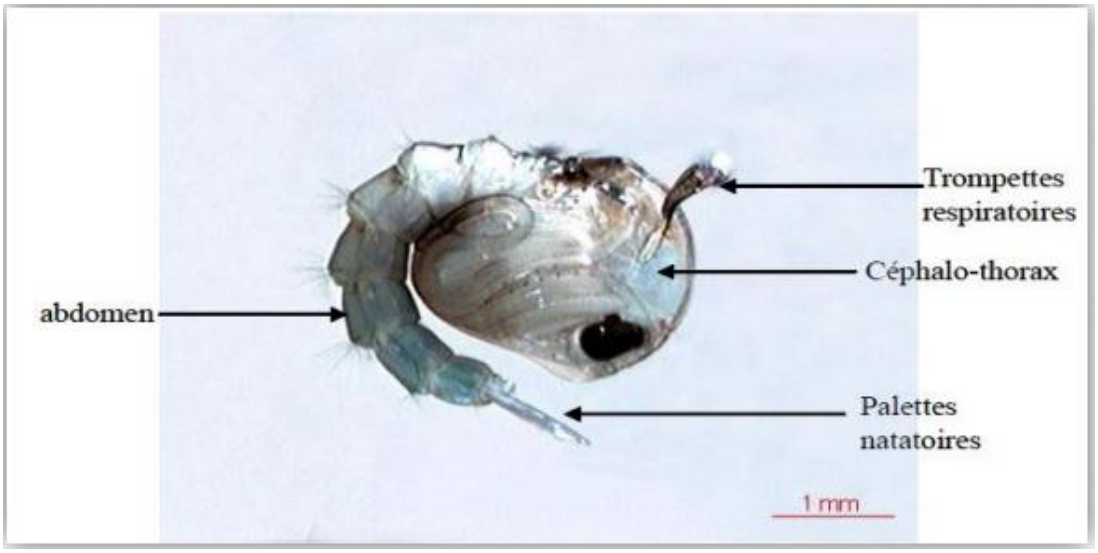



**Figure 4 :** Forme générale de la nymphe des Culicidés (Anonyme, 2000).

### II.2. Systématique

La famille des Culicidés comprend des moustiques qui sont des insectes de l'ordre de Diptères caractérisés par la présence de deux ailes. C'est la plus importante famille du sous-ordre Nématocères à antennes filiformes généralement longues. Elle est organisée en deux sous-familles (les Anophelinae et les Culicinae) (Wilkerson *et al*., 2015), subdivisée en 113 genres et 3564 espèces (Lorenz *et al*., 2019). Le genre *Aedes* qui appartient au Culicinae, précisément à la tribu des Aedini contient environ presque le quart des espèces connues de moustiques (Wilkerson *et al*., 2015). Sa position systématique est comme suit :

Règne : Animal

Phylum : Arthropodes

Sous-phylum : Hexapodes

Classe : Insectes

Sous-classe : Ptérygotes

Infra-classe : Néoptères

Ordre : Diptères

Sous-ordre : Nématocères

Infra-ordre : Culicomorphes

Famille : Culicidés

La famille des Culicidés est divisée en 2 sous-familles : celle des Culicinae et celle des Anophelinae. Elle est répartie en 111 genres. Cette famille regroupe 7 genres dans la région d'Afrique méditerranéenne (Figure 5), classés d'environ 73 espèces.

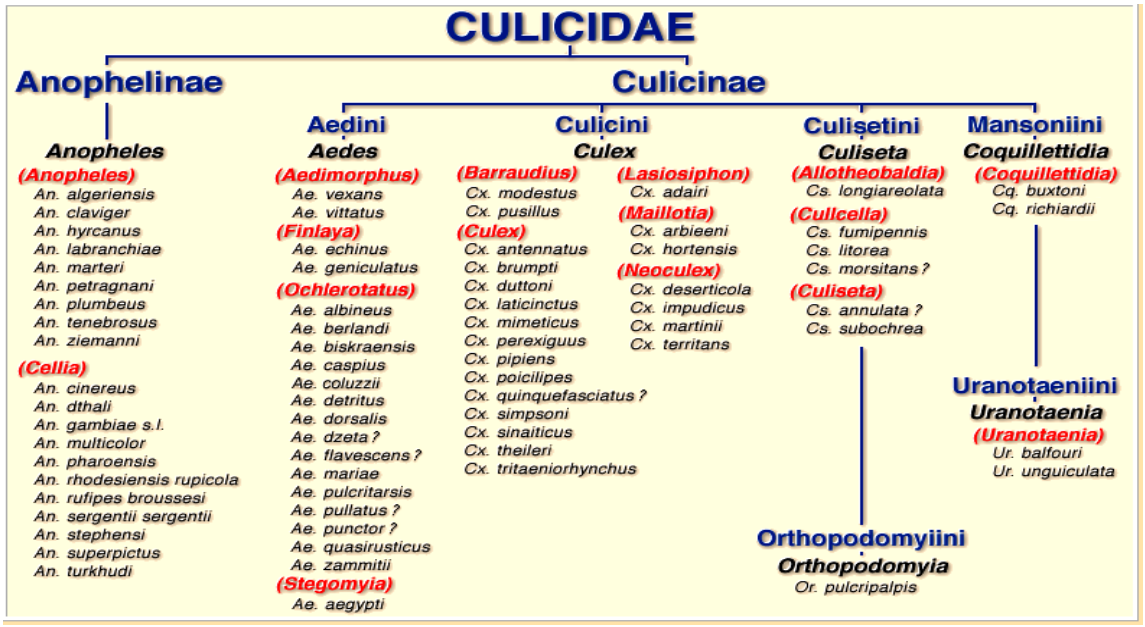



**Figure 5 :** Classification des espèces Afro-méditerranéennes (Brunhes *et al*., 1999).

Par l'ajout de l'espèce envahissante *Aedes albopictus* à la liste des espèces inventoriées au Maroc (Bennouna *et al*., 2017), le nombre d'espèces compte actuellement 43 espèces dans le Royaume (Trari *et al*., 2017). Ces espèces appartiennent à 7 genres représentés par 9 espèces du genre *Anopheles,* 12 espèces du genre *Aedes,* 12 espèces du genre *Culex,* 5 espèces du genre *Culiseta,* 2 espèces du genre *Coquillettidia,* 2 espèces du genre *Uranotaenia* et une espèce du genre *Orthopodomyia* (Trari *et al*., 2017). Cette liste actuelle ne comporte pas toutes les espèces d'anophèles qui ont déjà signalé au Maroc à savoir *An. petragnani* Del Vecchio 1939 (Faraj *et al*., 2010).

Les genres *Aedes*, *Culex* et *Anopheles* sont les trois genres de moustiques les plus connus (Wilkerson *et al*., 2015), surtout par leurs rôles pathogènes (Lorenz *et al*., 2019). Il est possible de les reconnaître à partir des critères distinctifs des deux sous familles Anophelinae et Culicinae au stade œuf, larve, nymphe, par la position de l'adulte au repos et par la forme des palpes maxillaires de la tête (Figure 6).

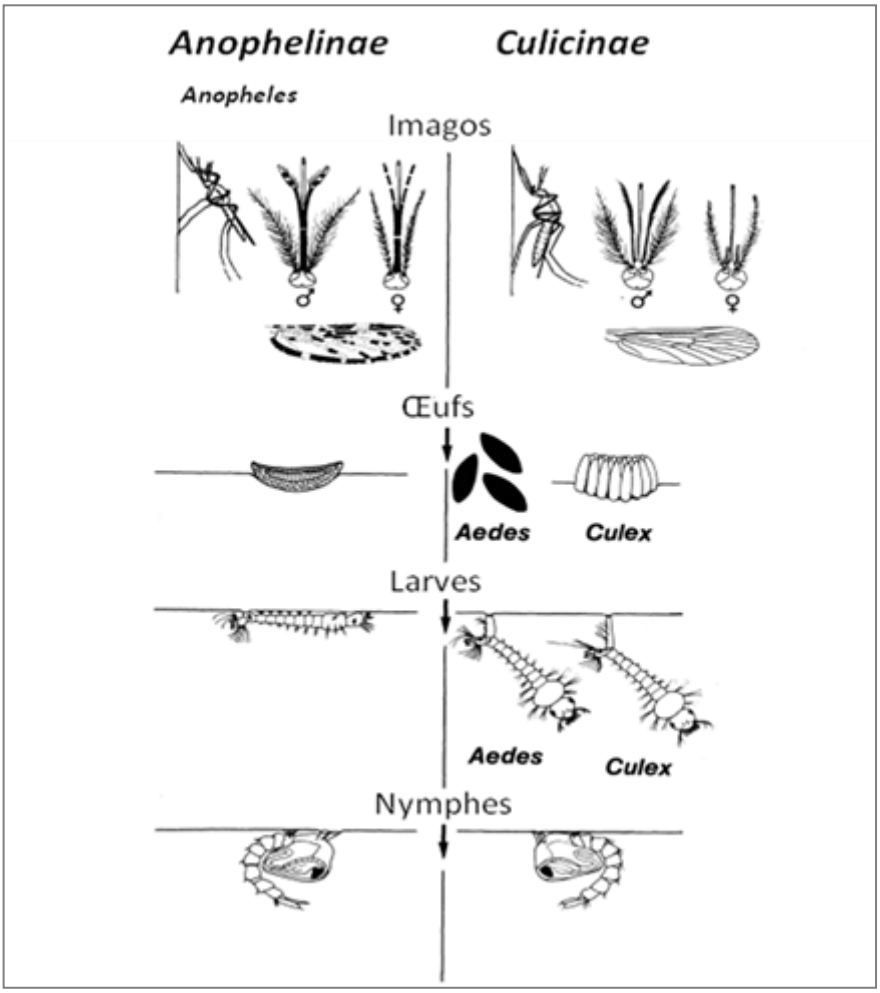



**Figure 6 :** Principales caractéristiques morphologiques distinctives entre les *Anopheles*, les *Aedes* et les *Culex* (Lane *et al*., 1993).

### II.3. Méthodes de piégeage

Les moustiques adultes peuvent être recueillis en utilisant des pièges lumineux du CDC et de la glace sèche comme source de $CO_2$ pour attirer les moustiques (Tiawsirisup *et al*., 2012) (Figure 7), un piège lumineux de type U.V (Bailly-Choumara, 1973), et un piège lumineux de type New-Jersey (Baldé *et al*., 2001). Aussi, ils peuvent être récoltés par les techniques de capture à l'appât humain, la capture à l'aspirateur à bouche (Baldé *et al*., 2001), comme ils peuvent être échantillonnés par les pièges à appât animal, également la capture par pulvérisation au pyrèthre et à l'aide des fenêtres-pièges (Williams et Pinto, 2012).

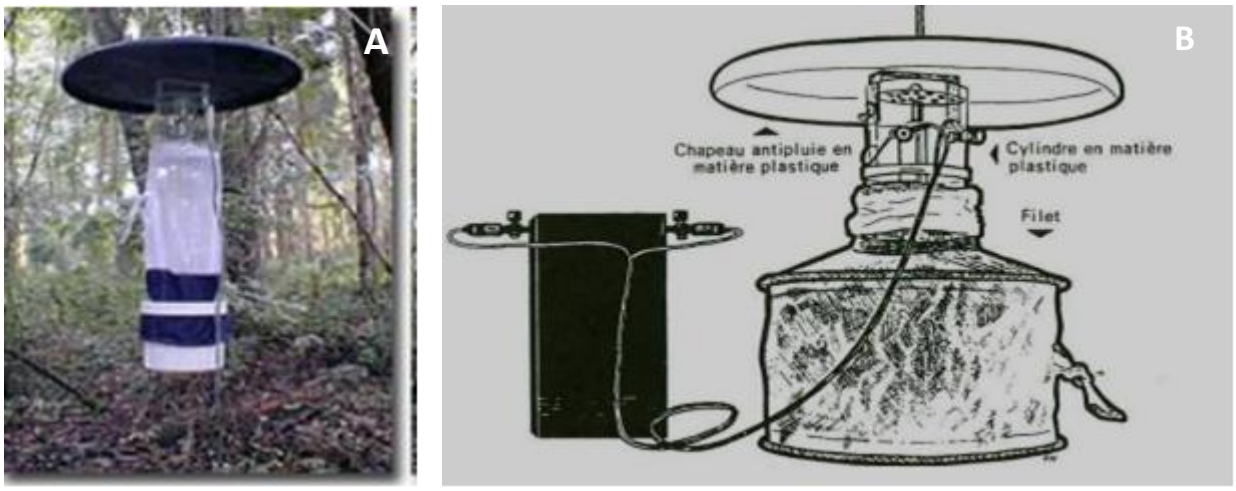



**Figure 7 :** Piège lumineux du CDC (https://fsnv.univ-setif.dz).

**A :** Photo d'un piège lumineux du CDC ; **B** : Représentation schématique d'un piège CDC.

Diverses méthodes d'échantillonnage peuvent être utilisées pour la collecte de moustiques aux stades larvaire et nymphal. Chacune dépend de la nature et du type du gîte. La méthode de dipping est la plus utilisée dans les plans d'eau relativement étendus (Service, 1976). La récolte à la pipette est plus utilisée pour recueillir des larves et des nymphes dans les gîtes de petite taille à savoir les flaques, les empreintes de sabots d'animaux, les récipients, les plantes et les trous d'arbres. La récolte au filet est utilisée pour recueillir les larves et les nymphes dans de grands plans d'eau telle que les mares et les petits lacs. Et, le prélèvement des larves dans les milieux plus profonds peut se faire à l'aide d'un seau attaché à une corde (El Joubari *et al*., 2014).

D'autres méthodes d'échantillonnage permettent de récolter des œufs de moustiques. Le piège pondoir est une méthode très utilisé pour les espèces de moustiques qui se reproduisent dans de petites collections d'eau tels que les réservoirs d'eau et les creux d'arbres (Honório *et al*., 2003, Cornet *et al*., 1974) (Figure 8).



**Figure 8** : Piège pondoir (Site web : EID Rhône-Alpes).

## II.4. Méthode d'identification des moustiques (Diptera: Culicidae)

### II.4. 1. Identification morphologique

Elle consiste à diagnostiquer une espèce donnée en observant une série de critères morphologiques externes, en se basant sur des clés de déterminations universelles et locales telle que la clé d'identification des moustiques de l'Afrique méditerranéenne (Bruhnes *et al*., 1999) et la clé d'identification marocaine des Culicidés (Himmi *et al*., 1995). Pratiquement, les larves du quatrième stade et les adultes femelles sont les plus identifiés par cette méthode. Mais celle-ci n'est pas évidente pour être appliquée aux espèces jumelles.

### II.4. 2. Identification par des techniques cytogénétiques

L'étude cytogénétique des chromosomes polyténiques des glandes salivaires des larves du quatrième stade et des cellules trophocytaires de l'ovocyte peuvent servir de définir cytotaxonomiquement les différentes espèces (Simard., 1999, Robert *et al*., 1990). Toutefois, cette technique nécessite une longue préparation des chromosomes et la lecture des bandes demande une grande expertise.

### II.4. 3. Identification par des techniques d'analyses iso-enzymatiques

C'est une technique qui nécessite l'utilisation de spécimens frais ou congelés vivants. Elle permet d'identifier des espèces jumelles au sein d'un complexe (Basilua Kanza, 2013). Cette technique a permis la découverte d'enzymes de même fonction migrant différemment à l'électrophorèse. Ces isozymes subissaient une ségrégation mendélienne simple : ce sont les

alloenzymes ou allozymes qui sont isoenzymes codées par des allèles différents d'un même gène (Tibayrenc, 1979). Certains allèles s'avèrent spécifiques d'une espèce.

L'analyse des allozymes par électrophorèse des protéines sur gel est rarement utilisée en raison de la technique laborieuse et du coût (Schaffner et Mathieu., 2020).

### II.4. 4. Identification moléculaire

Des techniques moléculaires ont été appliquées à l'identification d'un moustique donné parmi lesquelles on peut citer:

- L'utilisation des approches basées sur la PCR qui sont des techniques alternatives et complémentaires. Cette méthode consiste à faire :

L'extraction de l'ADN des moustiques (larves et adultes) en utilisant des techniques moléculaires basées sur des séquences de gènes (NDH4 et ITS2) (Le Goff *et al*., 2012).

Le séquençage des portions de l'ADN ribosomique espaceur interne transcrit (ITS), et des amorces spécifiques à l'espèce ont été conçus pour simplifier l'identification de deux espèces morphologiquement similaires (Brengues *et al*., 2014).

L'analyse par séquençage de divers gènes est employée pour l'identification des espèces du même complexe, après extraction de l'ADN par CTAB à partir des carcasses. Le gène nucléaire ITS2 est utilisé pour l'identification taxonomique au sein des groupes peu connus et pour distinguer entre les spécimens de divers stades. Les gènes mitochondriaux ND5 et COI ont été séquencés chez les espèces du même sous-groupe (Boussès *et al*., 2013).

En autre, l'identification moléculaire de complexe d'espèces peut être employée en utilisant la PCR multiplex basée sur des locus microsatellites (Boukraa *et al*., 2016).

Une autre approche technique récemment développée consiste à analyser l'ADN environnemental (eDNA) qui consiste à détecter les organismes par leurs déjections (Schaffner et Mathieu., 2020).

- Identification par la méthode de profilage des protéines par spectrométrie de masse:

La spectrométrie de masse par MALDI-TOF MS (Matrix Assisted Laser Desorption Ionisation/Time Of Flight) peut être appliquée à des œufs et à des adultes ou larves récemment collectés (Schaffner et Mathieu., 2020). C'est une méthode supplémentaire qui

permet une identification rapide des insectes vecteurs d'agents pathogènes et participe à la création d'une base de donnée entomologique (Raharimalala *et al*., 2017).

- Identification par la méthode de l'amplification isotherme LAMP (Loop-mediated Isothermal Amplification):

Cette méthode d'amplification est en générale simple et très rapide. Elle a récemment été développée pour l'identification des moustiques invasifs, elle présente des niveaux d'amplification qui se rapprochent de ceux de la PCR classique. Elle présente un très haut niveau de spécificité permettant son application sur le terrain (Schaffner et Mathieu., 2020).

### II.5. Bioécologie des moustiques

#### II.5.1. Cycle de vie des Culicidés

Les Culicidés ont une vie aquatique pour les stades pré-imaginaux (l'œuf, les quatre stades larvaires et la nymphe) et une vie aérienne pour les imagos (Figure 9). Leur durée de développement varie selon l'espèce. Il varie dans notre pays en moyenne par 10 à 40 jours chez un moustique mâle et peut aller jusqu'à 3 ou 4 mois chez la femelle.

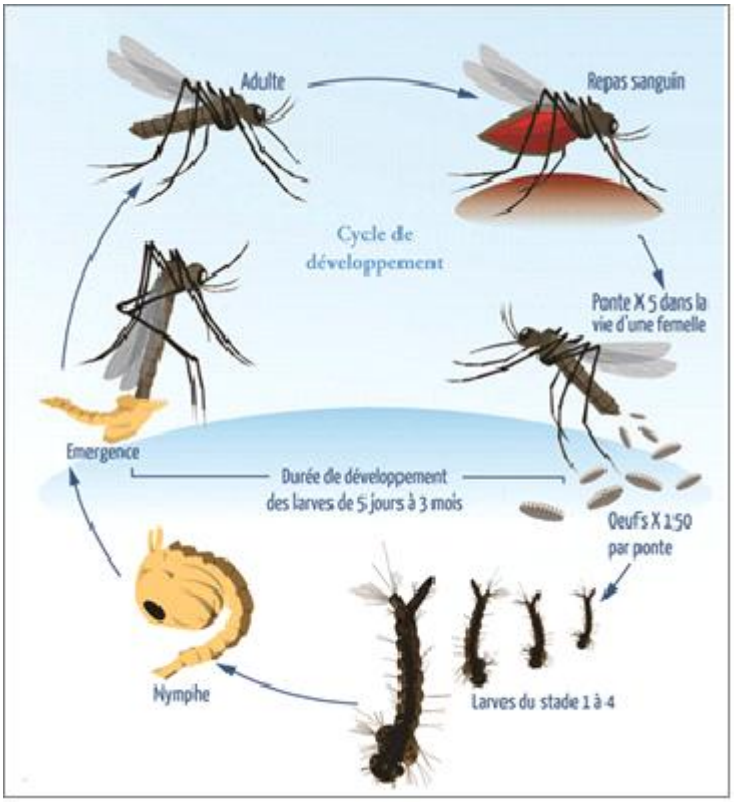



**Figure 9 :** Cycle de vie des Culicidés (Site Web Oscar à la ligne, 2020).

### II.5.1.1. Œufs

Les femelles pondent des œufs de préférence au crépuscule et à l'aube. Les œufs sont pondus en grandes quantités et mesurent environ 1mm de longueur. Quand ils viennent d'être pondus, ils sont de couleur blanche, ils deviennent brusquement bruns ou noirs. Les moustiques du genre *Aedes* pondent les œufs sur la surface du sol humide. En revanche, les moustiques de genre *Culex* et *Anopheles* pondent les œufs dans l'eau (Dale *et al*., 2009).

Durant une ponte, les œufs de la sous-famille des Anophelinae sont pondus isolément et les œufs de Culicinés sont pondus en masse (Figure 10). La femelle des anophèles dépose en moyenne 150 œufs de forme ovalaires, presque elliptiques, à coque gaufrée et pourvue de deux flotteurs latéraux (Darriet, 1998), les œufs de *Culex* sont pondus par centaines collées ensemble, composant des nacelles, dans lesquelles chaque œuf est situé verticalement, ils sont larges et de forme ovale. Les œufs d'*Aedes* sont pondus isolément sur un support à proximité de l'eau (Carnevale *et al*., 2009).

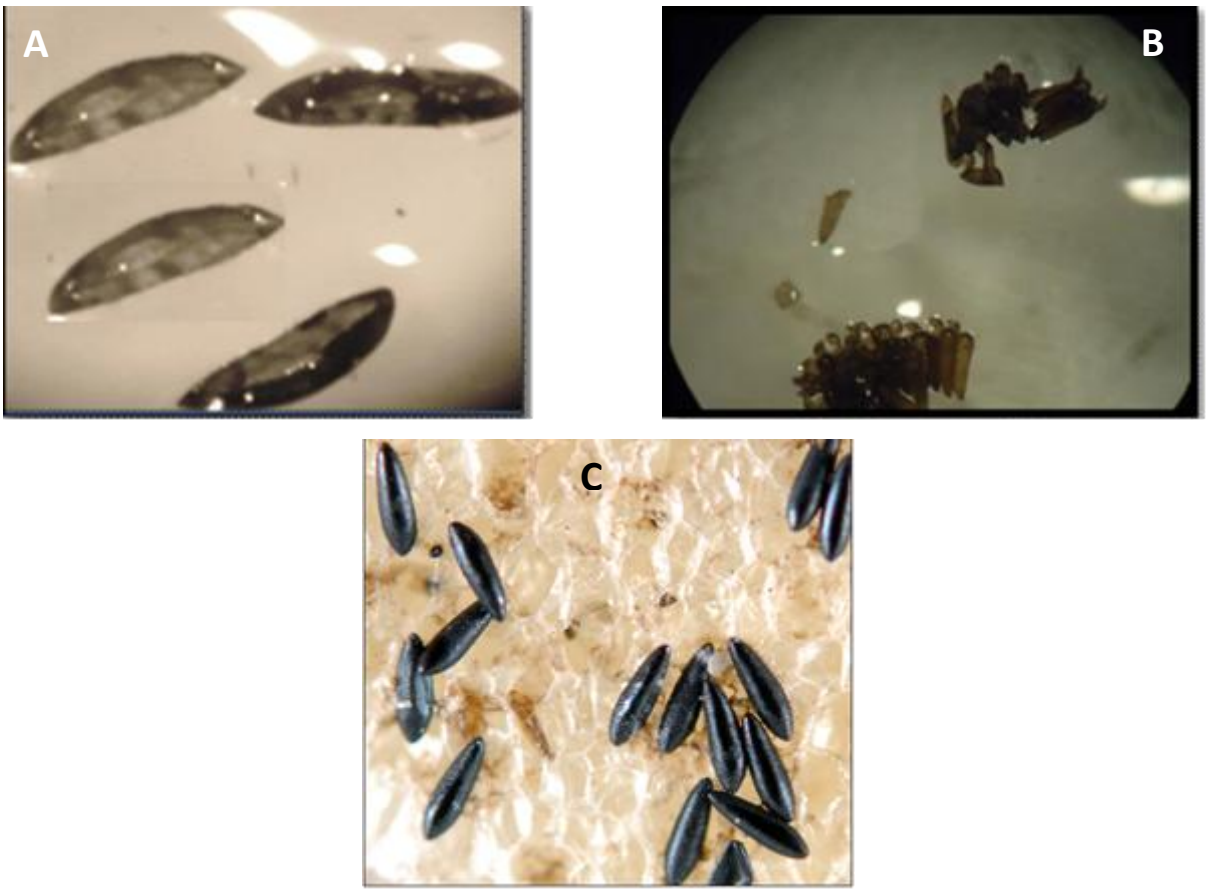



**Figure 10 :** Forme des œufs des moustiques.

**A :** Œufs d'*Anopheles* isolés (Oudainia, 2015) ; **B :** Œufs de *Culex* en radeau (Oudainia, 2015) ; **C :** Œufs d'*Aedes* (Site Web EID Méditerranée, 2016).

En règle générale, le développement des œufs chez les insectes suceurs de sang dépend normalement d'un repas de sang (Gaugler., 2012); néanmoins, certains moustiques femelles peuvent développer leurs œufs sans repas de sang (Ghahvechi Khaligh *et al*., 2020).

#### II.5.1.2. Larves

Le stade larvaire est une partie importante du cycle de vie aquatique des moustiques (Khawling *et al*., 2014). Sa durée est d'autant plus courte que la température de l'eau est élevée (Fontenille *et al*., 2009), il est variable allant de cinq jours en plein été à trois semaines ou plus pendant l'hiver (Dale *et al*., 2009).

Les larves d'Anophélinés restent horizontales, immédiatement sous la surface de l'eau et les larves de Culicinés restent verticales sous la surface de l'eau. Ce caractère est en rapport avec la position des stigmates qui sont situés sur un siphon respiratoire apparent chez les Culicinés et sur la face dorsale du corps chez les Anophélinés.

Les larves nouvellement nées se nourrissent de matières organiques et de proies vivantes pour les espèces carnassières (Darriet, 1998), et même de détritus et de micro-organismes présents dans l'eau jusqu'à ce qu'elles atteignent des conditions physiologiques suffisantes pour leur nymphose (Lana *et al*., 2014). Les larves de stade 1 jusqu'au stade 4 se nourrissent de matières organiques, de microorganismes et même de proies vivantes pour les espèces carnassières (Darriet, 1998).

#### II.5.1.3. Nymphes

Les larves se métamorphosent puis elles cessent de se nourrir et se transforment en nymphes qui ont une forme de virgule. Les nymphes vivent de 2 à 3 jours dans l'eau et subissent des modifications anatomiques pour donner dans un laps de temps variable selon les espèces et l'environnement climatique; un adulte ailé qui prend rapidement son envol (Darriet, 1998).

#### II.5.1.4. Adultes

Les mâles émergent souvent en premier pour attendre les femelles (Dale *et al*., 2009). Les sujets des deux sexes s'accouplent d'abord en vol puis sur le sol. La femelle détient la particularité de garder en vie les gamètes mâles, dans la spermathèque, jusqu'à sa mort. Grâce à cette spécificité, les femelles ne s'accouplent qu'une fois et elle apporte les substances nutritives indispensables à chaque maturation ovarienne à partir des repas de sang (Darriet, 1998).

Les femelles adultes émergentes s'accouplent et passent leur vie entre l'alimentation par le sang, la maturation des œufs et les activités de ponte (Lana *et al*., 2014). Cependant, certaines espèces sont autogènes, c'est-à-dire qu'elles peuvent pondre un lot d'œufs fertiles sans s'accoupler (Dale *et al*., 2009), telle que l'espèce *Culiseta longiariolata* (Ghahvechi Khaligh *et al*., 2020).

Les femelles et les mâles se nourrissent de jus sucré, nectars et autres sécrétions végétales, mais seules les femelles ont en plus un régime hématophage, d'où le rôle actif des femelles dans la dissémination des maladies.

### II.5.2. Cycle gonotrophique des Culicidés

La prise d'un repas sanguin est indispensable pour assurer la maturation des œufs. L'intervalle qui sépare deux repas sanguins consécutifs s'appelle cycle gonotrophique, où la femelle pique tous les deux à trois jours pour pondre deux jours plus tard et ce, durant toute sa vie.

Le cycle gonotrophique, ou cycle de reproduction de l'arthropode, comprend la séquence de recherche d'un hôte, l'alimentation sanguine après la ponte, la digestion des repas sanguins, la maturation ovariolaire et la recherche d'un gîte convenable pour y effectuer la ponte (Gary *et al*., 2019, Faraj *et al*., 2006).

### II.5.3. Préférence trophique des Culicidés

Les moustiques peuvent se nourrir sur différents hôtes tels que les poulets, les oiseaux, les reptiles, ainsi que sur les gros mammifères y compris l'Homme, les primates, les petits rongeurs, les chevaux, les bovidés, en particulier les bovins et les ovins.

La plupart des moustiques du genre *Culex* sont ornithophiles (Fontenille *et al*., 2009). Les moustiques du genre *Mansonia, Anopheles et Aedes* sont très anthropophiles. Les moustiques du genre *Culiseta* peuvent piquer l'Homme mais semblent plus fréquemment se nourrir sur les oiseaux ou les reptiles (Brunhes *et al*., 1999).

### II.5.4. Habitat de reproduction des Culicidés

L'extension géographique des moustiques dans le monde est très considérable. Ils colonisent presque tous les types d'habitats aquatiques pour leur reproduction entraînant des communautés larvaires très complexes (Manguin et Boete., 2011).

Les espèces Culicidiennes abritent une large gamme de gîtes larvaires tels que les cours d'eau, les empreintes de pneus, les mares, les pneus, les puits, les récipients de stockage d'eau, les récipients abandonnés (Mbida Mbida *et al*., 2016), les milieux irrigués comme les rizières, les réservoirs et les fossés de drainage (Gouagna *et al*., 2011).

La densité de population de moustiques est améliorée par la reproduction en masse de moustiques dans des gîtes formés après irrigation, pluies abondantes suivies d'inondations et des températures plus élevées que d'habitude (Boukraa *et al*., 2016). Les gîtes larvaires de moustique dépendent de chaque espèce :

- Les anophèles se propagent en eau douce tout comme celles en eaux polluées, en particulier dans les marécages (Nguyen *et al*., 1999). Elles peuvent coloniser les récipients de stockage d'eau, les pneus, les récipients abandonnés ainsi que dans les pirogues et les caniveaux aménagés (Mbida Mbida *et al*., 2016).

- Les gîtes d'*Aedes* ne sont généralement pas pollués mais généralement engorgés de matières végétales en décomposition. Ils sont constitués de plans d'eau de petites dimensions mis naturellement par les pluies (dans les noix de coco cassées, de cabosses de cacao évidées, d'entrelacs de racines, de bambous cassés, de feuilles engainantes, de coquilles d'escargots, de trous dans les rochers (Darriet, 1998). Ces larves peuvent grandir dans l'eau stagnante de récipients artificiels (par exemple, des pneus usés, des boîtes de conserves, des vases ou bien des bidons laissés à l'abandon et des récipients de stockage de l'eau à usage domestique). Elles ont été retrouvées même dans les creux d'arbres et dans les puits (Mbida Mbida *et al*., 2016).

- Les larves de *Culex* ont été trouvées dans divers types de sites de reproduction, notamment des mares d'eau stagnante, des gouttières, des puits, des empreintes de pneus, des empreintes de pieds (Nchoutpouen *et al*., 2019). Elles affectionnent les eaux pollues et toutes les eaux riches en matière organique telles que les eaux d'assainissement, les fosses septiques (Nguyen *et al*., 1999). Elles peuvent se reproduire dans les rizières et les périmètres irrigués (Coosemans et Gompel., 1998) et même dans les creux d'arbres (Mbida Mbida *et al*., 2016).

Différentes espèces ont leurs propres exigences écologiques à titre d'exemple :

Les vecteurs de la dengue *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus* et *Ae. scutellaris* exploitent un large éventail d'habitats pour la reproduction, leurs gîtes de reproductions sont souvent domestiques. Les habitats larvaires comprennent les égouts, les trous d'arbre, les pneus

usagés, les conteneurs et les réservoirs de stockage (Banerjee *et al*., 2015). *Ae. aegypti* est un moustique qui se reproduit dans un récipient et qui pond des œufs sur la paroi intérieure des récipients remplis d'eau (Lana *et al*., 2014).

Les espèces du genre *Sabethes* sont des moustiques exclusivement phytotelmatiques, utilisant l'eau accumulée dans les trous d'arbres et les entre-nœuds de bambou et de nombreuses autres structures végétales pour la ponte (Lorenz *et al*., 2019).

Les espèces de genre *Culiseta* telle que *Cu. longiareolata* se trouvent généralement dans des gîtes temporaires, principalement dans les pneus, les roches, les conteneurs artificiels en bois et en métal et les réservoirs en béton, qui sont riches en matières organiques en décomposition (Hazratian *et al*., 2019).

Les principaux vecteurs, appartenant au genre *Culex,* se génèrent dans les rizières et les périmètres irrigués. La pullulation de ces insectes dans les champs après la récolte, est favorisée par la pourriture des débris de végétaux (Coosemans et Gompel., 1998). Parmi le genre *Culex,* l'espèce *Cx. pipiens* se reproduit dans des habitats naturels et artificiels de différentes tailles tels que les caniveaux, les piscines, les citernes pluviales, les trous d'arbres et des mares d'eau stagnantes (Wynn et Paradise., 2001).

Les espèces du genre *Anopheles* telle que *An. gambiae* s.l. se développent à l'état larvaire dans des collections d'eau ensoleillées et sans végétation notamment, les empreintes de pas, les fosses d'emprunts, les mares temporaires. *An. minimus* se retrouve dans les cours d'eau des régions de collines, *An. dirus* dans les mares temporaires des sous-bois, *An. maculatus* dans les eaux stagnantes des régions de collines, *An. sundaicus* dans les eaux saumâtres (Coosemans et Gompel., 1998).

### II.6. Facteurs favorables au développement des Culicidés

La connaissance des facteurs qui conditionnent l'évolution des Culicidés est un préalable indispensable à la mise au point de stratégie de lutte.

La globalisation, la modification de l'habitat, l'accroissement et le mouvement de la population humaine et animale par migration et transport comptent parmi les facteurs qui favorisent la distribution géographique des moustiques (Esser e*t al*., 2019, Morse, 2001).

La répartition géographique des moustiques peut être modifiée par la conversion de zones sauvages en agriculture ou production animale, la gestion des bassins versants et les

changements climatiques (Ortega-Morales *et al*., 2019). Aussi, l'activité prédatrice de l'entomofaune, joue un grand rôle dans la régularisation naturelle des larves de moustiques (Darriet et Hougard., 1993).

En effet, les effets des changements climatiques peuvent constituer un facteur non négligeable, par leur influence dans la modification de la distribution des vecteurs (Trari et Carnevale., 2011). Aussi, ils peuvent réduire le nombre de prédateurs naturels de moustiques, ce qui entraîne un nombre élevé de moustiques adultes (Osório *et al*., 2008).

Les inondations et la sécheresse peuvent déclencher des épidémies de moustiques en créant des sites de reproduction pour les moustiques dont les œufs secs restent viables et éclosent dans l'eau calme (Osório *et al*., 2008).

Le déroulement du cycle biologique des Culicidés est conditionné par les précipitations qui peuvent être à l'origine d'émergence des gîtes larvaires potentiels, la température qui favorisent l'éclosion des œufs (Lana *et al*., 2014), le vent qui a une influence sur la direction du déplacement des imagos au cours de leur vie aérienne (Fortin *et al*., 2012) sans négliger l'humidité relative de l'air qui conditionne l'activité des imagos et agit sur le taux de survie et la capacité du vecteur (Esser e*t al*., 2019).

La capacité et la dynamique vectorielles sont influencées par des facteurs environnementaux tels que :

- **La température** qui est une échelle très importante pour le fonctionnement du système vecteur/virus. C'est un facteur qui a une influence sur le taux d'infection de vecteur par le virus. Aussi, c'est un régulateur de la durée de vie des stades pré-imaginaux, du nombre de repas de sang et du temps de développement de l'agent pathogène à l'intérieur du moustique et de l'activité des femelles lors de la recherche de l'hôte. (Greboval, 2004). Elle agit sur le taux de mortalité de moustique, sur l'activité de recherche de leur hôte, sur la longueur de leur cycle de vie et sur leur abondance (Ogden, 2016).
- **L'humidité** peut influencer sur le taux de mortalité du moustique et l'activité de recherche de leur hôte (Ogden, 2016)
- **La photopériode** peut agir sur le pourcentage d'entrée en diapause des œufs des espèces de moustiques, et conduit les moustiques femelles à entrer en diapause et à stopper leur développement ovarien (Clements et Chapman, 1992).
- **La végétation** permet d'augmenter le taux de survie des mâles et des femelles, elle favorise la croissance de la taille des larves de moustiques et la diminution du temps de

développement larvaire, augmente la taille et le nombre des adultes, et entraîne une meilleure fécondité chez les femelles (Clements et Chapman, 1992). En effet, la distribution des espèces telle que *Cx. pipiens* favorise les gîtes larvaires situés dans des milieux riches en matières organiques issues des feuilles mortes (Wynn et Paradise, 2001). Les moustiques du genre *Mansonia* ont besoin de vivre fixées, par leur siphon respiratoire, aux tiges et racines des plantes (Clements et Chapman, 1992).

Les Culicidés sont conditionnés par la composition biologique ou chimique de l'eau (Messai *et al*., 2011). Les composantes physico-chimiques d'une eau ont un rôle essentiel non seulement dans la biologie d'une espèce mais aussi dans la structure et la dynamique de la biocénose toute entière (Messai *et al*., 2011).

Les paramètres physico-chimiques des gîtes tels que la température, la salinité, le potentiel hydrogène, les nitrates de l'eau des gîtes larvaires sont des paramètres qui peuvent influencer la distribution des espèces Culicidiennes (Sanford *et al*., 2013). Le TDS, la conductivité électrique et la faible turbidité des gîtes ont une influence sur la production larvaire (Matubi *et al*., 2015). A titre d'exemple, la distribution d'*Ae. aegypti* est modulée par des facteurs environnementaux, telles que la température, les précipitations et l'humidité relative qui favorisent son cycle de vie. Les températures optimales pour le développement, la longévité et la fécondité de cette espèce se situent entre 22°C et 32°C, les températures de 10°C ou moins ; limitent le développement des larves et la survie des adultes (Marinho *et al*., 2016).

### II.7. Rôle des moustiques

#### II.7.1. Rôle écologique des moustiques

Les stades immatures et matures des moustiques constituent une importante source de nourriture pour les animaux aquatiques et terrestres (Fang, 2010). En effet, ces moustiques, représentent un maillon essentiel dans le fonctionnement d'un écosystème aquatique, il constitue une biomasse importante dont se nourrissent de multiples organismes des zones humides et elles participent, par leur régime alimentaire omnivore à l'état larvaire, à la destruction de la matière organique de cet écosystème.

En outre, les moustiques jouent le rôle de proies et de pollinisateurs dans les écosystèmes terrestres. Aussi, ils peuvent abriter de grandes communautés écologiques de divers micro-organismes qui constituent le microbiome de cet organisme.

### II.7.2. Rôle pathogène des moustiques

Les Culicidés sont des insectes hématophages piqueurs suceurs (Handaq et Blenzar, 2017). Ils constituent une importante famille de vecteurs d'agents pathogènes (Berchi *et al*., 2012). En raison de leur large potentiel d'alimentation en sang, les moustiques femelles infectés peuvent porter et transmettre des arbovirus, des vers nématodes et des protozoaires provoquant des maladies (Diagana *et al*., 2007, Reiter, 2001). Seulement un nombre de moins de 150 espèces est responsable de transmission d'agents pathogènes à l'homme dans le monde (Schaffner et Mathieu., 2020), et un nombre de 23 espèces d'intérêt médical a été signalé présent au Maroc (Trari *et al*., 2017).

Ces moustiques assurent la transmission de virus de l'encéphalite japonaise, virus du Nil occidental et virus de la fièvre de la vallée du Rift (Esser e*t al*., 2019), ainsi que le virus de Zika et Chikungunya (Adalja *et al*., 2016), en outre le paludisme, la fièvre jaune et la dengue. D'ailleurs, ce sont les principales causes de morbidité et de mortalité dans le monde (Gaimard, 2008). L'importance des moustiques en tant que vecteur de zoonoses est non négligeable.

La transmission des maladies par les moustiques se fait principalement par quatre genres de moustiques vecteurs de maladies. Le genre *Anopheles* qui peut transmettre le paludisme et la filariose lymphatique. Le *Culex* qui cause essentiellement la filariose lymphatique, l'encéphalite japonaise, et d'autres viroses. Le genre *Aedes* qui peut agir sur l'expansion de la fièvre jaune, la dengue, la dengue hémorragique, la filariose lymphatique et autres viroses. Ainsi que le genre *Mansonia* qui est responsable de la transmission de la filariose lymphatique.

#### II.7.2. 1. Principales maladies causées par la famille des Culicidés à l'échelle mondiale

**a. Paludisme :**

Le paludisme est une maladie infectieuse parasitaire causée par un organisme unicellulaire qui est le *Plasmodium*. C'est une maladie purement humaine. Elle se transmet par le vecteur Anophèle (Figure 11). Elle survient lorsque les températures dépassent 16°C (Epstein, 2001).



**Figure 11 :** Moustique infesté du genre *Anopheles* (Site web : INSECT ECRAN, 2020).

Près de 70 espèces d'anophèles sont décrites susceptibles de transmettre le paludisme dans le monde, une vingtaine sont responsables de la majorité des cas (Coosemans et Gompel., 1998). Les espèces *An. gambiae*, *An. funestus*, *An.nili* et *An. moucheti*, appartiennent toutes à des complexes d'espèces, elles sont les principaux vecteurs en Afrique (Matubi *et al*., 2015).

L'espèce *An. algeriensis* a été considérée comme un vecteur accidentel des protozoaires du paludisme en Afrique du Nord (Trari *et al*., 2017).

A l'échelle mondiale, 3,1 milliards de personnes vivent dans des zones endémiques au paludisme. Suite de cette infection, environ 200 millions de personnes tombent malades chaque année et environ 500 000 personnes meurent (Metzger *et al*., 2020). Il est fréquent dans la plupart des régions tropicales et subtropicales (Dida *et al*., 2018). L'Afrique subsaharienne reste la zone qui enregistre le plus grand nombre de charges mondiales (Ajejas Bazán *et al*., 2020).

L'intensification des mesures de prévention et de contrôle a entraîné une réduction des taux de mortalité par le paludisme de plus de 60% dans le monde, par rapport aux taux enregistrés en l'an 2000 (Ajejas Bazán *et al*., 2020). Sept espèces différentes de *Plasmodium* peuvent provoquer des maladies chez l'homme (Wilsandrei *et al*., 2019, Nada Raja *et al*., 2020). Ces espèces se différencient par la zone géographique où elles sévissent et par leurs degrés de virulence.

***P. falciparum*** et ***P. vivax*** sont les plus morbides au monde. *P. falciparum* est l'espèce de paludisme la plus pathogène, on la trouve dans les zones tropicales et subtropicales du monde entier. Elle est plus fréquente en Afrique subsaharienne où elle est le plus associée à des maladies graves en provoquant la mort des enfants de moins de 5 ans (Kimberly *et al*., 2018), elle est également à l'origine de plus de 99% des infections en Afrique (Metzger *et al*., 2020).

***P. vivax*** est le parasite du paludisme le plus répandu géographiquement, il provoque chaque année de 80 à 300 millions de cas cliniques, et jusqu'à 2,5 milliards de personnes sont à risque dans le monde (Howes *et al*., 2016). Il est impliqué au Moyen-Orient et dans le Pacifique Occidental. Il se trouve principalement en Inde, en Asie du Sud et du Sud-Est, en Amérique du Sud et dans la Corne de l'Afrique (Rueangweerayut *et al*., 2017). Bien qu'il soit presque complètement absent en Afrique subsaharienne. (Niang *et al*., 2018). En dehors de la région africaine, *P. vivax* est responsable de 41% d'infections palustres (OMS, 2017c). Il sévit en Amérique du Sud et en Amérique centrale (Priest *et al*., 2018).

***P. knowlesi*** est reconnu comme une cause de paludisme humain grave et de paludisme mortel dans presque tous les pays d'Asie du Sud-Est (Rajahram *et al*., 2012).

***P ovale*** est endémique en Afrique (Diallo *et al*., 2017), essentiellement en Afrique subsaharienne de point de vue épidémiologique (Collins *et al*., 2005). Il a également été signalé dans de nombreuses îles du Pacifique occidental et sur le continent asiatique (Collins *et al*., 2005).

***P. malariae*** est l'espèce plasmodiale la plus négligée, étant souvent non détectée en raison de la très faible parasitémie qu'elle cause (Grande *et al*., 2019). Elle est fréquemment répandue dans la plupart des zones tropicales et subtropicales, avec une présence chevauchante avec *Plasmodium falciparum*, en particulier en Afrique subsaharienne (Collins *et al*., 2007, Betson *et al*., 2014), elle se trouve également en Amérique (Nabarro *et al*., 2018).

*P. ovale* spp et *P. malariae* sont moins fréquents que *P. falciparum* et *P. vivax*, ils provoquent un syndrome clinique plus doux que *P. falciparum* (Nabarro *et al*., 2018).

En plus, autres parasites du paludisme ; ***P. simien*** et ***P. cynomolgi***; sont également une cause émergente du paludisme chez l'homme (Nada Raja *et al*., 2020).

La transmission du paludisme s'effectue suivant trois modes : un mode vectoriel par la piqûre d'un anophèle, un mode trans-placentaire de la mère au fœtus et un mode transfusionnel ou par greffe, via des globules rouges infectés.

La transmission vectorielle du paludisme se déroule via des *Anophèles* femelles adultes porteuses du parasite, qui sont infectées lors d'un repas/piqure ; une fois fécondée après la reproduction; auprès d'un porteur de gamétocytes du parasite et elle reste infectée a vie.

Toutefois, les anophèles mâles n'interviennent pas directement dans la transmission. Ainsi, les œufs et les larves de ce vecteur ne sont donc pas infectés.

Le cycle évolutif du *Plasmodium* comprend quatre phases: le développement parasitaire chez l'homme, la transmission du parasite de l'homme vers le moustique, le développement sporogonique chez le moustique et la transmission du parasite de moustique vers l'homme. Le parasite se développe d'abord dans le foie avant d'infecter les globules rouges (Haston *et al*., 2019) (Figure 12).

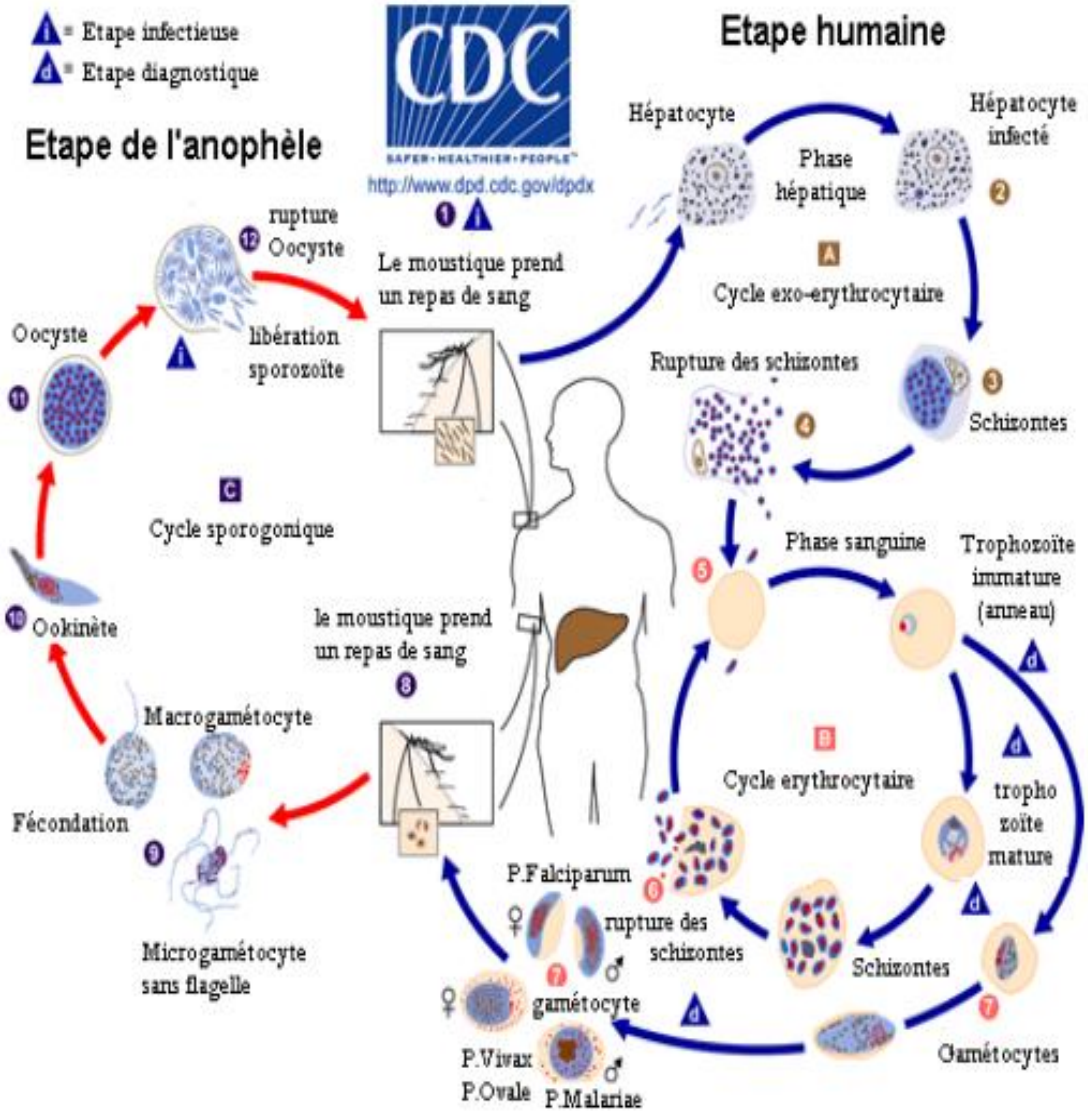



**Figure 12 :** Cycle évolutif du *Plasmodium* (Source CDC).

Au niveau du foie : Il passe du stade trophozoïte, mérozoïte, schizonte jeune jusqu'au stade schizonte exo-érythrocytaire mature. Au niveau du sang, la schizogonie se déroule, c'est la

reprise de la multiplication des schizontes après une phase d'interruption, il se fait dans les capillaires viscéraux où les hématies parasitées sont séquestrées du fait de leur adhésion à l'endothélium.

Au cours de la deuxième phase, la transmission « homme - moustique » se fait lors de l'ingestion des gamétocytes par le moustique.

Après, un développement sporogonique se fait chez le moustique depuis les gamétocytes dans l'estomac jusqu'aux sporozoïtes dans les glandes salivaires.

Ensuite, la transmission « moustique - homme » avec l'injection des sporozoïtes par le moustique au corps de l'homme.

**b. Fièvre jaune :**

La fièvre jaune est une maladie vectorielle, due au virus amaril, transmise par des moustiques du genre *Aedes* et *Haemagogus* (Bouréea *et al*., 2011), par les espèces *Coquillettidia fuscopennata* et *Eretmapodites* groupe *Chrysogaster* (Cordellier *et al*., 1974, OMS, 2014), par l'espèce *Eretmapodites inornatus* (OMS, 2014) et par certaines espèces de tribu *Sabethini* (Lorenz *et al*., 2019).

La transmission transovarienne du virus, chez ces moustiques vecteurs et chez *Ae. aegypti* en particulier, joue un rôle capital dans la propagation des épidémies (Fontenille *et al*., 1997).

Cette arbovirose tropicale sévit en Afrique intertropicale et dans le bassin de l'Amazonie (Bouréea *et al*., 2011). Elle est endémique dans 47 régions, 34 pays de d'Afrique et 13 pays d'Amérique latine (OMS, 2019).

**c. Dengue :**

La dengue est une infection virale systémique transmise entre les humains par des moustiques du genre *Aedes* (Simmons *et al*., 2012) (Figure 13), elle résulte d'une infection par l'un des quatre sérotypes d'un flavivirus. C'est une arbovirose d'une grande importance pour la santé publique dans les pays tropicaux (Lana *et al*., 2014). C'est une grande menace de santé publique en Asie du Sud-est et sur le continent américain (OMS, 2020b). L'infection par la dengue touche plus de 100 pays dont l'Europe et l'Afrique (Hasan *et al*., 2016, OMS, 2020a). C'est la maladie qui se propage le plus rapidement dans le monde.



**Figure 13 :** Moustique du genre *Aedes* (Site web : Doctissimo, 2018).

Les variations spatiales locales du risque d'attraper la dengue sont fortement influencées par les précipitations, la température et le degré d'urbanisation (Bhatt *et al*., 2013).

Le moustique *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse 1894 est le plus connu. Le moustique *Ae. aegypti* a un rôle de l'émergence d'une épidémie de la dengue en Europe (Esser e*t al*., 2019, Morse, 2001).

**d. Maladie à virus Zika :**

Le virus de Zika est un flavivirus transmis par la piqûre de moustiques du genre *Aedes*, principalement *Ae. aegypti* infectés et *Ae. albopictus*. Plusieurs pays (87) et territoires ont enregistré en 2019 une transmission autochtone du virus de Zika par les moustiques. Toutefois, la situation actuelle de la transmission et de la propagation de ce virus constitue une menace sanitaire mondiale (Pielnaa *et al*., 2020). Il a provoqué la panique, en particulier dans les régions de Pacifique et en Amérique (Akiner *et al.,* 2016). Il est connu avec une prévalence relativement faible dans certaines parties de l'Afrique, de l'Asie et des îles du Pacifique (Gyawali *et al*., 2016).

Ce virus peut être transmis à partir des urines infectées expulsées dans l'environnement aquatique (Du *et al*., 2019). Il peut être également transmis par voie sexuelle (Trew Deckard *et al*., 2016), par transfusion sanguine (Magnus *et al*., 2018), et de la mère au fœtus pendant la grossesse (Krauer *et al*., 2017; Song et Yun, 2017). Les moustiques *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* sont classés parmi les principaux vecteurs de cette maladie (Chouin-Carneiro *et al*., 2016, Bennouna *et al*., 2017).

**e. Fièvre de West Nile :**

Le virus du Nil occidental peut provoquer une maladie mortelle chez l'homme, chez le cheval et chez d'autres mammifères. Il se maintient dans la nature au moyen d'un cycle impliquant une transmission entre les oiseaux (hôtes naturels) et les moustiques (Assaid *et al*., 2020). On le trouve couramment en Afrique, au Moyen-Orient, en Amérique du Nord, en Asie occidentale et a été récemment enregistrée dans plusieurs pays européens (OMS, 2017b). Il circule depuis très longtemps dans la région méditerranéenne (Tmimi *et al*., 2018). Dans le Nord Afrique, elle provoque des cas humains de méningo-encéphalite avec des décès en Algérie et en Tunisie (Assaid *et al*., 2020).

C'est une maladie très courante en Afrique qui se transmet par les espèces *Cx. quinquefasciatus* et *Cx. neavei* (Boussès *et al*., 2013), et en Afrique du Nord par *Cx. pipiens*. Comme il peut être transmis en Europe par le moustique *Cu. longiareolata* (Ghahvechi Khaligh *et al*., 2020), le moustique *Cx. pipiens* s.l. Linnaeus 1758 (Müller *et al*., 2018), le moustique *Coquillettidia richiardii* et *Cx. modestus* (Hubálek et Halouzka 1999, le moustique *Cx. impudicus* (Romi *et al*., 2004), le moustique *Cx. mimeticus* (Almeida *et al*., 2010) et par le moustique *Ae. caspius* (Moussiegt, 1988 et Lundström, 1999). Ainsi il peut être transmis par le moustique *Ae. aegypti* (Hubálek et Halouzka, 1999) et par les moustiques *Ae. albopictus* et *Ae. vexans* (Trari *et al*., 2017), comme il peut être également transmis par *Cx. univiattatus, Cx. vishnu, Cx. theileri* et *Cx. perexiguus*.

**f. Encéphalite japonaise :**

C'est une maladie virale qui est due à un flavivirus. L'épidémie de ce virus se retrouve dans plusieurs pays, notamment en Asie et l'Australie (Tiawsirisup *et al*., 2012).

L'espèce *Ae. albopictus* est le principal vecteur de cette maladie (Weng *et al*., 1999), *Cx. tritaeniorhynchus* est le vecteur majeur de l'Encéphalite japonaise en Asie (Boussès *et al*., 2013), également, *Cx. modestus* a été trouvée vectrice de cette maladie en Chine (Trari *et al*., 2017).

**i. Fièvre de la vallée du Rift (FVR) :**

La fièvre de la vallée du Rift est une arbovirose émergente causée par un virus qui appartient au genre *Phlebovirus* de la famille des Bunyaviridae, c'est une menace responsable des épidémies particulièrement meurtrières pour l'Afrique, le Moyen-Orient, voire l'Europe.

C'est une zoonose affectant essentiellement les espèces telles que les dromadaires, les bovins, les moutons et les chèvres et potentiellement mortelle pour l'homme (Saluzzo *et al*., 2004).

Les épidémies les plus récentes se sont déclarées en Égypte, dans le sud de la Mauritanie, à Madagascar, dans le nord du Kenya et en Somalie (Fontenille *et al*., 1998).

La fièvre de la Vallée du Rift est transmise par diverses espèces de moustiques du genre *Culex* et *Aedes* (Ould El Mamy *et al*., 2014), et par le genre *Anopheles.*

En Afrique, *Ae. vexans*, *Ae. Ochraceus* et *Ae. dalzieli* ont été bien connues comme les principaux vecteurs d'Afrique orientale et d'Afrique du Sud (Fontenille *et al*., 1998). *Ae. vexans arabiensis* et *Cx. poicilipes* ont été identifiées comme des principaux vecteurs en Afrique de l'Ouest (Ould El Mamy *et al*., 2014), et *An. multicolor* a été identifiée comme l'espèce responsable de l'épidémie de la maladie en Égypte (Gad *et al*., 1987). L'espèce *Ae. fowleri* peut transmettre expérimentalement la fièvre de la vallée du Rift (Boussès *et al*., 2013).

**j. Chikungunya :**

L'infection par le virus *Chikungunya* est une arbovirose due à un arbovirus de la famille des Togaviridae, du genre *Alphavirus* (Powers *et al*., 2000).

Cette arbovirose évoluant sur un mode épidémique, dans les continents africain et asiatique, ainsi que dans les îles de l'Océan Indien, l'île de la Réunion, les Comores, Mayotte et l'île Maurice (Consigny *et al*., 2006).

Il peut être transmis par des moustiques du genre *Aedes*, ou d'espèces différentes selon les zones considérées (Zeller, 1998).

Les moustiques *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus* sont des vecteurs majeurs. Le moustique *Ae. detritus* peut être infecté par cette maladie (Trari *et al*., 2017). *Cx. quinquefasciat*us a été connu comme une espèce vectrice de cette maladie aux États-Unis.

**k. Filarioses :**

La Filariose lymphatique est une maladie des pays chauds et très répandue en Afrique et en Asie. Elle est provoquée par la présence des petits nématodes *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, ou *Brugia timori* dans les vaisseaux (Hndschumacher *et al*., 2019). L'espèce *W.*

*bancrofti* est le parasite exclusif de l'homme, tandis que *B. malayi* et *B. timori* peuvent parasiter d'autres mammifères (Nguyen *et al*., 1999).

Les embryons « microfilaires » peuvent être absorbés par des moustiques. Ces derniers vecteurs des filaires lymphatiques regroupent, les genres *Anopheles*, *Culex*, *Aedes* et *Mansonia*. Les espèces *Cx. pipiens* et *Cx. fatigans*, *Ae. polyneniensis* et *Ae. scutellaris*, comptent parmi des vecteurs de la filariose lymphatique humaine.

Les moustiques de genre *Mansonia* sont vecteurs de la filariose de Bancroft ainsi que quelques autres filarioses lymphatiques pour l'homme, ils ne véhiculent ces maladies que dans certaines régions du globe, en Malaisie et dans la plupart des contrées du sud-est asiatique (Darriet, 1998).

La filariose canine est une maladie à répartition mondiale causée par un nématode, et affecte principalement les Canidés. C'est une zoonose et son infestation humaine est rarement observée, elle n'a été signalée qu'aux Etats Unis, en Australie, et au Japon (Castric., 2002).

La filariose cardio-pulmonaire à *Dirofilaria immitis* est la seule filariose canine importante sur le plan médical et économique. Les moustiques de la famille des Culicidés injectent les larves de cet helminthe qui se fixent sur la paroi du corps pour terminer son développement, cette affection se caractérise par une hypertension pulmonaire compliquée d'une insuffisance cardiaque droite ce qui entraîne la mort du chien (Castric, 2002 et Merabti, 2016).

#### II.7.2. 2. Maladies causées par la famille des Culicidés à l'échelle nationale et locale

Les Culicidés constituent, à l'échelle nationale, les insectes piqueurs les plus nuisibles aux populations qui continuent de transmettre des maladies infectieuses (Himmi *et al*., 1997).

*Cx. pipiens* a été responsable dans la transmission de l'enzootie du virus West Nile qui a touché le Maroc en 1996 et en 2003 (Faraj *et al*., 2006).

Plusieurs foyers du virus West Nile ont été signalés. Le premier a eu lieu en 1996 ; notant 94 cas d'équidés, dont 42 décès et un seul cas humain a été infecté (Castillo-Olivares et Wood, 2004). Le second a eu lieu en Septembre et Octobre 2003 lorsque la maladie s'est manifestée chez les chevaux à Kénitra (Schuffenecker *et al*., 2005), et la dernière épidémie a eu lieu en 2010 dans la région de Mohammédia (Tmimi *et al*., 2018).

Le paludisme était endémique dans le pays. Le moustique *An. labranchiae* est le vecteur majeur (Faraj *et al*., 2008a), il a été responsable de la transmission de *Plasmodium vivax, P. malariae* et *P. falciparum* (Gaud *et al.,* 1949). L'espèce *An. sergentii* est le vecteur secondaire, il a joué un rôle dans la transmission des protozoaires du paludisme dans le sud dans les années 1960, 1961 et 1962 (Guy, 1963). L'espèce *An. multicolor* a été le vecteur de transmission dans le sud du Maroc au milieu des années 1900 (Guy, 1959). *An. claviger* était considéré comme un vecteur principal dans les montagnes du Haut Atlas au début des années 50 (Trari *et al*., 2017).

Le contrôle du vecteur et la surveillance épidémiologique du parasite; selon un programme national ; a fait évoluer favorablement la situation épidémiologique au Maroc. Il a permis l'élimination du paludisme à *P. falciparum,* dont le dernier cas autochtone a été enregistré en 1973, et la maîtrise du paludisme autochtone à *P. vivax* à la fin des années quatre-vingt-dix (El Joubari *et al*., 2015a), jusqu'à 2004, année d'enregistrement du dernier cas autochtone (El Ouali Lalami *et al*., 2010a). Bien plus tard, des cas importés de paludisme sont toujours présents. Les cas importés infectés à *P. falciparum*, provenant particulièrement de zones d'endémie de l'Afrique subsaharienne (Trari *et al*., 2011). Dans la ville de Fès, le paludisme autochtone a disparu depuis 1998. Seuls quelques cas importés continuent à être enregistrés (El Ouali Lalami *et al*., 2010a).

## III. CONTRÔLE DES MALADIES VECTORIELLES

Le contrôle des maladies vectorielles constitue actuellement un enjeu majeur de santé publique à l'échelle nationale et internationale.

La lutte antivectorielle est le moyen principal de prévention contre les maladies transmises par les moustiques. Elle a un rôle essentiel dans le contrôle de la transmission. Les interventions de lutte antivectorielle sont considérées comme des outils efficaces pouvant interrompre la transmission (Shaukat *et al*., 2010).

Un suivi épidémiologique performant a été adopté au Maroc, a fait qu'aucun cas autochtone n'a été enregistré depuis 2010 et il a été certifié par l'OMS parmi l'un des pays ayant éliminé le paludisme. Suite à l'instauration d'un système de contrôle et de surveillance, le Maroc a adopté la gestion intégrée de la lutte anti- vectorielle (GILAV) depuis 2015 comme stratégie de mise en œuvre de la lutte anti-vectorielle (Bulletin d'Épidémiologie et de Santé Publique, 2018).

Pour faire face à une meilleure stratégie de lutte, il a renforcé la collaboration entre les différents départements impliqués dans la gestion des maladies à transmission vectorielle. La surveillance épidémiologique sentinelle est un exemple ou modèle illustratif de veille sanitaire, bien que l'utilisation des techniques de l'information et de la communication (TIC) renforce les systèmes sentinelles de surveillance épidémiologiques.

### III.1. Méthodes de prévention et de protection individuelles et collectives

La prévention des maladies transmises par les moustiques (Culicidés) peut faire appel à la vaccination, la chimioprophylaxie et aux mesures de lutte antivectorielle au sens large tels que l'utilisation de vêtements longs, de répulsifs insectifuges, de climatiseurs et de moustiquaires, ainsi que des recommandations nationales.

#### III.1.1. Protection contre les piqûres de moustiques

Cette méthode comprend:

- L'utilisation des moustiquaires et moustiquaires imprégnées d'insecticide sont toutes les deux à base de produits chimiques.

- La protection corporelle par le port de vêtements couvrant la majeure partie du corps, et l'utilisation d'un insectifuge sur la peau exposée.

#### III.1.2. Vaccination

Cette méthode de prévention consiste à l'utilisation des vaccins tel que le vaccin RTS,S/AS01 qui renforce les mesures de prévention contre le paludisme, la vaccination contre la fièvre jaune qui est la seule obligatoire au cours du voyage selon le règlement sanitaire international (Charlier et Consigny, 2015). La vaccination contre la dengue qui est réservée aux personnes vivant dans des zones d'endémie et ayant un antécédent d'infection par le virus de la dengue (Camus et Chidiac, 2019).

Malgré les difficultés d'approvisionnement rencontrées pour certains vaccins, ceux contre la fièvre jaune et l'encéphalite japonaise et la dengue sont disponibles pour le moment (Gyawali *et al*., 2016). Pour le virus du Nil occidental, Il existe des vaccins pour les chevaux, mais pas encore pour les êtres humains (OMS, 2017b). Mais, aucun vaccin efficace contre la fièvre de la vallée du Rift n'existe, de même qu'il n'y a pas de vaccin non plus disponible pour immuniser les gens contre Zika (Gyawali *et al*., 2016).

### III.1.3. Chimioprophylaxie

La prophylaxie dépendra de la région considérée. Le choix des médicaments dépend de la destination du voyage, de la durée de l'exposition potentielle aux vecteurs, du profil de résistance des parasites, du niveau et de la saisonnalité de la transmission, de l'âge et de la grossesse.

Les voyageurs qui se rendent dans des régions où le paludisme est endémique, peuvent prévenir le paludisme en suivant une chimioprophylaxie. La plupart des médicaments de chimioprophylaxie sont pris un mois après avoir quitté la zone de paludisme pour permettre au parasite d'atteindre le stade sanguin visé. Cependant, la plupart des antipaludiques ne tuent pas les stades hépatiques du parasite (Haston *et al*., 2019).

L'utilisation de la chimioprophylaxie est très faible. La chloroquine ou nivaquine, la chloroquine associée à la proguanil, la méfloquine, l'atovaquone associée au proguanil et les cyclines ont été utilisés contre le paludisme en traitements préventif et curatif pendant les séjours de moins de 3 mois pour les adultes et les enfants.

Jusqu'à récemment, seule la primaquine était utilisée (Haston *et al*., 2019). La tafénoquine est un antipaludique supplémentaire approuvé pour la prophylaxie du paludisme à *P vivax* chez les adultes mais il est contre indiqué chez les personnes souffrant d'un déficit en glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PD) (Rueangweerayut *et al*., 2017).

## III.2. Méthodes de lutte antivectorielle

Il existe différentes stratégies de lutte telles que la modification de l'habitat, la lutte génétique, le traitement chimique et l'utilisation d'agents biologiques. Chacun a ses avantages et ses inconvénients en termes d'efficacité, de coûts et d'impacts environnementaux.

### III.2. 1. Lutte anti-larvaire

La lutte contre les moustiques, aux stades de leur vie aquatique, est un moyen utile pour la prévention et le contrôle des maladies à transmissions vectorielles. Elle revêt une importance primordiale pour réduire la transmission de la maladie en l'absence de vaccin. Elle permet la réduction de la transmission à la source par la suppression des gîtes larvaires et par la diminution du vecteur au stade de vie pré imaginale.

À partir de ce stade, plusieurs méthodes peuvent être utilisées afin d'agir sur la réduction des sources de propagation. La lutte fait appel à des méthodes chimique, physique et biologique tels que :

#### III.2.1.1. Contrôle chimique antilarvaire par les insecticides organiques de synthèse

L'épandage d'insecticides /larvicides dont les plus utilisés restent les organophosphorés très employés dans les milieux riches en matières organiques (malathion, fénithrothion, fenthion et chlorpyriphos…). Cette classe chimique peut être utilisable dans l'eau de boisson (téméphos) (Chandre, 1998). Le téméphos ou Abate ® agit sur les larves de moustiques du genre *Culex, Aedes, Anopheles e*t *Culiseta*. Il a une grande efficacité sur les anophèles et c'est l'insecticide de choix dans la lutte contre *Ae. aegypti* dans gîtes domestiques propices au développement de cette espèce (Carnevale *et al*., 1995). Les benzyolurées tels que diflubenzuron, triflunuron sont des insecticides larvicides perturbateurs de mues. Ils se caractérisent par un mode d'action qui perturbe la formation de la chitine. Ils ciblent la chitine synthétase. Les insectes meurent lors de la mue suivante. Ils sont faiblement toxiques pour l'homme (Carnevale *et al*., 2009).

L'utilisation des analogues d'hormones d'insectes qu'on appelle des régulateurs de croissance ou des inhibiteurs de croissance. Ils causent des perturbations au niveau des processus biochimiques essentiels au développement larvaire et/ou nymphal. Ainsi, les larves ne sont pas directement tuées mais bloquées dans leur développement. Le diflubenzuron, le pyriproxyfène et le S-méthoprène sont des larvicides les plus autorisés.

#### III.2.1.2. Lutte mécanique antilarvaire

La lutte mécanique dans laquelle les gîtes larvaires sont réduits, voire supprimés par la mise en œuvre des travaux d'aménagement (Assainissement, faucardage, drainage, élimination de l'eau stagnante, gestion des déchets…).

#### III.2.1.3. Lutte biologique antilarvaire

La lutte biologique basée sur l'utilisation des biopesticides et des organismes prédateurs ou parasites ciblant des vecteurs de maladies à savoir :

- L'emploi des produits extraits à partir de plantes, qui sont des extraits aqueux ou sous forme d'huiles essentielles, contiennent des substances toxiques pouvant agir efficacement sur les moustiques (El Akhal, 2015).

- L'utilisation de film de surface mono moléculaire qui permet le blocage du cycle de développement du moustique (Basilua Kanza, 2013).

- L'utilisation de prédateurs naturels qui s'exploite d'une manière limitée. Il consiste à utiliser des espèces accompagnatrices des moustiques telles que :

- L'utilisation des Copépodes Cyclopides (Saleeza *et al*., 2014), les espèces de *Mesocyclops* et *Macrocyclops* sont plus efficaces contre les larves *Ae. Aegypti* de premier stade ;
- L'utilisation des Coléoptères tel que l'*Acilius sulcatus* (Coleoptera: Dytiscidae) (Chandra *et al*., 2008) ;
- L'utilisation des Odonates, des Diptères (principalement des prédateurs aquatiques) et des Hémiptères (principalement des prédateurs de surface) (Shaalan et Canyon, 2009) ;
- L'utilisation des poissons du genre *Poecilia reticulata, Tilapia mossambica* et *Sarotherodon niloticus* et *Gambusia affinis*. Cette dernière est très utilisée pour lutter contre la dengue. Elle est plus efficace contre les larves de moustiques de l'espèce *Aedes*, en particulier *Ae. aegypti* et *Ae. albopictus*, mais peu efficace pour détecter *Cx. tarsalis, Cx. quinquefasciatus* et *Cx. pipiens* (Huang *et al*., 2017) ;
- L'utilisation des larves de moustiques du genre *Toxorhynchites* (Tx) tels que l'espèce *Tx. splendens, Tx. brevipalpis, Tx. moctezuma, Tx. Amboinensis,* et *Tx. Rutilu* (Huang *et al*., 2017). Les *Toxorhynchites spp*. cible principalement *Ae. Aegypti* et *Ae. Albopictus* (Schiller *et al*., 2019).

- L'utilisation de micro-organismes depuis les années soixante par la manipulation des champignons entomopathogènes responsables de la mortalité des larves du vecteur du paludisme *An. gambiae* (Huang *et al*., 2017). *Beauveria bassiana* a été utilisée contre l'*Ae. Aegypti*. *Lagenidium giganteum* était une autre espèce utilisée sur le terrain ciblant *Cx. tarsalis, et* des champignons appartenant au genre *Coelomomyces* ont été utilisées pour lutter contre *An. gambiae* (Huang *et al*., 2017).

- L'utilisation de certains micro-organismes entomopathogènes tels que *Bacillus thuringiensis var. israelensis* et *Bacillus sphaericus* les plus utilisées pour lutter contre les larves de moustiques. La bactérie *Bacillus sphaericus* peut être employée dans des gîtes larvaires où *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti) est peu efficace. L'efficacité de cette dernière a été démontrée dans le cadre de lutte à grande échelle contre *Cx. pipiens* et *Cx. quinquefasciatus* tant en France, en Afrique, en Inde et en Amérique latine (Chandre, 1998).

L'utilisation de la souche toxique *Clostridium bifermentans serovar malaysia* (C.b.m), qui est le premier pathogène anti-moustique strictement anaérobie avec une spécificité pour les larves de Culicidés (Yiallouros *et al*., 1994).

- L'utilisation des virus pathogènes tels que les baculovirus, les cypovirus, les densovirus, les iridovirus qui sont responsables de la polyédrose cytoplasmique ou nucléaire chez les moustiques (Abagli *et al*., 2014).

- L'utilisation des nématodes comme étant le succès initial en causant la létalité chez les moustiques ont été signalés. Les espèces *Romanomermis culicivorax* et *Romanomermis iyengari* sont plus utilisables contre les anophèles que les moustiques *Culex*. L'espèce *Romanomermis iyengari*, est un biocontrôle qui infecte l'*An. sacharovi* et *Cx. theileri* et plus efficace contre *An. gambiae* (Abagli *et al*., 2019). Quelques espèces de moustiques des différentes parties du monde sont réfractaires à *Romanomermis culicivorax*, bien que *Mansonia* spp et *Cx. poicilipes* soient signalées sensibles à ce nématode (Vyas-Patel., 1988).

- L'utilisation des insecticides biologiques tels que les biocides biologiques produits par les bactéries actinomycètes du sol *Saccharopolyspora spinosa* qui sont marquées d'une nouvelle classe de produits de lutte contre les larves de moustiques (Hertlein *et al*., 2010). L'action de ces composés est caractérisée par l'excitation du système nerveux de l'insecte, entraînant des contractions musculaires involontaires, une prostration avec tremblements et une paralysie (Darriet *et al*., 2005).

La lutte contre les insectes aux deux premiers stades larvaires par l'utilisation des produits larvicides commerciaux à base de la bactérie Bti est de plus en plus utilisée pour le contrôle de ces insectes, particulièrement efficace dans les eaux riches en matière organique (Damiens *et al*., 2010) et plus efficace contre les larves d'*Aedes* ou de *Culex* que pour les larves *d'Anopheles* (Damiens *et al*., 2010).

### III.2.2. Lutte contre les adultes

La lutte anti-imaginale peut être considérée selon deux concepts majeurs, la lutte à grande échelle et la lutte à l'échelle individuelle et familiale.

#### III.2.2.1. Lutte chimique anti-imaginale

La pulvérisation des insecticides chimiques tels que les organophosphorés, les organochlorés, les carbamates et les pyréthrinoïdes sont les principales armes contre les adultes et les stades larvaires de moustiques vecteurs (Hazratian *et al*., 2019). Ils sont très répandus contre les principaux vecteurs du paludisme dans les Régions Afrique, Asie du Sud-Est, Amériques, Méditerranée orientale et Pacifique occidental. L'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides à longue durée d'action (MILDAs) a permis de diminuer largement l'incidence palustre dans les zones endémiques.

**- Organochlorés :**

Les Organochlorés sont parmi les insecticides les plus anciens et les plus persistants. Ils sont subdivisés en trois sous-groupes, selon leur structure chimique et leur mode d'action:

Le lindane et les cyclodiènes qui sont des insecticides neurotoxiques, agissent sur le système nerveux central en bloquant les récepteurs GABA (Acide Gamma-Amino.Butyrique) et empêchent alors l'entrée des ions chlorures au niveau neuronal.

Le Dichloro-Diphénil-Trichloréthane (communément appelé DDT) et ces analogues, qui agissent sur le système nerveux central et périphérique des insectes. Son action est rapide, efficace contre les moustiques, il peut être toxique pour les humains et les animaux. Leur disparition quasi générale résulte principalement de leur trop grande persistance dans les milieux naturels. Ce qui a entraîné son interdiction dans la plupart des pays. Mise à part sa toxicité, l'utilisation de DDT pour la lutte contre les vecteurs de maladies a été défendue par l'OMS qui a proposé, grâce à son efficacité, une dérogation limitée dans le temps pour l'utiliser (OMS, 2004).

**- Organophosphorés :**

Les Organophosphorés appartiennent à la famille chimique des anti-cholinestérasiques. Ce sont des esters de l'acide phosphorique. La pénétration des organophosphorés peut se faire par contact, digestion ou inhalation. Ce sont des molécules neurotoxiques qui bloquent l'activité enzymatique des acétylcholinestérases et empêchent ainsi la transmission de l'influx nerveux.

**- Carbamates :**

Ce groupe dérivé de l'acide carbamique, qui agit en inhibant l'activité enzymatique de l'acétylcholinestérase. Il comprend un nombre important de molécules. Le propoxur, le carbaryl, le bendiocarb et le carbosulfan sont les molécules les plus expérimentées en santé publique.

**- Pyréthrinoïdes de synthèse :**

Ces insecticides agissent sur le système nerveux central et périphérique des insectes en provoquant une excitation nerveuse répétée aux travers des pompes à sodium en augmentant la fréquence des décharges nerveuses ou le temps d'ouverture des canaux (Darriet, 2007).

Les méthodes de lutte contre les moustiques les plus efficaces comprennent une variété d'outils insecticides qui ciblent les adultes ou les juvéniles. Cependant, l'utilisation d'insecticides pour la lutte antivectorielle, dans certains cas comme le Dichloro-Diphényl-Trichloroéthane, peut être efficace contre les moustiques et toxique pour les humains et les animaux. Dans d'autres contextes, l'utilisation extensive d'insecticides peut favoriser l'apparition d'une résistance et même entraîner des modifications du comportement alimentaire et du comportement au repos (Gatton *et al*., 2013, Ranson *et al*., 2011, Hakizimana *et al*., 2018). Ainsi, il peut conduire à une sensibilité réduite des protéines cibles sur lesquelles un insecticide agit à une détoxification par la modification des voies métaboliques permettant sa dégradation accrue aux insecticides (Liu, 2015). Également, la résistance est modulée par l'interaction de gènes régulateurs et de gènes de résistance. Ce qui rend cette intervention moins efficace (Adalja *et al*., 2016).

#### III.2.2.2. Lutte génétique anti-imaginale

La lutte contre les adultes par la libération de moustiques mâles stériles génétiquement modifiés (Bawin *et al*., 2014), qui s'intéresse particulièrement à la perturbation des étapes d'insémination en accouplement. Cela peut finalement conduire à l'extinction de l'espèce. Ainsi, la lutte par la stratégie de la manipulation génétique des moustiques porteurs d'un gène létal dominant. Cette méthode a démontré que ce gène était capable de supprimer les populations de moustiques, mais il faut le libérer en continu sur de grands nombres de moustiques transgéniques pendant plusieurs mois (Dorigatti *et al*., 2018).

#### III.2.2.3. Lutte biologique anti-imaginale

De nombreuses approches ont été utilisées pour les stratégies de contrôle biologique contre les moustiques adultes, notamment l'utilisation de phéromones, les manipulations génétiques, les semences et les extraits de plantes, et les agents pathogènes (Rashad *et al*., 2012).

Le *Wolbachia* représente une forme de biocontrôle des maladies arbovirales (Dorigatti *et al*., 2018), dont la dengue, le Zika, le chikungunya et la fièvre jaune. Cette bactérie endosymbiotique, présente à l'état naturel chez plus de 60% des insectes (Vavre et Mavingui, 2011), est capable d'agir sur leur reproduction, et de réduire la transmission des agents infectieux chez de nombreuses espèces de moustiques telles que l'*Ae. aegypti*, *Ae. aegypti*, *Cx. pipiens* et *An. gambiae.*

La stérilité est induite lorsque les moustiques mâles infectés par le *Wolbachia* s'accouplent avec des femelles non infectées, leurs œufs n'éclosent pas. À l'inverse, les femelles infectées par le *Wolbachia* peuvent s'accoupler avec des mâles infectés ou non infectés et produire une progéniture infectée à presque 100%. Ce qui réduit la compétence de l'espérance de vie des vecteurs pathogènes (Huang *et al*., 2017).

Les champignons entomopathogènes sont prometteurs en tant qu'agents efficaces et résistants à l'évolution contre les moustiques adultes. De plus, les champignons transgéniques peuvent exprimer des molécules effectrices anti-parasitaires qui peuvent cibler le parasite à l'intérieur de son vecteur (Rashad *et al*., 2012). Certains *Metarhizium spp* sont des souches pathogènes pour les moustiques adultes et sont considérés comme respectueux de l'environnement (Lovett *et al*., 2019).

#### III.2.2. 4. Lutte physique anti-imaginale

Elle consiste à empêcher le vecteur de piquer l'homme en installant les habitations humaines à distance des gîtes larvaires, ou en interposant une barrière mécanique (grillage de fenêtres moustiquaires) limitant l'accessibilité de l'hôte pour les vecteurs à la recherche du repas de sang. Cette méthode est plus applicable en milieu urbain par rapport aux zones rurales.

### III.2.3. Amélioration de la lutte anti-vectorielle en biais de la mobilisation sociale

Les mesures de précaution et de prévention dépendent des pouvoirs publics. Pourtant, l'implication des individus dans les efforts de lutte anti-vectorielle est aussi primordiale à la prévention de l'aggravation des maladies à transmission vectorielle (Molho, 2018).

La mobilisation sociale et son application dans le domaine de la prévention des maladies à transmission vectorielle sont considérés comme préalables au développement d'un programme de lutte. La prise en charge de l'évaluation de leurs connaissances, leur perception et leur attitude vis-à-vis des vecteurs est utile à l'amélioration de la lutte anti-vectorielle. Cependant, la littérature internationale face à cette question est très pauvre.

Tous ces moyens de lutte sont limités dans l'espace. C'est pourquoi, il est difficile de lutter efficacement contre les vecteurs de moustiques. De plus, les moustiques de certaines régions sont devenus de plus en plus résistants à certains insecticides, ce qui constitue un obstacle majeur au succès des programmes de lutte antivectorielle (Adalja *et al*., 2016, Hazratian *et al*., 2019). Par conséquent, il convient d'agir d'urgence pour maintenir l'efficacité d'une telle lutte. La mise en place d'une surveillance entomologique comme système d'alerte précoce pour prévenir de futures épidémies est hautement nécessaire.

.

# DEUXIÈME PARTIE
# MATÉRIEL ET MÉTHODE

# MATÉRIEL ET MÉTHODES

## I. MILIEU D'ÉTUDE

La ville de Fès est la capitale culturelle intellectuelle et spirituelle du royaume du Maroc. Elle connaît une dynamique urbaine en plein accroissement. Cette croissance est la cause essentielle de l'augmentation de sa population humaine de 977946 en 2004 à 1150131 habitants en 2014. Elle a une densité de 3464.3 habitants/ $Km^2$ et un nombre de 3521 étrangères. Elle est située au centre Nord du Maroc (Figure 14), elle est placée à 415 m d'altitude sur les terres fertiles de la plaine du Saïs entre les riches forêts des chaînes montagneuses du Moyen Atlas et le Rif. Elle est limitée au nord par les rides pré rifaines (Jbel Tghat et Jebel Zalagh) (Boukhir *et al.,* 2017a), au Sud par les causses moyens atlasiques tabulaires, à l'Est par la vallée de l'Oued Sebou, et à l'ouest par le plateau de Meknès. Elle reçoit annuellement 545 mm de précipitations et possède un climat continental. Les températures y sont basses lorsque la neige recouvre les montagnes avoisinantes en hiver, tandis qu'en été, la chaleur y est très forte. Deux saisons se distinguent nettement : l'une sèche, de Juin à Septembre et l'autre humide d'Octobre à Avril. Mais, les pluies sont suffisantes avec un régime interannuel relativement stable avec une variable moyenne de précipitation mensuelle (Tableau1).

**Tableau 1**: Moyennes des précipitations mensuelles de la région de Fès durant la période d'étude

| | **Nov-2015** | **Déc-2015** | **Janv-2016** | **Fév-2016** | **Mars-2016** | **Avr-2016** | **Mai-2016** | **Juin-2016** | **Juil-2016** | **Août-2016** | **Sept-2016** | **Oct-2016** | **Nov-2016** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **P. mens** | 6 | 0 | 14,7 | 69 | 57 | 19,2 | 40,6 | 0,9 | 0 | 0 | 0 | 71,9 | 65,6 |
| **Min** | 2 | - | 0,6 | 0,2 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | - | - | - | 0,9 | 0,3 |
| **Max** | 4 | - | 7,4 | 30,1 | 26,4 | 12,9 | 12,9 | 0,6 | - | - | - | 37 | 21,6 |
| **Nj. pluie** | 2 | 0 | 4 | 8 | 6 | 10 | 10 | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 |

**P. mens** : Précipitation mensuelle. **Nj. Pluie** : Nombre de jour de pluie

Le couvert végétal naturel de la ville est composé de plantes adaptées au climat semi- aride. Les champs cultivés sont caractérisés par la fréquence des cultures céréales et maraîchères (El Ouali Lalami *et al*., 2011).

Les affleurements géologiques de la région sont dominés par des marnes bleues datées du Messinien (Charroud *et al*., 2007), des conglomérats formés par des dépôts fluviatiles, présents principalement dans la partie nord de la région, à la limite avec la ride de Tghat et s'étendent vers l'est au niveau de Borj sud de la ville et à El Gâada (Charroud *et al*., 2007),

des calcaires lacustres dans la partie centrale de la plaine de Fès (Bensouda), des alluvions (Boukhir *et al*., 2017b), des limons et tufs qui s'étendent largement au Sud-Sud-Est de la ville nouvelle ainsi que sur la rive nord de l'Oued Fès.

Elle se caractérise par divers aspects du réseau hydraulique et elle se base en majeure partie à la nappe phréatique pour l'alimentation en eau et l'irrigation des campagnes avoisinantes.

C'est une région avec une terre humide, parcourue par plusieurs oueds tels que; Oued El Himmer, Oued El Maleh, Oued Aîn Chkef, Oued Mehrez, Oued Boufekrane et Oued Fès qui débouchent sur Oued Sebou qui reçoit la majeure partie des eaux usées de l'agglomération de Fès. Ces oueds contribuent, pendant les saisons sèches de l'année, à la formation de nombreux gîtes propices au développement de différentes espèces de moustiques. La région comprend également des sources naturelles et des stagnations d'eau artificielles qui constituent des lieux propices à la prolifération des moustiques.

Elle est reconnue par sa proximité à des zones à passé épidémiologique récent et à risque potentiel de transmission du paludisme telles que les provinces de Chefchaouen, Khouribga, Khémisset et Taounate (Faraj *et al*., 2003).

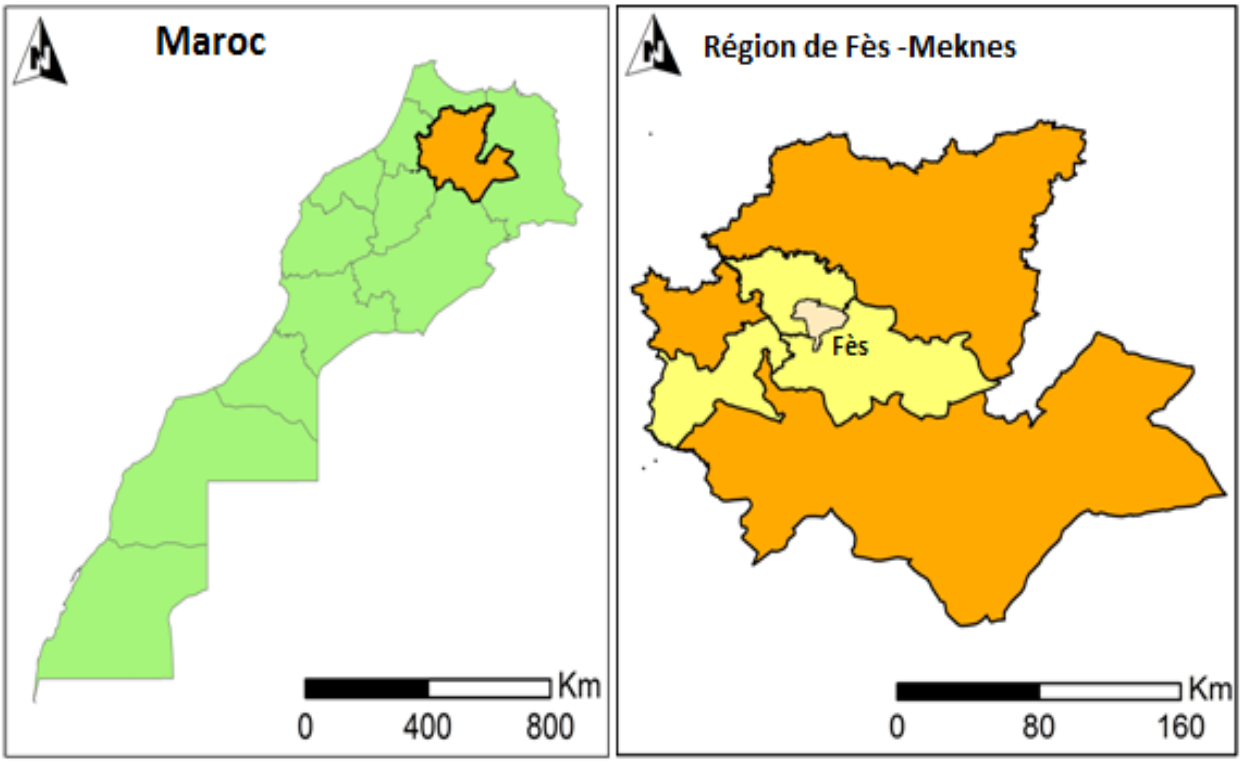



**Figure 14 :** Localisation de la zone d'étude.

### I.1. Gîtes étudiés

L'étude a été entreprise sur des habitats de différentes natures dans lesquels 27 gîtes ont été prospectés au cours de l'inventaire, quatre gîtes représentatifs ont été choisis pour étudier la dynamique et la biotypologie des larves Culicidiennes (Figure 15).

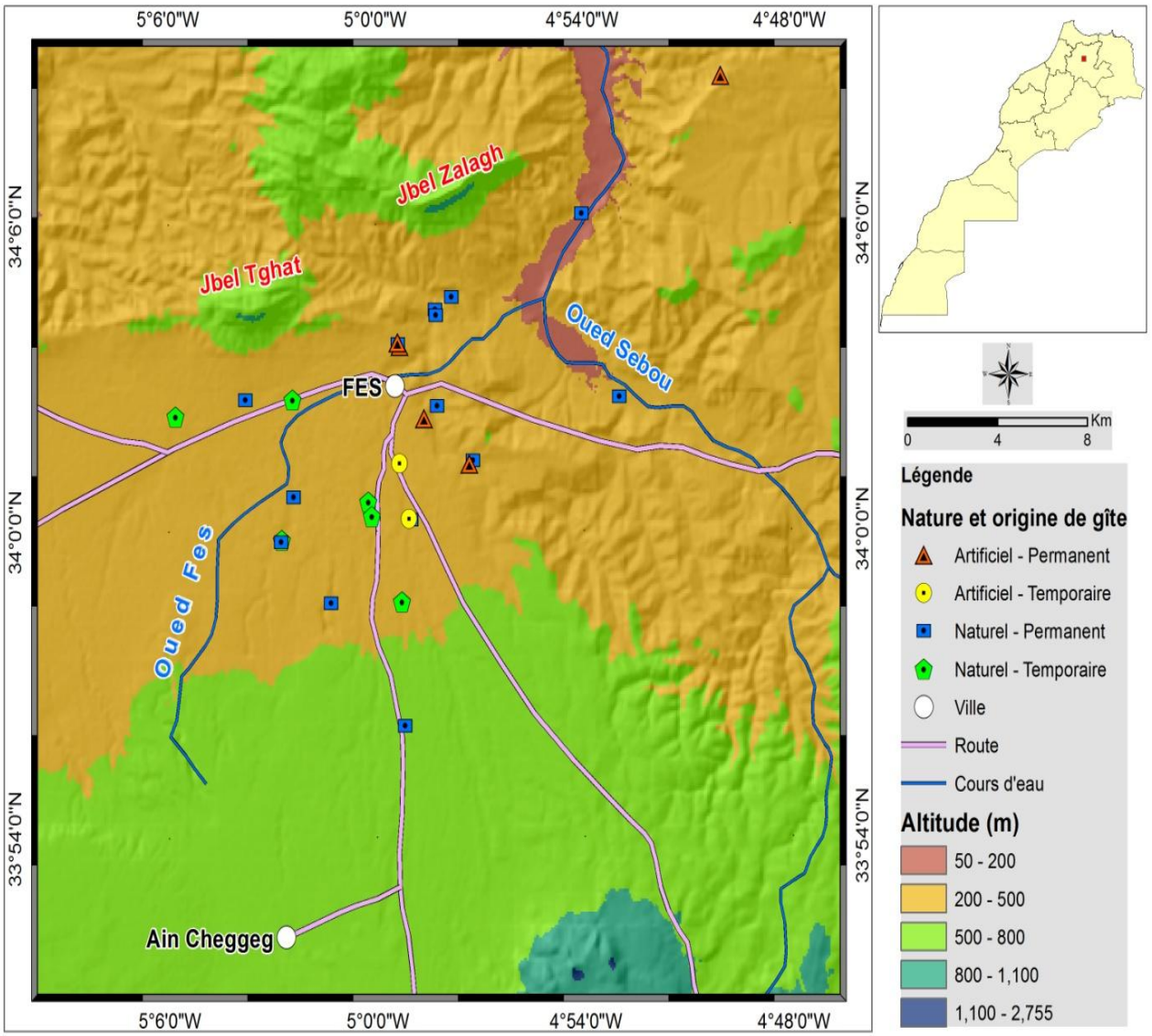



**Figure 15 :** Localisation des gîtes échantionnés dans la région de Fès.

Le tableau 2 représente les coordonnées géographiques des gîtes étudiés. Ce sont soit des gîtes temporaires ou permanents, artificiels ou naturels.

**Tableau 2** : Coordonnées géographiques des gîtes étudiés

| Numéro d'ordre | Nom | Latitude | Longitude | Altitude (m) | Origine | Nature |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Oued Wislane | 34°02.289'N | 004°58.132'W | 339 | Naturel | Permanent |
| 2 | Aîn Knssara | 34°08.732'N | 004°49.909'W | 367 | Naturel | Permanent |
| 3 | Oued Sebou | 34°06.051'N | 004°53.943'W | 181 | Naturel | Permanent |
| 4 | Sidi Harazem | 34°02.459'N | 004°52.866'W | 216 | Naturel | Permanent |
| 5 | Lac Jnan Sbil | 34°03.461'N | 004°59.214'W | 382 | Artificiel | Permanent |
| 6 | Oued Jnan Sbil | 34°03.507'N | 004°59.264'W | 383 | Naturel | Permanent |
| 7 | Fontaine Jnan Sbil | 34°03.532'N | 004°59.275'W | 385 | Artificiel | Permanent |
| 8 | Grand Canal | 34°02.091'N | 005°05.697'W | 386 | Naturel | Temporaire |
| 9 | Oued Fès | 34°02.419'N | 005°03.676'W | 381 | Naturel | Permanent |
| 10 | Flaque de Marjat Lwazani | 34°00.516'N | 005°02.310'W | 411 | Naturel | Temporaire |
| 11 | Source de Marjat Lwazani | 34°00.516'N | 005°02.287'W | 409 | Naturel | Permanent |
| 12 | Oued Lmzah | 33°59.672'N | 005°02.629'W | 427 | Naturel | Temporaire |
| 13 | Diamant Vert | 33°59.638'N | 005°02.657'W | 442 | Naturel | Permanent |
| 14 | Douwar Lhandiya | 34°02.049'N | 004°58.512'W | 410 | Artificiel | Permanent |
| 15 | Montfleuri II, Oued | 34°00.067'N | 004°58.897'W | 445 | Naturel | Permanent |
| 16 | Montfleuri II, Bergerie | 34°00.085'N | 004°58.952'W | 450 | Artificiel | Temporaire |
| 17 | Awinat Elhajaj | 34°01.226'N | 004°57.105'W | 382 | Naturel | Permanent |
| 18 | Barrage El Gaâda | 34°01.155'N | 004°57.213'W | 400 | Artificiel | Permanent |
| 19 | Lotissement Al mamounia | 34°01.170'N | 004°59.229'W | 469 | Artificiel | Temporaire |
| 20 | Aîn Amier | 34°00.416'N | 005°00.131'W | 437 | Naturel | Temporaire |
| 21 | Lmsefer | 34°00.134'N | 005°00.028'W | 425 | Naturel | Temporaire |
| 22 | Aîn Chkef | 33°58.436'N | 005°01.210'W | 447 | Naturel | Permanent |
| 23 | Oued EL Heimmer | 33°58.458'N | 005°59.171'W | 450 | Naturel | Temporaire |
| 24 | Aéroport Sais | 33°56.035'N | 004°59.085'W | 566 | Naturel | Permanent |
| 25 | Jnan EL Alami | 34°04.421'N | 004°57.710'W | 242 | Naturel | Permanent |
| 26 | Jnan Edrder Source 1 | 34°04.181'N | 004°58.183'W | 270 | Naturel | Permanent |
| 27 | Jnan Edrder Source 2 | 34°04.066'N | 004°58.169'W | 266 | Naturel | Permanent |

Les vingt-sept gîtes sont représentés par 12 cours d'eau dont 40% reçoivent des eaux usées, 07 sources, 02 fontaines, 03 marécages, 01 lac, 01 retenue de barrage et 01 réservoir d'eau. Entre- temps des petites collections d'eaux ont été prospectées durant l'étude. La figure 16 indique les images de quelques gîtes étudiés.


A


B


C


D


E


F




**Figure 16** : Types d’habitats étudiés (Photos prises par moi- même).

**A**, **B**, **C**, **D**, **E** et **F** : Exemples des gîtes Natureles. **A** : Lmsefer; **B**: Aîn Chkef; **C** : Source de Marjat Lwazan ; **D** : Grand Canal ; **E** : Oued Fès; **F** : Awinat Elhajaj .

**A’**, **B’**, **C’**, **D’**, **E’** et **F’** : Exemples des gîtes Artificieles. **A’** : Jnan Edrder Source 1; **B’**: Barrage El Gaâda ; **C’**: Lac Jnan Sbi ; **D’** : Aîn Knssara; **E’** : Montfleuri II, Bergerie ; **F’** : Fontaine Jnan Sbil.

### I.2. Choix des gîtes représentatifs

Le choix des gîtes larvaires a été fait après une prospection sur le terrain, au cours de laquelle, les types de gîtes larvaires potentiels ont été répertoriés et sélectionnés. Les critères de choix ont porté sur les paramètres essentiels suivants: le passé épidémiologique du gîte, la présence de larves; l'accessibilité, le non-traitement chimique des collections d'eau, la proximité d'agglomérations humaines; le caractère permanent et/ou temporaires des gîtes larvaires. Quatre gîtes de références représentant différents types d'habitats écologiques ont été pris en considération pour l'échantillonnage: un barrage, une rivière, un marécage et une source (Figure 17).

**Jnan EL Alami** : C'est un terrain agricole contenant des établissements à usage industriel située sur l'aval de l'Oued de Sebou. C'est l'une des rivières les plus polluées de la région. Il reçoit plusieurs affluents pollués issus des engrais des champs agricoles, des déchets industriels et de l'activité artisanale et ménagère de la zone urbaine Jnanat à l'Est de l'arrondissement Fès Medina.

**Barrage El Gaâda** : C'est un barrage collinaire de protection contre les inondations, de 30 m de hauteur sur fondation avec 2,90 $Mm^3$ de capacité de rétention et 10205,21 $Mm^3$ de capacité totale cumulée, situé au bassin versant de Sebou sur l'Oued Boufekrane, sur une terre zonée. Il s'agit d'un réservoir artificiel alimenté par les eaux de ruissellement qui contribue à l'approvisionnement en eau potable et permet une irrigation supplémentaire pour les cultures pendant les périodes sèches.

**Awinat Elhajaj** : Cette zone est située dans la zone périmètre urbain qui limite le quartier Awinat Elhajaj (près de la falaise barrage collinaire El Gaâda) et la rocade Sidi Harazem. Cette zone agricole est alimentée par l'Oued Boufekrane et caractérisée par sa proximité à des habitats humains et des abris d'animaux. Ce site naturel est un marécage peu profond, affluent des canaux des eaux du barrage El Gaâda.

**Douwar Lhandiya** *:* C'est une source artificielle située, en particulier, près de la zone agriculture Wislane contenant un oued très pollué par des eaux usées domestiques. Le choix de la station a été fait car il s'agit d'une zone périurbaine, proche du campus universitaire Dhar El Mehraz de Fès, et il serait probable qu'un grand nombre d'étudiants étrangers pourraient être porteurs de maladies infectieuses, généralement importées des zones d'endémie.

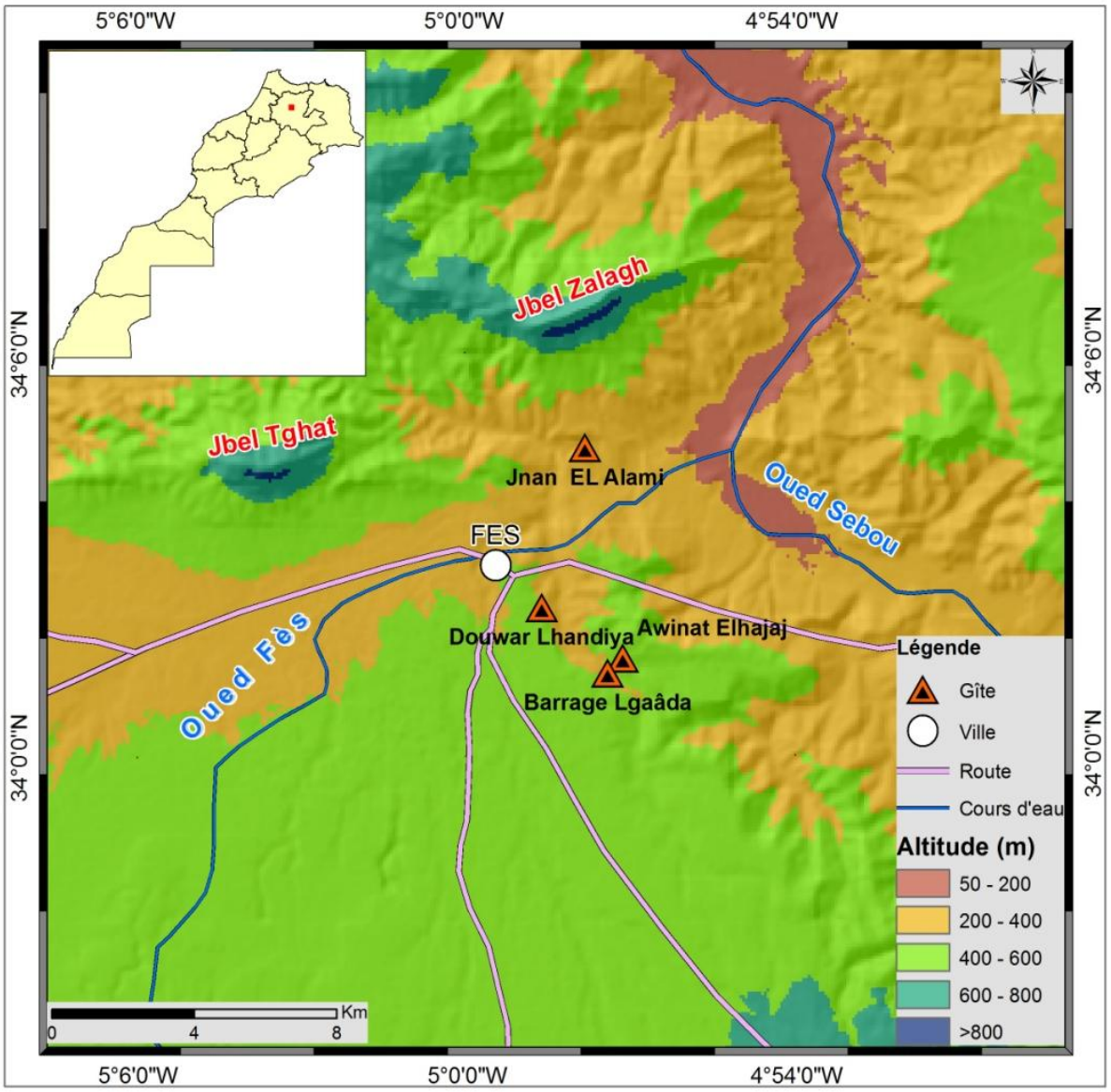



**Figure 17** : Localisation des quatre gîtes représentatifs.

## II. PÉRIODE D'ÉTUDE

L'étude de l'inventaire de moustiques au niveau des 27 gîtes a été effectuée tous les deux mois entre Novembre 2015 et Décembre 2016.

L'étude de la fluctuation saisonnière et celle des facteurs abiotiques et biotiques influençant la prolifération des espèces les plus courantes dans la région de Fès ont été menées de Novembre 2015 à Novembre 2016 à un intervalle de quinze jours et à raison d'au moins un prélèvement par mois.

Les relevés floristiques et faunistiques représentatifs ont été réalisés durant toute la période d'étude.

L'enquête des connaissances vis-à-vis des vecteurs de maladies (cas du paludisme) ainsi que sur les moyens de prévention et de lutte anti vectorielle, auprès de la population estudiantine, a été menée de Janvier à Juillet 2020 dans la ville de Fès.

## III. TRAVAIL AU TERRAIN

### III.1. Techniques d'échantillonnage

L'échantillonnage des larves de moustiques a été réalisé dans les différents biotopes choisis, moyennant la méthode de « Dipping » dans les gîtes peu profonds (Service, 1976) (Figure18). Dans les milieux profonds, les larves ont été récoltées à l'aide d'un seau de 30 cm de diamètre, attaché à une corde (El Joubari *et al*., 2014). L'échantillonnage a été fait en effectuant 10 coups de louche. Les larves récoltées ont été prélevées avec une pipette à poire et conservées dans des piluliers en verre étiquetés contenant une solution d'éthanol à 70%.



**Figure 18** : Technique d'échantillonnage des larves de moustiques via la méthode de «Dipping » (Photos personnelles, 2016)

Pour chaque gîte positif en Culicidés, l'échantillonnage de la végétation a été fait de manière concomitante avec le prélèvement larvaire. Cette flore a été mise dans du papier journal portant la date du relevé de la végétation et le nom du gîte. De même, la récolte des espèces aquatiques les plus fréquentes a été réalisée. Ces espèces ont été déterminées et ont été soigneusement conservées dans des flacons contenant de l'alcool à 70% portant le nom du gîte et la date de l'échantillonnage.

La collecte des algues planctoniques a été effectuée à l'aide d'un filet à plancton dont le vide de maille est approximativement de 40µ. Après avoir récupérer l'échantillon, le filet est rincé dans un petit volume d'eau. Le liquide riche en algues ainsi obtenu est recueilli dans des flacons étiquetés.

### III.2. Étude de l'habitat larvaire

L'obtention de nouvelles données sur les espèces inventoriées dans tous les gîtes larvaires nous a inspiré de prélever en parallèle, au moyen d'appareils portables, les paramètres physico-chimiques des différents biotopes (le pH, la température, l'oxygène dissous, le total des solides dissous, la salinité, la conductivité électrique, la turbidité et la profondeur).

L'étude des facteurs affectant l'abondance des larves de moustiques (Diptera : Culicidae) dans la région de Fès, nous a amené à la caractérisation de l'habitat des larves des gîtes représentatifs. Ainsi, la date, les conditions météorologiques du moment et les caractéristiques des macro habitats ont été enregistrées, y compris l'usage de l'eau (boisson du bétail, industrie, lavage, irrigation), la profondeur moyenne des gîtes (mesurée en 3 points différents), le débit d'eau, la pente (pente nulle, pente moyenne, forte pente), la couleur et l'origine de l'eau (source, rivière, barrage, canalisation de barrage, rejets d'eaux usées), la proximité de l'habitat de reproduction des moustiques, la présence de végétations, de débris, et d'algues filamenteuses. En outre, le pH, la température, l'oxygène dissous et le total des solides dissous ont été relevés à l'aide de l'analyseur multi-paramètres Consort C561. La salinité a été prise en même temps que les mesures de la conductivité électrique en utilisant l'instrument de qualité de l'eau YSI scientific et la turbidité a été enregistrée par le turbidimètre Lovibond ® Turbidirect (Figure 19). Une fiche technique a été utilisée pour noter les données sur le terrain (Annexe 1).



**Figure 19** : Technique de mesure des paramètres physico-chimiques

(Photos personnelles, 2016).

## IV. TRAVAIL AU LABORATOIRE

L'identification des espèces récoltées a été faite au Laboratoire de Biotechnologie, Conservation et Valorisation des Ressources Naturelles (LBCVRN) à la faculté des sciences

Dhar El Mehrez. L'identification des caractères morphologiques des larves de moustiques a été déterminée à l'aide d'un microscope optique de marque OPTIKA, à l'aide de la clé d'identification marocaine des Culicidés (Himmi *et al*., 1995) et à l'aide d'un logiciel d'identification des moustiques de l'Afrique méditerranéenne (Bruhnes *et al*., 1999). Les spécimens identifiés ont été confirmés au laboratoire d'Entomologie, Département de Parasitologie à l'Institut National d'Hygiène de Rabat. Une clé simplifiée a été représentée au niveau de l'annexe (Annexe 2). L'identification des espèces faunistiques a été faite par le Pr Raja GUEMMOUH moyennant une loupe de même marque à l'aide de la clé de détermination des macroinvertébrés (Tachet *et al*., 1992). L'identification des plantes a été faite à l'aide du manuel de détermination des plantes vasculaires (Fennane *et al*., 1999, Fennane *et al*., 2007 et Fennane *et al*., 2014) et la confirmation été faite par Madame BARI Amina, Professeur de Floristique, Faculté des Sciences Dhar El Mehraz. L'identification des espèces d'algues a été faite par des doctorantes membres du même laboratoire à l'aide d'un microscope optique (Olympus CHA 288445 Japan) et en se basant sur les ouvrages suivants : Chodat, 1902 ; Germain, 1981 ; Bourrelly, 1981-1985-1990 et Rumeau et Coste, 1988.

## V. PERCEPTION DE LA POPULATION ENVERS LES VECTEURS CULICIDÉS

### V.1. Population de l'étude

Il s'agit d'une étude quantitative, réalisée dans la région de Fès en collaboration avec trois étudiants inscrites en licence professionnelle de l'ISPITS de Fès. La population cible de cette étude a été composée de population estudiantine de la ville de Fès.

Des questionnaires anonymes ont été envoyés, via les moyens de communication sociale, à des étudiants poursuivant leurs études dans l'un des établissements universitaires publics au niveau de la ville de Fès. Les étudiants poursuivant leurs études supérieures au sein d'une école privée au niveau de la ville de Fès ont été exclus de l'enquête.

### V.2. Echantillonnage

Un échantillonnage non probabiliste accidentel s'est avéré d'une grande utilité pour les étudiants. Cette méthode empirique a été choisie à cause de la difficulté de dresser une liste énumérative des données recueillies sur la grande population de Fès, selon laquelle le choix des individus n'est pas aléatoire mais raisonné.

Les données de l'enquête ont été pondérées en prenant en compte les différentes contraintes rencontrées lors de la réalisation de ce travail de recherche (la situation pandémique actuelle). Pour calculer le nombre de sujets nécessaires et en se basant sur une population estudiantine estimée de 87490 individus, nous avons recruté accidentellement notre échantillon comme le tableau 3 l'indique.

**Tableau 3 :** Calcul de la taille d'échantillon.

| | **Effectif de la population** | **Niveau de confiance** | **Proportion estimée de la population** | **Marge d'erreur** | **Taille de l'échantillon** |
|---|---|---|---|---|---|
| Population estudiantine | 87490 | 95% | 50% | 5% | 383 |

Nous avons eu recours à des sites qui permettent le calcul des échantillons pour les études scientifiques:

Hotjar : https://www.hotjar.com/poll-survey-sample-size-calculator

Raosoft : http://www.raosoft.com/samplesize.html

### V.3. Méthodes et instruments de collecte des données

Il s'agit d'un questionnaire partagé avec la population estudiantine. Étant donné que la pratique de collecte de données à l'aide d'un questionnaire en ligne est plus commode. Aussi, en raison de la pandémie COVID-19, nous étions obligés de faire une enquête à distance avec les participants.

Le choix de cette méthode repose sur plusieurs critères, d'abord les réponses sont plus sincères et confidentielles, car les répondants prennent leur temps qu'ils souhaitent pour répondre et ne vont pas affronter le regard et le jugement de l'enquêteur. Aussi, les risques d'erreurs de saisie de la part de l'enquêteur sont inexistants. En plus, les questionnaires en ligne permettent de suivre en temps réel l'évolution des réponses et des résultats, contrairement aux autres modes de diffusion.

Par ailleurs, un questionnaire auto-administré a été élaboré via Google Forms puis validé par un pré-test réalisé auprès de 14 étudiants contactés au hasard afin d'examiner la validité, la faisabilité et afin reformuler des questions claires ainsi que pour éliminer des questions inutiles et d'ajouter certaines questions adaptées.

### V.4. Critères du questionnaire destiné à la population estudiantine

Ce questionnaire comporte une introduction relative aux normes d'éthiques et aux directives pour répondre aux questions ainsi que des questions fermées, à développement court et long et à choix multiples et dichotomiques. Les variables étudiées étaient en rapport avec le but de l'étude. Le questionnaire a été composé de 4 sections à savoir : l'identification des participants ; les connaissances et perception vis-à-vis des caractères généraux des maladies (cas du paludisme) ; les connaissances et perception sur les vecteurs de cette maladie et sur les moyens de prévention et de lutte contre ces vecteurs.

## VI. TRAITEMENT DES DONNÉES

Les données recueillies des études entomologiques ont été saisies sur le logiciel Microsoft Excel version 7.0.

### VI.1. Analyse des données de l'inventaire et évaluation de la productivité en larves de moustiques (Diptera : Culicidae) dans la région de Fès

#### VI.1.1. Analyses des données par les indices écologiques

Les données obtenues ont été traitées par des indices écologiques de composition (abondance relative et fréquence d'occurrence) (Bouabida *et al.,* 2012) et de structure. Ces indices montrent la répartition de la population larvaire et rendent compte de la diversité des espèces. Les indices écologiques de composition sont représentés par la richesse spécifique, l'abondance relative et la fréquence d'occurrence. Ils ont été calculés de la manière suivante :

Abondance relative (pi) : Le pourcentage des individus d'une espèce (ni) par rapport au total des individus (N).

Fréquence d'occurrence (F) : C'est le rapport exprimé en pourcentage, du nombre de prélèvements où cette espèce est notée au nombre total de prélèvements effectués (Damerdji, 2008).

Espèce constante (F≥50%), espèce accessoire (25%<F<50%), espèce accidentelle (F≤25%).

Les indices écologiques de structure sont représentés par l'indice de Shannon-Weaver (Shannon et Weaver, 1949), et la mesure de l'équitabilité correspondant à l'indice de Shannon-Weaver). Ces indices ont été calculés de la manière suivante :

L'indice de Shannon –Weaver : $H' = -\sum_{i=1}^{S} pi \log_2 pi$

L'indice d'équitabilité: $E=\frac{H'}{\log_2 S}$

Où S est le nombre d'espèces et pi la fréquence relative de la énième espèce.

Les résultats obtenus par ces indices sont soutenus par l'étude de la répartition de la population larvaire.

La distribution des espèces larvaires a été déterminée selon la formule:

Distribution : C = n / N × 100, où :

n : nombre de sites où l'espèce a été trouvée,

N : nombre total des sites prospectés.

Les classes de distribution ; C1 Aspect sporadique (constance 0-20%), C2 peu fréquent (20,1-40%), C3 modéré (40,1-60%), C4-fréquent (60,1-80%) et C5 Constante (80,1-100%) (Khawling *et al*., 2014).

### VI.1.2. Étude de la biotypologie de la faune Culicidienne dans la région de Fès par le modèle linéaire généralisé :

Des analyses statistiques ont été réalisées par le biais du logiciel R, version 3.4.3 (2017). L'étude de la typologie biologique des espèces Culicidiennes a été réalisée par un modèle linéaire généralisé (GLM). Le modèle de poisson a été adopté pour évaluer l'effet des différents facteurs sur l'abondance de chaque espèce. Ensuite, une analyse de variance a été réalisée sur chaque modèle pour tester les effets des paramètres significatifs.

Le choix de cette analyse se justifie par l'intérêt de connaître comment une variable de comptage dépend d'une ou de plusieurs variables explicatives qui peuvent être quantitatives ou qualitatives.

Les données de cette étude ont été ajustées sur 128 sorties. Le nombre d'individus de chacune des onze espèces sont les variables à expliquer, en fonction de neuf paramètres physico-chimiques comme des variables explicatives (température (°C), pH, salinité (‰), oxygène dissous (ppm), conductivité électrique (µs/cm), débit de l'eau $m^3/s$, le taux de solide dissous (g/l), turbidité (NTU), profondeur de l'eau (cm)) et en se basant sur quatre facteurs (date de sortie, nom du gîte, origine du gîte et la nature du gîte). Les facteurs « date de sortie et nom du gîte » ont été traités séparément afin de regrouper leurs niveaux.

### VI.2. Analyse des données de l'étude des paramètres abiotiques et biotiques affectant l'abondance des larves de moustiques (Diptera : Culicidae) dans les quatre sites représentatifs de la région de Fès

Une analyse statistique a été utilisée pour évaluer les relations entre les facteurs abiotiques et biotiques et l'abondance des espèces les plus communes, en particulier les espèces d'intérêt médical. Le logiciel R (version 3.4.3 (2017)) a été utilisé pour le traitement des données. L'exploration des données et la modélisation ont été utilisées pour détecter les interactions entre les variables expliquées (nombre d'espèces) et les différentes variables explicatives (facteur biotique et abiotique). Le "nombre de chaque espèces" est la variable dépendante, tandis que la "présence de végétations", "utilisation de l'eau pour le lavage et pour le bétail", "utilisation de l'eau pour l'industrie", " utilisation de l'eau pour l'irrigation", " présence de débris", " couleur", " météo", " pente", " proximité d'établissements industriels", " proximité de bâtiments construits" et "la présence d'algues filamenteuses vertes" sont toutes des variables nominales indépendantes. Les variables explicatives quantitatives ont été prises en compte en fonction de neuf paramètres physico-chimiques à savoir la température de l'eau (°C), le pH, la salinité (‰), l'oxygène dissous (ppm), la conductivité électrique (µs/cm), le débit de l'eau ($m^3/s$), le total des solides dissous (g/l), la turbidité (NTU) et la profondeur de l'eau (cm).

Les modèles suivants ont été utilisés :

a- La régression logistique pour les espèces à faible nombre comme *An. maculipennis* s.l., *An. sergentii* (Theobald, 1907), *Cu. longiareolata* (Macquart, 1838) et *Ur. unguiculata* (Edwards, 1913).

b- La régression de Poisson pour les espèces de moustiques plus abondantes, en particulier *Cx. theileri* (Theobald, 1903), *Cx. perexiguus* (Theobald, 1903) et *Cx. pipiens* (Linnaeus, 1758).

La fonction "vif" du *package* "car" a été utilisée pour sélectionner des variables explicatives indépendantes et tester la colinéarité, tandis que les fonctions "glm" et "step" sont utilisées pour sélectionner les meilleurs modèles.

### VI.3. Analyse des données de l'étude de la dynamique saisonnière de la faune Culicidienne à l'état larvaire de la région de Fès

La répartition spatiale de diverses espèces de moustiques et la distribution saisonnière des espèces ont également été évaluées. Les analyses statistiques ont été réalisées avec la version 3.6.1 du logiciel de traitement statistique R, notamment le package FactoMineR qui est dédié à l'analyse exploratoire multidimensionnelle de données. Nous avons utilisé la fonction CA-GALT afin d'établir une typologie des variables externes (gîte, date, saison), une typologie de l'abondance des espèces, ainsi que leurs influences mutuelles. Comme précisé par les auteurs de cette méthode (Kostov *et al*., 2015), CA-GALT peut être appliquée pour tout type de tableau de fréquence / contingence avec des variables externes.

### VI.4. Analyse des données de l'investigation entomologique et caractérisation des espèces de l'ensemble des gîtes larvaires étudiés dans la région de Fès par l'utilisation des méthodes d'analyses factorielles

Des analyses factorielles ont été réalisées pour mieux comprendre la corrélation entre les facteurs environnementaux et les caractéristiques bioécologiques de chaque espèce.

L'analyse en composantes principales méthode (ACP) a été utilisée via le logiciel Unscrambler version 9.0 et l'analyse statistique par une analyse de composantes multiple (ACM) a été conduite par le biais du logiciel SPSS version 23.0. L'étude de la typologie biologique des espèces Culicidiennes a été réalisée par une matrice mettant en relation les valeurs de neuf paramètres physico-chimiques du milieu avec l'apparition des taxons qui ont été traités par une ACP. Le choix de cette analyse se justifie par le caractère quantitatif des variables étudiées. Pour déterminer le nombre des composantes à retenir, nous avons adopté le critère de Kaiser qui dit que lors d'une ACP normée, on retient les composantes dont les valeurs propres sont supérieures à 1. Aussi, pour connaître la distribution des espèces en fonction de l'altitude, la nature et le type des gîtes larvaires nous avons procédé à l'ACM qui permet d'étudier l'association entre au moins deux variables qualitatives.

L'analyse des correspondances multiples (ACM) a été utilisée pour étudier la relation entre les espèces de moustiques étudiées et la faune ainsi que la flore caractérisant les gîtes des espèces Culicidiennes.

### VI.5. Analyse des données recueillies auprès de la population estudiantine sur leurs perception envers le vecteur du paludisme et les moyens de préventions et de lutte anti-vectorielle

Durant l'élaboration du questionnaire (Annexe 3), les données qualitatives et quantitatives recueillies ont été enregistrées sur le logiciel Microsoft Office Excel 2010. Leur traitement statistique a été fait via le logiciel SPSS 22. Les résultats ont été exprimés sous forme de fréquences et pourcentages et ont été présentés sous forme de tableaux et de graphiques.

# TROISIÈME PARTIE

# RÉSULTATS ET DISCUSSION

# **CHAPITRE I :** INVENTAIRE ET ÉVALUATION DE LA PRODUCTIVITÉ EN LARVES DE MOUSTIQUES (DIPTERA : CULICIDAE) DANS LA RÉGION DE FÈS

## Introduction

L'extension géographique des moustiques vecteurs de maladie dans le monde est très considérable sous l'impact des modifications anthropiques ou environnementales. L'évolution continue de la distribution géographique de certaines espèces, l'apparition de nouvelles espèces ou la disparition d'autres, sous l'impact des modifications locales (aménagement de l'environnement, accroissement des projets hydrauliques, extension de l'urbanisation...) ou générales (réchauffement de la planète) peuvent être à l'origine de la réémergence ou de l'émergence des maladies à transmission vectorielle.

Au Maroc, la faune Culicidienne a fait l'objet d'un grand nombre de recherche depuis le début du 20ème siècle (Trari, 2017). Cet intérêt a pour but de surveiller continuellement les populations de moustiques dans les régions vulnérables afin de prévenir les maladies vectorielles susceptibles d'être transmises.

Le centre du Maroc, notamment la Région de Fès, constitue un milieu favorable à la prolifération de nombreuses espèces de moustiques. Il fut longtemps considéré comme une région à risque très touchée par les maladies vectorielles.

En raison du nombre important de cas de paludisme d'importation enregistré chaque année, et du nombre non négligeable d'infections à *P. falciparum*; provenant particulièrement des zones d'endémie de l'Afrique subsaharienne (plus de 50 cas de paludisme sont enregistrés chaque année dont 83% à *P. falciparum* (El Mezouari *et al*., 2016)) et vu sa situation géographique et son climat, le risque de réactivation d'anciens foyers éradiqués est toujours présent. En effet, cette région est un carrefour d'immigrants africains qui peuvent être des porteurs du parasite (El Ouali Lalami *et al*., 2010a). La lutte contre la prolifération des espèces vectrices est le moyen de prévention le plus efficace. La connaissance et l'étude des vecteurs responsables de la transmission sont évidemment essentielles pour la compréhension de ces maladies.

L'objectif de ce travail a été de dresser l'inventaire de la faune Culicidienne dans la région de Fès et de déterminer la productivité en larves de moustiques des différents types de gîtes présents dans cette zone. Cette étude entomologique a été faite tous les deux mois sur vingt sept gîtes de natures différentes, moyennant la méthode de « Dipping » et les paramètres

physico-chimiques des différents biotopes larvaires ont été prélevés six fois durant l'année du suivi. Les résultats obtenus ont été traités par des indices écologiques et par le modèle linéaire généralisé, sur le logiciel R, suite à un modèle de Poisson (cf. Matériel et Méthodes).

Les résultats trouvés vont générer des données d'un grand intérêt pouvant être utilisées par les responsables des programmes de lutte antivectorielle afin de mener des interventions ciblées et efficientes.

## Résultats

Parmi les vingt sept habitats aquatiques qui ont été analysés, 20 (74%) sont des gîtes naturels dont quatorze sont permanents et six temporaires, et 7 (26%) sont des gîtes artificiels dont cinq sont permanents et deux temporaires. Seize gîtes (59%) ont été trouvés positifs et onze (41%) ont toujours été trouvés négatifs.

L'identification des 1122 larves de Culicidés récoltées au niveau des gîtes prospectés, tous les deux mois, a révélé la présence de 11 espèces appartenant à deux sous-familles (Culicinae et Anophelinae), quatre espèces du genre *Culex*, trois du genre *Anopheles*, deux du genre *Uranotaenia*, une du genre *Culiseta* et une du genre *Aedes* (Tableau 4).

**Tableau 4 :** Liste des Culicidés identifiés dans la région de Fès (Maroc).

| Sous familles | Genres | Espèces | Effectif | Abondance relative (%) | Fréquence d'occurrence (%) | Distribution (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Anophelinae** | ***Anopheles*** | *Anopheles cinereus* (Theobald, 1901) | 1 | 0,09 | 0,69 | 3,70 |
| | | *Anopeles maculipennis* s. l. (Meigen 1818) | 6 | 0,53 | 2,08 | 7,41 |
| | | *Anopheles sergentii* (Teobald, 1907) | 14 | 1,25 | 2,08 | 7,41 |
| **Culicinae** | ***Aedes*** | *Aedes flavescens* | 2 | 0,18 | 1,39 | 7,41 |
| | ***Culex*** | *Culex perexiguus* (Teobald, 1903) | 155 | 13,81 | 9,03 | 3,7 |
| | | *Culex pipiens* (Linnaeus, 1758) | 793 | 70,68 | 19,44 | 48,15 |
| | | *Culex hortensis* (Ficalbi, 1889) | 1 | 0,09 | 0,69 | 3,70 |
| | | *Culex theileri* (Teobald, 1903) | 60 | 5,35 | 11,11 | 33,33 |
| | ***Culiseta*** | *Culiseta longiareolata* (Macquart, 1838) | 83 | 7,40 | 5,56 | 22,22 |
| | ***Uranotaenia*** | *Uranotaenia unguiculata* (Edwards,1913) | 6 | 0,53 | 1,39 | 3,70 |
| | | *Uranotaenia balfouri* (Theobald, 1904) | 1 | 0,09 | 0,69 | 3,70 |

Ces espèces sont réparties d'une manière différente selon les sites (Figure 20).

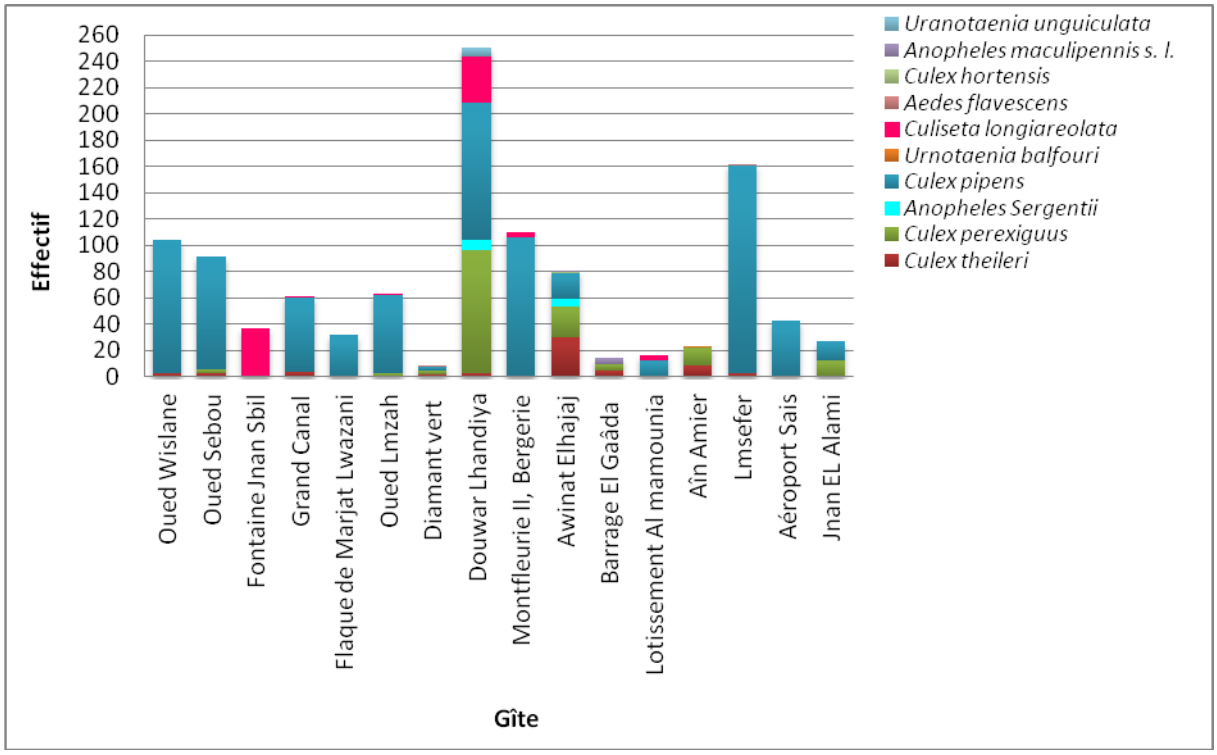



**Figure 20 :** Répartition des moustiques dans les gîtes positifs.

Les espèces du genre *Culex* (notamment C*x. pipiens* et *Cx. perexiguus)* sont les plus représentées dans la région (89,92%). C*x. pipiens*, est de loin l'espèce la plus abondante (pi: 70,68%), la plus répandue (C: 48,15%) et la plus présente (F: 19,44%). Les espèces *An. maculipennis* s. l. et *An. sergentii*, sont peu représentées avec des abondances respectives de 0,53% et 1,25%.

Les valeurs de l'indice de diversité de SHANON - WIENER (H') sont comprises entre 0 et 2,06. Cet indice est plus élevé dans un milieu très peuplé en espèces (H'=2,06 à la flaque de Awinat Elhajaj avec 7espèces) par rapport aux milieux pauvres en espèces où sa valeur est de 0,18 à l'oued wislane et 0,22 à la bergerie de Montfleuri II, ces deux gîtes contenant chacun deux espèces. Ainsi, nous avons noté que les valeurs de H' sont différentes dans les gîtes où le nombre d'espèces (S) est le même. Ces valeurs restent totalement différentes à la valeur théorique maximale de diversité (Hmax). Par ailleurs, l'indice d'équitabilité (E) varie entre 0 et 1 et tend vers 0 quand une seule espèce domine tout le peuplement, ce qui est marqué à Lmsefer (E=0,12), Oued Wislane (E=0,18), Oued Lmzah (E=0,24), Oued sebou (E=0,26), Grand canal (E=0,29), et la Bergerie de Montfleuri II (E=0,22).

L'analyse des données par le modèle linéaire généralisé a montré que la distribution des quatre espèces; *Cx. pipiens*, *Cx. perexiguus*, *Cx. theileri* et *Cu. longiareolata*; a été

significativement influencée par les paramètres physico-chimiques et le type de gîte (Tableau 5).

Les autres espèces, *An. cinereus*, *An. maculipennis s. l.*, *An. sergentii*, *Ae. flavescens*, *Cx. hortensis*, *Ur. unguiculata* et *Ur. balfouri*, qui sont moins abondantes dans nos captures, n'ont pas montré de résultats significatifs entre leur distribution et les paramètres physico-chimiques des gîtes.

**Tableau 5**: Modèles retenus de l'analyse de la distribution des espèces en fonction du type de gîtes et des paramètres physico-chimiques.

| **Espèces** | **Modèle retenu** |
|---|---|
| ***Culex pipiens*** | CulPip ~ Origine * Nature + TC + pH + Sal + OxyD + CondE + TDS + Turb + Prof |
| ***Culex perexiguus*** | CulPer ~ Origine + pH + OxyD + CondE + TDS + Prof |
| ***Culex theileri*** | CulThei ~ Sal + OxyD + Turb |
| ***Culiseta longiareolata*** | CuliLon ~ Nature + pH + Turb + Prof |

Le tableau 6 montre l'effet significatif des variables influençant la distribution de ces espèces

**Tableau 6**: Résultats significatifs de la répartition des espèces en fonction des paramètres physico-chimiques de l'eau et du type de gîtes.

| **Espèces** | **Paramètres** | **Estimation** | **Erreur standard** | **Valeur de z** | **Pr (>\|z\|)** |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Culex perexiguus*** | **Intercept** | 6,26e+00 | 4,18e-01 | 14,98 | < 2e-16 *** |
| | **OrigineN** | -3,31e+00 | 2,07e-01 | -15,97 | < 2e-16 *** |
| | **pH** | -6,43e-02 | 4,82e-03 | -13,33 | < 2e-16 *** |
| | **OxyD** | -4,55e-01 | 7,18e-02 | -6,34 | 2,4e-10 *** |
| | **CondE** | 5,69e-04 | 8,19e-05 | 6,95 | 3,7e-12 *** |
| | **TDS** | -1,80e+00 | 2,87e-01 | -6,28 | 3,5e-10 *** |
| | **Prof** | -6,84e-03 | 3,23e-03 | -2,11 | 0,034 * |
| ***Culex theileri*** | **Intercept** | -0,393506 | 0,281661 | -1,40 | 0,1624 |
| | **OxyD** | -0,251778 | 0,084465 | -2,98 | 0,0029 ** |
| | **Turb** | 0,002982 | 0,000613 | 4,86 | 1,1e-06 *** |
| ***Culex pipiens*** | **(Intercept)** | -2,36e-01 | 2,04e-01 | -1,16 | 0,24697 |
| | **OrigineN** | -3,32e-01 | 1,23e-01 | -2,70 | 0,00697 ** |
| | **NatureT** | 5,85e-01 | 1,70e-01 | 3,45 | 0,00056 *** |
| | **TC** | 2,97e-02 | 8,38e-03 | 3,55 | 0,00039 *** |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **pH** | 4,47e-03 | 2,22e-03 | 2,01 | 0,04403 * |
| | **Sal** | -5,47e-01 | 1,06e-01 | -5,17 | 2,4e-07 *** |
| | **OxyD** | -1,13e-01 | 2,31e-02 | -4,90 | 9,5e-07 *** |
| | **CondE** | 1,63e-04 | 4,51e-05 | 3,62 | 0,00029 *** |
| | **TDS** | 7,57e-01 | 1,14e-01 | 6,63 | 3,3e-11 *** |
| | **Turb** | 2,69e-03 | 2,14e-04 | 12,58 | < 2e-16 *** |
| | **Prof** | 1,85e-02 | 1,20e-03 | 15,51 | < 2e-16 *** |
| | **OrigineN:NatureT** | 7,91e-01 | 2,01e-01 | 3,93 | 8,5e-05 *** |
| ***Culiseta longiareolata*** | **Intercept** | -2,87217 | 0,50529 | -5,68 | 1,3e-08 *** |
| | **NatureT** | -1,44319 | 0,34129 | -4,23 | 2,4e-05 *** |
| | **pH** | 0,07592 | 0,00808 | 9,39 | < 2e-16 *** |
| | **Turb** | -0,11265 | 0,01766 | -6,38 | 1,8e-10 *** |
| | **Prof** | 0,00885 | 0,00287 | 3,08 | 0,0021 ** |

(Signification des. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)
**CondE** : Conductivité électrique, **OxyD** : Oxygène dissous, **N** : Naturel, **pH**: Potentiel hydrique, **Prof** : Profondeur, **Sal** : Salinité, **T** : Temporaire, **TC** : Température, **TDS** Taux des solides dissous, **Turb** : Turbidité.

Les résultats de l'analyse statistique de la relation entre le "nombre d'espèces" et le facteur "Gîte" a montré que l'espace a une influence significative sur la répartition des espèces (avec un risque d'erreur de 9% pour *Cx. perexiguus* de 8% pour *Cx. pipiens*, de $4\times10^{-5}$ pour *Cx. theileri*, de 3% pour *Cu. longiareolata* et de 5,4% pour *Ur. unguiculata*). Cela signifie que les sites de reproduction de ces espèces sont divers, alors que les résultats de la répartition des larves *An. cinereus*, *An. maculipennis* s. l., *An. sergentii*, *Ae. flavescens*, *Cx. hortensis*, et *Ur. balfouri* en fonction des sites de reproduction sont non significatifs, ce qui est dû à leur faible densité et à leur faible aptitude à coloniser tout type de milieu.

Les résultats statistiques de la variable "date" en fonction des espèces, expliquent la distribution des Culicidés dans le temps. Le facteur "date de sortie" n'intervient pas dans l'apparition de *Cx. pipiens*, *Cx. theileri* et *An. sergentii*. Il n'est pas significatif même pour les espèces *An. cinereus*, *Cx. hortensis* et *Ur. balfouri* représentées par une seule date de récolte. Cependant il est significatif pour *Ae. flavescens*, *An. maculipennis* s. l, *Cx. perexiguus*, *Cu. longiareolata* et *Ur. unguiculata*.

- L'espèce *Cx. pipiens* était présente tout au long de la période de l'étude, sa répartition est diversifiée et adaptée à presque tous les milieux. Sa densité était élevée dans des habitats temporaires, profonds et turbides chargées en ions et en solides dissous et caractérisés par une

température élevée et un pH plutôt basique, alors qu'elle était faible dans les milieux plus oxygénés, salins et d'origine naturel.

- L'espèce *Cx. perexiguus* était plus fréquente en été et en automne (Août – Octobre), particulièrement dans les gîtes permanents. Le nombre de larves capturées est inversement proportionnel aux valeurs des paramètres : pH, TDS, oxygène dissous et profondeur, alors qu'il varie proportionnellement par rapport aux valeurs de la conductivité.
- L'espèce *Cx. theileri* a été retrouvée toute l'année dans presque tous les milieux. Elle a été plus fréquente avec l'augmentation de la salinité et de la turbidité, et la diminution de l'oxygène dissous.
- L'espèce *Cu. longiareolata* était présente dans tous les types de gîtes, et plus fréquente en automne et en été surtout en milieux artificiels. L'augmentation du nombre de larves est étroitement liée à l'augmentation du pH, à la profondeur du milieu, et à la diminution de la turbidité.
- L'espèce *Ur. unguiculata* n'a été retrouvée que dans la source Douwar Lhandiya, de nature artificielle et permanente, durant les mois de Septembre et Octobre de l'année 2016.

Le genre *Aedes* a été représenté uniquement par l'espèce *Ae. flavescens*, elle est faiblement rencontrée dans deux gîtes naturels, dont l'un est permanent et l'autre temporaire, notamment aux mois de Décembre 2015 et d'Octobre 2016.

- Les larves d'*An. maculipennis* s. l. ont été rencontrées dans deux gîtes permanents (Barrage El Gaâda et marécage d'Awinat Elhajaj) caractérisés par des eaux à pH basique (variant entre 7,96 et 9,93), durant les mois de Mars, Juin et Juillet 2016.
- Les espèces *An. cinereus* et *Ur. balfouri* ont été prélevées une seule fois en saison pluvieuse, dans des gîtes naturels (respectivement permanent et temporaire).
- L'espèce *An. sergentii* a été présente en Octobre et Septembre dans deux gîtes permanents différents. Elle a été plus fréquente dans la source artificielle (Douwar Lhandiya) que dans le marécage d'Awinat Elhajaj.

**Discussion**

D'après les résultats, nous avons constaté que la nature du gîte influence largement la distribution des espèces de Culicidés, ainsi que les gîtes qui ont les valeurs les plus élevées de l'indice de diversité (H') sont des milieux favorables au développement des espèces. Celles trouvées dans ces gîtes sont diversifiées et adaptées à presque tous les milieux. Ces espèces sont principalement *Cx. pipiens*, *Cx. perexiguus*, *Cx. theileri* et *Cu. longiareolata* et y sont

largement réparties. Ainsi nous avons trouvé que la valeur de H' est égale à 0 dans trois gîtes, et par conséquent, nous avons conclu que ces milieux contiennent une seule espèce. Ce sont les cas de la flaque de Marjat Lwazani et de l'Aéroport Saïs abritant l'espèce *Cx. pipiens*, et de la fontaine de jnan Sbil contenant l'espèce *Cu. longiareolata*. Ceci signifie que ces individus possèdent une grande aptitude à vivre seuls chacun dans des gîtes très variés.

Au cours de cette étude, nous avons identifié 11 espèces parmi les 43 espèces déjà signalées au Maroc (Trari *et al*., 2017) et mis en évidence pour la première fois l'espèce *Ae. flavescens* qui était considérée comme douteuse (Trari *et al*., 2003). Deux larves appartenant à cette espèce ont été récoltées dans deux gîtes différents (Diamant vert et Lmsefer) pendant deux saisons différentes (mois d'Octobre et mois de Décembre). La confirmation de l'identification sur des spécimens adultes n'a malheureusement pas été faite car la mise en élevage de ces larves n'a pas abouti. Des prospections ultérieures dans ces biotopes sont à envisager afin d'argumenter l'ajout de cette espèce à la liste de la faune Culicidienne marocaine.

La présente étude a permis également de faire une mise à jour de la liste des espèces Culicidiennes signalées au niveau de la région de Fès, puisqu'elle a permis l'ajout de 4 espèces; *Ae. flavescens*, *Ur. unguiculata, Cu. longioreolata et Cx. perexiguus*, au dernier inventaire réalisé en 2010 par El Ouali Lalami A *et al.,* 2010b.

Parmi les espèces anophéliennes signalées au Maroc, trois ont été identifiées durant cette étude; parmi lesquelles une espèce du sous-groupe *Maculipennis* appartenant aux sous-genres *Anopheles* et deux autres *An. sergentii* et *An. cinereus* appartenant aux sous-genres *Cellia*. D'après la littérature, l'espèce du sous-genre *Anopheles* n'est représentée que par *An, labranchiae* la seule espèce de sous-groupe *Maculipennis* identifiée génétiquement au Maroc (Trari et Dakki., 2017) et c'est l'espèce la plus étudiée en Afrique du Nord, notamment au Maroc (Himmi *et al*., 1997).

Les deux espèces *An. maculipennis* s. l. et *An. sergenti*, sont considérées comme des vecteurs potentiels majeurs du paludisme (Faraj *et al*., 2010). L'espèce *An. maculipennis labranchiae*, principal vecteur du paludisme au Maroc (Faraj *et al*., 2008b), était relativement rare (0,53%) dans la zone d'étude. Elle n'a été récoltée que trois fois durant les mois de Mars, Juin et Juillet 2016. Ces résultats concordent avec ce qui a été signalé dans la littérature indiquant que ce moustique est largement répandu dans le pays mais prédomine dans les plaines littorales où il constitue la majorité de la population d'anophèles (Faraj *et al*., 2010, Laboudi *et al*., 2012, Trari *et al*., 2017).

*An. sergenti* est l'espèce anophélienne la plus abondante dans la région de Fès, où elle représente 66,66% du total des captures des Anophèles. Cette espèce, dont la répartition géographique s'étend sur tout le Maroc à l'exception des zones côtières atlantiques à l'ouest du pays, est considérée comme vecteur principal du paludisme au sud du Maroc (Faraj *et al*., 2010). A côté de son implication dans la transmission du paludisme à *Plasmodium vivax*, *An. sergenti* est considérée comme un important vecteur du paludisme à *P. falciparum* dans plusieurs pays tels que l'Egypte, l'ouest et le sud-est de l'Arabie saoudite, le Yémen, la Jordanie et la Libye (OMS, 1991, Cope *et al*., 1995, Faraj *et al*., 2010). La coexistence de cette espèce dans la région de Fès avec des réservoirs potentiels du parasite *P. falciparum* constitue un risque qui mérite d'être évalué. En effet, en plus de l'augmentation continue du nombre d'immigrants africains qui s'installent dans la région de Fès et qui constituent des réservoirs potentiels du *Plasmodium* tropical, la région notifie chaque année une dizaine de cas de paludisme d'importation surtout à *P. falciparum* en provenance des pays tropicaux (El Ouali Lalami *et al*., 2009). La probabilité que ces réservoirs entrent en contact avec le vecteur dans les zones de transmission potentielle et pendant la saison favorable à la transmission est à évaluer.

Les espèces de *Culex* se sont adaptées pendant des décennies aux habitats artificiels (Nchoutpouen *et al*., 2019). Elles ont été représentées dans cette étude par quatre espèces mais c'est *Cx. pipiens* qui est de loin l'espèce la plus abondante (70,68%) et la plus fréquente (19,44%). En effet ce moustique a été récolté pendant toute l'année, dans différents biotopes; dans des gîtes naturels et artificiels, temporaires et permanents, avec et sans végétation, dans des eaux propres et polluées mais avec une préférence très marquée pour les gîtes pollués. Ces résultats correspondent à ce qui est connu sur ce moustique dans la littérature au niveau mondial (Martinez de la puente *et al*., 2016, Berchi *et al.*, 2012), et concordent avec les observations faites par El Ouali Lalami (El Ouali Lalami *et al.*, 2010b) dans le centre du Maroc et par Louah (Louah *et al*., 1995) et El Joubari (El Joubari *et al*., 2014) dans les régions de Tanger et Tétouan respectivement.

Ce moustique est l'une des espèces les plus importantes en terme de distribution géographique et de capacité à transmettre des pathogènes (Amara Korba *et al*., 2016, Nchoutpouen *et al*., 2019). C'est une espèce communément appelée le moustique domestique, qui colonise essentiellement les gîtes urbains anthropogènes (Rioux *et al*., 1967). Elle a une distribution plus ou moins globale, et c'est l'espèce que l'on trouve en Amérique du Nord, en Afrique, en Europe, en Asie et en Australie (Wynn et Paradise, 2001). Elle est plus répandue dans les

régions tempérées, y compris l'Afrique du Nord (Assaid *et al*., 2020). Elle comprend deux formes, *pipiens* et *molestus*, qui sont morphologiquement identiques mais génétiquement différentes (Bkhache *et al*., 2016). En plus de piquer l'homme, les moustiques du complexe *Cx. pipiens* sont des vecteurs potentiels de nombreuses maladies, ils transmettent des agents de maladies parasitaires tels que la *Wuchereria bancrofti*, *Brugia malayi*, *Brugia timori* et les agents pathogènes viraux importants tels que le virus *Sindbis*, l'encéphalite japonaise, la maladie de Saint-Louis, l'encéphalite équine occidentale, la fièvre d'Oropouche (Adham *et al*., 2019), le virus du Nil occidental et la fièvre de la vallée du Rift (Bkhache *et al*., 2016). Ce moustique est connu par la forte nuisance qu'il engendre pour les populations qui habitent près des gîtes (Faraj *et al*., 2006). Il est également considéré comme étant le principal vecteur responsable des épidémies du virus du West Nile qui ont touchées le Maroc (Failloux *et al*., 2017). De ce fait, sa grande représentativité dans la région de Fès doit susciter une grande attention afin de maitriser les risques sanitaires qu'il peut engendrer.

L'espèce *Cu. longiareolata* est un vecteur de la malaria aviaire, de la tularémie, et des arbovirus tels que la fièvre de West Nile (Ghahvechi Khaligh *et al*., 2020). C'est une espèce commune et abondante dans de nombreux pays d'Europe, d'Afrique et d'Asie (Hazratian *et al*., 2019). Elle est parmi les espèces à très large répartition au niveau de l'Afrique méditerranéenne (Bouabida *et al*., 2012). Elle se développe principalement dans les petites flaques d'eau (Ghahvechi Khaligh *et al*., 2020), rarement trouvées dans les eaux naturelles (Hazratian *et al*., 2019), ce qui explique leur répartition dans les gîtes recensées.

Quant à *Ur. unguiculata* Edwards, 1913, c'est une espèce de moustique originaire de paléarctique occidental et elle est plus abondante dans la région biogéographique méditerranéenne (Camp *et al*., 2018). Sa présence dans notre région illustre sa répartition.

L'analyse de la relation entre les espèces Culicidiennes et les paramètres physico-chimiques des gîtes a permis la caractérisation des gîtes propices au développement des espèces qui présentent un risque sanitaire pour la région.

Les anophèles, vecteurs du paludisme, se développent particulièrement dans des gîtes à eaux stagnantes, peu profondes et suffisamment ensoleillées (Source Douar Lhandiya, Flaque de Awinat Elhajaj et Barrage El Gaâda). Les larves d'*An. maculipennis* s. l. ont été récoltées uniquement dans des eaux claires submergées de végétation, celles d'*An. sergentii*, dans des eaux contenant des substances végétales en décomposition. Ces résultats sont en accord avec

ceux d'autres études réalisées dans d'autres régions du Maroc (Laboudi *et al*., 2014, Laboudi *et al*., 2012).

Concernant *Cx. pipiens*, sa forte abondance a été particulièrement notée dans les gîtes à eaux fortement polluées par les eaux usées domestiques (Oued Lmzah, Bergerie de Mont fleuri II, Lmsefer et le Grand canal) ou industrielles (Oued Wislane, Oued Sebou et Oued Jnan EL Alami). Ces résultats corroborent avec ceux trouvés par d'autres auteurs dans les régions de Fès, Tanger, Tétouan, Kénitra (El Ouali Lalami.*et al.,* 2010 b, Louah (1995), El Joubari *et al*., 2015, Marc *et al*., 2016).

L'effet des caractéristiques physico-chimiques des gîtes larvaires sur le développement des différentes espèces Culicidiennes a déjà été noté par plusieurs auteurs (Benhissen *et al.,* 2018, El Ouali Lalami *et al*., 2010a). Le pH, par exemple, semble jouer un rôle dans le contrôle du développement larvaire; les larves de *Cx. pipiens* se développent dans des eaux riches en matières organiques à pH basique (Berchi *et al*., 2012) alors que les larves d'Anophèles préfèrent des eaux bien oxygénées à pH acide (Marc *et al*., 2016) ou neutre (Laboudi., *et al* 2012, El Ouali Lalami *et al*., 2010a).

**Conclusion**

Les résultats de cette étude ont permis de mettre à jour la liste des espèces de moustiques recensées dans la région de Fès. Celles-ci sont au nombre de onze espèces et appartiennent à cinq genres différents : *Anopheles*, *Culex, Aedes*, *Culiseta* et *Uranotaenia*. Parmi ces espèces, trois sont connues pour leur rôle majeur dans la transmission de graves maladies importantes à savoir, *An. labranchiae* et *An. sergenti* dans la transmission du paludisme et *Cx. pipiens* dans la transmission de la fièvre du virus du West Nile.

Les résultats de l'inventaire des Culicidés ainsi générés constitueront un préalable indispensable et contribueront à l'élaboration de toute stratégie de surveillance entomologique et de lutte antivectorielle dans la région.

Les résultats de ce chapitre ont fait l'objet d'un article publié par le journal Bulletin de la Société de Pathologie Exotique.

Notons que la présence des Culicidés au niveau des gîtes dépend de l'existence d'un certain nombre de facteurs favorables à leur développement tels que la température, la salinité, la conductivité électrique et l'oxygène dissous... Il est donc nécessaire d'analyser et d'étudier les facteurs abiotiques et biotiques affectant la prolifération de ces moustiques. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'objectif du deuxième chapitre.

# **CHAPITRE II:** ÉTUDE DES PARAMÈTRES ABIOTIQUES ET BIOTIQUES AFFECTANT L'ABONDANCE DES LARVES DE MOUSTIQUES (DIPTERA:CULICIDAE), DANS LA RÉGION DE FÈS

## Introduction

À travers le monde, la distribution des moustiques est largement influencée par les paramètres environnementaux notamment les conditions climatiques et les habitudes des espèces (Emidi *et al*., 2017). Les variations de leur abondance et de leur diversité peuvent augmenter le risque de transmission de maladies (Meyer *et al*., 2016, Keshavarzi *et al*., 2017).

Les interactions entre les facteurs abiotiques et biotiques peuvent entraîner des variations majeures dans le site de reproduction des insectes (Muschett *et al*., 2017). Ils diffèrent par leur préférence pour le type, la taille, la turbidité, la couverture algale et la stabilité de l'habitat (Animut *et al*., 2012); ces facteurs peuvent conduire à déterminer la densité, la taille et la compétence vectorielle du vecteur (Animut *et al*., 2012). L'étude des facteurs abiotiques et biotiques de diverses espèces de moustiques facilite le suivi des modifications potentielles des habitats larvaires affectés par les pluies, le changement climatique mondial et les activités humaines (Paksa *et al*., 2019, Juliano., 2009, Blaustein et Chase., 2007).

En effet, les travaux menés sur l'écologie et les facteurs favorisants la répartition des Culicidés sont rudimentaires dans notre pays. Ils ont été réalisés principalement au Nord du Royaume (Louah *et al*., 1995), au Nord-Ouest (Himmi, 2007, El Joubari *et al*., 2014), au centre-Nord (El Ouali Lalami *et al*., 2011) et dans le Gharb (Larhbali *et al*., 2011, Allami *et al*., 2015, Marc *et al*., 2016 et Aouinty *et al*., 2017).

La plupart de ces travaux ont été focalisés sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques de l'eau pour identifier les facteurs favorables au développement des gîtes (Berchi *et al*., 2012). Les recherches ont montré que les facteurs de salinité, de pH et des masses d'eau permanente déterminent la présence et la distribution des larves (Trari, 1991), et que la profondeur et la température de l'eau influencent la propagation des larves (Himmi, 2007). De plus, les facteurs humains tels que l'utilisation des terres et les changements de la couverture terrestre représentent le facteur clé de l'apparition des larves de moustiques (Louah *et al*., 1995). Cependant, peu d'études ont analysé l'influence des facteurs abiotiques et biotiques sur l'abondance des espèces de moustiques dans la région de Fès (El Ouali Lalami *et al*., 2010a).

L'étude a été limitée à quatre types d'habitats, classés en habitats larvaires artificiels et naturels. La sélection des habitats a été faite sur la base de leur nature permanente et la présence des larves. Les paramètres étudiés ont été décrits au niveau de la page 60. La régression logistique et la régression de Poisson ont été utilisées via le logiciel R pour étudier les paramètres influençant l'abondance des espèces de moustiques (cf. Matériel et Méthodes).

L'acquisition de connaissances sur les habitats larvaires et l'analyse des facteurs abiotiques et biotiques associés à la densité des moustiques peuvent contribuer à une méthode de contrôle efficace.

**Résultats**

Le suivi de la variation de l'abondance des moustiques en fonction des facteurs biotiques et abiotiques, dans les quatre gîtes choisis et par quinzaine, ont donné un nombre total de 772 spécimens appartenant à 9 espèces qui ont été collectées. Parmi ces dernières, trois espèces d'anophèles ont été identifiées, *An. maculipennis* s. l., *An. sergentii* et *An. cinereius*. Le genre *Culex* était plus répandu et abondant, où l'espèce *Cx. pipiens* était plus commune que *Cx. perexiguus* et *Cx. theileri*, le *Cx. hortensis* était représenté par une seule espèce. Les genres *Culiseta* et *Uranotaenia* étaient également représentés par une seule espèce (*Cu. longiareolata* et *Ur. unguiculata*). La plus grande richesse en espèces (7 espèces) a été observée à la source Douwar Lhandiya et à Awinat Elhajaj. Les populations les plus abondantes ont été collectées, respectivement, à Douwar Lhandiya source (448 spécimens) et à Awinat Elhajaj (217 spécimens). Les populations les moins abondantes ont été collectées au barrage El Gaâda avec 448 spécimens et à l'oued Jnan EL Alami avec 28 spécimens. L'espèce commune aux quatre sites était le *Cx. perexiguus* (Figure 21).

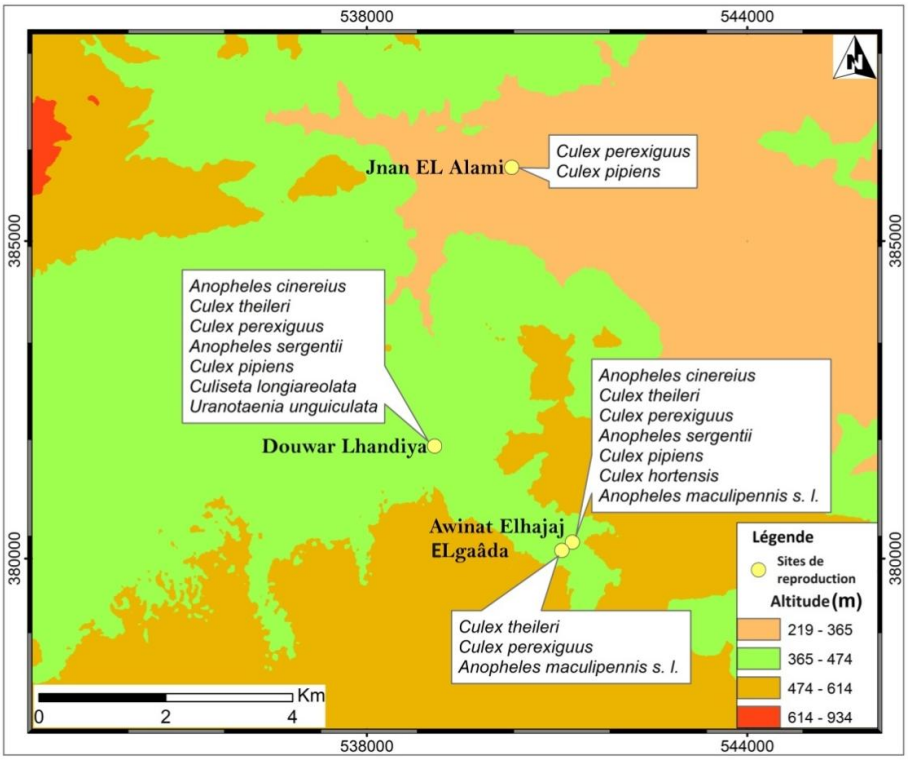



**Figure 21 :** Carte de répartition des espèces en fonction des localités et des altitudes.

Les résultats de l'analyse de régression de Poisson (Tableau 7) ont montré que l'espèce *Cx. perexiguus* (Theobald, 1903) a été positivement corrélée avec la proximité des établissements industriels, la présence de débris et d'algues filamenteuses vertes, sa densité était significativement importante avec l'augmentation de la profondeur et de la conductivité électrique mais était négativement corrélée avec le débit d'eau et l'oxygène dissous.

La densité larvaire du *Cx. theileri* a été observée en corrélation négative avec les solides dissous totaux et la proximité des sites de construction de bâtiments et en corrélation positive avec l'oxygène dissous, le pH et la salinité. L'observation la plus importante, était celle en relation avec la présence de la couverture végétale et d'algues filamenteuses vertes, dans lesquelles la corrélation avec la densité des larves a été statistiquement significative et très positive. Les résultats ont affiché des associations négatives très significatives entre la distribution de *Cx. pipiens* et l'eau utilisée pour le lavage et le boisement du bétail, la conductivité électrique, l'oxygène dissous et des associations légèrement significatives avec le pH, le total des solides dissous et le débit de l'eau. D'autre part, la présence de plantes émergentes, l'eau verte ou incolore ainsi que l'eau utilisée pour l'irrigation ont été légèrement associées positivement. Également, une relation positive très significative a été trouvée avec la pente nulle, la salinité et la profondeur de l'eau.

**Tableau 7 :** Résultats significatifs du facteur abiotique et biotique affectant la distribution des espèces.

| Espèces | Paramètres | Estimation | Erreur standard | Valeur de z | Pr(>\|z\|) |
|---|---|---|---|---|---|
| ***Culex perexiguus*** **(Theobald, 1903)** | **Intercept** | 1,04e+00 | 1,83e-01 | 5,69 | 1,2e-08 *** |
| | **EUIr** | -1,68e+00 | 4,49e-01 | -3,74 | 0,00018 *** |
| | **Debris1** | 2,13e+00 | 1,73e-01 | 12,30 | < 2e-16 *** |
| | **Indu1** | 8,50e-01 | 1,83e-01 | 4,66 | 3,2e-06 *** |
| | **Build1** | -8,26e-01 | 1,89e-01 | -4,38 | 1,2e-05 *** |
| | **FilAlg1** | 7,06e-01 | 2,02e-01 | 3,49 | 0,00047 *** |
| | **OxyD** | -4,57e-01 | 4,97e-02 | -9,21 | < 2e-16 *** |
| | **CondE** | 1,99e-04 | 7,14e-05 | 2,79 | 0,00522 ** |
| | **Debris1** | -2,24e+01 | 5,38e+00 | -4,17 | 3,0e-05 *** |
| | **Prof** | 2,26e-02 | 3,88e-03 | 5,82 | 5,8e-09 *** |
| ***Culex theileri*** **(Theobald, 1903)** | **Intercept** | -11,9430 | 2,1022 | -5,68 | 1,3e-08 *** |
| | **PVeg** | 1,7545 | 0,3954 | 4,44 | 9,1e-06 *** |
| | **Build1** | -2,1231 | 0,2939 | -7,22 | 5,0e-13 *** |
| | **FilAlg1** | 1,7961 | 0,3441 | 5,22 | 1,8e-07 *** |
| | **pH** | 1,2679 | 0,2295 | 5,53 | 3,3e-08 *** |
| | **Sal** | 1,3591 | 0,2140 | 6,35 | 2,1e-10 *** |
| | **OxyD** | 0,1367 | 0,0644 | 2,12 | 0,03377 * |
| | **TDS** | -1,0132 | 0,2868 | -3,53 | 0,00041 *** |
| ***Culex pipiens*** **(Linnaeus, 1758)** | **Intercept** | 1,59e+00 | 8,73e-01 | 1,83 | 0,06771 , |
| | **EUIn** | -9,94e-01 | 2,62e-01 | -3,79 | 0,00015 *** |
| | **EUIr** | 2,95e+00 | 2,63e-01 | 11,22 | < 2e-16 *** |
| | **Debris1** | 3,86e-01 | 1,82e-01 | 2,12 | 0,03438 * |
| | **EV** | 1,26e+00 | 4,41e-01 | 2,85 | 0,00441 ** |
| | **EI** | 2,35e+00 | 4,26e-01 | 5,51 | 3,7e-08 *** |
| | **EJ** | -1,45e+01 | 6,81e+02 | -0,02 | 0,98304 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **Zp** | 5,57e-01 | 2,41e-01 | 2,31 | 0,02068 * |
| | **pH** | -1,80e-01 | 9,39e-02 | -1,92 | 0,05540 , |
| | **Sal** | 6,94e-01 | 2,20e-01 | 3,15 | 0,00164 ** |
| | **OxyD** | -4,49e-01 | 4,76e-02 | -9,42 | < 2e-16 *** |
| | **CondE** | -7,10e-04 | 1,69e-04 | -4,21 | 2,6e-05 *** |
| | **Deb** | -1,64e+01 | 2,17e+00 | -7,54 | 4,7e-14 *** |
| | **TDS** | -1,53e+00 | 2,30e-01 | -6,64 | 3,1e-11 *** |
| | **Prof** | 5,29e-02 | 4,80e-03 | 11,01 | < 2e-16 *** |

Valeur de z = Estimation/ Erreur standard
Pr(>|z|) = Pr(N(0,1)>|z-Valeur|) (Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1)
**CondE** : Conductivité électrique, **OxyD** : Oxygène dissous, **pH**: Potentiel hydrique, **Prof** : Profondeur, **Sal** : Salinité, **TC** : Température, **TDS**: Taux des solides dissous, **Turb** : Turbidité, **Deb**: débit de l'eau, **PVeg** : Présence de la végétation, **FilAlg1**: Présence d'algues filamenteuses vertes, **Build1**: Proximité à des bâtiments construites, **Indu1**: Proximité des établissements industriels, **EV** : Eau de couleur verte,
**EI** : Eau incolore, **EJ** : Eau de couleur jaune, **Debris1**: Présence de débris, **EUIr**: Eau utilisée pour l'irrigation
**Zp**: pente nulle, **EUIn** : Eau utilisée pour l'industrie.

Les résultats des rares apparitions d'*An. maculipennis* s. l., *An. sergentii* (Theobald, 1907), *Cu. longiareolata* (Macquart, 1838), *Ur. unguiculata* (Edwards, 1913), *An. cinereus* (Theobald, 1901) et *Cx. hortensis* (Ficalbi, 1889) n'ont pas été expliqués, car nous ne disposons pas d'une forme explicite de la relation entre les variables expliquées et un ensemble de variables explicatives.

**Discussion**

Les neuf espèces de moustiques qui ont été collectées lors de cette étude font partie de l'inventaire de la faune Culicidienne marocaine (Himmi *et al*., 1995, Trari *et al*., 2017).
La littérature rapporte que la plage de température annuelle, les précipitations du trimestre le plus froid, la température maximale du mois le plus chaud, la pente et les précipitations du trimestre le plus sec ont été les facteurs les plus importants ; qui ont influencés la distribution et la densité des larves de moustiques (Adham *et al*., 2019).

Comme le montrent les analyses statistiques, les paramètres abiotiques et biotiques tels que les facteurs environnementaux et les paramètres physico-chimiques ont fortement influencé l'abondance des Culicidés, ce qui est déjà cité dans la littérature (Animut *et al*. 2012). Aussi, nos résultats au niveau du barrage El Gaâda sont conformes aux résultats des autres études réalisées. Celles-ci ont suggéré que les activités humaines, l'irrigation et la construction de

barrages ont contribué pleinement à fournir des habitats larvaires appropriés et/ou propices (Lim *et al*., 2015, Esser e*t al*., 2019).

Notre étude a montré que l'abondance des larves de *Cx. pipiens* (Linnaeus, 1758) dans le site de reproduction n'était pas corrélée avec le pH de l'eau, ce qui est en accord avec Rydzanicz *et al* (2016). Ces auteurs ont trouvé une forte corrélation entre l'abondance des larves de *Cx. pipiens* et les caractéristiques physiques et hydrologiques des systèmes aquatiques, comme la conductivité électrique. Cependant, nos résultats indiquent une corrélation négative entre ces paramètres et l'abondance de *Cx. pipiens*. D'autres études ont montré que le pH, la température et l'oxygène dissous présentaient des valeurs comparables mais n'avaient aucune relation avec les densités larvaires de *Cx. pipiens* (Amara Korba *et al*., 2016). D'autres auteurs ont cité qu'il n'y avait pas de différence marquée entre la présence de cette espèce et le débit de l'eau, la proximité aux zones d'habitation, la nature du gîte (artificielle ou naturelle), le solide soluble et la végétation (Liu *et al* 2019). Ces résultats ne concordent pas tout à fait avec les nôtres. Mais selon la bibliographie, les résultats cités provenant d'un autre pays (Kenya) ont été identiques à ceux de notre étude. Cette dernière a confirmé que les individus de *Cx. pipiens* sont potentiellement affectés par le débit, la profondeur, la salinité, le solide soluble et la végétation de l'eau dans les sites de reproduction larvaire artificiels ou naturels (Paaijmans *et al*., 2008).

Les larves de *Cx. pipiens* peuvent se reproduire dans une grande variété d'habitats, mais un site de reproduction très pollué peut entraver leur développement (Amara Korba *et al*., 2016). Dans l'ensemble, nos résultats confirment que l'eau polluée caractérisée par une couleur jaune a affecté l'abondance de cette espèce dans son habitat larvaire.

D'autres facteurs importants ont été fortement associés à la présence des larves de *Cx. perexiguus* et de *Cx. theileri*. Ces deux espèces étaient plus abondantes grâce à la présence des algues. Nos résultats ont confirmé que les algues filamenteuses vertes ont une influence positive sur les espèces de moustiques (*Cx. perexiguus, Cx. theileri*) (Animut *et al*., 2012). Dans la littérature, il a été confirmé que les espèces de moustiques sont généralement plus présentes dans les zones naturelles que dans les sites urbains et ruraux (Becker *et al*., 2010, Versteirt *et al*., 2013, Ferraguti *et al*., 2016). Également, nos résultats ont montré que ces deux espèces étaient moins fréquentes à proximité des zones d'habitation.

L'abondance de *Cx. perexiguus* met en évidence une relation étroite avec les activités industrielles, une corrélation avec les milieux aquatiques à écoulement lent, les débris, la

conductivité électrique et la profondeur de l'eau. Une autre étude a confirmé la corrélation entre ce dernier paramètre et cette espèce (El-naggar *et al*., 2013).

Compte tenu des résultats obtenus, les milieux aquatiques oxygénées, riches en végétation et caractérisés par une forte valeur de pH et salinité pourraient impliquer un développement plus rapide des larves de *Cx. theileri*. Des conclusions similaires ont été rapportées dans des études précédentes menées en Iran, qui ont montrées que les larves de *Cx. theileri* ont été trouvées avec la végétation dans des habitats naturels et permanents (Sofizadeh *et al*., 2017).

Vu leur faible nombre et les rares observations de larves (*Cu. longiareolata, Ur. unguiculata, Cx. hortensis* et *Anophèles*), la relation entre ces espèces et les paramètres abiotiques et biotiques reste moins claire. Cependant, la présence exclusive de *Cu. longiareolata* dans la source de Douwar Lhandiya confirme que cette espèce est fortement présente dans des bassins d'eau douce (Silberbush *et al*., 2014).

Toutes ces espèces étaient présentes dans des habitats faiblement profonds, ce qui confirme qu'elles sont toutes plus susceptibles de se trouver dans des eaux moins profondes (Golding *et al*., 2015).

**Conclusion**

Cette présente étude est une source précieuse d'élements clés et d'informations concernant les paramètres abiotiques et biotiques affectant l'abondance des larves de moustiques (Diptères: Culicidés), dans la région de Fès.

Dans l'ensemble, nos résultats ont donné un aperçu de l'influence des paramètres abiotiques et biotiques sur l'abondance des espèces de moustiques récoltées. Les résultats obtenus à travers cette étude pourraient aider les responsables de la surveillance entomologique en matière de lutte contre les moustiques.

Les résultats développés au niveau de ce chapitre ont fait également l'objet d'une publication dans la revue (Hindawi International Journal of Zoology).

La lutte contre la prolifération des espèces vectrices ne peut être efficace sans la bonne connaissance de leurs évolutions spatio-temporelles. C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif du troisième chapitre.

# **CHAPITRE III :** ÉTUDE DE LA FLUCTUATION SAISONNIÈRE DE LA FAUNE CULICIDIENNE A L'ÉTAT LARVAIRE DANS LA RÉGION DE FÈS

## Introduction

La fluctuation saisonnière des moustiques est intimement liée aux facteurs climatiques. La température et la longueur du jour ont un effet primordial sur le métabolisme du moustique et il agit par conséquence sur le déclenchement de processus physiologiques tels que la diapause (Lacour *et al*., 2015). D'autre part, la propagation des maladies à transmission vectorielle et l'activité des vecteurs d'agents infectieux sont dans la plupart des cas saisonnières (Esser e*t al*., 2019). Les successions de périodes de sécheresse, en Afrique du nord et dans le pourtour du bassin méditerranéen sont documentées dans plusieurs recherches parmi lesquelles le Maroc a été mentionné (Esper *et al*., 2007, El Fellah Idrissi *et al*., 2017). Ce dernier est caractérisé par une forte irrégularité du régime des précipitations aussi bien dans le temps que dans l'espace (El Fellah Idrissi *et al*., 2017). Cette irrégularité et cette sécheresse peuvent causer un changement sur la répartition saisonnière des Culicidés.

L'étude de la dynamique des populations de ces vecteurs est essentielle pour estimer la densité vectorielle en fonction des fluctuations tout au long de la période d'activité, afin de mieux organiser la lutte (Boubidi, 2016). C'est dans ce contexte que s'inscrit l'objectif de cette étude dans lequel le suivi et l'échantillonnage des larves de moustiques ont été effectués à un rythme quasi bimensuel via la méthode de « Dipping » (cf. Matériel et Méthodes).

En effet, l'obtention de nouvelles données sur les espèces étudiées, serait subséquemment d'un grand intérêt pour les responsables du programme de lutte contre les maladies à transmission vectorielles aux niveaux régional et national.

## Résultats

Les prospections larvaires réalisées dans ce travail ont montré que les quatre gîtes sont propices au développement des moustiques. Ils ont révélé la présence de 9 espèces appartenant à deux sous-familles (Culicinae) et (Anophelinae) et quatre genres (*Culex* (87,30%), *Anopheles* (6,73%), *Culiseta* (5,18%), et *Uranotaenia* (0,88%)). Les espèces les plus abondantes sont respectivement *Cx. pipiens* (45,08%) et *Cx. perexiguus* (31,22%). Les espèces les moins présentes sont *Cx. theileri* (10,88%), *Cu. longiareolata* (5,18%), *An. maculipennis* s. l. (1,81%) et l'espèce *An. sergentii* (4,66%). Les espèces rares sont *Ur.*

*unguiculata* (Edwards, 1913) (0,78%), *An. cinereius* (0,26%) et *Cx. hortensis* (0,13%) (Figure 22).

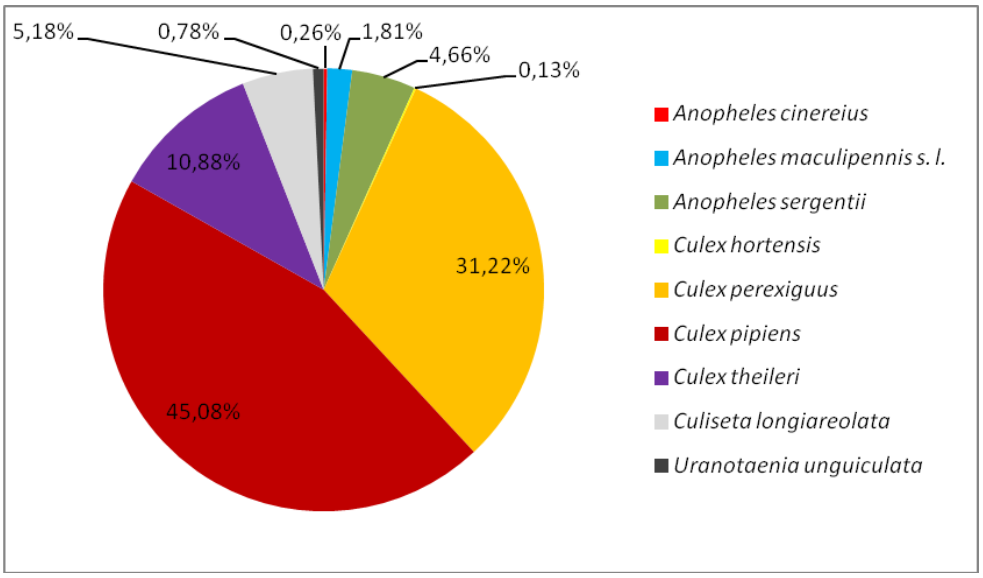



**Figure 22 :** Abondances relatives des espèces de Culicidés récoltées au niveau des gîtes représentatifs de la région de Fès (Novembre 2015 à Novembre 2016).

Les espèces trouvées dans les gîtes artificiels (Source Douwar Lhandiya et Barrage El Gaâda) sont plus abondantes que dans les gîtes naturels (Oued Jnan El Alami et marécage d'Awinat Elhajaj) avec des pourcentages de 61,66% et 38,34% respectivement (Figure 23).

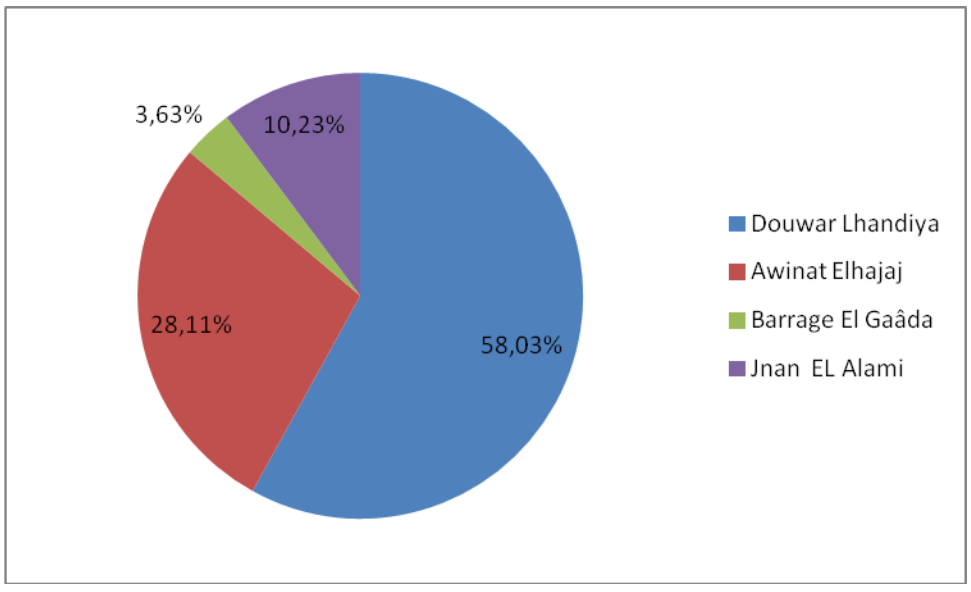
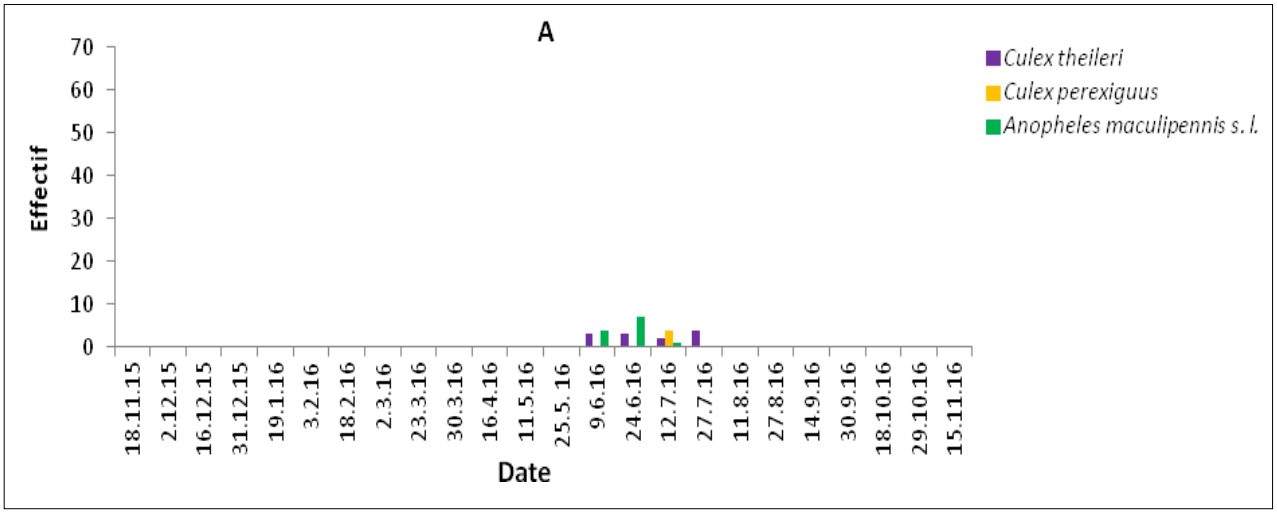
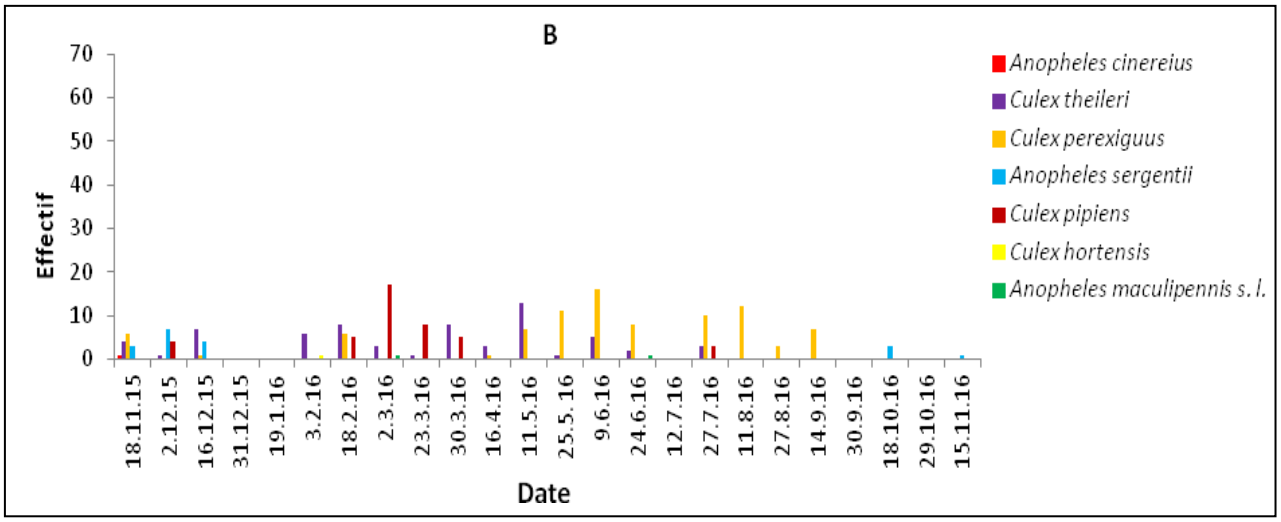


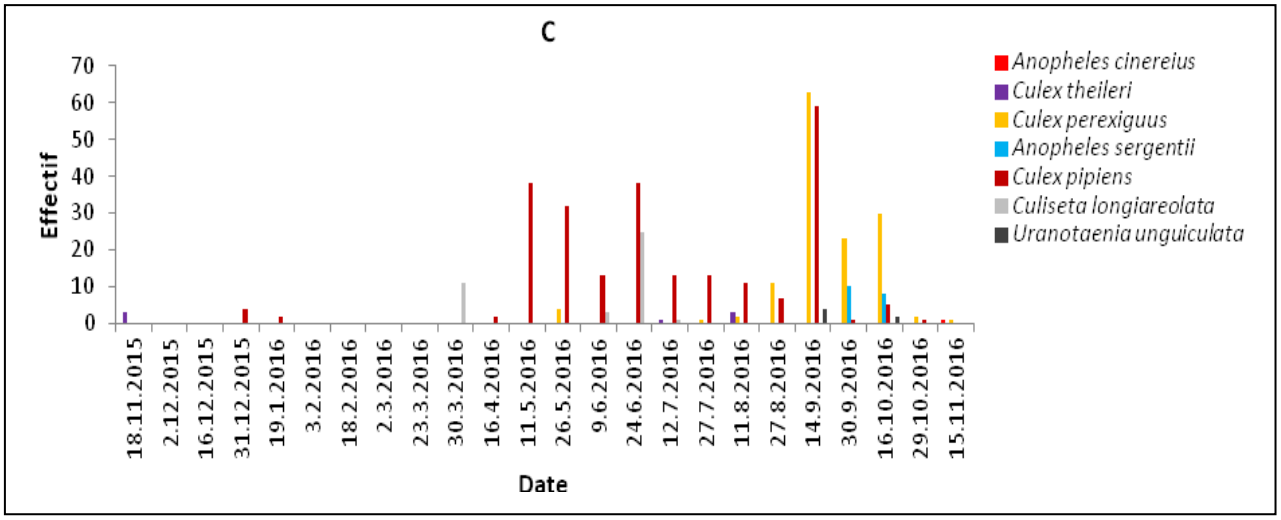

**Figure 23 :** Répartition des espèces de Culicidés récoltées dans les quatre gîtes étudiés.

L'étude de la dynamique spatiale des populations des Culicidés dans les gîtes prospectés montre que chaque milieu a une particularité faunistique (Figure 24). Ce qui montre que le

marécage d'eau et la source renfermaient la plus grande richesse spécifique, suivi du barrage El Gaâda et le moins productif était le cours d'eau de Jnan El Alami.



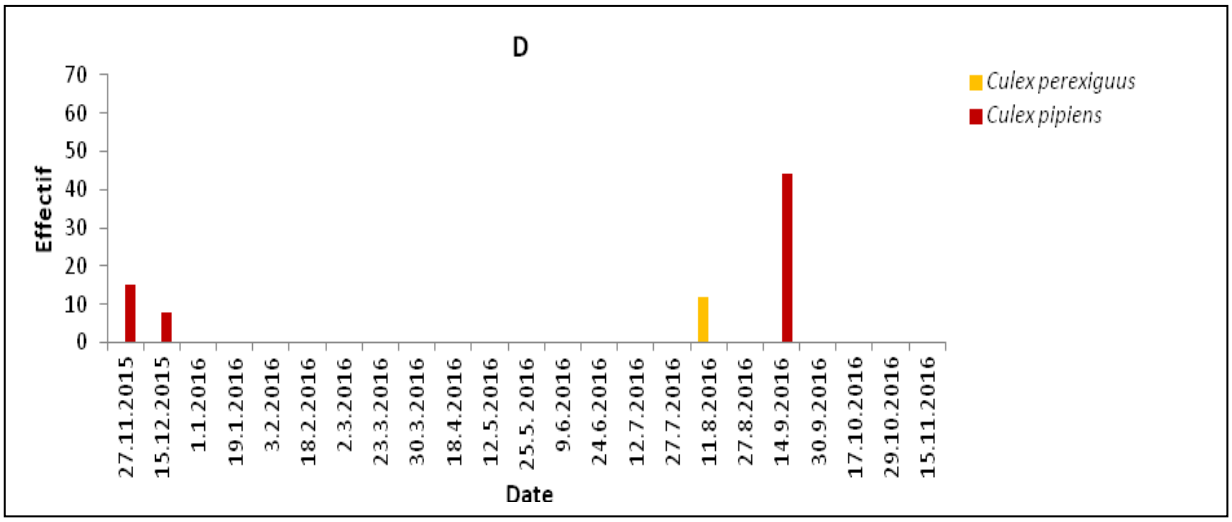



**Figure 24** : Variations spatio-temporelles du nombre des Culicidés dans les gîtes d'étude.

**A**: Variation temporelle des Culicidés du Barrage El Gaâda; **B**: Variation temporelle des Culicidés dans le marécage de Awinat Elhajaj; **C**: Variation temporelle des Culicidés de la source Douwar Lhandiya ; **D**: Variation temporelle des Culicidés de l'oued Jnan EL Alami

L'étude de la variation mensuelle de l'abondance des moustiques montre que le plus grand nombre de moustiques a été collecté en Septembre avec 211 spécimens, le plus faible nombre a été enregistré en Janvier avec 2 spécimens, représentés strictement par *Cx. pipiens*. Les espèces du genre *Culex* sont les plus abondantes. L'espèce *Cx. pipiens* était très présente avec un premier pic en Mars de 30 spécimens, un deuxième en Mai avec 70 individus et un troisième maximal en Septembre avec 104 individus. *Cx. perexiguus* était absente en Janvier et Mars et faiblement présente en Avril. Sa répartition est considérable pendant les mois chauds de l'année. Alors que l'espèce *Cx. theileri* était absente en Janvier, Septembre, Octobre et Novembre 2016. Elle est faiblement récoltée en Avril et en Août avec trois individus et son grand nombre a été noté en Février et Mai avec 14 individus.

La répartition saisonnière des larves récoltées donne 48,96% à la saison sèche et 51,04% à la saison humide. La figure 25 montre la répartition saisonnière de chaque espèce.

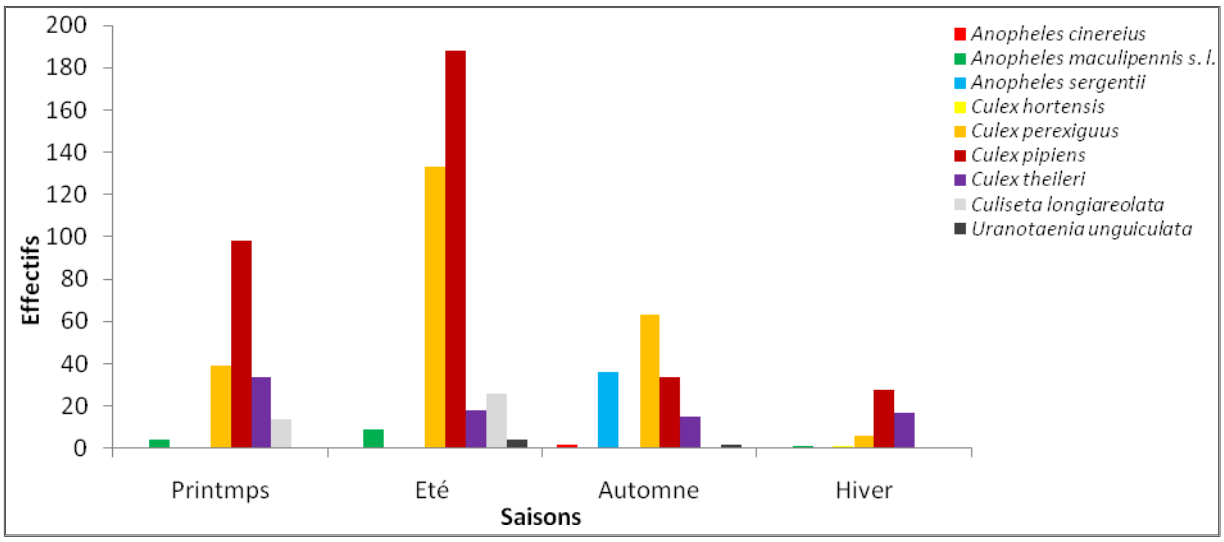



**Figure 25 :** Évolution saisonnière des effectifs larvaires des Culicidés dans quatre biotopes différents de la région de Fès.

La distribution spatiale des espèces n'est pas homogène: *Cx. perexiguus* a été recensée partout, *Cx. theileri* et *Cx. pipiens* ont été présentes dans la plupart des peuplements étudiés qui sont largement dominés par *Cx. pipiens*. L'espèce *Cx. hortensis* n'a été récoltée que dans le marécage d'Awinat Elhajaj au mois de Février, *Cu. longiareolata* n'a été trouvée que dans la source de Douwar Lhandiya durant les mois de Mars, Juin et Juillet. *Ur. unguiculata* n'était présente que dans cette source au cours des mois de Septembre et d'Octobre. Les espèces rares dans nos récoltes *Ur. unguiculata*, *An. cinereius* et *Cx. hortensis* ne seront plus considérées dans la suite des résultats (Figure 26).

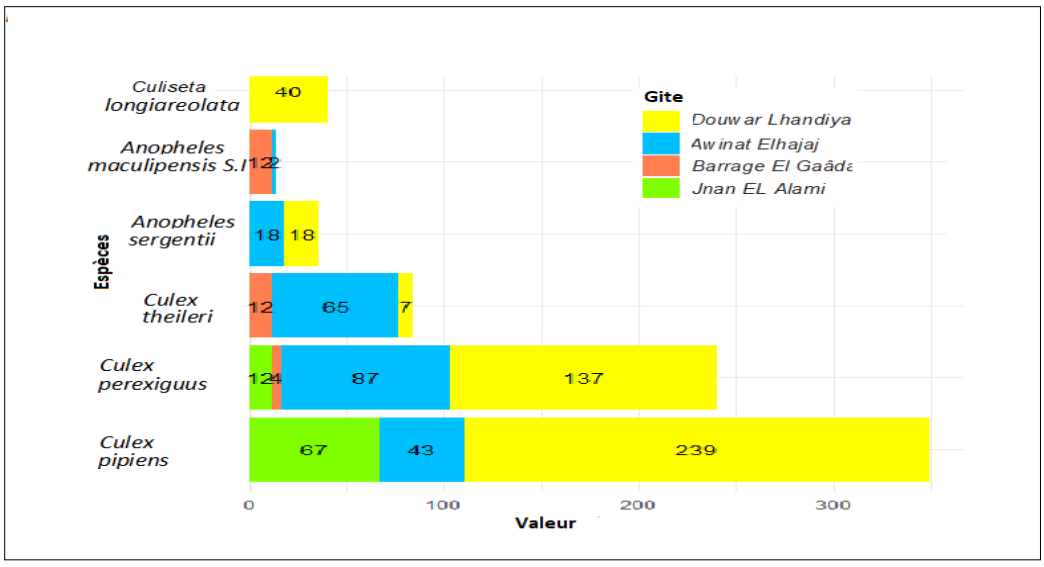



**Figure 26 :** Barplot sous R horizontal des abondances des espèces de Culicidés omniprésentes récoltées au niveau des gîtes représentatifs de la région de Fès (Novembre 2015 à Novembre 2016).

Cette hétérogénéité est flagrante aussi bien à l'échelle spatiale que temporelle. La distribution spatio-temporelle des espèces du genre *Anopheles* durant la période d'étude montre que *Anopheles maculipennis* s. l. est peu présente durant l'hiver: elle a été récoltée à Awinat Elhajaj au mois de Mars, ainsi qu'au cours du mois de Juin au niveau du barrage El Gaâda et Awinat Elhajaj. Elle a été rencontrée au mois de Juillet seulement au barrage El Gaâda et elle a disparu dès le mois d'Août. À partir du mois de Septembre et jusqu'au mois de Décembre, l'espèce *An. sergentii* a été observée, elle a été échantillonnée au niveau d'Awinat Elhajaj et Douwar Lhandiya. Dans ces deux derniers gîtes, *An. cinereus* a été récoltée au mois de Novembre des années 2015 et 2016 (Tableau 8).

| Espèce | Saison | Automne2015 | | | | | Hiver 2015-16 | | | | | Printemps 2016 | | | | | | | Eté 2016 | | | | | | Automne 2016 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Site / Date | 18.11 | 27.11 | 2.12 | 15.12 | 16.12 | 31.12 | 19.1 | 3.2 | 18.2 | 2.3 | 23.3 | 30.3 | 16.4 | 11.5 | 25.5 | 26.5 | 9.6 | 24.6 | 12.7 | 27.7 | 11.8 | 27.8 | 14.9 | 30.9 | 16.10 | 18.10 | 29.10 | 15.11 |
| *Culex pipiens* | AwinatElhajaj | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 17 | 8 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | BarrageElGaâda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | JnanElAlami | 0 | 15 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | DouwarLhandiya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 38 | 0 | 32 | 13 | 38 | 13 | 13 | 11 | 7 | 59 | 1 | 5 | 0 | 1 | 0 |
| *Culex perexiguus* | AwinatElhajaj | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7 | 11 | 0 | 0 | 8 | 0 | 10 | 12 | 3 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | BarrageElGaâda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | JnanElAlami | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | DouwarLhandiya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 16 | 0 | 0 | 1 | 2 | 11 | 63 | 23 | 30 | 0 | 2 | 1 |
| *Culex theileri* | AwinatElhajaj | 4 | 0 | 1 | 0 | 7 | 0 | 0 | 6 | 8 | 3 | 1 | 8 | 3 | 13 | 1 | 0 | 5 | 2 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | BarrageElGaâda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | JnanElAlami | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | DouwarLhandiya | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Anopheles sergentii* | AwinatElhajaj | 3 | 0 | 7 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 1 |
| | BarrageElGaâda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | JnanElAlami | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | DouwarLhandiya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 8 | 0 | 0 | 0 |
| *Anopheles maculipensis* | AwinatElhajaj | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | BarrageElGaâda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | JnanElAlami | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | DouwarLhandiya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Culiseta longiareolata* | AwinatElhajaj | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | BarrageElGaâda | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | JnanElAlami | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | DouwarLhandiya | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**Tableau 8 :** Matrice *Mondrian* des variations spatio-temporelles du nombre de Culicidés abondamment présent dans les gîtes d'étude.

| "=0" | 919 | "=1" | 18 | "2-4" | 28 | "5-9" | 19 | "10-19" | 15 | "20-39" | 6 | ">=40" | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

L'ensemble des espèces trouvées se répartissent mensuellement d'une manière hétérogène. La fonction CaGalt, mise en œuvre dans le FactoMineR a fourni un ensemble de résultats graphiques pour les espèces qui ont un effectif supérieur à 10 (Figure 27).

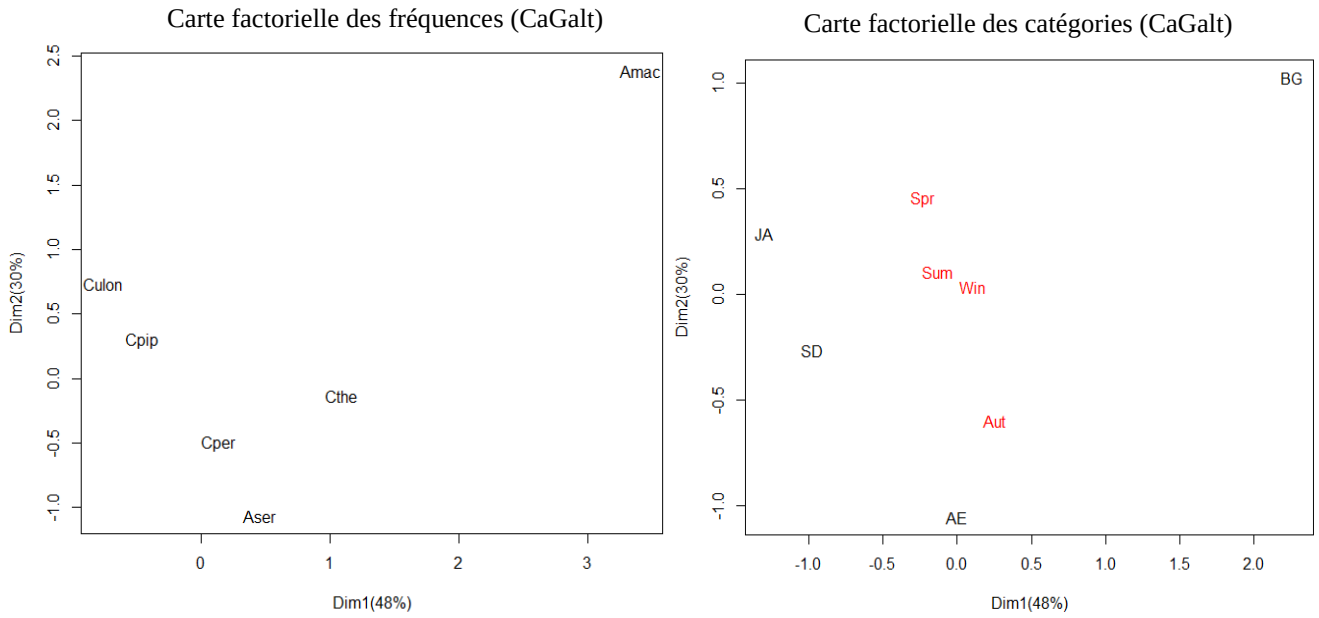



**Figure 27 :** Résultats de CA-GALT sur les 2 premiers axes totalisant plus de 78% de l'inertie

**Spr**: Le printemps**, Sum** : L'été, **Aut :** L'automne, **Win** : L'hiver, **Cper** : *Culex perexiguus*, **Cpip** : *Culex pipiens*, **Cthe** : *Culex theileri*, **Aser**: *Anopheles sergentii*, **Culon** : *Culiseta longiareolata*, , **Amac** *Anopheles maculipennis* s. l., **BG**: Barrage El Gaâda, **AE** : Awinat Elhajaj; **SD** : Source Douwar Lhandiya , **JA** : Jnan EL Alami

Nous avons observé à la lecture de la figure 27 que la répartition de l'effectif des larves des espèces récoltées montre une bonne corrélation avec les stations et en fonction des saisons. Dans cette figure, les deux premiers axes factoriels émanant de cette analyse totalisent à eux seuls plus de trois quart de l'inertie totale (78%), révélant l'information de la forte présence automnale de l'espèce *Cx. pipiens* au niveau de l'oued Jnan El Alami et leur abondance au niveau de la source Douwar Lhandiya surtout en printemps, en été et en automne. L'espèce *Cx. perexiguus* est caractérisée par une forte richesse en été et en automne au niveau de source Douwar Lhandiya et Awinat Elhajaj.

Ce traitement révèle l'information sur l'abondance printanière et estivale de l'espèce *Cu. longiareolata* au niveau de la source Douwar Lhandiya, la présence de l'espèce *Cx. theileri* tout au long de l'année, l'abondance de l'*An. maculipennis s.* l. au niveau de Barrage El Gaâda et une association distinguée a été observée entre la source Douwar Lhandiya, l'espèce *An. sergentii* ainsi que l'avènement de la saison froide représentée par l'automne et l'hiver.

**Discussion**

La variation mensuelle de l'abondance des moustiques a montré que la grande majorité des larves a été observée au mois de Septembre et que la plus faible a été enregistrée en Janvier. Ce résultat est similaire à celui d'une étude iranienne (Khoobdel *et al*., 2019). L'étude de l'activité saisonnière des moustiques dans la région a révélé que l'espèce *Cx. pipiens* était présente durant tous les mois de l'année, faiblement représentée en Janvier et Avril et fortement omniprésente en Septembre. Son abondance maximale a été signalée par Keshavarzi *et al* (2017) de Mai à Août avec un pic maximal en Août. Elle se développe principalement en automne jusqu'à la fin de l'hiver (Himmi *et al*., 1997). Ce qui confirme son activité saisonnière continue. Ce résultat est similaire à celui illustré dans des études à l'échelle nationale par Himmi (2007).

L'espèce *Cx. perexiguus* impliquée dans la transmission du virus du Nil occidental en Afrique et dans les pays du Moyen-Orient (Benbetka *et al*., 2018), a été signalée principalement active en été et en automne du Maroc à l'Inde (Benbetka *et al*., 2018, Brunhes *et al*., 2000). Elle a été trouvée fréquemment durant toute la période d'étude ainsi que dans toutes les stations. La détection de sa grande densité en Septembre et Octobre a coïncidé avec la forte activité du virus correspondant d'Août à Octobre, comme le rapportent plusieurs études (Orshan *et al*., 2008, Benbetka *et al*., 2018). Cette coïncidence pourrait donc favoriser la résurgence de ce virus. Surtout que cette espèce se nourrit parfois du sang des êtres humains malgré son caractère ornithophile (Osorio *et al*., 2012).

Les résultats de la présente étude montrent que l'espèce *Cx. theileri* était plus abondante au printemps et faiblement en automne. Cependant leur absence est totale durant les mois de Janvier, Septembre et Octobre. Une autre étude régionale a signalé que cette espèce commence son cycle de développement en Novembre, avec une interruption à partir de fin Février, pour ne réapparaitre qu'à la fin du mois de Mars avec un maximum d'abondance printanière (Himmi *et al*., 1997). Par contre plusieurs travaux ont qualifié cette espèce comme hivernale (Gaud ,1952), printanière ou estivale (Rioux, 1958, Senevet & Andarelli., 1959, Louah, 1995 et Bouallam & Ramdani., 1992). Elle a été mentionnée dans d'autres recherches ; comme étant plus abondante respectivement en Juin et d'Avril à Septembre (Soltani *et al*., 2017, Keshavarzi *et al*., 2017). Ces données corroborent avec l'étude qui suggère que les activités de ponte de *Cx. theileri* sont limitées par la température (Khoobdel *et al*., 2019).

L'espèce *Cx. hortensis* a été récoltée en Février, ce qui concorde à une étude précédente menée dans la région du Gharb (Chlaida et Bouzidi, 1995). Cela confirme sa présence hivernale. Aussi, une étude antécédente au niveau de la même région a montré l'apparition de ce moustique durant les mois

d'Avril, Juin et Juillet (El Ouali Lalami., 2010a), ce qui détermine la régression actuelle de cette espèce en printemps et en été.

Nos données ont montré que la densité des larves d'anophèles était plus élevée en automne et en été, particulièrement la forte prolifération des larves *An. maculipennis s.* l. en Juin et des larves d'*An. sergentii* durant les mois de Décembre 2015 et d'Octobre 2016. Des résultats d'une étude antérieure ont dévoilé que la densité des larves d'anophèles était plus élevée pendant les mois humides (Govoetchan *et al*., 2014). D'autres résultats ont montré que la densité des larves d'*Anopheles* était généralement faible en Juillet et Août (été), ce qui correspond au volume de précipitations mensuelles le plus élevé en Ethiopie (Animut *et al*., 2012). Subséquemment, la prolifération des stades larvaires des anophèles peut être due à la disponibilité des habitats larvaires ; préalable à la ponte des femelles gravides ; issue de la formation des gîtes après les premières pluies ou le dessèchement des gîtes après une forte précipitation.

L'espèce *An. maculipennis* s. l. a été présente durant une période qui s'étend de Mars à Juillet, qui est la période d'apparition des larves *d'An. labranchiae,* vecteur du paludisme autochtone qui coïncide à sa période de transmission de la maladie au Maroc. Cela correspond à une étude réalisée dans la province de Khémisset (Larhbali *et al*., 2014). Cependant, elle était présente en Janvier, Juin, Juillet et Août dans la région de Settat (Chlaida et Bouzidi 1995). Il s'avère que le mois de Juillet est le plus convenable pour cette espèce au niveau de cette région. L'espèce *An. sergentii* a été présente en 2007 et 2008 durant les mois de la période sèche (Juin, Juillet et Août) (El Ouali Lalami., 2010b). Le présent résultat montre que cette espèce circule durant la saison humide (d'Octobre jusqu'en Décembre) et durant la saison sèche (Septembre).

Une attention particulière doit être apportée à la dynamique des espèces du genre *Anopheles*, notamment *An. maculipennis* s. l. responsable dans la transmission du paludisme autochtone au Maroc et *An. sergentii* qui reste une espèce suspectée. Leurs spectres de distribution sont devenus un peu larges et s'étalent jusqu'aux mois de Novembre et de Janvier. L'évolution de la fluctuation de ces deux espèces est peut-être due aux changements climatiques actuels. Ainsi, nous pouvons déduire que les espèces d'anophèles se seraient adaptées aux différentes conditions climatiques. En effet, les changements climatiques pourraient entraîner des transmutations et des modifications dans la composition des espèces ainsi que dans la dynamique de la propagation des maladies transmises par les moustiques (Afrane *et al*., 2012).

Le moustique *Cu. longiareolata* a été trouvé au Maroc, dans le Gharb, pendant une période continue d'Octobre à Juin et abondamment en automne (Himmi *et al*., 1997). Aussi, elle était signalée

fréquente dans la région de Fès en automne et en été (Filali Mouatassem *et al*., 2019). Sa présence au printemps et en été et plus abondamment en Juin dans notre région d'étude traduit leur répartition saisonnière variable.

Les espèces *Ur.unguiculata*, *An. cinereus* et *Cx. hortensis* sont moins importantes d'un point de vue quantitatif. *Ur*. *unguiculata* est une espèce de moustique originaire du Paléarctique Occidental dont l'abondance est la plus élevée dans la région biogéographique méditerranéenne. Elle a été trouvée dans cette zone seulement en Juin, Août et Septembre (Camp *et al*., 2018). Sa présence en Septembre et Octobre dans notre étude illustre son apparition en été et en automne. Le statut vectoriel d'*An. cinereus* impliqué en Afrique suggère que cette espèce peut jouer un rôle important dans la transmission non saisonnière du paludisme (Lemma *et al*., 2019). Sa faible présence automnale dans notre région limite le risque d'émergence de cette maladie par cette espèce. La faible longévité des femelles qui empêche le développement du *Plasmodium* confirme le rôle non négligeable ou négligeable de cette espèce (Faraj *et al*., 2009), bien qu'il fut trouvé au Maroc une seule fois porteur de sporozoıtes et à cause de son caractère exophile et zoophile (Faraj *et al*., 2010).

**Conclusion**

Les résultats de notre étude sur l'évolution spatio-temporelle des Culicidés ont montré que les espèces Culicidiennes sont présentes dans tous les sites d'études et à des temps différents.

Ce chapitre a fait l'objet d'une publication dans Médecine Tropicale et Santé Internationale (MTSI-Bulletin) (ancien Bulletin de la Société de Pathologie Exotique).

Pour compléter et enrichir nos données sur les moustiques Culicidés étudiés, entre autre : l'inventaire, les paramètres écologiques influençant leurs proliférations et la dynamique de leurs évolutions, nous nous sommes intéressés à déterminer les espèces animales et végétales accompagnant ces moustiques. C'est dans ce but que s'inscrit l'objectif du chapitre suivant.

# **CHAPITRE IV:** ÉTUDES DE LA FAUNE ET DE LA FLORE COLONISANT LES GÎTES DES ESPECÈS CULICIDIENNES

## Introduction

Un écosystème aquatique renferme une grande variété de formes de vie avec des virus, des bactéries, des champignons, des protozoaires, des planctons, des végétaux et des animaux.

La végétation constitue un véritable intégrateur des conditions écologiques d'un biotope. Elle assure un microclimat thermique et lumineux favorables aux moustiques (Bouabida *et al*., 2012). Elle apporte des éléments nutritifs et agit sur la composition chimique et les propriétés superficielles de l'eau et elle a une action directe sur l'évaporation (OMS, 1967). Elle représente dans certains cas pour les larves de Culicidés, le substrat direct (Rioux *et al.,* 1967). Elle peut servir ainsi comme indicateurs des conditions favorables au développement de la communauté Culicidiennes.

Au coté de cette végétation, la faune aquatique est par ailleurs également une partie importante des écosystèmes d'eau douce. Cette faune est constituée particulièrement des macroinvertébrés, principalement des vers, des crustacés, des larves d'insectes et des mollusques, qui servent de nourriture à bon nombre de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux. Elle peut témoigner de la présence d'espèces de la famille des Culicidae étant donné que les moustiques peuvent être la proie d'invertébrés aquatiques prédateurs tels que les larves d'Odonates, les larves et adultes de Coléoptères aquatiques et de certains poissons, inféodés aux mêmes milieux aquatiques que ceux des moustiques.

Nous avons voulu savoir quelles sont les espèces végétales caractéristiques des gîtes larvaires, ainsi que les espèces aquatiques animales présentes avec les larves Culicidés qui permettraient de nous donner une indication directe du gîte à moustique et une détermination rapide des espèces abritées par ce gîte. Cette étude qualitative, la première de genre a été realisée et sera probablement d'un grand intérêt pour les techniciens et agents d'hygiène responsables de la surveillance entomologique.

Dans le cadre de la recherche d'espèces qui peuvent être indicatrices de moustiques, nous nous sommes intéressés à étudier les sites les plus susceptibles de favoriser la prolifération des Diptères Culicidés. Ainsi, nous avons décrit les caractères essentiels de la végétation qui favorisent leur présence dans le milieu et nous avons repéré également les espèces animales qui cohabitent avec les moustiques. La récolte de ces espèces (flore et faune) a été faite en même temps que celle des larves de moustiques (cf. Matériel et Méthodes).

**Résultats**

Les espèces végétales et animales présentes avec les larves de moustiques figurent parmi les espèces dominantes de la région. D'autres espèces de la région n'ont pas été rencontrées dans les gîtes larvaires.

**a. Éspèces végétales présentes avec les moustiques Culicidés :**

Plusieurs larves de moustiques étaient présentes dans des gîtes dépourvus de végétations et seules les espèces de *Cx. pipiens* et *Cu. longiareolata* ont été récoltées dans ce type de gîtes comme dans le cas de la fontaine Jnan Sbil, la bergerie de Montfleuri II et la fontaine du lotissement al mamounia, où prédominaient les algues vertes et filamenteuses et les plantes de la famille des Lamiaceae, Typhaceae, Juncaceae, Rhamnaceae, Cyperaceae, Poaceae et Lemnaceae, Asteraceae et Hydrocharitaceae.

Les espèces végétales souvent observées ont été : *Marrubium vulgare, Mentha aquatica, Typha angustifolia, Juncus acutus, Juncus maritilus* avoisinantes de *Ziziphus lotus*, *Cyperus longus*, *Phragmites cummunis, Polypogon monspeliensis* (L), *Lemna*, *Ditrichia viscose* et *Najas marina* (L).

L'espèce *Ditrichia viscose* de la famille des Asteraceae a été repérée dans des gîtes à *Cx. pipiens* à une fréquence élevée en particulier à l'Aéroport Sais et Oued Wislane.

La lentille d'eau a été fréquemment observée dans les gîtes aux alentours du Diamant Vert et Jnan EL Alami (Figure 28). Elle a été récoltée au Diamant Vert dans un puits riche en *Cx. pipiens* et *Cx. theileri*. Cependant aucune espèce n'a été trouvée avec ce végétal à Jnan EL Alami.



**Figure 28 :** Lentilles d'eau *Lemna* sp de la famille des Lemnaceae (Photos prises par moi- même).

Les phragmites (Figure 29) ont été présents dans les gîtes des moustiques du genre *Anopheles* et *Culex*. Elles longent les bordures du Jnan El Alami dans lequel *Cx. pipiens* et *Cx. perexiguus* ont été abondantes. Elles ont été trouvées à Aîn Amier caractérisée par la présence de *Cx. pipiens*, *Cx.*

*theileri et Ur. balfouri*, ainsi qu'*à* Awinat Elhajaj riche en espèces à savoir: *An. cinereus, An. maculipennis* s. l., *An. sergentii, Cx. hortensis, Cx. perexiguus, Cx. pipens, Cx. theileri* et au gîte Diamant Vert contenant une seule espèce *d'Ae. flavescens* et une faible densité de *Cx .perexiguus, Cx. pipens* et *Cx. theileri* et aussi au gîte Lmsefer riche en *Cx. pipens, Cx. theileri* et une seule espèce d*'Ae. flavescens*, à Oued Sebou riche en *Cx. pipens* par rapport à *Cx. perexiguus* et *Cx. theileri* et à Oued Wislane caractérisé par une forte abondance de *Cx. pipens* et une faible densité de *Cx. theileri.*



**Figure 29 :** *Phragmites sp*. de la famille des Poaceae (Photos prises par moi- même).

Les *Juncus* (Figure 30) ont été omniprésents au gîte Marjat Lwazani qui est un gîte propre à *Cx. pipiens* et au gîte Douwar Lhandiya qui est un habitat d'*An. cinereus, d'An. sergentii*, d'*Ur. unguiculata*, de *Cu. longiareolata* et de toutes les espèces du genre *Culex*.



**Figure 30 :** Herbacées *Juncus* sp de la famille des Juncaceae (Photo prise par moi- même).

L'espèce *Typha angustifolia* (Figure 31) a été présente à Aîn Amier et Awinat Elhajaj. La station de Aîn Amier s'est distinguée par la présence de *Cx. pipiens, Cx. theileri et Ur. balfouri.* Le site de Awinat Elhajaj a été caractérisé par la présence de toutes les espèces du genre *Anophèles* et *Culex* ramassées dans la région d'étude.



**Figure 31 :** *Typha sp* de la famille des Typhaceae (Photo personnelle, 2016).

Les Graminées (Figure 32) ont été fréquemment présentes au gîte Source Douwar Lhandiya qui se caractérise par une grande richesse spécifique. Une forte densité d'*An. sergentii* a été observée lors de la décomposition de ce végétal.



**Figure 32 :** Graminée vivace de la famille des Poaceae (Photo personnelle, 2016).

Les deux espèces *Najas marina* (Figure 33) et *Polypogon monspeliensis* (Figure 34) ont été cueillies au barrage El Gaâda lorsque nous avons récolté les espèces *An. maculipennis* s. l. de *Cx. perexiguus, et* de *Cx. theileri.*




**Figure 33 :** *Najas marina*. L. de la famille des·Hydrocharitaceae (Photo personnelle, 2016).



**Figure 34 :** *Polypogon monspeliensis* (L) de la famille des Poaceae (Photo personnelle, 2016).

Les Algues ont été réparties selon les gîtes:

<u>Algue filamenteuses de Barrage El Gaâda</u>

Diatomophycées : *Melosira varians* C. Agardh 1827

Chlorophytes : *Spirogyra notabilis* Talt 1944

Chlorophytes : *Spirogyra crassa* (Kützing) 1843

Chlorophytes : Spirogyra majuscula (Kützing) 1849

Cyanobactéries : *Phormidium* automnale (Agardh) Trevisan ex Gonont 1982

Ces algues ont fréquemment accompagné les prélevements avec les espèces *Cx. perexiguus*, *Cx. theileri*, *An. maculipennis* s.l..

Algue filamenteuses de Jnan El Alami

*Stigoeclonium lubricuim* (Dillwyn) Kützing 1845 fréquemment présente avec *Cx. pipiens* et *Cx. perexiguus.*

Algue vertes non filamenteuses de sources Douwar Lhandiya

Des algues vertes ont été observées au gîte de Douwar Lhandiya lors de la période de récolte des *An. sergenti* (Figure 35).

Ces Algues appartiennent à la classe des Chlorophycées parmi lesquelles les espèces les plus dominantes et abondantes ont été *Chlorella sp, Scenedesmus quadricauda* (Terpin) Brébisson sensu Chodat 1913 et *Pediastrum boryanum* (Turpin) Meneghini 1840.



**Figure 35 :** Algues vertes source Douwar Lhandiya (Photo personnelle, 2016).

**b. Espèces animales présentes avec les moustiques Culicidés :**

Plusieurs groupes d'Invertébrés aquatiques ont été rencontrés abondamment dans les gîtes riches en moustiques à savoir: les gastéropodes dominés par la famille des Melanidae, les insectes représentés par l'ordre des Diptères (particulièrement les Chironomidés, les Tabanides et Simuliidés), l'ordre des Éphéméroptères, l'ordre des Odonates (spécialement du sous-ordre des zygoptères et des Anisoptères du genre *Sympetrum*) et l'ordre des Plécoptères (Figure 36). Parmi les Vertébrés observés comme les oiseaux, les amphibiens et les poissons ; étaient en faible effectif dans ces milieux aquatiques.




**Figure 36 :** Exemples des familles d'invertébrés aquatiques recensés (Delaunay, 2016).

Nous avons pu différencier entre ces espèces comme suit:

- Espèces présentes en abondance dans les gîtes riches en *Anophèlinae* :

  - Des larves et des adultes de *Dytiscus* de la famille des Dytiscidae et de l'ordre des Coléoptères aquatiques.

  - Des larves de Tabanides de la famille des Tabanidae de l'ordre des Diptères.

  - Des larves de Chironomidés de la famille des Chironomidae de l'ordre des Diptères.

  - Des larves de l'ordre des Trichoptères de la famille des Hydropsychidae.

  - Des larves de l'ordre des Plécoptères.

  - Des larves de l'ordre des Éphéméroptères de la famille des :

    - Heptageniidae du genre *Heptagenia.*
    - Ephemeridae et du genre *Ephemera*.
    - Baetidae et du genre *Baetis*.
    - Potamanthidae et du genre *Potamanthus*.

  - Des larves de l'ordre des *Planipennes* de la famille des Osmylidae et du genre *Osmylus.*

- Espèces présentes en abondance dans les gîtes riches en Culicinae

  - Des adultes d'insectes de l'ordre des Hémiptères de la famille des Notonectidae de la sous-famille des Notonectinae et du genre *Notonecta*.

  - Des adultes d'insectes de l'ordre des Hémiptères de la famille des Naucoridae et du genre *Naucoris.*

  - Des adultes d'insectes Hétéroptères de l'ordre des Hémiptères de la famille des Corixidae et du genre *Corixa.*

  - Des adultes de la classe des Amphibiens l'ordre Anoura de la famille des Ranidae et du genre *Rana*.

  - Des insectes hétéroptères, punaises d'eau du genre *Nepa* appartenant à la famille des Nepidae.

  - Des gastropodes étaient dominés par la famille des Melanidae.

- Espèces accompagnant à la fois au Culicinae et Anophèlinae

  - Des larves de moustiques ont été récoltées dans les gîtes contenant des poissons du genre *Gambusia*. Ils ont été repérés aux sites suivants :

  - Au Diamant vert occupé par les espèces *Cx. theileri, Cx. pipiens, Cx. perexiguus* et *Ae. flavescens* ;

- Au Barrage El Gaâda envahi par les espèces *Cx. theileri*, *An. maculipennis s. l.* et *Cx. perexiguus*;
- Au Grand canal où prolifèrent les espèces *Cx. theileri, Cx. pipiens* et *Cu. longiareolata*;
- A Lmsfer submergé par les espèces *Cx. theileri*, *Cx. pipiens*, *Cx. perexiguus* et *Ae. flavescens*.
- Les oiseaux *Gallinula chloropus, Fulica atra, Fulica cristata, bublicus ibis* et *Ardia alba* ont été observés au Barrage El Gaâda contenant les moustiques *Cx. theileri*, *Cx. perexiguus* et *An. maculipennis* s. l..

**Discussion**

Nous avons observé que les onze espèces de moustiques échantillonnées ont été récoltées dans des gîtes à végétations variées. Tandis que les espèces *Cx. pipiens* et *Cu. longiareolata* ont été repérées dans des gîtes dépourvues de végétation.
Les anophèles ont été observés dans trois gîtes (Source Douwar Lhandiya, Flaque de Awinat Elhajaj et Barrage El Gaâda), submergés de végétation. Cette dernière de type algal favorise leurs développements. Ceci a déjà été mentionné par d'autres auteurs (Himmi, 2007, El Ouali Lalami *et al.*, 2010b, Laboudi, 2013).

Une étude de Handaq (Handaq *et al*., 2017) a montré que les gîtes composés d'un couvert végétal formé essentiellement d'herbes (*Typha angustifolia*, *Lemna*), de roseaux (*Juncus*) et d'algues filamenteuses constituent une richesse spécifique importante. Ce qui est bien illustré dans notre étude.

En effet, la présence des algues au niveau des lieux de ponte de moustiques est l'un des facteurs favorables aux moustiques du genre *Aedes* telle que *Ae. aegypti* (Darriet *et*. Corbel, 2008), du genre *Anopheles* tel que *An.hispaniola* (Bouallam et Nejmeddin, 2001), *An. labranchiae*, *An. claviger*, *An. cinereus*, *An. algeriensis* et *An. sergentii* (El Ouali Lalami *et al.*, 2010b) et du genre *Culex* tel que *Cx. pipiens* (Berchi *et al*., 2012). Nos résultats illustrent bien que les algues favorisent le développement des espèces *Cx. pipens, Cx. perexiguus, Cx. theileri, An. maculipennis* s. l. et *An. sergentii*. Parmi les microalgues trouvées dans les gîtes d'étude, le genre *Chlorella sp* a déjà été signalé omniprésent dans des gîtes à *Ae.* aegypti (Souza *et al*., 2019) et le genre *Spirogira sp.* a déjà été signalé fréquemment présent dans des gîtes à *Cx. pipiens* (Berchi *et al*., 2012).

Les espèces *An. labranchiae* et *An. cinereus* ont été trouvées, dans une autre étude, dans des sites de reproduction dominés par des plantes émergentes, avec une densité élevée *d'An*. *cinereus* dans des sites à forte dominance des espèces de la famille des Cypéracées (Laboudi, 2013). Cette flore a été

présente dans notre étude dans la flaque d'Awinat Elhajaj et la source Douar Lhandiya dans lesquelles apparaissent l'*An. sergenti* et l'*An. cinereus*. D'autre part, les larves d'*An. labranchiae* et *An. cinereus* ont été rares dans des marécages dominés par des plantes appartenant à la famille des Typhacées (Laboudi, 2013). De même, nous avons enregistré une faible densité d'*An. maculipennis* s.l. dans la zone marécageuse Awinat Elhajaj riche en plantes de la famille des Typhacées, alors qu'une forte densité a été observée au barrage El Gaâda dépourvue de ce type de végétation.

Dans une étude précédente (Arnold, 1984), *An. macutlipennis s.*1. et *Cx. pipiens* ont été échantillonnées en compagnie de *Mentha aquatica* et *Phragmites cummunis*. Ces espèces ont été récoltées au marécage de Awinat Elhajaj qui est très riche de ce type de végétation.

Contrairement à l'espèce *Cu. longiareolata*, les espèces *Cx. theileri*, *Cx. hortensis*, *Cx. perexiguus*, ont été rencontrées dans les sites ayant une affinité très marquée par une riche végétation (Bouabida *et al*., 2012). Ainsi, une végétation relativement importante en bordure du gîte peut expliquer la présence de *Cx. pipiens* toute l'année (Berchi *et al*., 2012), ce qui a été confirmé lors de nos sorties.

Cette présente étude confirme que les larves d'*Ur. unguiculata* et *Ur. balfoui* se trouvent souvent enfouies dans une végétation aquatique élevée (Melero Alcíbar, 2010, Himmi, 2007). L'espèce *Ur.unguiculata* a été décrite comme une espèce qui se présente fréquemment dans les sites entourés d'une végétation étendue de *Phragmites sp*. (Poaceae) (Camp *et al.*, 2018), ce qui n'est pas toujours le cas, car nous n'avons jamais aperçu cette espèce dans les gîtes submergés par ce genre de végétation. Cependant, nous l'avons recensée avec une végétation différente dans le gîte Douwar Lhandiya lequel est très riche en plantes herbacées de Graminées vivaces (Poaceae).

Parfois, la pullulation des végétaux, lorsqu'elle couvre toute la surface, élimine les larves de Culicidés (Anonyme, 1984). C'est ce que nous avons observé au Jnan El Alami, dans un gîte submergé de lentilles d'eau; où aucune espèce de moustiques n'a été échantillonnée, sachant que ce végétal est fréquemment présent dans les gîtes de moustique. Le même cest réonstat est réalisé pour le gîte oued Fès qui se compose d'espèces susceptibles d'être indicatrices de la présence de moustiques d'Anophèles tels que *Typha angustifolia*, *Phragmites australis*, de roseaux (*Juncus maritimus*) mais leur enrichissement par la plante invasive *Pistia stratiotes* peut être le facteur limitant de la présence de ces moustiques dans ce gîte. Cela est peut-être dû à la diminution de la densité lumineuse, au blocage de la diffusion de l'air et à la diminution de taux d'oxygène dissout qui sont des facteurs importants à la prolifération des moustiques.

Les principales espèces animales présentes dans le secteur d'étude sont à la fois diversifiées et localement abondantes. Cette faune, et tout particulièrement les espèces présentes dans les

biocénoses au sein desquelles se développent les Culicidés, a un rôle important dans la chaine trophique, tout comme elle peut représenter et contenir des espèces indicatrices.

Les Plécoptères témoignent de la bonne qualité de l'eau, car ces espèces sont très sensibles aux polluants (Delaunay, 2016). Ils ont été observés fréquemment à la source Douwar Lhandiya et au barrage El Gaâda. Ces deux gîtes sont caractérisés par une eau non polluée et ils ont été considérés comme des gîtes à *Anopheles* (*An. sergentii* et *An. maculipennis* s. l. respectivement).

Les Simuliidae sont des espèces très exigeantes en oxygène dissous. Elles vivent généralement au niveau des plans d'eau douce à courants vifs où les teneurs en oxygène sont élevées (Matile 1989, El Joubari *et al*., 2015b). Cette faune a été trouvée aux gîtes Douwar Lhandiya et Awinat Elhajaj caractérisés par des eaux plus oxygénées et par la présence des Anophèles parmi lesquels *An. sergentii* est l'espèce la plus fréquente.

Les Chironomidae tolèrent des concentrations importantes de salinité (Walker *et al*., 1995). Les espèces de Chironomes ont été trouvées en association avec *An. cinereius, An. sergentii, Cx. perexiguus* et *Cx. theileri* au gîte Awinat Elhajaj caractérisée par une eau saline.

**Conclusion**

Les gîtes larvaires de moustiques Culicidés ont été marqués par une flore et une faune très caractéristiques. La connaissance de ces dernières contribue à l'élargissement des informations sur l'écologie et la biologie ainsi que sur les conditions favorables ou défavorables au développement des espèces Culicidiennes. Il est à noter que cette étude ne permet pas de connaître l'ensemble des espèces animales et végétales indicatrices des Culicidés présentes dans la région. C'est pourquoi, il ne constitue qu'une contribution partielle à la délimitation des gîtes larvaires et à la détermination des espèces indicatrices des moustiques à un biotope donné et à un moment donné.

Nous avons obtenu un ensemble de données et d'informations entomologiques sur les Culicidés à travers les chapitres précédents (Chapitres I, II, III et IV).

Nous avons jugé intéressant de les analyser statistiquement afin de déterminer des associations ou des corrélations entre les différents paramètres et variables étudiées. Cela fera l'objet du chapitre suivant.

# **CHAPITRE V:** BIOTYPOLOGIE DES ESPÈCES CULICIDIENNES PAR L'UTILISATION DES MÉTHODES D'ANALYSES STATISTIQUES : ACP ET ACM

## Introduction

Des analyses statistiques telles que l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et l'analyse des correspondances multiples (ACM) peuvent aider à réduire la dimension d'une matrice de données de grandes dimensions. L'ACP est l'une des méthodes statistiques qui permet de transformer un premier jeu de données quantitatives, en un second jeu de plus petite dimension composé de nouvelles variables qui sont des combinaisons linéaires des variables originelles (Tharrault, 2008). L'ACM est une méthode de description statistique multidimensionelle utilisée pour synthétiser l'information d'un tableau de données qualitatives (Chavent, 2014). En effet, l'ACP et l'ACM permettent à son utilisateur de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante notamment lorsqu'il s'agit de déterminer une corrélation entre un nombre assez important de paramètres et de variables (El Ouali Lalami *et al*., 2014).

En Afrique du Nord, de nombreux travaux sur l'étude des caractéristiques physico-chimiques des gîtes larvaires de Culicidés ont été exploités par l'ACP (Aouinty *et al*., 2017; El Ouali Lalami *et al*., 2010a ; Berchi *et al*., 2012 ; El Joubari et al.,2014 ; Messai *et al*., 2016 ; Marc *et al*., 2016). Cependant, ces études se sont toujours limitées dans le temps et dans l'espace et consacrées aux espèces locales de chaque zone d'étude.

Dans cette partie de notre travail, les données d'un total de 44 sorties réalisées, ont été regroupés. Durant ces explorations de terrain, 225 investigations ont été accomplies et 217 prélèvements d'eau ont été effectués au niveau des gîtes positifs rencontrés. Des méthodes d'analyses statistiques factorielles (ACP et ACM) ont été utilisées pour mieux comprendre la corrélation entre les facteurs environnementaux et les caractéristiques bioécologiques de chaque espèce ayant favorisé une émergence. Cette analyse va nous donner plus d'informations sur les espèces qui colonisent les gîtes dans la région prospectée.

Dans cette étude, englobant toutes les données recueillies, nous avons tenté d'analyser la correspondance et la relation entre les résultats des investigations entomologiques et les mesures de paramètres physico-chimiques de l'eau des gîtes larvaires de Culicidés, menées durant une période d'une année dans la région de Fès. Afin de déceler l'influence des paramètres : altitude, nature du gîte, origine du gîte sur la répartition des espèces trouvées, nous avons procédé à une analyse de composantes multiples. Cette analyse multivariée a permis de caractériser les gîtes larvaires et

d'apporter une information complémentaire sur la faune aquatique et le recouvrement végétal favorisant la pullulation des moustiques.

Ces résultats seront d'une grande utilité pour une meilleure compréhesion de la corrélation entre les facteurs environnementaux et les caractéristiques bioécologiques de chaque espèce afin d'améliorer les stratégies de lutte.

**Résultats**

Au total, 1531 larves appartenant à onze espèces ont été recueillies; quatre espèces du genre *Culex*, trois du genre *Anopheles*, deux du genre *Uranotaenia*, une du genre *Culiseta* et une du genre *Aedes*. Ces espèces ont été citées dans les gîtes représentés dans le tableau 9.

**Tableau 9:** Répartition quantitative de l'ensemble des espèces de moustiques Culicidés récolté entre Novembre 2015 et Décembre 2016.

| | ***Ae.fla*** | ***An.cin*** | ***An.mac*** | ***An.ser*** | ***Cx.hor*** | ***Cx.per*** | ***Cx.pip*** | ***Cx.the*** | ***Cu.lon*** | ***Ur.bal*** | ***Ur.ung*** | **Total** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Aéroport Sais** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 |
| **Aîn Amier** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 8 | 0 | 1 | 0 | 23 |
| **Awinat Elhajaj** | 0 | 1 | 2 | 18 | 1 | 88 | 43 | 66 | 0 | 0 | 0 | 219 |
| **Barrage El Gaâda** | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 4 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| **Diamant verte** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| **Douwar Lhandiya** | 0 | 1 | 0 | 18 | 1 | 137 | 239 | 7 | 46 | 0 | 6 | 455 |
| **Flaque de Marjat Lwazani** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |
| **Fontaine jnan Sbil** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 37 | 0 | 0 | 37 |
| **Grand canal** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 56 | 4 | 1 | 0 | 0 | 61 |
| **Jnan EL Alami** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 67 | 0 | 0 | 0 | 0 | 79 |
| **Lmsefer** | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 158 | 3 | 0 | 0 | 0 | 162 |
| **El Mamounia** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 4 | 0 | 0 | 16 |
| **Bergerie Montfleuri II** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 106 | 0 | 4 | 0 | 0 | 110 |
| **Oued Lmzah** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 59 | 0 | 1 | 0 | 0 | 63 |
| **Oued Sebou** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 85 | 3 | 0 | 0 | 0 | 91 |
| **Oued Wislane** | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 101 | 3 | 0 | 0 | 0 | 104 |
| **Total** | 2 | 2 | 14 | 36 | 2 | 264 | 1003 | 108 | 93 | 1 | 6 | 1531 |

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii.* ***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri.* ***Cu.lon*** : *Culiseta longiareolata.* ***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri.* ***Ur.ung***: *Uranotaenia unguiculata*.

La fréquence de chaque espèce dépend du nombre répété d'échantillonage. Et par ordre décroissant, les espèces du genre *Culex* (C*x. pipiens, Cx. perexiguus, Cx. theileri*) et *Cu. longiareolata,* sont les espèces les plus répandues dans la région et sont communes dans les gîtes à visite fréquente ou rare. Les espèces *An. maculipennis* s.I. et *An. sergentii* sont présentes seulement dans les gîtes fréquemment visités avec un nombre non négligeable, ainsi que les espèces *An. cinereius.* Les espèces *Cx. hortensis* et *Ur. unguiculata* sont rarement représentées dans les gîtes à visites bimensuelles et absentes dans les gîtes visités tous les deux mois qui se distinguent par l'apparition occasionelle *d'Ur. balfouri* et *d'Ae. flavescens.*

Ces espèces peuvent vivre en associations les unes avec les autres selon les conditions du milieu (Tableau 10).

**Tableau 10** : Associations faunistiques des espèces de moustiques Culicidés récoltés.

| | ***Ae.fla*** | ***An. cin*** | ***An.mac*** | ***An.ser*** | ***Cx.hor*** | ***Cx.per*** | ***Cx.pip*** | ***Cx.the*** | ***Cu.lon*** | ***Ur.bal*** | ***Ur.ung*** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***Ae.fla*** | | - | - | - | - | + | + | + | - | - | - |
| ***An.cin*** | - | | - | + | - | + | - | + | - | - | - |
| ***An.mac*** | - | - | | - | - | + | + | + | - | - | - |
| ***An.ser*** | - | + | - | | - | + | + | + | - | - | + |
| ***Cx.hor*** | - | - | - | - | | - | - | + | + | - | - |
| ***Cx.per*** | + | + | + | + | - | | + | + | - | + | + |
| ***Cx.pip*** | + | - | + | + | - | + | | + | + | - | + |
| ***Cx.the*** | + | + | + | + | + | + | + | | + | - | - |
| ***Cu.lon*** | - | - | - | - | + | - | + | + | | - | - |
| ***Ur.bal*** | - | - | - | - | - | + | - | - | - | | - |
| ***Ur.ung*** | - | - | - | + | - | + | + | - | - | - | |

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii.* ***Cx.hor*** : *Culex hortensi.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip***: *Culex pipens.* ***Cx.the***: *Culex theileri.* ***Cu.lon*** : *Culiseta longiareolata.* ***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri.* ***Ur.ung*** : *Uranotaenia unguiculata*.

Les larves de moustiques étaient présentes dans des habitats temporaires et permanents, dans des eaux basiques (7,1 ≤pH≤ 10,27) contenant des solides dissous (0 ≤TDS g/l ≤ 1,94), d'une profondeur moyenne allant de 3,13 cm à un mètre, donc peu profondes, pures ou polluées d'une conductivité électique comprise entre 270 µs/cm et 3800 µs/cm, stagnantes ou courantes de faible débit (0≤débit $m^3$/s ≤0,3), salines ou douces 0 ≤ S‰ ≤ 2, claires ou troubles (0,63 ≤ Turbidité NTU ≤ 946), oxygénées ou peu oxygénées (0,05 ≤ taux de l'oxygène dissous ppm ≤ 10,2), froides ou chaudes (8,8 ≤T°≤ 31,7). L'existence de chaque espèce est liée aux facteurs physico-chimiques (Tableau 11) et la distribution des larves dépend de l'habitat (Tableau 12).

**Tableau 11** : Valeurs des moyennes et des écarts types des paramètres physico-chimiques relevées en fonctions de la présence de chaque espèce.p

| | **Température °C** | **pH** | **Salinité ‰** | **Oxygène dissous (ppm)** | **Conductivité électrique µs/cm** | **Débit $m^3/s$** | **TDS g/l** | **Turbidité NTU** | **Profondeur cm** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***An.cin*** | 15,45±1,34 | 8,2 | 1,25±1,06 | 2,31 | 2250±2192 | 0 | 0,273±0,36 | 237±66,5 | 5,56±3,44 |
| ***Cx.the*** | 20,96±6,46 | 8,31±0,72 | 0,62±0,7 | 3,04±2,2 | 1304±818 | 0,014±0,05 | 0,8±0,45 | 166,5±181 | 21,12±21 |
| ***Cx.per*** | 21,03±5,20 | 8,11±0,53 | 0,64±0,7 | 2,74±1,76 | 1492±890 | 0,007±0.024 | 0,84±0,50 | 176,5±156 | 23,56±19,88 |
| ***An.ser*** | 17,34±3,48 | 8±0,30 | 0,86±0,69 | 3,06±0,71 | 1679±959 | 0,0004±0,001 | 0,71±0,40 | 107,8±100,5 | 13,02±14,4 |
| ***Ur.bal*** | 17,6 | 8,8 | 0 | 8,08 | 900 | 0 | 0,4 | 13,4 | 19,1 |
| ***Cx.pip*** | 18,83±4,85 | 8,009±0,45 | 0,3±0,54 | 2,69±1,47 | 988±476 | 0,018±0,054 | 0,63±0,33 | 130±198 | 32,5±25,6 |
| ***Cu.lon*** | 19,15±4,95 | 8,35±0,56 | 0,09±0,3 | 3,26±2,8 | 206,3±243,8 | 0,003 ±0,01 | 0,592±0,472 | 26,02±37,27 | 51,58±24,82 |
| ***Ae.fla*** | 14,8±4,24 | 8,03± 0,07 | 0 | 2,71±0,03 | 600 | 0,02±0,028 | 0,38±0,03 | 20,9±4,38 | 18,95±1,5 |
| ***Cx.hor*** | 14,95±4,31 | 8.3±0,08 | 0,5±0,7 | 6,69±0,56 | 1100±283 | 0 | 0,84±0,4 | 91,95±28,35 | 14,7±9,42 |
| ***An.mac*** | 26,5±8,45 | 9,44±0,95 | 0,5±0,5 | 2,61±1,98 | 1260±445 | 0 | 0,95±0,32 | 284±274 | 14,31±0,79 |
| ***Ur.ung*** | 19±1,98 | 7,8±0,28 | 0 | 2,96±0,7 | 1000 | 0 | 0,55 | 24,31±22,9 | 34,07±31,01 |

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles Sergentii.* ***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri.* ***Cu.lon*** : *Culiseta longiareolata.* ***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri.* ***Ur.ung*** : *Uranotaenia unguiculata*.

**Tableau 12** : Variation des gîtes de pontes selon les espèces.

| **Espèce** | **Gîtes de pontes** |
|---|---|
| *Aedes flavescens* (Müller, 1764)<br>*Anopheles cinereus* (Theobald, 1901)<br>*Anopheles sergentii* (Teobald, 1907)<br>*Culex hortensis* (Ficalbi, 1889) | Flaque, Source |
| *Anopheles maculipennis* s. l. (Meigen 1818) | Barrage, Flaque |
| *Culex perexiguus* (Teobald, 1903)<br>*Culex theileri* (Teobald, 1903) | Barrage, Flaque, Oued, Source |
| *Culex pipens* (Linnaeus, 1758) | Bergerie, Flaque, Fontaine, Oued, Source |
| *Culiseta longiareolata* (Macquart, 1838) | Bergerie, Fontaine, Oued, Source. |
| *Uranotaenia unguiculata* (Edwards, 1913)<br>*Urnotaenia balfouri* (Theobald, 1904) | Source |

La répartition des espèces par rapport à l'absence où présence des végétaux est indiqué par le tableau 13 :

**Tableau 13 :** Tableau indiquant la relation entre la présence des espèces Culicidienne avec la végétation.

| | **Dit vis** | **Lent eau** | **Phra** | **Junc** | **Typha ang** | **Gra** | ***Naj mar*** | ***Pol mon*** | **Diat** | **Chlor** | **Cyano** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***An.cin*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc+ | Typha ang+ | Gra+ | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor- | Cyano- |
| ***Cx.the*** | Dit vis+ | Lent eau+ | Phra+ | Junc+ | Typha ang+ | Gra+ | Naj mar+ | Pol mon+ | Diat+ | Chlor+ | Cyano+ |
| ***Cx.per*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc+ | Typha ang+ | Gra+ | Naj mar+ | Pol mon+ | Diat+ | Chlor+ | Cyano+ |
| ***An.ser*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc+ | Typha ang+ | Gra+ | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor+ | Cyano- |
| ***Ur.bal*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc- | Typha ang+ | Gra- | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor- | Cyano- |
| ***Cx.pip*** | Dit vis+ | Lent eau+ | Phra+ | Junc+ | Typha ang+ | Gra+ | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor+ | Cyano- |
| ***Cu.lon*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra- | Junc+ | Typha ang- | Gra+ | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor- | Cyano- |
| ***Ae.fla*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc- | Typha ang- | Gra- | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor- | Cyano- |
| ***Cx.hor*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc+ | Typha ang+ | Gra+ | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor- | Cyano- |
| ***An.mac*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra+ | Junc- | Typha ang+ | Gra- | Naj mar+ | Pol mon+ | Diat+ | Chlor+ | Cyano+ |
| ***Ur.ung*** | Dit vis- | Lent eau- | Phra- | Junc + | Typha ang- | Gra+ | Naj mar- | Pol mon- | Diat- | Chlor- | Cyano- |

**Dit vis** *: Ditrichia viscose.* **Lent eau** : Lentile d'eau. **Phra :** Phragmites. **Junc :** Juncus. **Typha ang** *: Typha angustifolia.* **Gra :** Graminées. **Naj mar :** *Najas marina*. **Pol mon :** *Polypogon monspeliensis.* **Diat** : Diatomées. **Chlor :** Chlorophycées. **Cyano :** Cyanobactéries.

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii.* ***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri.* ***Cu.lon*** : *Culiseta longiareolata*. ***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri.* ***Ur.ung***: *Uranotaenia unguiculata*.

La description des espèces par rapport à l'absence où la présence des espèces animales est indiquée dans le tableau 14.

**Tableau 14 :** Tableau indiquant l'association des espèces avec la faune aquatique.

| | **Mel** | **Ois** | **Ran** | **Gam** | **Nep** | **Cor** | **Nau** | **Not** | **Tab** | **Chi** | **Hyd** | **Dyt** | **Hyp** | **Osm** | **Eph** | **Pot** | **Bae** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***An.cin*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam- | Nep+ | Cor- | Nau- | Not- | Tab+ | Chi+ | Hyd+ | Dyt+ | Hyp- | Osm- | Eph- | Pot+ | Bae- |
| ***Cx.the*** | Mel+ | Ois+ | Ran- | Gam+ | Nep+ | Cor+ | Nau- | Not+ | Tab- | Chi+ | Hyd- | Dyt- | Hyp- | Osm- | Eph- | Pot+ | Bae+ |
| ***Cx.per*** | Mel- | Ois+ | Ran- | Gam+ | Nep+ | Cor- | Nau- | Not+ | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp+ | Osm- | Eph+ | Pot+ | Bae- |
| ***An.ser*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam- | Nep- | Cor- | Nau- | Not- | Tab+ | Chi+ | Hyd+ | Dyt+ | Hyp- | Osm+ | Eph- | Pot+ | Bae- |
| ***Ur.bal*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam- | Nep- | Cor- | Nau- | Not- | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp- | Osm- | Eph- | Pot- | Bae- |
| ***Cx.pip*** | Mel+ | Ois- | Ran+ | Gam+ | Nep+ | Cor+ | Nau+ | Not+ | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp+ | Osm+ | Eph+ | Pot+ | Bae- |
| ***Cu.lon*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam+ | Nep- | Cor- | Nau- | Not- | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp- | Osm- | Eph- | Pot- | Bae- |
| ***Ae.fla*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam+ | Nep- | Cor- | Nau- | Not- | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp- | Osm- | Eph- | Pot- | Bae- |
| ***Cx.hor*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam- | Nep- | Cor- | Nau- | Not- | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp- | Osm- | Eph- | Pot- | Bae- |
| ***An.mac*** | Mel- | Ois+ | Ran- | Gam+ | Nep+ | Cor- | Nau- | Not- | Tab+ | Chi+ | Hyd+ | Dyt+ | Hyp+ | Osm+ | Eph+ | Pot- | Bae+ |
| ***Ur.ung*** | Mel- | Ois- | Ran- | Gam- | Nep+ | Cor- | Nau- | Not- | Tab- | Chi- | Hyd- | Dyt- | Hyp- | Osm+ | Eph- | Pot+ | Bae- |

**Mel**: Melanidae**. Ois** : Oiseaux. **Ran** : Rana**. Gam** : Gambusia**. Nep** : Nepa**. Cor** : Corixa**. Nau** : Naucoris**. Not** : Notonecta **Tab** : Tabanidae**. Chi** : Chironomidae**. Hyd**: Hydropsychidae**. Dyt** : Dyticidae **Hyp** : Hyptageniidae. **Osm** : Osmylidae. **Eph** : Ephemeridae **Pot**: Potamenthidae. **Bae**: Baetidee

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii* .***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri* .***Cu.lon***: *Culiseta longiareolata* .***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri* .***Ur.ung***: *Uranotaenia unguiculata*.

L'analyse des composantes principales, de la corrélation des paramètres physico-chimiques avec les espèces est donnée par le graphe de la figure 38. Le tableau 15 montre que les trois premières composantes ont des valeurs propres supérieures à 1 et expliquent une variabilité de 85%. Par ailleurs, nous n'allons considérer que les deux premières composantes qui expliquent 67% de la variabilité des données. Ce tableau affiche aussi les pourcentages de la variabilité expliquée par chaque composante et les pourcentages cumulés.

**Tableau 15 :** Valeurs propres et pourcentages d'inertie des axes de l'analyse ACP.

| Numéro de Composante | Valeur propre | Pourcentage de variance | Pourcentage Cumulée |
|---|---|---|---|
| 1 | 3,71097 | 41,233 | 41,233 |
| 2 | 2,37784 | 26,420 | 67,653 |
| 3 | 1,5918 | 17,687 | 85,340 |
| 4 | 0,595186 | 6,613 | 91,953 |
| 5 | 0,511853 | 5,687 | 97,641 |
| 6 | 0,135667 | 1,507 | 99,148 |
| 7 | 0,06137 | 0,682 | 99,830 |
| 8 | 0,0149571 | 0,166 | 99,996 |
| 9 | 0,000350632 | 0,004 | 100,000 |

La représentation graphique de ces résultats est illustrée dans le graphique des valeurs propres (Figure 37).

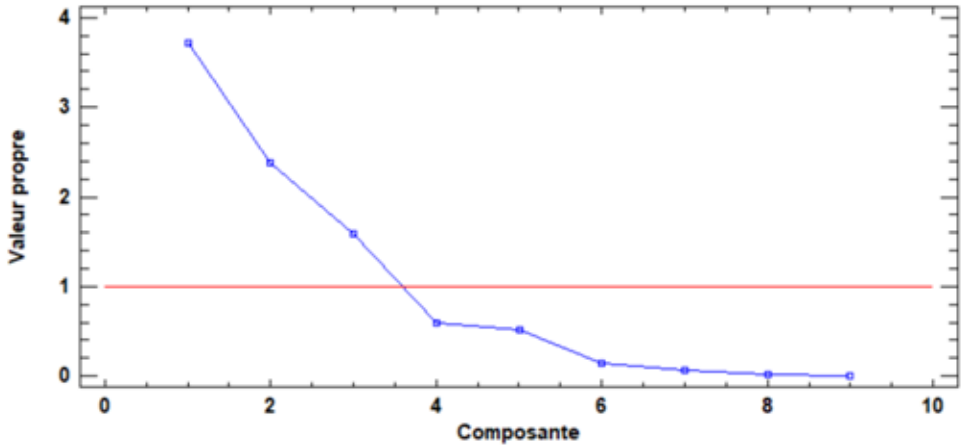



**Figure 37 :** Graphique des valeurs propres.

Les deux premiers axes choisis ont donné une meilleure représentation des projections des variables physico-chimiques (Figure 38).

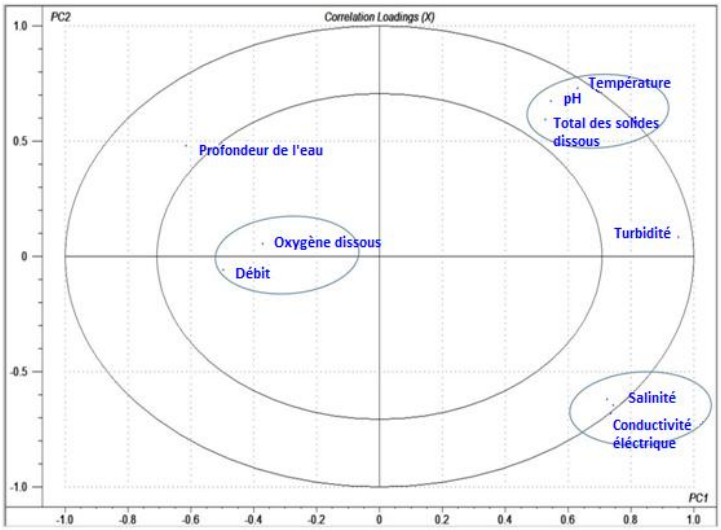



**Figure 38 :** Projection des paramètres physicochimiques selon le plan factoriel $F_1xF_2$.

Le graphe de la figure 38 indique la présence de certaines corrélations entre les paramètres physico-chimiques notamment :

- Une corrélation entre la salinité et la conductivité ;
- Une corrélation du pH avec la température et le total des solides dissous ;
- Un débit corrélé avec l'oxygène dissous.

La projection des espèces selon le plan $F_1$-$F_2$ nous a permis d'extraire les regroupements de trois catégories d'espèces Culicidiennes (Figure 39).

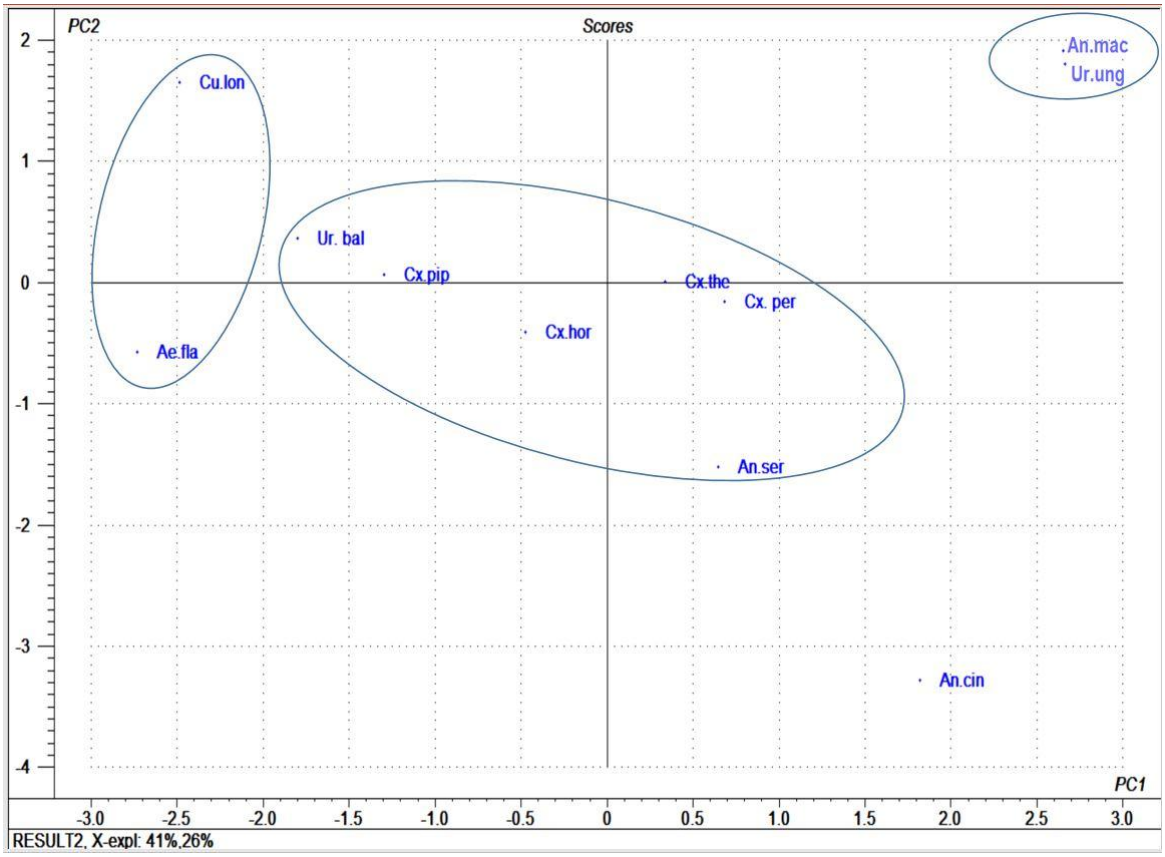



**Figure 39 :** Distribution des espèces de Culicidae de la région de Fès selon le plan $F_1$-$F_2$.

**Ae.fla** : *Aedes flavescens.* **An.cin** : *Anopheles cinereus.* **An.mac** : *Anopheles maculipennis s. l.* **An.ser** : *Anopheles sergentii.* **Cx.hor** : *Culex hortensis.* **Cx.per** : *Culex perexiguus.* **Cx.pip** : *Culex pipens.* **Cx.the**: *Culex theileri.* **Cu.lon** : *Culiseta longiareolata.* **Ur.bal** : *Uranotaenia balfouri.* **Ur.ung** : *Uranotaenia unguiculata*.

La distribution des espèces selon le plan F1-F2 fait ressortir 3 grands groupements illustrés par

- Groupement 1 composé d'*An. maculipennis s. l.* et *Ur. unguiculata*.
- Groupement 2 regroupe *Cx. hortensis, Cx. perexiguus, Cx. pipens, Cx. theileri, Ur. balfouri* et *An. sergentii*.
- Groupement 3 compte les deux espèces *Ae. flavescens* et *Cu. longiareolata*.

La superposition des deux graphiques précédents nous donne le Bi-plot des paramètres physico-chimiques et espèces (Figure 40).

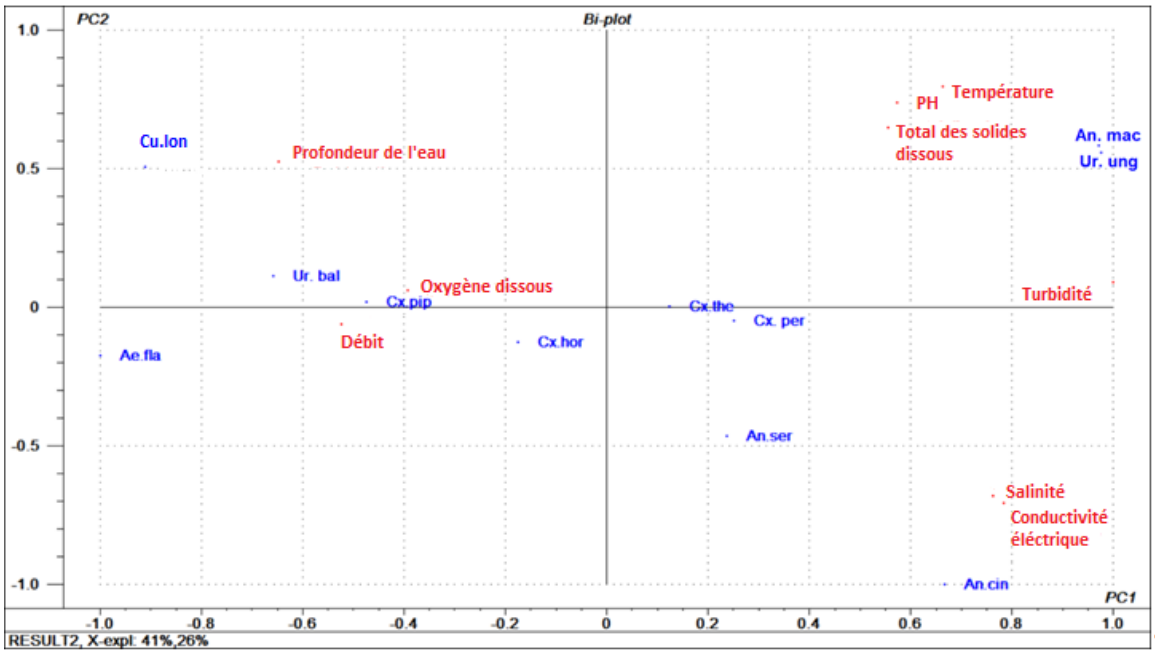



**Figure 40 :** Graphique Biplot des paramètres physico-chimiques et des espèces Culicidiennes.

À partir de ce graphique, nous pouvons extraire les informations suivantes :

- Le groupement d'espèces *Cx. hortensis, Cx. perexiguus, Cx. pipens, Cx. theileri, Ur. balfouri* et *An. sergentii* est fortement influencé par l'oxygène dissous et le débit;
- L'espèce *An. cinereus* est une espèce fortement marquée par les facteurs salinité et conductivité électrique;
- Les deux espèces *An. maculipennis s. l.* et *Ur. unguiculata* prédominent dans des mileux de température, de pH et de TDS élevés.

L'étude de la relation entre les espèces de moustiques étudiées et les paramètres altitude, nature et origine du site par l'ACM a fait ressortir un coefficient Alpha de Crombach moyen qui est égal à 0,63. Cette valeur est acceptable pour distinguer entre les différents paramètres étudiés par l'ACM. Par ailleurs, les deux premières dimensions expliquent 58,39% pour la première dimension F1 et 41,61% pour la deuxième F2 (Tableau 16).

**Tableau 16 :** Récapitulatif du Score alpha de Cronbach, des valeurs propres et de la variabilité expliquée pour les deux premiers axes.

**Récapitulatif des modèles**

| Dimension | Alpha de Cronbach | Variance représentée | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Total (Valeur propre) | Inertie | % de la variance |
| 1 | 0,759 | 2,025 | 0,675 | 58,391 |
| 2 | 0,460 | 1,443 | 0,481 | 41,609 |
| Total | | 3,468 | 1,156 | |
| Moyenne | 0,635[a] | 1,734 | 0,578 | |

a. La moyenne alpha de Cronbach est basée sur la valeur propre moyenne.

Le graphique ci- dessous montre la correspondance qui existe entre les espèces de moustiques étudiées et les paramètres géographiques (Figure 41).

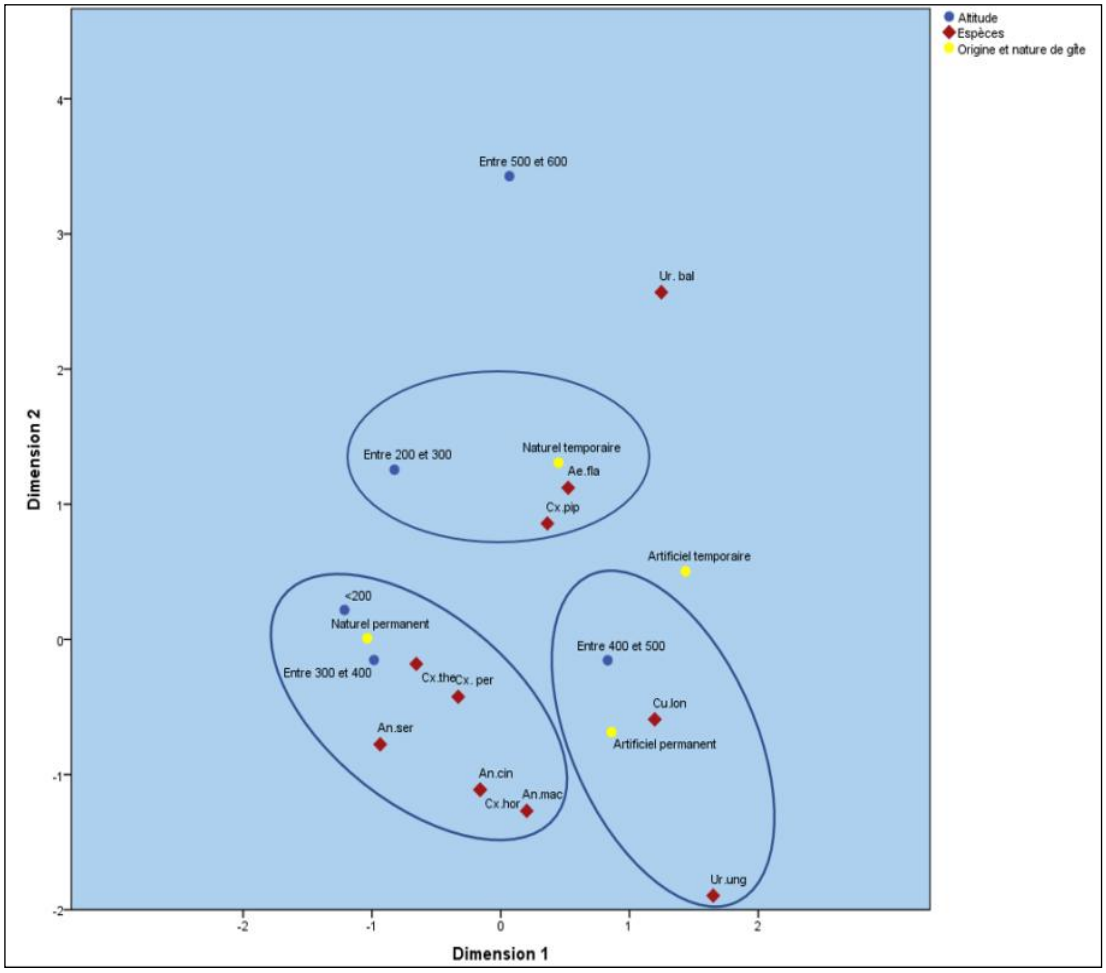



**Figure 41 :** Projection des variables étudiées selon l'ACM.

**Ae.fla** : *Aedes flavescens.* **An.cin** : *Anopheles cinereus.* **An.mac** : *Anopheles maculipennis s. l.* **An.ser** : *Anopheles sergentii.* **Cx.hor** : *Culex hortensis.* **Cx.per** : *Culex perexiguus.* **Cx.pip** : *Culex pipens.* **Cx.the** : *Culex theileri.* **Cu.lon** : *Culiseta longiareolata.* **Ur.bal** : *Uranotaenia balfouri.* **Ur.ung** : *Uranotaenia unguiculata.*

Les informations qui peuvent être extraites de ce graphique sont les suivantes :

- Les cinq espèces *Cx. perexiguus*, *Cx. theileri*, *An. cinereus*, *Cx. hortensis* et *An. maculipennis s. l.* ont tendance à coexister dans des milieux naturels, permanents et à des altitudes <200m.
- Les espèces *Cu. longiareolata* et *Ur. unguiculata* ont tendance à coloniser les milieux artificiels permanents à une altitude comprise entre 400 et 500m.
- Les deux espèces *Ae. flavescens* et *Cx. theileri* apprécient les milieux naturels temporaires et à des altitudes oscillantes entre 200 et 300 m.

L'analyse des correspondances multiples (ACM) de la relation entre les espèces de moustiques étudiées et la flore caractérisant les gîtes des espèces Culicidiennes a permis de donner des résultats fort intéressants.

D'après le calcul de l'indice Alpha de Cronbach, nous avons pu évaluer l'homogénéité des données d'évaluation (Tableau 17).

**Tableau 17:** Récapitulatif du traitement des observations

**Récapitulatif des modèles**

| Dimension | Alpha de Cronbach | Variance représentée | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Total (Valeur propre) | Inertie | % de la variance |
| 1 | 0,916 | 6,252 | 0,521 | 63,382 |
| 2 | 0,789 | 3,615 | 0,301 | 36,618 |
| Total | | 9,868 | 0,822 | |
| Moyenne | 0,870[a] | 4,934 | 0,411 | |

a. La moyenne alpha de Cronbach est basée sur la valeur propre moyenne.

Les caractéristiques statistiques de l'analyse sont très satisfaisantes, en effet, le coefficient Alpha de Crombach moyen est égal à 0,87, cette valeur est très suffisante pour distinguer entre les différents paramètres étudiés par l'ACM. Par ailleurs, les deux premières dimensions expliquent 100% de la variabilité des données (63,382% pour la première dimension et 36,618% pour la deuxième).

La figure 42 nous a permis d'étudier les corrélations entre les espèces végétales étudiées et de leurs effets discriminants sur les espèces de moustiques.

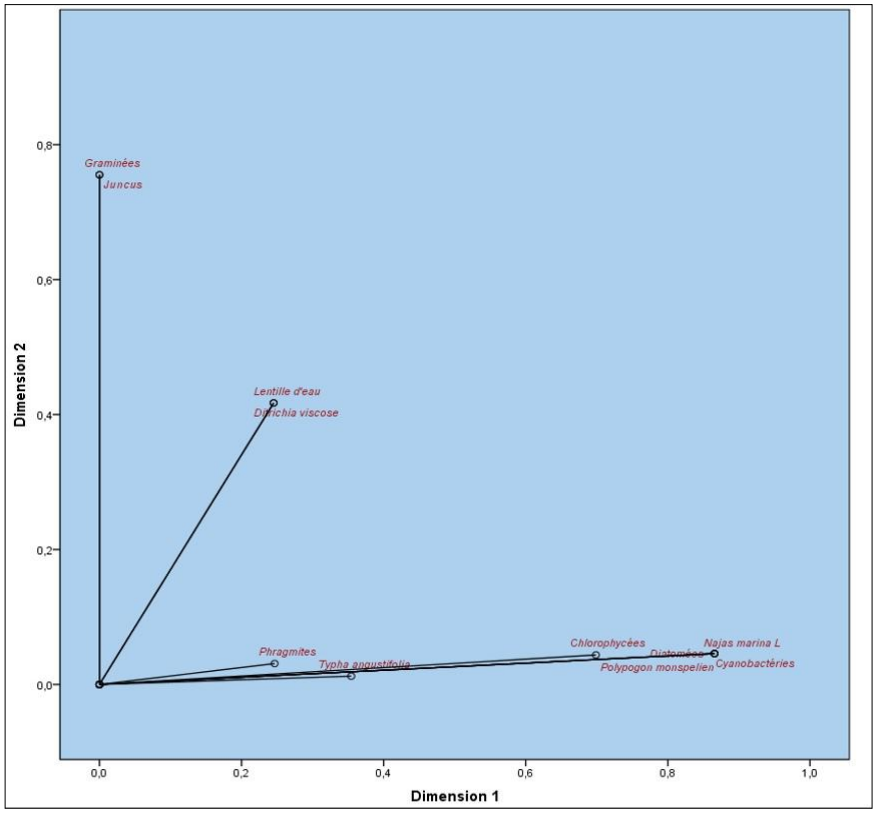



**Figure 42 :** Étude des corrélations entre les espèces végétales étudiées et de leurs effets discriminants sur les espèces de moustiques.

Ce graphique nous renseigne sur les corrélations existantes entre les paramètres floristiques étudiés. Ainsi, quatre groupements de végétaux montrent une corrélation significative entre elles ce qui veut dire que leurs existence ou absence sont simultanées. Les corrélations observées sont énumérées comme suit:

- La corrélation entre l'espèce végétale graminée et *Juncus* : ces deux espèces sont expliquées par le deuxième axe F2 (30,1% de l'inertie totale).
- La corrélation entre les deux espèces *Ditrichia viscose* et Lentille d'eau se trouve plus influencée par l'axe F1 que l'axe F2.
- La corrélation entre *Polypogon monspeliensis*, *Cyanobactéries*, *Najas marina* L, les Diatomées et les Chlorophycées est donnée par la figure 42. Ces espèces sont expliquées par le premier axe F1 (52,1% de l'inertie totale).
- La corrélation entre les *Phragmites* et *Typha angustifolia* est très étroite.

Les trois premiers groupements de végétaux ont les pouvoirs discriminants les plus élevés sur l'existence ou l'absence des espèces de moustiques étudiées. La présence ou l'absence de ces groupements d'espèces végétales influe significativement sur l'existence ou l'absence des espèces de moustiques étudiées.

La figure 43 nous a permis de donner une idée sur les corrélations observées entre les espèces de moustiques selon leur milieu floristique.

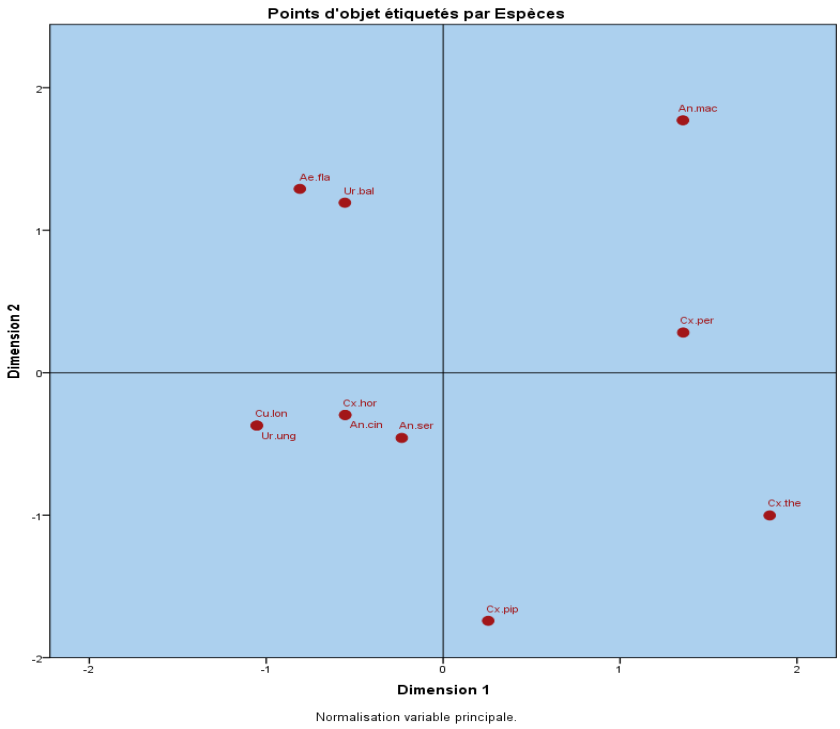



**Figure 43 :** Étude des corrélations les espèces de moustiques selon le milieu floristique.

**Ae.fla** : *Aedes flavescens.* **An.cin** : *Anopheles cinereus.* **An.mac** : *Anopheles maculipennis s. l..* **An.ser** : *Anopheles sergentii.* **Cx.hor** : *Culex hortensis.* **Cx.per** : *Culex perexiguus.* **Cx.pip** : *Culex pipens.* **Cx.the** : *Culex theileri.* **Cu.lon** : *Culiseta longiareolata.* **Ur.bal** : *Uranotaenia balfouri.* **Ur.ung**: *Uranotaenia unguiculata*.

Ce graphique montre que les espèces de moustiques les plus proches ont tendance à exister dans des milieux à végétations identiques, ainsi qu'il dégage des groupements d'espèces de moustiques ayant l'habilité à exister dans les mêmes associations et groupements de végétation.

- Le premier est constitué des cinq espèces *Cu. longiareolata*, *An. cinereus*, *Cx. hortensis*, *An. sergentii* et *Ur. unguiculata*.
- Le deuxième est constitué des deux espèces *Ae. flavescens* et *Ur. balfouri*.
- Les quatre espèces restantes ont des tendances à exister dans des conditions de végétations différentes entre elles et différentes avec les sept premières espèces.

La figure 44 montre la correspondance qui existe entre les espèces de moustiques étudiées et les paramètres de la végétation étudiée.

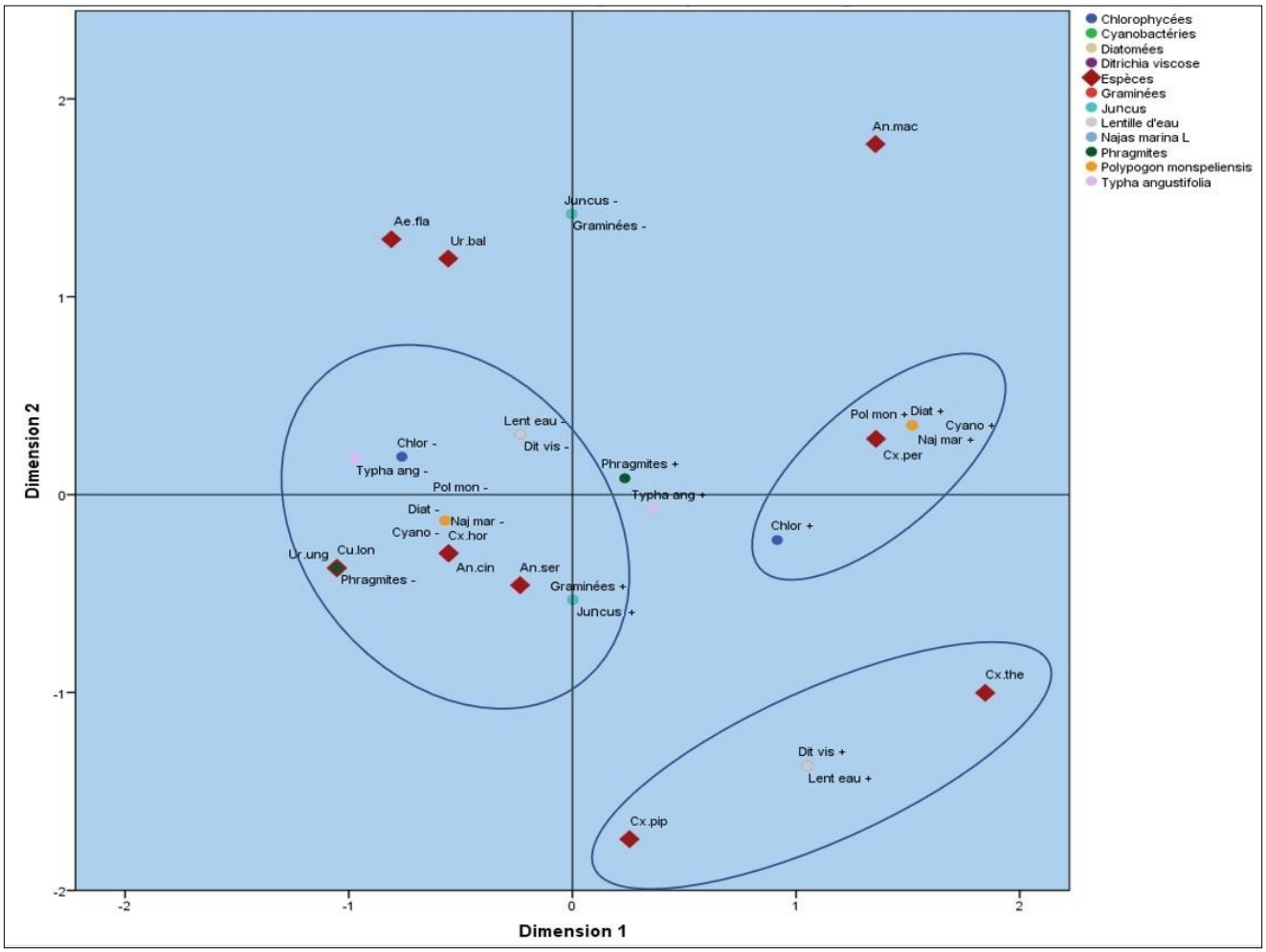



**Figure 44 :** Superposition de la répartition des espèces de moustiques et les espèces végétales.

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii* .***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri* .***Cu.lon***: *Culiseta longiareolata* .***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri* .***Ur.ung***: *Uranotaenia unguiculata*.

A partir de ce graphique nous pouvons voir les 3 groupements d'espèces suivants:

- Bien que les deux espèces *Cx. theileri* et *Cx. pipens* n'aient pas montré une certaine similitude concernant la végétation, ces deux espèces sont influencées par l'existence des deux espèces végétales lentille d'eau et *Ditrichia viscose*.
- Les cinq espèces *Cu. longiareolata, An. cinereus, Cx. hortensis, An. sergentii* et *Ur. unguiculata* sont caractérisées par la présence des espèces végétales à savoir les graminées et *Juncus* et par l'absence de plusieurs espèces de végétaux tels que la lentille d'eau, *Ditrichia viscose, Najas marina* L, *Polypogon monspeliensis*, les diatomées et les cyanobactéries.
- L'espèce *Cx. perexiguus* est fortement caractérisée par la présence de *Polypogon monspeliensis*, de *Najas marina* L, de diatomées et de cyanobactéries.

Afin de déceler la relation entre les espèces de moustiques et les autres groupes animaux, nous avons procédé à une ACM. Les caractéristiques statistiques de l'analyse sont satisfaisantes (Tableau 18).

**Tableau 18 :** Récapitulatif du traitement des observations.

**Récapitulatif des modèles**

| Dimension | Alpha de Cronbach | Variance représentée | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Total (Valeur propre) | Inertie | % de la variance |
| 1 | 0,907 | 6,960 | 0,387 | 38,666 |
| 2 | 0,866 | 5,499 | 0,305 | 30,548 |
| Total | | 12,458 | 0,692 | |
| Moyenne | 0,889[a] | 6,229 | 0,346 | 34,607 |

a. La moyenne alpha de Cronbach est basée sur la valeur propre moyenne.

Le coefficient Alpha de Crombach moyen est égal à 0,88, cette valeur est très suffisante pour distinguer entre les différents paramètres étudiés par l'ACM. Par ailleurs, les deux premières dimensions expliquent 69,2% de la variabilité des données (38,66% pour la première dimension F1 et 30,54% pour la deuxième F2).

La figure 45 représente les corrélations entre les espèces animales étudiées et leurs effets discriminants sur les espèces de moustiques.

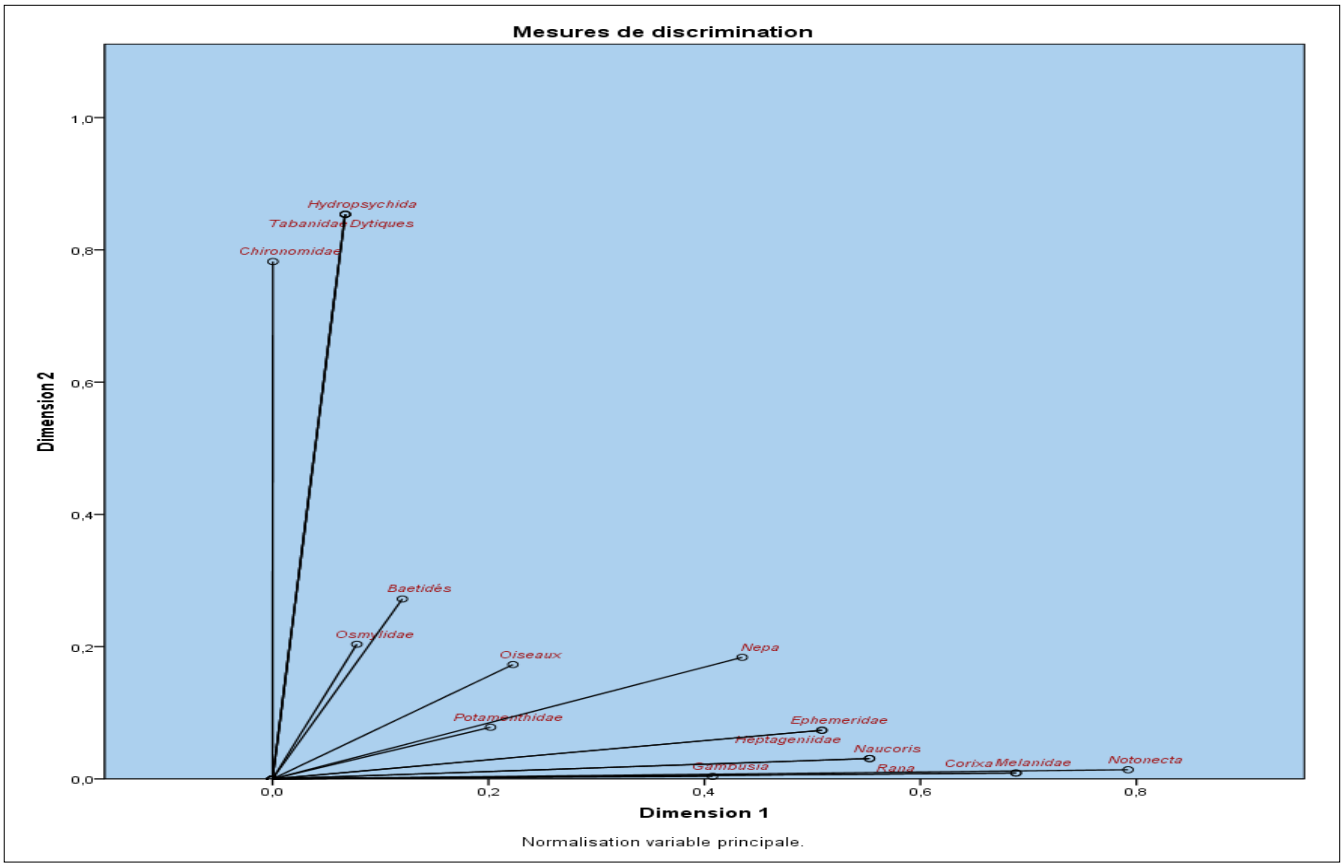



**Figure 45 :** Étude des corrélations entre les espèces animales étudiées et de leurs effets discriminants sur les espèces de moustiques.

Ce graphique nous renseigne sur les corrélations existantes entre les espèces animales étudiées et la répartition des moustiques. Les corrélations observées sont :

- La corrélation entre les quatre familles Chironomidae, Tabanidae, Dytiques et Hydropsychidae. Ces quatre familles sont bien expliquées par le deuxième axe (30,54% de l'inertie totale).
- La corrélation entre les cinq espèces animales *Rana*, *Corixa*, *Notonecta*, *Naucoris*, et les espèces des familles Melanidae, Ephemeridae et Heptagenidae. Ces espèces sont bien représentées selon le premier axe (38,66% de l'inertie totale).

D'autre part, ces deux groupements d'espèces animales ont les pouvoirs discriminants les plus élevé sur l'existence ou l'absence des espèces de moustiques étudiées.

La figure 46 dégage les corrélations des espèces de moustiques selon les variables faunistiques.

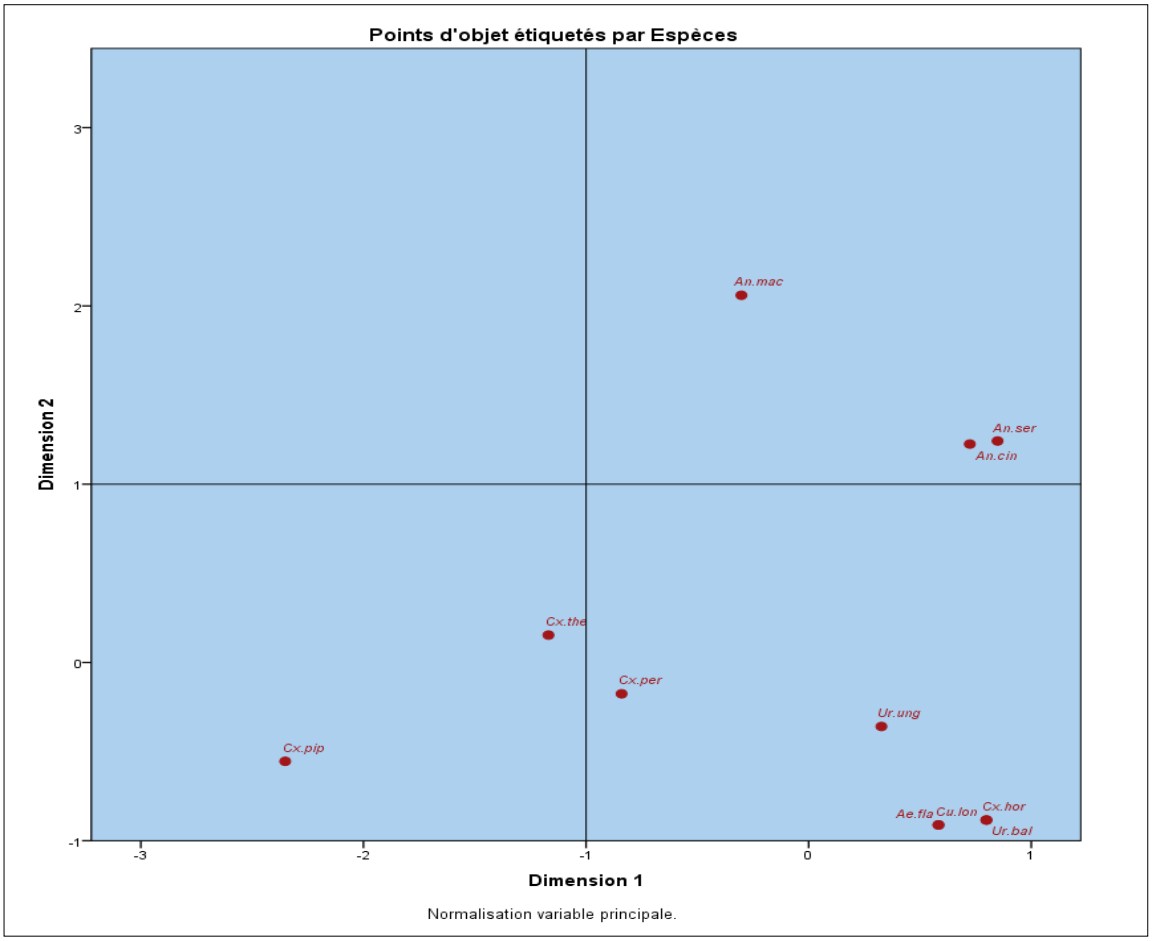



**Figure 46 :** Étude des corrélations entre les espèces de moustiques.

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii* .***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri* .***Cu.lon***: *Culiseta longiareolata* .***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri* .***Ur.ung***: *Uranotaenia unguiculata*.

Ce graphique nous donne une idée sur les corrélations observées entre les espèces de moustiques entre elles. Les moustiques les plus rapprochés sur le graphe ont tendance à exister dans des milieux semblables de point de vue faune. Trois groupements d'espèces de moustiques bien individualisés sont observés sur le graphe, cela suppose qu'elles ont les mêmes exigeances écologiques et qu'elles cohabitent avec la même faune.

- Le premier est constitué des cinq espèces *Ae. flavescens*, *Cu. longiareolata*, *Cx. hortensis*, *Ur. balfouri* et *Ur. unguiculata*.

- Le deuxième est constitué des deux espèces *An. cinereus* et *An. sergentii*.

- Le troisième est constitué des deux espèces *Cx. perexiguus* et *Cx. theileri*.

Les deux espèces restantes ont des tendances à exister dans des conditions différentes entre elles et différentes avec les neuf autres espèces.

L'étude de la correlation des espèces de moustiques et des espèces animales est reportée sur la figure 47.

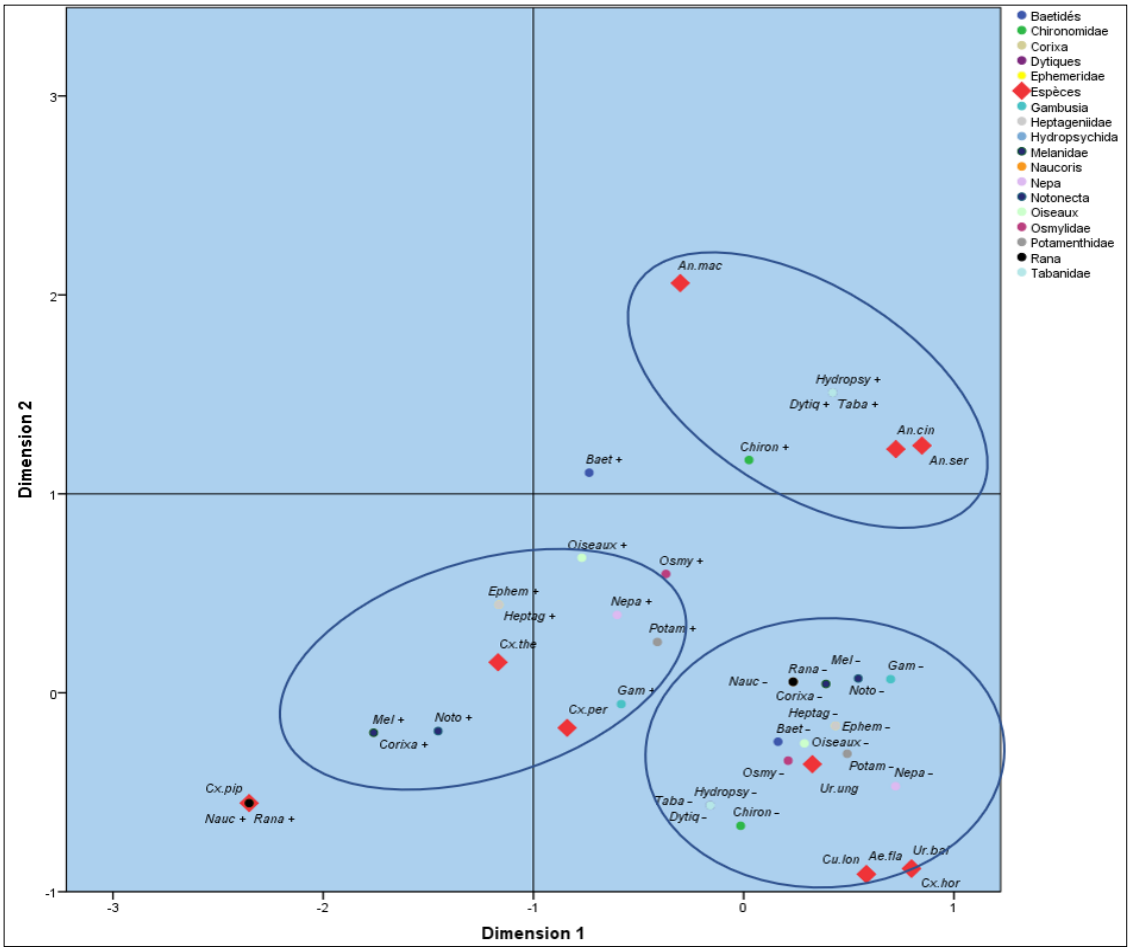



**Figure 47 :** Projection superposée des espèces de moustiques et des espèces animales.

***Ae.fla*** : *Aedes flavescens.* ***An.cin*** : *Anopheles cinereus.* ***An.mac*** : *Anopheles maculipennis* s. l. ***An.ser*** : *Anopheles sergentii.* ***Cx.hor*** : *Culex hortensis.* ***Cx.per*** : *Culex perexiguus.* ***Cx.pip*** : *Culex pipens.* ***Cx.the*** : *Culex theileri.* ***Cu.lon*** : *Culiseta longiareolata.* ***Ur.bal*** : *Urnotaenia balfouri.* ***Ur.ung*** : *Uranotaenia unguiculata*.

Ce graphique montre la correspondance qui existe entre les espèces de moustiques étudiées et les espèces animales récoltées. Les informations qui peuvent être extraites de ce graphique sont les suivantes :

- Les espèces *Ae. flavescens*, *Cu. longiareolata*, *Cx. hortensis*, *Ur. balfouri* et *Ur.unguiculata* ne peuvent pas cohabiter avec plusieurs espèces animales; telles que les espèces des familles de Potamenthidae, de Nepidae, de Éphemeridae, de Heptageniidae, de Baetidae et de Corixidae.
- Les deux espèces *An. cinereus* et *An. sergentii* sont marquées par la présence des espèces de la famille des Hydropsychidae, des Tabanidae, des Dytiscidae et des Chironomidae.

- Les deux espèces *Cx. perexiguus* et *Cx. theileri* coexistent avec les espèces de certaines familles comme les Nepidae, les Éphemeridae, les Heptageniidae et les Poeciliidae du genre *Gambusia*.

**Discussion**

Dans la présente étude, la présence des espèces d'anophèles dans différentes collections d'eaux ensoleillées et riches en végétations notamment au niveau du barrage, de la source et de la flaque confirme que les gîtes larvaires d'anophèles sont variés et diversifiés (Matubi *et al*, 2015). L'effet significatif de la conductivité électrique et de TDS sur la répartition des gîtes et la production des larves d'anophèles a déjà été noté par plusieurs auteurs (Edillo *et al*., 2004 ; Edillo *et al*.,2006 ; Gimonneau *et al*., 2012). La conductivité électrique et la turbidité élevées de l'eau des gîtes larvaires ont été signalées comme ayant une influence négative sur la densité des anophèles (Matubi *et al*, 2015). Cependant, dans notre étude, les larves d'*An. cinereius* ont été observées dans des milieux salins et à une conductivité électrique élevée, alors qu'un taux élevé de TDS conditionne la présence d'*An. maculipennis* s. l.. Cette même observation a été mentionnée dans d'autres travaux (El Ouali Lalami *et al*., 2010a ; Aouinty *et al*., 2017 ; Marc *et al*., 2016).

Des études antérieures ont montré que les larves d'*Anopheles* préfèrent des eaux douces à pH acide et à températures élevées (El Ouali Lalami *et al*., 2010a; Louah, 1995). Alors que notre étude a montré que l'espèce *An. maculipennis* s. l. tolère de fortes températures et de grandes valeurs de pH du milieux, à l'inverse, d'autres analyses par ACP confirment que les *Anopheles* affectionnent les eaux peu salines, alcalines où les températures sont particulièrement faibles (Messai *et al*., 2016), et ceci concorde bien avec nos observations. En effet, nos résultats ont dévoilé que l'espèce *An. sergentii* a été trouvée dans des eaux oxygénées et peu turbides. Ce qui conclut que les anophèles peuvent coloniser divers types de gîtes selon l'espèce. Nos résultats concordent aussi avec d'autres analyses montrant la corrélation positive entre le nombre de larves d'anophèles récoltées et les paramètres TDS, pH, conductivité électrique et température (Benhissen *et al*., 2018). Tous ces paramètres de même que la salinité ont une influence significative positive sur l'abondance larvaire des moustiques (Emidi *et al*., 2017).

Les moustiques Anophèles semblent préférer se reproduire en eau claire (Mahgoub *et al*., 2017), des résultats similaires ont été observés dans notre étude pour les larves d'anophèles excepté pour les larves d'*An. sergentii* qui ont été récoltées dans des eaux polluées. La présence des larves d'*Anophèles* dans des sites de reproduction pollués a été démontrée dans un milieu rural en Tanzanie (Emidi *et al*., 2017).

L'espèce *Cx. hortensis* a été retrouvée liée aux eaux basiques et très peu salées dans le Gharb (Chlaida et Bouzidi., 1995). Toutefois, dans notre étude, le développement de cette espèce a été corrélé avec l'oxygène dissous et le débit.

L'espèce *Cx. pipiens* a été bien représentée ; ayant une corrélation négative avec l'oxygène dissous et le débit. Des études antérieures ont confirmé sa grande capacité à coloniser les milieux peu oxygénés (Himmi *et al*., 2007 ; Filali Mouatassem *et al*., 2019). Une autre étude sur la caractérisation des gîtes par la méthode ACP a mis en évidence l'affinité de l'espèce *Cx. pipens* présente dans les gîtes à forte conductivité électrique et à faible taux d'oxygène dissous (Mahamane Iro *et al*., 2020).

L'espèce *Cu. longiareolata* s'est montrée capable de se développer dans différents types de milieux (Benhissen *et al*., 2018, El Joubari *et al*., 2014). Elle a été observée dominante dans notre étude au niveau des gîtes permanents et peu profonds.

L'apparition, la disparition et la réapparition, des moustiques sont reliées à l'altitude (Pemola Devi et Jauhari, 2004). L'altitude dans les habitats des moustiques a un impact direct sur l'abondance, la répartition géographique, la capacité vectorielle, l'épidémiologie et la pathogénicité des moustiques (Leyton Ramos *et al*., 2020). La distribution altitudinale des moustiques a été différente dans la région. Ainsi, le nombre maximum de spécimens de chaque espèce de moustiques diffère d'une espèce à l'autre. En outre, les espèces de moustiques collectées étaient plus élevées au niveau d'altitude le plus bas. Cette découverte a confirmé les résultats de Pemola Devi et Jauhari (2004).

La régulation naturelle des larves de moustiques est liée, principalement, à l'activité prédatrice de la faune des écosystèmes dulçaquicoles (Darriet et Hougard., 1993), ce qui confirme l'hétérogénéité de la répartition des espèces Culicidiennes par rapport à la présence des espèces accompagnatrices. Par ailleurs, les caractéristiques physico-chimiques de l'eau sont influencées par la présence ou l'absence de la végétation (El Ouali Lalami *et al*., 2010a). Cela témoigne de la grande variation dans la répartition des espèces de moustiques dans des gîtes différents, bien que cette répartition soit traduite par la préférence trophique des moustiques.

Les Éphéméroptères et les Hétéroptères font partie des groupes bioindicateurs qui nous renseignent sur la bonne qualité de l'eau (Alavaisha *et al*., 2019). L'abondance de certains Éphéméroptères (Nepidae) et Hétéroptères aquatiques (Ephemeridae et Heptageniidae) dans des eaux à forte densité de *Cx. perexiguus* et *Cx. theileri* pourrait expliquer la tolérance de ces moustiques à vivre dans des milieux non pollués. En revanche, la présence de *Gambusia* dans des eaux riches en ces moustiques assume leur faible effet larvivore sur ces deux espèces.

## Conclusion

Les résultats trouvés dans cette étude nous ont montré que l'ACP et l'ACM offre la possibilité d'identifier les paramètres les plus déterminants au niveau des eaux peuplées par les Culicidés et de définir ainsi la tolérance de chaque espèce trouvée. Nous avons décelé plusieurs groupements d'espèces lesquels se sont retrouvés en association selon leurs milieux préférés.

Ainsi, nous avons remarqué que les moustiques colonisaient tous les types de gîtes larvaires étudiés et que les paramètres physico-chimiques sont des facteurs déterminants dans la prolifération des espèces.

Nous avons acquis plus d'informations intéressantes sur les moustiques Culicidés qui peuvent permettre de développer des stratégies de lutte efficaces.

Néanmoins, d'autres mesures complémentaires de prévention doivent être mises en œuvre au sein de la communauté en matière d'information, d'éducation et de communication. C'est dans ce contexte que s'inscrit la finalité du prochain chapitre qui aura pour but d'étudier la perception de la population envers les vecteurs de maladies et les moyens de lutte.

# **CHAPITRE VI :** ÉTUDE DES CONNAISSANCES DE LA POPULATION ESTUDIANTINE DE LA VILLE DE FÈS ET DES MOYENS DE LUTTE ET DE PRÉVENTION ANTI VECTORIELLE ENVERS LES VECTEURS DE MALADIES (CAS DU PALUDISME)

## Introduction

Le succès d'un programme de lutte contre un vecteur ne repose pas seulement sur les connaissances et les informations scientifiques sur les vecteurs de maladies ni même sur le soutien du gouvernement et des prestataires de soins de santé, mais dépend aussi de la collaboration de la communauté (Laboudi *et al*., 2018). Une communication efficace, appliquée de manière stratégique auprès de la population, est donc essentielle pour influer sur les aspects comportementaux et sociaux des activités destinées à prévenir et combattre les maladies (OMS, 2013).

L'éducation à la santé va nous permettre d'être conscient des possibilités d'infection et d'importation des maladies à transmission vectorielle. Quand on connaît les principes et pratiques standard en matière de lutte contre l'infection, on peut freiner la propagation des maladies à transmission vectorielle et d'autres maladies infectieuses. La connaissance préalable du niveau d'information et de prévention des populations permet d'optimiser l'information et les messages de prévention délivrés aux populations (Mitschler *et al*., 2004). Les connaissances et les habitudes de prévention des vecteurs responsables de la transmission de ces pathologies ont rarement été évaluées au Maroc. A notre connaissance, aucune étude de ce type n'a été précédemment conduite au Maroc et même au niveau de la région de Fès. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail réalisé pour la première fois. Il s'agit d'une étude descriptive quantitative du premier niveau, ayant pour objectif d'étudier les connaissances et les mesures préventives anti-vectorielles auprès de la population estudiantine de la ville de Fès vis-à-vis des vecteurs de maladies (cas du paludisme) par le biais d'un questionnaire (Annexe 3).

Le choix du lieu d'étude a été fait en tenant compte des caractéristiques des populations à cibler, l'accessibilité et la disponibilité de l'information, la disponibilité d'un effectif important d'étudiants (estimé à un nombre de 87490 étudiants) qui nous a permis de mener l'étude avec un échantillon représentatif (394 étudiants).

## Résultats

### a. Caractéristiques de la population étudiée:

Les données de l'enquête résument les réponses de 394 étudiant(e)s parmi lesquels presque la totalité des répondants à l'étude (93,40%) ont un âge entre 18 et 30 ans avec un âge moyen de 24,9 ans.

Il paraît évident que les étudiants de sexe féminin étaient les plus représentés avec 72,10% des cas enregistrés bien que 27,90% sont de sexe masculin, soit un sexe ratio de 0,38. La plupart des étudiants (89,30%) possèdent un baccalauréat scientifique. Avec un pourcentage de 79,70%, les étudiants en licence sont les plus nombreux, suivis des étudiants en master qui représentent de 13,20%.

**b. Perception vis-à-vis de la maladie du paludisme:**

Concernant la connaissance de la maladie du paludisme, 83,50% des étudiants ont répondu par Oui, tandis que 16,50% ont répondu par Non. Nous pouvons déduire que la majorité des étudiants interrogés connaissent le paludisme (Figure 48).

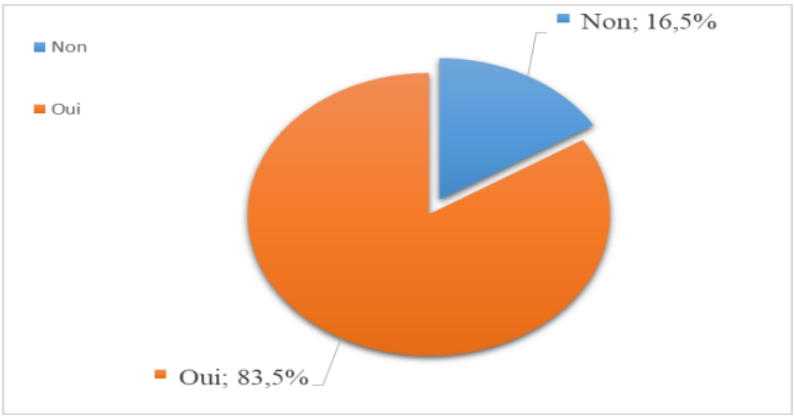



**Figure 48** : Connaissance du paludisme chez les étudiants en %.

A propos de l'origine du paludisme, 55,10% des répondants confirment l'origine du paludisme comme parasitaire, 19,80% bactérienne, 5,60% virale et 0,8% fongique. Tandis que 18,80% n'en ont aucune idée (Figure 49).

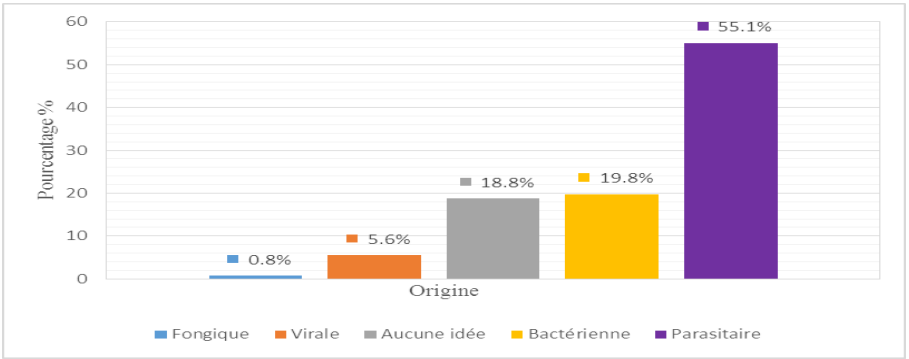



**Figure 49** : Origine du paludisme selon les étudiants.

En ce qui concerne la connaissance des moyens de transmission du paludisme selon les étudiants nous avons constaté que parmi les enquêtés, 59,60% identifiaient le moustique comme le vecteur du paludisme et 12,70% n'en avaient aucune idée. Cependant, les autres moyens ont été rarement cités (Figure 50).

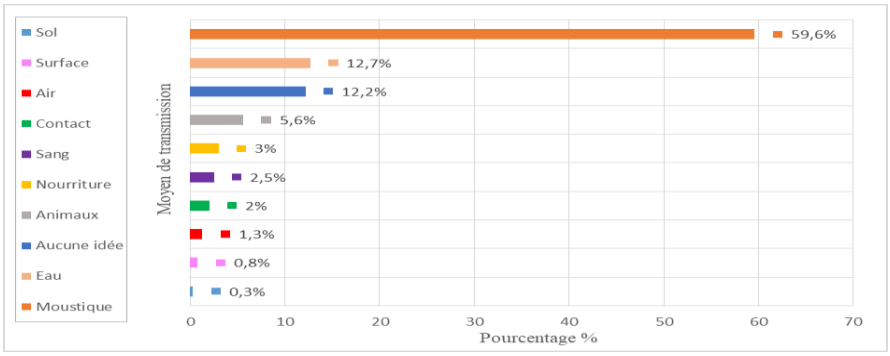



**Figure 50 :** Moyen de transmission du paludisme selon les étudiants.

Examinant la connaissance des étudiants vis-à-vis des symptômes de la maladie du paludisme, nous avons conclu que 74,70% des participants évoquent la fièvre comme symptôme de cette maladie, 35,30% ont mentionné que la fièvre est le seul symptôme rencontré chez une personne atteinte du paludisme et à des pourcentages presque égaux les autres symptômes ont été rarement évoqués (Figure 51).

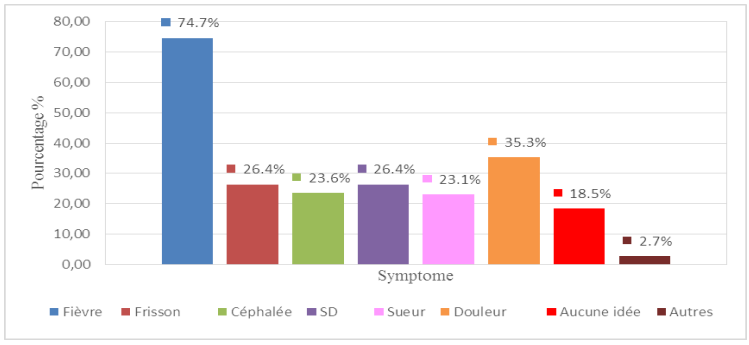



**Figure 51 :** Symptômes du paludisme selon des étudiants.

### c. Perception vis-à-vis des vecteurs des maladies : cas du paludisme:

La figure 52 montre que 92,40% des participants savaient que la maladie du paludisme est dangereuse et qu'elle était due à la piqure d'un insecte. Alors que 7,6% n'ont aucune information sur la maladie.

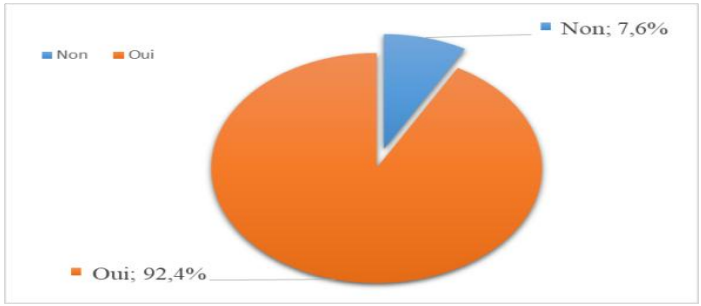



**Figure 52 :** Connaissance de la dangerosité des insectes chez les étudiants.

La figure 53 montre que la plupart, soit 71,10%, des étudiants savent pertinemment que les moustiques sont vecteurs du paludisme, par contre 28,9% n'ont aucune idée et ont répondu par Non.

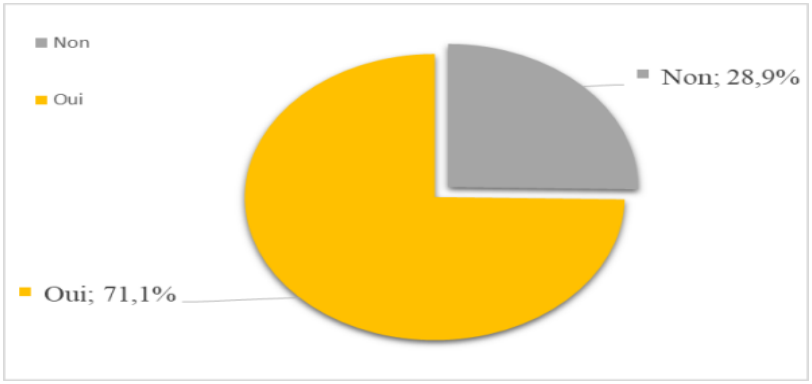



**Figure 53 :** Connaissance des moustiques vecteurs du paludisme chez les étudiants.

La figure 54 montre que 44,90% des enquêtés perçoivent les anophèles comme vecteurs du paludisme. Tandis que 45,20% affirment qu'ils n'ont aucune idée. Notons que certains interrogés ont exprimé de faibles pourcentages de connaissance vis-à-vis du moustique vecteur du paludisme.

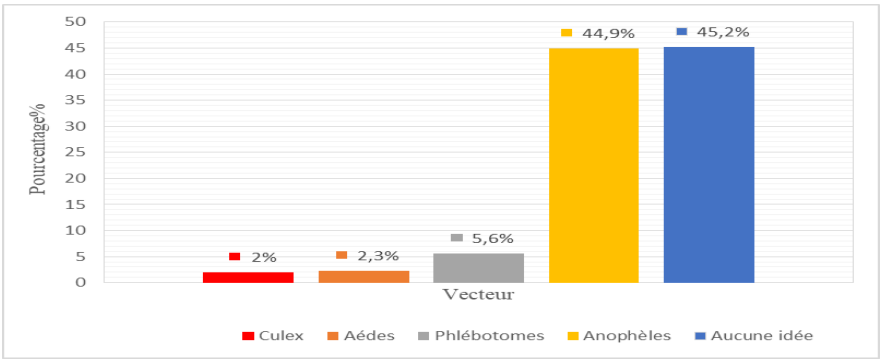



**Figure 54:** Moustiques responsables de la transmission du paludisme selon les étudiants.

Selon les réponses des étudiants vis-à-vis de la nourriture des moustiques vecteurs du paludisme, le sang est perçu comme nourriture exclusive des vecteurs du paludisme, pour la majorité des répondants (68%) et 25,40% n'ont aucune idée (Figure 55).

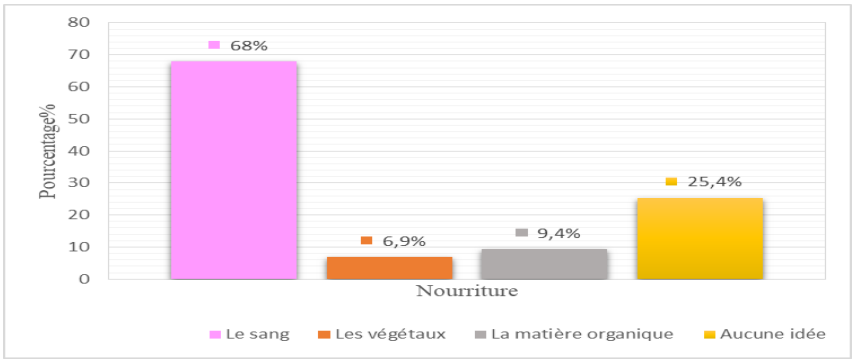



**Figure 55**: Nourriture des moustiques vecteurs du paludisme selon les étudiants.

Les résultats de l'enquête ont montré que l'eau a été citée par 33% comme lieu de reproduction des vecteurs du paludisme. Par contre la moitié des enquêtés ont affirmé n'avoir aucune idée (Figure 56).

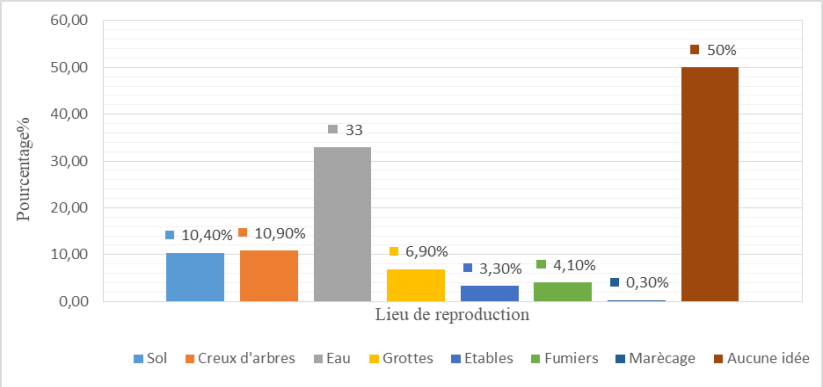



**Figure 56** : Lieux de reproduction des vecteurs du paludisme selon les étudiants.

Plus de la moitié des répondants (55,60%) ont affirmé que les vecteurs du paludisme sont actifs pendant l'été, tandis que 31,20% ont affirmé n'avoir aucune idée (Figure 57).

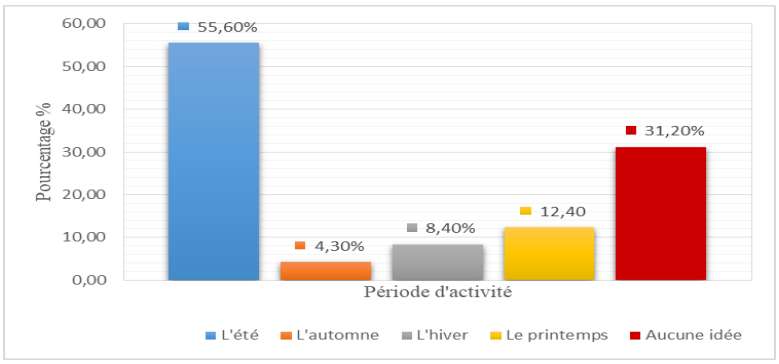



**Figure 57 :** Période d'activité des vecteurs du paludisme selon les étudiants.

**d. Perception vis-à-vis des moyens de prévention et de lutte contre les vecteurs de transmission du paludisme:**

Selon la figure 58, la méthode chimique a été la plus connue chez les participants étant la plus utilisée pour la lutte anti moustique soit un pourcentage de 64%. Cependant 20,60% n'ont aucune idée.

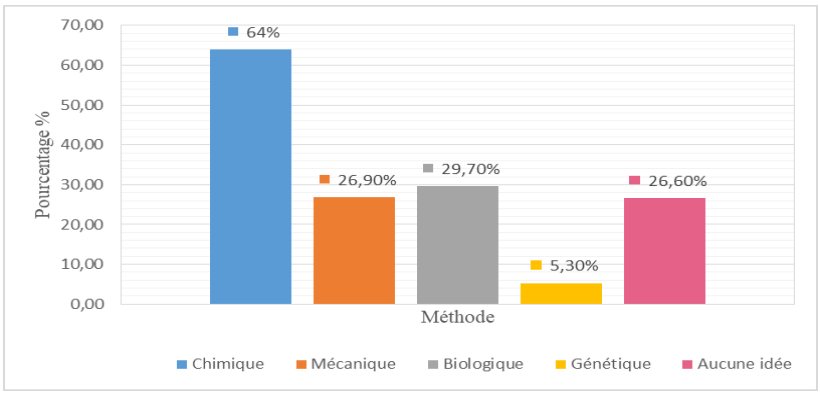



**Figure 58 :** Méthodes de lutte contre les moustiques selon les étudiants.

D'après les personnes interrogées, les moyens de lutte les plus utilisées contre les moustiques sont : les moustiquaires avec un pourcentage de 40,90%, suivis de l'hygiène (soit 38,30%). La vaccination et les prises anti-moustiques ont été citées, de manière égale, dans 33 % des cas. En revanche, 21,10% des étudiants n'avaient aucune idée (Figure 59).

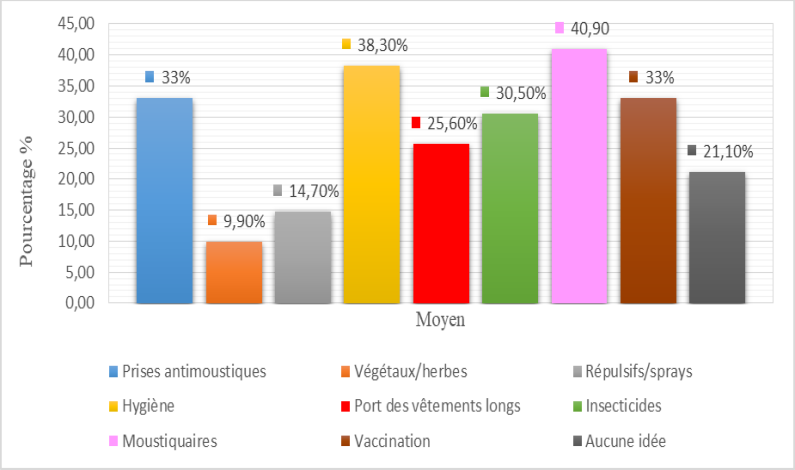



**Figure 59 :** Moyens de lutte contre les moustiques selon les étudiants.

Il ressort de la figure 60 que 63,5% des répondants considèrent l'éducation, la communication et la sensibilisation (62,40%), l'information (58,10%), la vaccination (48,50%), la recherche scientifique (42,60%) et la collaboration intra et intersectorielle (29,20%) comme les moyens de prévention commodes pour anticiper la propagation du paludisme au niveau de la population.

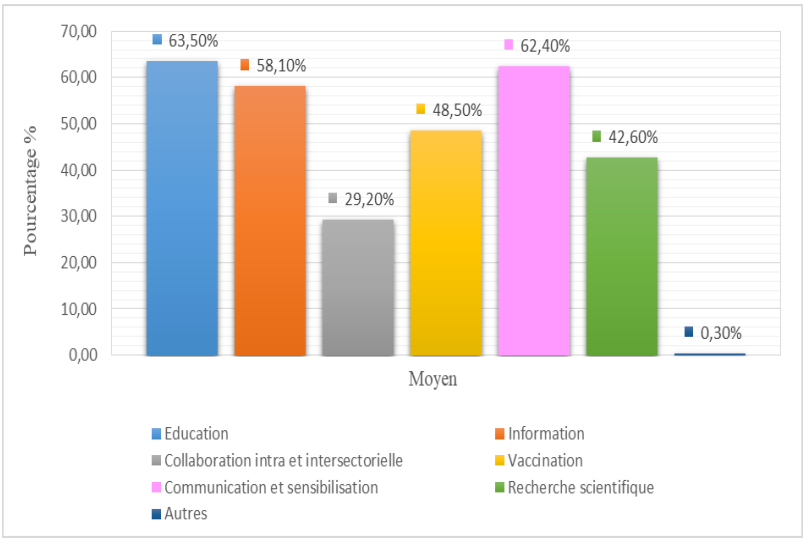



**Figure 60** : Moyens de prévention selon les étudiants.

Les étudiants ont perçu la sensibilisation (26,18%), l'IEC (17,80%) comme étant une solution pour améliorer les connaissances et comme manière de prévention (Tableau 19). Nous avons noté relativement une bonne adhésion aux recommandations sur la sensibilisation.

**Tableau 19 :** Suggestions des étudiants en matière d'amélioration des connaissances et dans le cadre de la prévention en lien avec les vecteurs de maladies infectieuses.

| **Suggestions** | **Effectifs** | **%** |
|---|---|---|
| Sensibilisation | 50 | 26,18 |
| Séances d'information, d'éducation et de communication (IEC) | 34 | 17,80 |
| Aucune idée | 31 | 16,23 |
| Recherche scientifique | 18 | 9,42 |
| Prévention | 14 | 7,33 |
| Hygiène | 11 | 5,76 |
| Vaccination | 10 | 5,24 |
| Formation | 8 | 4,19 |
| Journées scientifiques | 6 | 3,14 |
| Lutte contre vecteurs/ réservoirs | 5 | 2,62 |
| Collaboration intersectorielle | 2 | 1,05 |
| Programme de MS | 2 | 1,05 |
| Total | 191 | 100,00 |

**Discussion**

La situation du paludisme demeure critique dans certaines régions plutôt que dans d'autres. Cette situation résulterait du niveau des connaissances du paludisme jugé déséquilibré au sein des couches sociales (Enama *et al*., 2020). Ainsi, les mesures préventives qui peuvent être tenues reposent sur les connaissances des maladies et leurs modes de transmission (Manceau, 2016). Une meilleure information est associée à une meilleure prévention (Mitschler *et al*., 2004).

La présente étude a montré que les étudiants se caractérisent par un jeune âge dont la moyenne était de 24,9 ans ce qui pourrait refléter le niveau de connaissances de la jeunesse de la population estudiantine marocaine. Cette tranche de la société a été considérée moins susceptible de dire qu'ils prennent le paludisme au sérieux (Bowen, 2012), d'où l'intérêt de se focaliser sur cette population lors d'une action préventive.

Cette première étude de genre a montré que la majorité des étudiants (83,50%) ont déjà entendu parler du paludisme, et au moins 55,10% confirmaient l'origine de cette pathologie comme parasitaire. En comparaison avec d'autres travaux ayant traité l'aspect de la connaissance de cette maladie dans d'autres pays, ce résultat est similaire à celui de Enama *et al*, 2020 qui ont trouvé un total de 93,5% des enquêtés ayant des connaissances sur le paludisme. En ce qui concerne le moyen de transmission, seulement 59,6% incriminaient le moustique, le reste des participants donnait des réponses fausses ou hasardeuse (l'eau, les animaux, la nourriture, l'air et le sang ...). Ce résultat est non conforme à celui enregistré par Seck *et al*, 2008 qui a montré que 82% des personnes interrogées

connaissaient le mode de transmission du paludisme. Des résultats similaires ont été également obtenus dans une étude à la Côte d'Ivoire, dont 96,33% des interrogées avaient cité la piqûre de moustique comme mode de transmission (Angbo-Effi *et al*., 2012).

On constate que la fièvre a été évoquée dans 74,70% des cas comme symptôme rencontré chez une personne atteinte du paludisme, suivi de frissons et céphalées dans 1/4 des cas, ce qui montre qu'il reste beaucoup à améliorer en matière de la connaissance des signes du paludisme. Ce résultat est comparable à celui de Seck *et al*, 2008 puisque 81,1% des enquêtés ont cité la fièvre, après les frissons et les céphalées (31,4%).

Presque la totalité des étudiants soit 92,40% savaient que les moustiques sont menaçants. Nos résultats sont comparables à ceux de Doannio *et al* (2004) où les moustiques ont été distingués comme vecteurs de maladies par tous les enquêtés et comme nuisant par 66% à 70% des personnes interrogées. Plus de 2/3 soit 71,10% des étudiants connaissaient que les moustiques sont vecteurs du paludisme dont seulement 44,9% parmi eux identifient l'anophèle et presque la moitié n'en avaient aucune idée, cela implique que jusqu'à présent le vecteur du paludisme est méconnu par nos étudiants. En outre les lieux de reproduction ne sont toujours pas connus par ceux-ci. En effet, l'eau est citée seulement dans 33% des cas, pour les autres lieux tels que les creux d'arbres, les étables ont été évoqués qu'avec de faibles pourcentages et la moitié des enquêtés ne connaissait aucun lieu de reproduction. Ce bilan de résultats est similaire à une étude au Benin qui ont trouvé aussi que plus de la moitié (57,8%) des enquêtées ne connaissaient même pas un seul lieu de reproduction des moustiques vecteurs du paludisme (Kiniffo *et al*., 2000).

Dans notre étude, la fréquence de la connaissance des moyens de prévention était globalement faible: les moustiquaires (40,90%), l'hygiène (38,30%), la vaccination et les prises anti-moustiques ont été cités, de la même manière, dans 33% des cas, les insecticides (30,5%) et les répulsifs/sprays (14,7%), en plus 21,10% n'avaient aucune idée. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Doannio *et al* (2004) où l'inventaire des méthodes de protection contre les piqûres de moustiques a révélé que les populations en connaissent plusieurs (17 moyens de protection ont été cités dans la zone urbaine de Bouaké): les bombes aérosols (98%), la moustiquaire (98%), les serpentins fumigènes (87%) et les plantes locales à essences répulsives (75%). Pour les méthodes de lutte contre les moustiques, la méthode chimique est la plus connue avec un pourcentage de 64% et la méthode génétique est moins connue avec un taux de 5,3%, cependant 20,60% n'y ont aucune idée. Nos résultats sont différents de ceux enregistrés par Kiniffo *et al* (2000) où seulement 2% des participants connaissent un moyen de lutte antilarvaire.

Malgré qu'il y ait un pourcentage important de personnes interrogées qui connaissent que les moustiques sont des vecteurs de maladies et que les anophèles sont primordiaux dans la transmission via le sang, nous avons constaté qu'il y a un pourcentage non négligeable de 28,8%, 45,2% et 25,49% qui représente respectivement les valeurs en pourcentages de la population estudiantine qui ne connaissent pas le vecteur du paludisme, le rôle des *Anopheles* dans la transmission qui se fait via le sang qui est une sorte de nourriture des moustiques.

Le faible niveau de connaissance sur cette maladie et ces vecteurs pourraient s'expliquer par le manque de sensibilisation et d'informations en matière de vecteurs de maladies, d'où la nécessité de mener des campagnes de sensibilisation afin de renforcer l'éducation sanitaire aupres des étudiants à travers des séances d'information, d'éducation et de communication (IEC) en faisant de l'université un espace propice à la diffusion de ces connaissances.

**Conclusion**

L'évaluation du niveau de connaissance des maladies à transmission vectorielle et leurs vecteurs auprès de la population sont la finalité de cette enquête.

Une masse importante des sondés connait la maladie du paludisme et leur vecteur malgré que la majorité n'a pas d'informations sur la période d'activité et les lieux de reproduction des vecteurs.

À la lumière de ces résultats et afin d'améliorer les pratiques de prévention de la population marocaine, il serait important que les messages de prévention intègrent des informations expliquant clairement la maladie et le danger de ces vecteurs.

Les résultats de cette étude seront donc d'un grand intérêt pour les gestionnaires des programmes de surveillance et de lutte des vecteurs des maladies ainsi que pour les responsables des plans de formation initiale et continue.

# CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

# CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Les Culicidés, communément appelés moustiques, sont impliqués dans la propagation de nombreuses maladies à transmission vectorielle humaines et animales qui sont désormais des problèmes de santé publique. Elles représentent l'une des causes de décès dans le monde. La diminution de la charge des maladies nécessite une approche adaptative et durable afin de prévenir et réduire la transmission des agents pathogènes existants ou nouveaux. La surveillance antivectorielle est l'une des principales méthodes de lutte et de prévention de ces maladies. Cependant, elle nécessite une bonne connaissance des vecteurs responsables propagation des maladies à transmission vectorielle notamment leurs distributions, leurs abondances, ainsi que, leurs biotopes, leur bioécologie.

Dans la présente étude, une investigation entomologique a été menée au niveau de la région de Fès pour inventorier les espèces Culicidiennes et pour identifier les caractéristiques des gîtes propices à leur développement.

À la lumière des résultats obtenus, la région de Fès s'est avérée riche en collections d'eaux propices au développement des larves de moustiques qui sont aussi nombreuses que variées.

Onze espèces ont été inventoriées et identifiées en se basant sur la clé d'identification marocaine des Culicidés et le logiciel d'identification des moustiques de l'Afrique méditerranéenne. Un total de 1531 espèces a été identifié appartenant à deux sous-familles (Culicinae et Anophelinae) et cinq genres (*Anopheles, Culex, Culiseta, Aedes* et *Uranotaenia*). Les espèces obtenues à la suite d'un inventaire mené bimensuellement durant une année via des prospections au niveau de vingt sept gîtes ont permis de mettre à jour la liste des espèces Culicidiennes signalées au niveau de la région de Fès, par l'ajout de 4 espèces; *Aedes flavescens, Uranotaenia unguiculata, Culiseta longioreolata et Culex perexiguus.* Des espèces d'intérêt médical ont été trouvées, parmi lesquelles prédominent les vecteurs du virus du Nil occidental (*Culex pipiens, Culex. perexiguus* et *Culex theileri*) et les vecteurs majeurs du paludisme (*Anopheles maculipennis s. l.* et *Anopheles sergentii*).

Les résultats obtenus lors de la détermination des paramètres physico-chimiques influençant la production en larves de moustiques ont montré que les anophèles ont été recueillies en faible nombre dans des habitats permanents, à eaux stagnantes, et peu profondes. Les larves de *Culex* ont été collectées dans la grande majorité des gîtes prospectés. Nous avons noté que l'espèce *Culex pipiens* est ubiquiste et tolère des habitats temporaires, profonds, turbides, chargées en ions et en solides dissous et caractérisés par une température élevée et un pH plutôt basique. C'est ainsi que l'espèce *Culex theileri* peut vivre dans les milieux turbides, *Culex perexiguus* tolère les milieux de

conductivité électrique élevée et *Culiseta longiareolata* tolère les milieux profonds, moins turbides et plus basiques.

Les résultats de l'étude des paramètres abiotiques et biotiques affectant l'abondance des larves de moustiques dans quatre gîtes représentatifs ont suggéré que : L'espèce *Culex perexiguus* a été corrélée positivement à proximité des établissements industriels, la présence de débris et des algues filamenteuses, et que sa densité s'amplifiait significativement avec l'augmentation de la profondeur et de la conductivité électrique mais la corrélation était négative vis à vis des facteurs débit d'eau et oxygène dissous. La densité larvaire de *Culex theileri* est corrélée négativement avec le taux des solides dissous et avec la proximité des habitations et positivement avec l'oxygène dissous, le pH et la salinité. L'observation la plus importante était sa relation avec la présence d'algues filamenteuses vertes et la couverture végétale. Le résultat montre que l'espèce *Culex pipiens* est présente dans les eaux utilisables pour le lavage et le boisement et dans les eaux très oxygénées et de conductivité électrique élevée avec une faible densité. Cette espèce a été légèrement associée avec la présence des plantes émergentes, dans l'eau colorée et parfois incolore et l'eau utilisée pour l'irrigation. Elle a été fortement présente dans les milieux stagnants, salins, et profonds.

Le suivi continu et régulier sur une année de la fluctuation saisonnière des populations larvaires a mis en évidence une hétérogénéité dans la dynamique des Culicidés rencontrés. Les larves d'*Anopheles maculipennis s. l.* ont été trouvées durant les mois de Mars, Juin et Juillet. Le nombre le plus faible d'*Anopheles sergentii* a été collecté en Novembre, mais a pullulé en Septembre, Octobre et Décembre.

Les espèces *Culex pipiens* et *Culex perexiguus* ont atteint la plus forte densité en Septembre, tandis que *Culex theileri* a été trouvé en grand nombre en Février et peut donc émerger à la fin de l'hiver et au milieu du printemps.

L'étude des espèces accompagnatrices des moustiques a dénoté que ces derniers ont été recueillis dans des gîtes à végétation variée, associées à plusieurs groupes faunistiques aquatiques. Tandis que seules les espèces *Culex pipiens* et *Culiseta longiareolata* ont été collectées même dans des gîtes dépourvues de végétation et de faune. Également, cette étude a attesté que la dominance des anophèles a été observée dans trois gîtes (Source Douwar Lhandiya, Flaque de Awinat Elhajaj et Barrage El Gaâda) riches en végétation, en algues et dans lesquels les Hydropsychidae, lesTabanidae, les Dytiscidae et les Chironomidae étaient présents en abondance. Ainsi, les moustiques du genre *Culex* vecteur de maladies et principalement les deux espèces *Culex perexiguus* et *Culex theileri* ont été rencontrées en cohabitation fréquente avec des espèces animales de la famille Nepidae,

Ephemeridae, Heptageniidae et même en présence de *Gambusia*, poisson larvivore, utilisée dans la lutte biologique contre les moustiques.

L'analyse statistique des résultats de l'investigation entomologique en fonction des facteurs physicochimiques et environnementaux par l'application de l'ACP et l'ACM a permis de déceler des affinités typologiques des gîtes des espèces recensées. L'étude sur la caractérisation des gîtes par la méthode ACP a permis de grouper les espèces en trois catégories:

- Un groupement d'espèces *Culex hortensis, Culex perexiguus, Culex pipens, Culex theileri, Uranotaenia balfouri* et *Anopheles sergentii* qui est fortement influencé par l'oxygène dissous et le débit de l'eau.

- Un groupement constitué de deux espèces *Anopheles maculipennis s. l.* et *Uranotaenia unguiculata* qui prédominent dans des milieux de température, de pH et de TDS élevés.

- Un autre groupement qui réunit l'espèce *Anopheles cinereus* avec la salinité et la conductivité électrique. Cette étude a mis en évidence des affinités entre les espèces de moustiques et les conditions physico-chimiques des gîtes larvaires. C'est ainsi que l'ACM a montré que le groupe d'espèces *Cx. perexiguus, Culex theileri, Anopheles cinereus, Culex hortensis, Anopheles maculipennis s. l.* a tendance à coexister dans des gîtes naturels permanents et à des altitudes <200m. Par ailleurs, les deux espèces *Culiseta longiareolata* et *Uranotania unguiculata* ont l'aptitude à exister dans des milieux artificiels permanents et à des altitudes entre 400 et 500m. Bien que, les deux espèces *Aedes flavescens* et *Culex theileri* coexistent fréquemment dans des milieux naturels temporaires dans des altitudes entre 200 et 300 m.

Nos données ont fait ressortir quelques indications précieuses sur l'habitat des larves. La dominance du genre *Culex* et principalement *Culex pipens* ubiquiste et rencontré dans la plupart des gîtes et dans tous les types d'eaux. Contrairement aux *Anophèles* qui sont de nature exigeante. Nos résultats ont permis de déduire que les espèces diffèrent selon les facteurs pouvant affecter leur présence et se caractérisent par une hétérogénéité aussi bien à l'échelle spatiale que temporelle.

Les résultats de l'étude de perception a permis pour la première fois, de décrire la perception et la pratique de prévention contre les maladies à transmission vectorielle notamment le paludisme. Une proportion non négligeable de la population étudiée a exprimé avoir un niveau d'information sur les vecteurs et sur les moyens de prévention. Cette étude devrait permettre d'adapter les messages d'information, d'éducation et de communication lors des futures campagnes de prévention.

# CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Cette présente étude a mis en évidence les indicateurs de prolifération des larves de moustiques au niveau de la région de Fès. Ces informations peuvent constituer un outil fondamental pour le personnel et pour les agents d'hygiène des services de santé et ceux des collectivités locales, afin d'améliorer leurs stratégies de lutte anti- vectorielle. Ce qui pourrait contribuer à cibler les vecteurs de maladies lors des campagnes de surveillance et de lutte.

En perspective de ce travail, nous proposons de:

- Poursuivre cette étude en augmentant les prospections dans des milieux peu explorés pour déceler de nouvelles espèces.

- Inventorier les moustiques par d'autres types d'échantillonnage telle que la méthode de piège pondoir afin de récolter d'autres espèces qui abritent de nouveaux types de gîtes.

- Rechercher et élever des spécimens de moustiques *Aedes flavescens* afin de les identifier par l'une des méthodes de la génétique moléculaire.

- Mener des études sur la préférence trophique des espèces de moustiques circulantes dans la région.

- Conduire des études sur la sensibilité des moustiques Culicidés vis-à-vis des insecticides utilisés afin de déceler un éventuel polymorphisme génétique des espèces de moustiques identifiées.

- Élaborer une cartographie des facteurs de risque dans le but de proposer aux autorités sanitaires une carte de risque local qui peut être un outil d'aide à la prise de décision.

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

# ET WEBOGRAPHIQUES

# RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**-A-**

**Abagli A.Z., Alavo T.B.C. et Brodeur J. (2014).** Microorganismes entomopathogènes, prédateurs et parasites des moustiques: Perspectives pour la lutte raisonnée contre les vecteurs du paludisme en Afrique sub-saharienne. *International Journal of Biological. Chemical. Sciences*, 8(1), *pp. 340-354*. DOI : http://indexmedicus.afro.who.int .

**Abagli A.Z., Alavo T.B.C., Perez Pacheco R. et Platzer E.G. (2019).** Eficacy of the mermithid nematode, *Romanomermis iyengari*, for the biocontrol of *Anopheles gambiae*, the major malaria vector in sub-Saharan Africa. *Parasites and Vectors*, 12(1) : 253, *8p.* DOI: https://doi.org/10.1186/s13071-019-3508-6.

**Abdul-Ghani R., Al-Mekhlafi A.M. et Alabsi M.S. (2012).** Microbial control of malaria: biological warfare against the parasite and its vector *Acta Tropica*, 121(2), *pp. 71-84*. DOI: 10.1016/j.actatropica.2011.11.001.

**Adalja A., Sell T. K., McGinty M., Crystal B. (2016).** Genetically Modified (GM) Mosquito Use to Reduce Mosquito-Transmitted Disease in the US: A Communty Opinion Survey. *PLOS Currents Outbreaks*, 8 (1). DOI :10.1371/currents.outbreaks.1c39ec05a743d41ee39391ed0f2ed8d3.

**Adham D., Moradi-Asl E., Saghafipour H.V.A. (2019**). Ecological Niche Modeling of West Nile Virus Vector in Northwest of Iran. *Oman Medical Journal*, 34(6), *pp. 514-520.*

**Afrane Y. A., Githeko A. K. et Yan G. (2012**). The Ecology of *Anopheles* Mosquitoes under Climate Change: Case Studies from the Effects of Environmental Changes in East Africa Highlands. *Ann N Y Acad Sci*, 1249, *pp. 204–210*. DOI:10.1111/j.1749-6632.2011.06432.x.

**Ajejas Bazán M. J. et Fuentes Mora C. (2020).** Compliance with preventive measures against malaria of personnel treated in the centre of international vaccination of the Minister of Defence (Spain). *Rev Esp Quimioter*, 33(1), *pp. 11-17*. DOI:10.37201/req/063.2019.

**Akiner M. M., Demirci B., Babuadze G., Robert V. et Schaffner F. (2016).** Spread of the invasive mosquitoes *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in the black sea region increases risk of Chikungunya, Dengue, and Zika Outbreaks in Europe. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 10(5): e0004764. DOI:10.1371/journal.pntd.0004664 April 26, 2016.

**Alavaisha E., Lyon S. W. et Lindborg R. (2019).** Assessment of Water Quality Across Irrigation Schemes: A Case Study of Wetland Agriculture Impacts in Kilombero Valley, Tanzania. *Water*, 11(4) : *671*. DOI: 10.3390/w11040671.

**Allami H., Slim M., Al Washali E., Sassa S., Ben Messaoud F. et Fadli M. (2015).** Some physical and chemical conditions affecting the ecology of mosquitoes (Diptera, Culicidea) in the gharbís plain and in the cities of Rabat and Salé (Morocco). *ESAIJ*, 10(2), *pp. 64-075*. ISSN : 0974 – 7451.

**Almeida A.P.G., Galão R.P., Sousa C.A., Novo M.T., Parreira R., Pinto J. et al. (2008).** Potential mosquito vectors of arboviruses in Portugal: species, distribution, abundance and West Nile

infection. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg*, 102(8), *pp. 823–832*. https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2008.03.011

**Alto B. W. et Bettinardi D. (2013).** Temperature and dengue virus infection in mosquitoes: Independent effects on the immature and adult stages. *Am. J. Trop. Med. Hyg*. 88(3), *pp. 497-505*.

**Alto B. W., Lounibos L. P., Higgs S. et Juliano S. A. (2005)**. Larval competition differentially affects arbovirus infection in Aedes mosquitoes. *Ecology*, 86 (12), *pp. 3279-3288*.

**Alto B. W., Lounibos L. P., Mores C. N. et Reiskind M. H. (2008).** Larval competition alters susceptibility of adult *Aedes* mosquitoes to dengue infection. *Proc. Biol. Sci*, 275 (1633), *pp. 463-471*.

**Amara Korba R., Alayat M.S., Bouiba L., Boudrissa A., Bouslama Z., Boukraa S., et al. (2016).** Ecological differentiation of members of the *Culex pipiens* complex, potential vectors of West Nile virus and Rift Valley fever virus in Algeria. *Parasit and Vectors*, 9(1)*:455, pp.1-11*. doi: 10.1186/s13071-016-1725-9. PubMed PMID: 27534938; PubMed Central PMCID: PMC4989528.

**Ameur B., Herrake T., Nachi H., Bouhrara M., Laaroussi N., Orche R., et al. (2018).** Programme de lutte contre les vecteurs. *Bulletin d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 50(75), *pp. 14-15*.

**Angbo-Effi O., Kouassi D.P., Coulibaly A et, Dagnan S. (2012).** Connaissances, attitudes et pratiques des ménages en matière de prévention du paludisme : cas d'un quartier précaire d'Abidjan, Côte d'Ivoire. *Cah. Santé Publique*, 11 (1), *pp. 65-73*.

**Animut A., Gebre-Michael T., Balkew M. et Lindtjørn B. (2012).** Abundance and dynamics of anopheline larvae in a highland malarious area of south-central Ethiopia. *Parasites & Vectors*, 5(1) : 117, *9p*. DOI : http://www.parasitesandvectors.com/content/5/1/117.

**Anonyme. (1984).** Biologie et écologie des moustiques d'Alsace. Editions de l'ORSTOM. *Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération*. Paris 1984. *ISBN: 2*-7099-0741-0, *238 p*.

**Anonyme. (2000)**. Walter Reed Biosystematics Unit (WRBU). https://wrbu.si.edu/

**Aouinty B., Rihane A., Chennaoui M., Mellouki F. (2017).** Étude des gîtes larvaires de moustiques Culicidés de la région de Mohammedia, littoral atlantique Marocain. *Afrique Science, 13(2), pp.120 – 129*. SSN 1813-548X. DOI : www.afriquescience.info.

**Arnold P. (1984).** Biologie et écologie des moustiques d'alsace. Éditions de l'ORSTOM. *Institut français de recherche scientifique pour le developpement en cooperation*, Paris, *239 p*. ISBN: 2-7099-0741-0.

**Assaid N., Mousson L., Moutailler S., Arich S., Akarid K., Moniere M. et al. (2020).** Evidence of circulation of West Nile virus in *Culex pipiens* mosquitoes and horses in Morocco, *Acta Tropica, 205 : 105414*. DOI: 10.1016/j.actatropica.2020.105414.

**-B-**

**Bailly-Choumara H. (1973).** Etude comparative de différentes techniques de récolté de moustiques adultes (Diptera, Culicidae) faite au Maroc, en zone rurale. *Bulletin de la Société des Sciences naturelles et physiques du Maroc*, n 6788, 53, *pp. 135–87*.

**Baldé M. C., Dieng B., Diallo A., Camara S. K., Konstantinov O. K. et Mourzine N. C. (2001).** Contribution à l'étude des moustiques (Diptera : Culicidae) de la Guinée. Faune et distribution. Entomologie Médicale. *Bull Soc Pathol Exot*, 94, 2 bis, *pp. 199-201*.

**Banerjee S., Mohan S., Saha N., Mohanty S. P., Saha G. K., Aditya G. (2015).** Pupal productivity & nutrient reserves of Aedes mosquitoes breeding in sewage drains & other habitats of Kolkata, India: Implications for habitat expansion & vector management. *Indian J Med Res*, 142(7), *pp. 87-94*. DOI:10.4103/0971-5916.176632.

**Basilua Kanza J.P. (2013).** Etude des insecticides utilisés contre les Anophèles vecteurs du paludisme en République Démocratique du Congo: Identification et impact sur la sélection des mutants résistants. *Thèse de doctorat. Université Mouhammed V .Agdal. Faculté des sciences Rabat Maroc*. N° d'ordre 2626. *129 p*.

**Bawin T., Seye F., Boukraa S., Zimmer J.-Y., Del vigne F., Francis F. (2014).** La lutte contre les moustiques (Diptera: Culicidae) : diversité des approches et application du contrôle biologique. Entomological Society of Canada. *The Canadian Entomologist*, 147(4), *pp. 476 – 500*. DOI: https://doi.org/10.4039/tce.2014.56

**Becker N., Petric D., Zgomba M., Boase C., Madon M.B., Dahl C. et Kaiser A. (2010).** Mosquitoes and their control. 2nd edn, *Springer Verlag*. (Berlin Heidelberg, Germany). *577p*. ISBN: 978-3-540-92873-7.

**Benbetka S., Hachid A., Benallal K.E., Benbetka C., Khaldi A., Bitam I. et Harrat Z. (2018).** First field evidence infection of *Culex perexiguus* by West Nile virus in Sahara Oasis of Algeria. *J Vector Borne Dis*, 55(4), *pp. 305–309*.

**Benhissen S., Habbachi W., Rebbas K. et Masna F. (2018).** Études entomologique et typologique des gîtes larvaires des moustiques (Diptera : Culicidae) dans la région de Bousaâda (Algérie). *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 87 : *pp. 112 – 120*.

**Bennouna A., Balenghien T., El Rhaffouli H., Schaffner F., Garros C., Gardès L. et al. (2017).** First record of Stegomyia albopicta (=*Aedes albopictus*) in Morocco: a major threat to public health in North Africa? *Medical and Veterinary Entomology*, 31(1), *pp. 102–106*.

**Berchi S., Aouati A. et Louadi K. (2012).** Typologie des gîtes propices au développement larvaire de *Culex pipiens* L. 1758 (Diptera-Culicidae), source de nuisance à Constantine (Algérie). *Ecologia mediterranea: Revue internationale d'écologie méditerranéenne*, ISSN 1775-4100, 38(2), *pp. 5-16*.

**Betson M., Sousa-Figueiredo JC., Atuhaire A., Arinaitwe M., Adriko M., Mwesigwa G. et al. (2014).** Detection of persistent Plasmodium spp. infections in Ugandan children after artemether–lumefantrine treatment. *Parasitology*, 141(14), *pp. 1880–90*.

**Bhatt S., Gething P. W., Brady O. J., Messina J. P., Farlow A. W., Moyes C. L. et al. (2013).** The global distribution and burden of dengue. *Nature*, 496(7446), *pp. 504-507*. DOI: 10.1038/nature12060.

**Bkhache M., Tmimi F., Charafeddine O., Faraj C., Failloux A. et Sarih M. (2016).** First report of L1014F- kdr mutation in *Culex pipiens* complex from Morocco. *Parasites & Vectors*, 9 (1), pp. 1-7. DOI : 10.1186/s13071-016-1931-5.

**Blaustein L et Chase J. M. (2007)**. Interactions between mosquito larvae and species that share the same trophic level. *Annu Rev Entomol*, 52 : *pp. 489–507*.

**Bouabida H., Djebbar F. et Soltani N. (2012).** Etude systématique et écologique des Moustiques (Diptera: Culicidae) dans la région de Tébessa (Algérie), *Entomologie faunistique – Faunistic Entomology*. 65, *pp. 99-103*.

**Bouallam et Nejmeddine. (2001).** Effets des métaux lourds - Cu, Hg, Cd - sur les larves de trois espèces de moustiques (Diptera: Culicidae). *Ann. Limnol*, 37(1), *pp. 49-57*.

**Bouallam S. et Ramdani M. (1992).** Culicidae de la région de Marrakech, principalement les Anophèles, vecteurs potentiels du Paludisme: répartition, taux d'infestation et lutte anti-larvaire. Actes de la IVème CILEF. *Hydroécologie appliquée, publication particulière,* Tome 1, *pp. 111-139*.

**Boubidi S. C. (2016).** Surveillance et contrôle du moustique tigre, *Aedes albopictus* (Skuse, 1894) à Nice, sud de la France. *Thèse de Doctorat, école doctorale GAIA : Biodiversité, Agriculture, Alimentation, Environnement, Terre, Eau*, Universite de Montpellier. *139 p*. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01646538

**Boukhir M., Jamal M., Azzouzi K. (2017b).** Étude Lithostratigraphique Des Formations Superficielles Urbaines Du Secteur Nord De La Ville De Fès, Maroc. *European Scientific Journal*, 13(33) : *129*. ISSN: 1857 – 7881. https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n33p129

**Boukhir M., Jamal M., Mounadel A. et Lahsaini M. (2017a).** Etude lithostratigraphique des formations superficielles du secteur ouest de la ville de Fes, Maroc. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 5(5), *pp. 385-396*. DOI: http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/ .

**Boukraaa S., de La Grandiere M. A., Bawina T., Raharimalala F. N., Zimmer J. Y., Haubrugea E. et al. (2016).** Diversity and ecology survey of mosquitoes potential vectors in Belgian equestrian farms: A threat prevention of mosquito-borne equine arboviruses. *Preventive Veterinary Medicine*, 124, *pp. 58–68*.

**Bouréea P., Bisaroa F., Delaiguea S., Djibod N., Resendee P. (2011).** Le diagnostic de la fièvre jaune. *Revue francophone des laboratoires*, 430, *pp. 27-32*.

**Bourrelly P. (1981).** Les algues d'eaux douces. Les algues jaunes et brunes. *Tome II. Ed.N. Boubée et Cie, 3 place St André des Arts*. Paris 6ème. *438 p.*

**Bourrelly P. (1985).** Les algues d'eaux douces. Les algues bleues et rouges. *Tome III. Ed.N. Boubée et Cie, 3 place St André des Arts*. Paris 6 ème. *606 p.*

**Bourrelly P. (1990).** Les algues d'eaux douces. Les algues vertes. *Tome I. Ed. N. Boubée et Cie, 3 place St André des Arts*. Paris 6ème. *572 p*.

**Boussès P., Dehecq J.S., Brengues C. et Fontenille D. (2013).** Inventaire actualisé des moustiques (Diptera : Culicidae) de l'île de La Réunion, océan Indien. *Bull. Soc. Pathol. Exot*. 106, *pp. 113-125*. https://doi.org/10.1007/s13149-013-0288-7

**Bowen H. (2012).** Cameroun paludisme: connaissance, attitudes et pratiques. Évolution entre 2011 et 2012. *Malaria No More*. Rapport final. *45 p*.

**Brengues C., Ferré J.B., Le Goff G., Lami P., Pratlong F., Pasteur N., Lagneau F., Simard V. et Robert. (2014).** A multiplex PCR to differentiate the two sibling species of mosquitoes Ochlerotatus detritus and Oc. coluzzii and evidence for further genetic heterogeneity within the Detritus complex. Infection, *Genetics and Evolution*, 28, *pp. 676-680*, ISSN 1567-1348 DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.meegid.2014.07.010.

**Brunhes J., Rhaim A., Geoffroy B., Angel G. et Hervy J.P. (2000).** Les moustiques de l'Afrique méditerranéenne: Logiciel d'identification et d'enseignement. Tunis: IRD and IPT, 1 CD-Rom collection didactique, Editions *IRD*. DOI : http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010021400.

**Brunhes J., Rhaim A., Geoffroy B., Guy A. et Hervy J.P. (1999).** Les moustiques de l'Afrique méditerranéenne. Logiciel d'identification et d'enseignement. *IRD & IPT*, CD-Rom collection didactique, Éditions. IRD. Montpellier, France.

**Bulletin d'Épidémiologie et de Santé Publique**. (2018). 50 : 75. *50 p*. ISSN 0851 8238, Maroc.

**Bulletin Officiel. (1995).** *Bulletin Officiel.* L'article de l'arrêté du ministre de la santé publique n 683-95 du 30 chaoual 1415 (31 mars 1995). Les maladies dont la déclaration est obligatoire en vertu de l'article premier du décret royal n 554-65 du 17 rabii I 1387 (26 juin 1967).

**-C-**

**Camp J.V., Bakonyi T., Soltész Z., Zechmeister T. et Nowotny N. (2018).** *Uranotaenia unguiculata* Edwards, 1913 are attracted to sound, feed on amphibians, and are infected with multiple viruses. 11(1):456. DOI : https://doi.org/10.1186/s13071-018-3030-2.

**Camus D. et Chidiac C. (2019).** Recommandations sanitaires pour les voyageurs. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*. Santé publique France. *83p*.

**Chandre F. (1998).** Résistance d'*Anopheles gambia Giles* et de *Culex pipiens quinquefasciatus Say* aux insecticides en Afrique de l'ouest et implications opérationnelles. *Thèse pour obtenir le grade de docteur. Université de paris XII –Val de marne sciences de la vie et de la santé. 225p.*

**Carnevale P. (1995).** La lutte antivectorielle, perspectives et réalités. *Médecine Tropicale*, 55 : *pp.56-65*. Fonds Documentaire ORSTOM. Code: B*5110 Ex 1.

**Carnevale P., Robert V., Manguin S., Corbel V., Fontenille D., Garros C. et Rogier C. (2009).** Les anophèles Biologie, transmission du Plasmodium et lutte antivectorielle. *IRD Éditions*. Institut De Recherche. Pour Le Développement. Marseille. ISBN : 978-2-7099-1662-2. ISSN : 1142-2580. *389 p*.

**Charlier C. et Consigny P. H. (2015).** *La Presse Médicale*, 44(6), *pp. 667-674*. DOI: 10.1016/j.lpm.2015.04.015.

**CharroudM., Cherai B., Benabdelhadi M. et Falguères C. (2007)**. Impact de la néotectonique quaternaire sur la dynamique sédimentaire du Saïs (Maroc) : du bassin d'avant fosse pliocène au plateau continental quaternaire. *Quaternaire*, 18(4), *pp. 327-334*.

**Castillo-Olivares J et Wood. (2004).**West Nile virus infection of horses. *Vet. Res*, 35, *pp. 467–483*. DOI: 10.1051/vetres:2004022

**Castric F. (2002).** Mise au point sur le diagnostic et le traitement de la dirofilariose cardiopulmonaire et de l'angiostrongylose canines. *Thèse pour le doctorat veterinaire. Faculte de medecine de creteil. France. 81 p*.

**Chandra G., Mandal S.K., Ghosh A. K., Das D., Banerjee S. S and Chakraborty S. (2008)**. Biocontrol of larval mosquitoes by *Acilius sulcatus* (Coleoptera: Dytiscidae). Biocontrol of larval mosquitoes by Acilius sulcatus (Coleoptera: Dytiscidae). *BMC Infectious Diseases*, 8 (1), pp. 1-8.doi:10.1186/1471-2334-8-138.

**Chavent M. (2014).** L'Analyse des Correspondances Multiples (ACM). *Université de Bordeaux. Master MIMSE – 2ème année, 17p.* https://www.math.u-bordeaux.fr/imb/spip.php

**Chlaida M. et Bouzidi A. (1995).** Contribution à l'étude des Diptères Culicidés du Maroc : Dynamique et cartographie écologique de quelques espèces au sein de la retenue du barrage al massira (Sud de Settat). *Bull. Inst. Sci*, n 19, *pp. 83-92*.

**Chodat R. (1902).** Algues vertes de la Suisse. *Pleurococcoïdes–chroolépoïdes*. Libraire-éditeur. *373p*.

**Chouin-Carneiro T., Vega-Rua A., Vazeille M., Yebakima A., Girod R., Goindin D. et al. (2016).** Differential susceptibilities of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* from the Americas to Zika Virus. *PLoS Negl. Trop. Dis*, 10(3): e0004543.

**Clements A. et Chapman N. (1992).** The Biology of Mosquitoes, Volume 1: *Development, Nutrition, and Reproduction New York*, 1992, *509 p*. ISBN 0-412-40180-0.

**Collins W. E. et Jeferey G. M. (2007).** *Plasmodium malariae*: parasite and disease. *Clin Microbiol Rev*, 20(4), *pp. 579–92*. DOI: 10.1128/CMR.00027-07

**Collins W.E. et Jeffery G.M. (2005).** *Plasmodium ovale*: Parasite and Disease. *Clinical Microbiology Reviews*, 18(3), *pp. 570–581*. DOI:10.1128/CMR.18.3.570–581.2005.

**Consigny P.H., Lecuit M. et Lortholary O. (2006).** Infection par le virus Chikungunya : une alphavirose ré-émergente médecine sciences, 22(4), *pp. 444-446*. DOI : http://id.erudit.org/iderudit/012820ar.

**Coosemans M. et Van Gompel A. (1998).** Les principaux arthropodes vecteurs de maladies. Quels risques pour le voyageur d'être piqué? D'être contaminé ? *Institut de médecine tropicale Prince Léopold*, 155 Nationalestraat, B-2000 Anvers, Belgique. Manuscrit n°1977/SMV 6. 3ème Journée biennale de Médecine des voyages.

**Cope S.E., Gad A.M. et Presley S.M., (1995).** New record of the malaria vector *Anopheles sergentii* in the southern Nile Valley of Egypt. *J. the American Mosquito Control Association,* 11(1), *pp. 145-6.*

**Cordellier R., Germain M., Mouchet J. (1974).** Les vecteurs de fièvre jaune en Afrique. Cah. O.R.S.T.O.M., *sér. Ent. méd. et Parasitol*, 12(1), *pp. 57-75*.

**Cornet M., Valade M. et Dieng P. Y. (1974).** Note technique sur l'utilisation des pondoirs-piège dans une zone rurale boisée non habitée. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. *Btt. nzéd. et Parasitol*, 12 : *pp. 217-219.*

**-D-**

**Dale P. E. et Breitfuss M. (2009).** Australian Saltmarsh Ecology. Chapter 8 : Ecology and management of mosquitoes. *The life-cycle and ecology of the saltmarsh mosquito*. *17 p*. CSIRO. http://hdl.handle.net/10072/29480

**Damerdji A. (2008).** Contribution à l'étude écologique de la mala-cofaune de la zone Sud de la région de Tlemcen (Algérie). *Afr Sci*, 04(1), *pp. 138 – 53*.

**Damiens D., Martin G., Deswattines P., et HanceT. (2010)**. Toxicité et rémanence d'une nouvelle formulation du Bacillus thuringiensis subsp. israelensis sur les larves de *Culex pipiens* L. et *Aedes geniculatus (*Oliver) (Diptera: Culicidae) en eaux uses. *Entomologie faunistique*, 63 (3), *pp.157-163.*

**Darriet F. (1998).** La lutte contre les moustiques nuisants et vecteurs de maladies. Chapitre : L'évaluation de nouveaux insecticides utilisables contre les moustiques en Afrique tropicale. *pp. 13-14*. Paris (FRA) ; Paris Éditions Karthala ; ORSTOM, *114 p*. (Economie et Développement). ISBN 2-86537-864

**Darriet F. (2007).** Moustiquaires Imprégnées et Résistance des Moustiques aux Insecticides. Marseille. Chapitre I : Modes d'action des principaux insecticides dans la lutte contre les moustiques, *pp 27-29* : IRD Éditions, 2007. *116 p*. ISBN : 9782709922852. DOI : https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.9952.

**Darriet F. et Corbel V. (2008).** Propriétés attractives et modifications physicochimiques des eaux de gîtes colonisées par des larves de *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae). C. R. Biologies 331(8), pp. *617–622*. http://france.elsevier.com/direct/CRASS3/

**Darriet F., Duchoni S. et Hougard J.M. (2005).** Scientific note spinosad: a new larvicide against insecticide-resistant mosquito larvae. Journal of the American Mosquito Control Association, 21 (4), *pp. 495-496.*

**Darriet F et Hougard J-M. (1993).** Étude en laboratoire de la biologie et des capacités prédatrices de I'Hétéroptère aquatique Ranatra parvipes vicina Reo (Signoret, 1880) à l'encontre des larves de moustiques. *Hydrobiol. Trop*, 26 (4), *pp. 305-311*.

**Delaunay M. (2016).** Clé d'identification numérique des insectes aquatiques d'Ile-de-France : un outil pour les acteurs de terrain. *Muséum national d'Histoire naturelle*. DOI : http://xper3.fr/

**Diagana M., Preux P.M. et Dumas M. (2007).** Japanese encephalitis revisited, *J. Neurol.Sci*. 262 : *pp. 165-170*.

**Diallo M.A., Diongue K., Diagne G., Seck M.C., Ndiaye M., Dièye B. et al. (2017).** Le paludisme à *Plasmodium ovale wallikeri* et *Plasmodium ovale curtisi* au Sénégal en 2016. *Bull. Soc. Pathol. Exot*, 110(5), *pp. 286-290*. DOI 10.1007/s13149-017-0578-6.

**Dickson L. B., Jiolle D., Minard G., Moltini-Conclois I., Volant S., Ghozlane A. et al. (2017).** Carryover effects of larval exposure to different environmental bacteria drive adult trait variation in a mosquito vector. *Sci. Adv*. 16, 3(8):e1700585.

**Dida G.O., Anyona D.N., Abuom P.O., Akoko D., Adoka S.O., Matano A.S, Owuor P.O. et Ouma C. (2018).** Spatial distribution and habitat characterization of mosquito species during the dry season along the Mara River and its tributaries, in Kenya and Tanzania. *Infectious Diseases of Poverty*, 18; 7(1):2. DOI: 10.1186/s40249-017-0385-0

**Doannio. J. M. C., Konan. Y. L., Amalaman K. et Attiah J. (2004).** Connaissances, attitudes et pratiques des populations vis-à-vis des moustiques dans la zone urbaine et périurbaine de Bouaké et dans les villages de Kafiné et de Kabolo (Côte d'Ivoire - Afrique de l'Ouest). *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 97(4), *pp. 295-301*.

**Dorigatti I., McCormack C., Nedjati-Gilani G. et Ferguson N.M. (2018).** Using Wolbachia for dengue control: insights from modelling. *Trends Parasitol*. 34(2), *pp. 102–113*. DOI: 10.1016/j.pt.2017.11.002.

**Du S., Liu Y., Liu J., Zhao J., Champagne C., Tong L. et al. (2019).** *Aedes* mosquitoes acquire and transmit Zika virus by breeding in contaminated aquatic environments. *Nat. Commun*, 10(1) : 1324. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-019-09256-0.

**Duvallet G. et de Gentile L. (2012).** Protection personnelle antivectorielle.IRD Éditions. *Institut De Recherche Pour Le développement collection Actique Marseille, 49 p*. ISBN: 978-2-7099- 1718-6.

**-E-**

**Edillo F.E., Touré Y.T., Lanzaro G.C., Dolo G. et Taylor C.E. (2004).** Survivorship and distribution of immature Anopheles gambiae s.I. (Diptera: Culicidae) in Banambani Village, Mali. *J Med Entomol*, 41(3), *pp. 333-339*.

**Edillo F.E., Touré Y.T., Lanzaro G.C., Dolo G. et Taylor C.E. (2006).** Water quality and immatures of the M and S forms of Anopheles gambiae s.s and *An. arabiensisin* a Malian village. *Malaria Journal*, 5(35), *pp. 1475-2875*.

**El Fellah Idrissi B., Cherai B., Hinaje S. et Mehdi K. (2017).** La variabilite climatique et son influence sur les ressources en eau dans la partie septentrionale du Moyen Atlas marocain: cas des causses de Sefrou et de l'Anoceur. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, 32, *pp. 155-179*.

**El Joubari M., Faraj C., Louah A., Himmi O. (2015a).** Sensibilité des moustiques *Anopheles labranchiae , Culex pipiens, Ochlerotatus detritus et Ochlerotatus caspius* de la région de Smir (Nord-Ouest du Maroc) aux organophosphorés utilisés en santé publique. *Environnement, Risques & Santé*, 14(1), *pp.72-79*. DOI : 10.1684/ers.2014.0755.

**El Joubari M., Hajji K., Himmi O., El Alami M., El Agbani M.A. et Louah A. (2015b)**. Etude des Macroinvertébrés (Gastéropodes, Diptères et Odonates) des marais de Smir-Restinga (Nord-Ouest du Maroc). *Entomologie Faunistique*, 68: *pp. 17-31*.

**El Joubari M., Louah A., Himmi O. (2014).** Les moustiques (Diptera, Culicidae) des marais de Smir (nord-ouest du Maroc) : Inventaire et biotypologie. *Bulletin de la Société de pathologie exotique*, 107, *pp. 48 – 59*. DOI : 10.1007/s13149-014-0327-4.

**El Mezouari E.M., Belhadj A., Ziani M., Boughanem M., Moutaj R. (2016).** Le paludisme grave d'importation chez l'adulte: étude rétrospective de treize cas admis en réanimation à Marrakech. *Pan African Medical Journal*, 25 (179). doi:10.11604/pamj.2016.25.179.8558

**El Ouali Lalami A, El Hilali O, Benlamlih M., Merzouki M., Raiss N., Ibensouda Koraichi S. et Himmi O. (2010a).** Etude entomologique, physicochimique et bactériologique des gîtes larvaires de localités à risque potentiel pour le paludisme dans la ville de Fès. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, section Sciences de la Vie, 32 (2), *pp. 119-127*.

**El Ouali Lalami A., Cherigui M., Ibnsouda Koraichi S., Maniar S., EL Maimouni N., Rhajaoui M. (2009).** Le paludisme importé au Centre Nord du Maroc entre 1997 à 2007. *Cahiers Santé*, 19(1), *pp. 43-47*.

**El Ouali Lalami A., El-Akhal F., El Amri N., Maniar S., Faraj C. (2014).** État de la résistance du moustique *Culex pipiens* vis-à-vis du téméphos au centre du Maroc. *Bull. Soc. Pathol. Exot*, 107(3)**,** *pp. 194-198*. DOI 10.1007/s13149-014-0361-x.

**El Ouali Lalami A., Hindi T., Azzouzi Elghadraoui A., Maniar S., Faraj C., Adlaoui E. B., Ameur I., Ibnsouda Koraichi S. (2010b).** Inventaire et répartition saisonnière des Culicidae dans le centre du Maroc. *Entomologie Faunistique,* 62(4), *pp.131-138*.

**El Ouali Lalami A., Merzouki M, El Hillali O., Maniar S. et Ibnsouda Koraichi S. (2011).** Pollution des eaux de surface de la ville de Fès au Maroc : typologie, origine et conséquences. *Larhyss Journal*, 09 : *pp. 55-72*. ISSN 1112-3680.

**El-akhal F. (2015).** Sensibilité des moustiques (Diptera : Culicidae) vecteurs des maladies parasitaires vis –à-vis des insecticides, des huiles essentielles et des extraits aqueux des plantes médicales et aromatique dans la ville de Fès. *Thèse de Doctorat. Université Sidi Mohamed Ben Abdellah. Faculté des Sciences Dhar El Mehraz-Fès. 201p*.

**El-naggar A., Elbanna S.M. et Abo-ghalia A. (2013).** The impact of some environmental factors on the abundance of mosquitoes larvae in certain localities of Sharkia Governorate in Egypt, Egypt. *Acad. J. Biolog. Sci*, 6(2), *pp.49-60*.

**Emidi B., Kisinza W.N., Mmbando B.P., Malima R. et Mosha F.W. (2017).** Effect of physicochemical parameters on Anopheles and Culex mosquito larvae abundance in different breeding sites in a rural setting of Muheza, Tanzania. *Parasites & Vectors*, 10, *p. 304*. DOI: 10.1186/s13071-017-2238-x.

**Enama M.L.O., Ntonga P.A., Mbida Mbida A., Takap N.N., Mbiada B., Hondt E.O.N. et al. (2020).** Le paludisme : connaissances, attitudes et pratiques des chefs de ménage de la region de

l'ouest-Cameroun. *Journal of Applied Biosciences*. 147, *pp. 15117 - 15124* ISSN 1997-5902. DOI : https://doi.org/10.35759/JABs.v147.5.

**Epstein P. R. (2001).** Climate change and emerging infectious diseases. *Microbes and Infection*, 3(9), *pp. 747–754*. DOI:10.1016/s1286-4579(01)01429-0.

**Esper J., David F., Ulf B., Anne V., Jurg L. et Elena X. (2007).** Long-term drought severity variations in Morocco. *Geophysical research letters*, 34(17): L17702, 5p, DOI: 10.1029/2007GL030844.

**Esser H. J., Mögling R., Cleton N. B., Jeugd H. V. D., Sprong H., Stroo A. et al. (2019).** Factors associated with sustained circulation of six zoonotic arboviruses: a systematic review for selection of surveillance sites in non-endemic areas. *Parasites and Vectors*, 12(1) : 265. DOI : https://doi.org/10.1186/s13071-019-3515-7.

**-F-**

**Failloux A., Bouattour A., Faraj C., Gunay F., Haddad N., Harrat Z. et al. (2017).** Surveillance of arthropod-borne viruses and their vectors in the mediterranean and black sea regions within the medilabsecure network. *Curr Trop Med Rep*, 4(1), *pp. 27-39*. DOI : 10.1007/s40475-017-0101-y.

**Failloux A.B., Vazeille-Falcoz M., Mousson L. et Rodhain F. (1999).** Contrôle génétique de la compétence vectorielle des moustiques du genre *Aedes*. *Institut Pasteur à Paris*. Unité d'écologie des systèmes vectoriels, 25 rue du Dr. Roux, 75724 Paris cedex 15.

**Fall I.S., Faye A., Ba O. et Tal-Dia A. (2008).** Connaissances, attitudes et pratiques des femmes sur le paludisme, dans la zone rurale de Poponguine, Sénégal. *Médecine Tropicale*, 68: *pp. 629-633*.

**Fang J. (2010).** Ecology: a world without mosquitoes. *Nature*, 466 : *pp.432-434*.

**Faraj C., Adlaoui E., Brengues C., Fontenille D. et Lyagoubi M. (2008a).** Résistance d'Anopheles labranchiae au DDT au Maroc : identification des mécanismes et choix d'un insecticide de remplacement. La Revue de Santé de la Méditerranée orientale, 14(4), *pp. 776-783*.

**Faraj C., Adlaoui E., Ouahabi S., Rhajaoui M., Fontenille D. et Lyagoubi M. (2009).** Entomological investigations in the region of the last malaria focus in Morocco. *Acta Tropica*, 109 : *pp. 70–73*. DOI:10.1016/j.actatropica.2008.09.021.

**Faraj C., Adlaoui E., Rhajaoui M. et Lyagoubi M. (2003).** Estimation of malaria transmission in high-risk provinces of Morocco. *East. Mediterr. Health J*, 9: *pp. 21-26*.

**Faraj C., Elkohli M. et Lyagoubi M. (2006).** Cycle gonotrophique de *Culex pipiens* (Diptera : Culicidae), vecteur potentiel du virus West Nile, au Maroc : estimation de la durée en laboratoire. Manuscrit n° 2846. Entomologie médicale. *Bull Soc Pathol Exot*, 99(2), *pp. 119-121*.

**Faraj C., Ouahabi S., Adlaoui E. et Elaouad R. (2010).** Etat Actuel des connaissances sur les anophèles du Maroc (Diptera: Culicidae) : systématique, distribution géographique et compétence vectorielle. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 58(5), *pp. 349-357*. DOI : 10.1016/j.respe.2010.05.002.

**Faraj C., Ouahabi S., Adlaoui E., Boccolini D., Romi R. et El Aouad R. (2008b).** Risque de réémergence du paludisme au Maroc : Etude de la capacité vectorielle d'*Anopheles labranchiae* dans une zone rizicole au nord du pays. *Parasite*, 15 : *pp. 605-610.*

**Fennane M., Ibn Tattou M., Mathez J., Ouyahya A. et El Oualidi J. (1999).** Flore pratique du Maroc, vol. 1 Trav. *Inst. Sci Rabat*. Sér. Bot 36 : *56p*. http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.3227.8889

**Fennane M., Ibn Tattou M., Ouyahya A. et El Oualidi J.** (**2007)**. Flore pratique du Maroc, vol. 2 Trav. Inst. Sci. *Rabat*. Sér.Bot. 38: 636 p.

**Fennane M., Ibn Tattou M. & El Oualidi J. (2014).** Flore pratique du Maroc, vol. 3 *Trav. Inst. Sci*. Rabat.Sér. Bot. 40 : *793 p*, https://www.amazon.fr/Flore-pratique-du-Maroc-3/dp/2366621000

**Ferraguti M., Martínez-de la Puente J., Roiz S., Ruiz D., Soriguer R. et Figuerola J. (2016).** Effects of landscape anthropization on mosquito community composition and abundance. *Sci Rep*, vol 6, 29002, *pp: 1-9.*

**Filali Mouatassem T., Faraj C., Guemmouh R. et al. (2019).** Quantitative Inventory of Mosquito Larvae (Diptera: Culicidae) and Physicochemical Analysis of Aquatic Habitats in the Region of Fez, Morocco. *Bull Soc Pathol Exot*, 112: *pp. 105-113*.

**Fontenille D., Diallo M., Mondo M., Ndiaye M. et Thonnon J. (1997).** First evidence of natural vertical transmission of yellow fever virus in *Aedes aegypti*, its epidemic vector. *Trans R Soc Trop Med Hyg*, 91 : *pp. 533-535*.

**Fontenille D., Lagneau C., Lecollinet S., Lefait-Robin R., Setbon M., Tirel B. et Yebakima A. (2009).** La lutte antivectorielle en France. Marseille: IRD Éditions, collection Expertise collégiale; 536 p. ISSN 1633-9924 / ISBN : 978-2-7099-1667-7.

**Fontenille D., Traore-Lamizana M., Diallo M., Thonnon J., Digoutte J.P. et Zeller H.G. (1998).** Nouveaux vecteurs de la fièvre de la vallée du Rift en Afrique de l'Ouest EID Emerging Infectious Diseases. Centers for Disease Control and Prevention CDC 24/7. ISSN: 1080- 6059. DOI: http://wwwnlc.cdc.gov/eid/pages/98-0218FR.htm.

**Fortin N., Guérin P., Chouin S. et Hubert B. (2012).** Epidémies de piqûres de moustique à Nantes, 1995-2010. Influence des facteurs météorologiques. Saint-Maurice: *Institut de veille sanitaire, 28 p*. DOI : http://www.invs.sante.fr.

**-G-**

**Gad A.M., Hassan M.M., El Said S., Moussa M.I. et Wood O.L. (1987).** Rift Valley fever virus transmission by different Egyptian mosquito species. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg*. 81, *pp. 694–698.*

**Gaimard M. (2008).** Santé, morbidité et mortalité des populations en développement. *Mondes en développement*, 36(142), *pp. 23- 38*. ISSN 0302-3052. ISBN 9782804158040.

**Gary R. et Mullen Lance A. (2019)**. Medical and Veterinary Entomology. Third Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier.*769 p*.

**Gatton M.L., Chitnis N., Churcher T., Donnelly M.J., Ghani A.C., Godfray H.C.J. et al. (2013)**. The importance of mosquito behavioral adaptations to malaria control in Africa. Evolution 67 (4), *pp. 1218 –1230.*

**Gaud J. (1952).** Données sur la biocœnose culicidienne de quelques gîtes du Gharb en 1952. *Bull. Inst. Hyg. Maroc,* 12 : *pp. 55-72.*

**Gaud J., Mechali D. et Delrieu J. (1949).** Riziculture et paludisme au Maroc. Bull. *Inst. Hyg. Maroc,* 9: *pp. 181–190.*

**Gaugler R. (2012).** Medical Entomology for students: introduction to mosquitoes (Culicidae). *Cambridge: Cambridge University Press, pp. 1–33.* doi:10.1017/CBO9780511811012.005

**Germain H. (1981).** Flore des Diatomées. Eaux douces et saumâtres. Société Nouvelle des Editions Boubée, Paris, *444p.*

**Ghahvechi Khaligh F., Naghian A., Soltanbeiglou S. et Gholizadeh S. (2020).** Autogeny in Culiseta longiareolata (Culicidae: Diptera) mosquitoes in laboratory conditions in Iran, 19, 13(1):81.DOI: https://doi.org/10.1186/s13104-020-04942-5.

**Gimonneau G., Pombi M., Choisy M., Morand S., Dabiré K.R. et Simard F. (2012).** Larval habitat segregation between the molecular forms of the mosquito, Anopheles gambiae in a rice field area of Burkina Faso. West Africa Med Vet Entomol, 26(1), *pp. 9-17.*

**Golding N., Nunn M. A. et Purse B. V. (2015).** Identifying biotic interactions which drive the spatial distribution of a mosquito community", *Parasites and Vectors,* 8 (*367).* DOI : 10.1186/s13071-015-0915-1.

**Gouagna L.C., Dehecq J.S., Girod R. et al. (2011).** Spatial and temporal distribution patterns of Anopheles arabiensis breeding sites in La Reunion Island – multi-year trend analysis of historicalrecords from 1996-2009. *Parasites and Vectors,* 4(121). doi: 10.1186/1756-3305-4-121.

**Goulu M. (2015).** Développement d'une nouvelle stratégie de protection chimique contre les moustiques vecteurs de maladies : utilisation d'une association répulsif/insecticide afin d'optimiser l'effcacité du traitement tout en réduisant les doses utilisées. Sciences agricoles. *Thèse de doctorat. Université d'Angers. France, 220* p.

**Govoetchan R., Gnanguenon.V., Ogouwalé. E., Oké-Agbo.F., Azondékon R., Sovi .A., et al. (2014).** *Parasites and Vectors*, 7 (137). http://www.parasitesandvectors.com/content/7/1/137.

**Grande R., Antinori S., Meroni L., Menegon M. et Severini C. (2019).** A case of Plasmodium malariae recurrence: recrudescence orreinfection?. *Malaria Journal*. 18(169). DOI: https://doi.org/10.1186/s12936-019-2806-y.

**Greboval M. (2004).** Facteurs environnementaux influençant la dynamique des vecteurs du virus de la fièvre de la vallée du Rift : conséquences pour la modélisation de la maladie. *Thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse* - ENVT, 105 p.

**Gubler D. J., Reiter P., Ebi K. L., Yap W., Nasci R. and Patz J. A. (2001).** Climate variability and change in the united states: potential impacts on vectorand rodent-borne diseases. *Environ. Health Perspect.* 109 (2), *pp. 223-233*.Doi: 10.1289/ehp.109-1240669

**Guy Y. (1959).** Les rapports entre l'anophélisme et le paludisme. *Bull. Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc* 39, *pp. 83–90*.

**Guy Y. (1963).** Bilan épidémiologique du paludisme au Maroc (données recueillies entre 1960, 1961 et 1962). *Ann. Parasit. Hum. Comp*, 38, *pp. 823–857*.

**Gwendolyn K.L., Wong G. K.L. et Jim C.Y. (2017).** Urban-microclimate effect on vector mosquito abundance of tropical green roofs. *Building and Environment*, 112, *pp. 63-76*. http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.028.

**Gyawali N., Bradbury R. S et Taylor-Robinson A. W. (2016).** The global spread of Zika virus: is public and media concern justified in regions currently unaffected? *Infectious Diseases of Poverty*, 5(37). DOI: 10.1186/s40249-016-0132-y.

**-H-**

**Hakizimana E., Karema C., Munyakanage D., Githure J., Baptiste J., Mazarati F. et al.(2018).** Spatio-temporal distribution of mosquitoes and risk of malaria infection in Rwanda. *Acta Tropica* . 182, *pp. 149–157.*

**Handaq N. et Blenzar A. (2017).** Impact des eaux usées et des aménagements urbains sur la répartition des espèces de Culicidae (Diptera Nematocera) dans la ville de Meknès (Maroc). *European Scientific Journal*, 13(27), ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

**Hasan S., Jamdar S.F., Alalowi M. et Al Ageel Al Beaiji S.M. (2016).** Dengue virus: A global human threat: Review of literature. *J Int Soc Prev Community Dent*. 6(1), *pp. 1-6*. DOI: 10.4103/2231-0762.175416.

**Haston J. C., Hwang J., Tan K. R. (2019).** Guidance for Using Tafenoquine for Prevention and Antirelapse Therapy for Malaria — United States. *MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report*, 22, 68(46), pp. 1062-1068.

**Hazratian T., Paksa A., Sedaghat M.M., Vatandoost H., Moosa-Kazemi S.H., Sanei-Dehkordi A. et al. (2019).** Baseline Susceptibility of Culiseta longiareolata (Diptera: Culicidae) to Different Imagicides, in Eastern Azerbaijan, Iran. *J Arthropod-Borne Dis*, 13(4), *pp. 407–415*.

**Hertlein M.B., Mavrotas C., Jousseaume C., Lysandrou M., Thompson C.D., Jany W. et Ritchie S.A. (2010).** A review of spinosad as a natural product for larval mosquito control. *J. of the American Mosquito Control Association*, 26(1), *pp. 67-87*. DOI: https://doi.org/10.2987/09-5936.1.

**Himmi O. (2007).** Les Culicidés (Insectes, Diptères) du Maroc : Systematique, écologie et études épidemiologiques pilotes. *Thèse de Doctorat d'Etat, Université Mohammed V – Agdal Faculté des Sciences Rabat. 334p*. N° d'ordre 2368.

Himmi O., Dakki M., Trari B. et El Agbani M.A. (1995). Les Culicidae du Maroc: clés d'identification, avec données biologiques et écologiques. Travaux de l'Institut Scientifique, Série Zoologie, Rabat, 44 p.

**Himmi O., Trari B., El Agbani M. A. et Dakki M. (1997).** Contribution à la connaissance de la cinétique et des cycles biologiques des Moustiques (Diptera, Culicidae) dans la région de Rabat-Kénitra (Maroc). *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 1997-1998, n 21, *pp. 71-79.*

**Hndschumacher P., Fournet F. et Ramalho W. (2019).** Espace, territoires et maladies vectorielles : enseignements des Suds pour lutter contre la menace des arboviroses au Brésil ? *Revue franco-brésilienne de géographie*, 42(1), 20p. HALId : hal-02406373. DOI : https://doi.org/10.4000/confins.22854

**Honório N.A., Silva W.D.C., Leite P.J., Gonçalves J.M., Lounibos L.P. et Lourenço-de-Oliveira R. (2003).** Dispersal of Aedes aegypti and Aedes albopictus (Diptera: Culicidae) in an urban endemic dengue area in the State of Rio de Janeiro, Brazil. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 98(2), *pp. 191-198.* DOI: https://doi.org/10.1590/S0074-02762003000200005

**Howes R. E., Battle K. E., Mendis K. N., Smith D. L., Cibulskis R. E., Baird J K. et Hay S. I. (2016).** Global epidemiology of Plasmodium vivax. *Am J Trop Med Hyg*, 95(6Suppl), *pp. 15- 34* DOI: 10.4269/ajtmh.16-0141

**Huang Y.J.S., Higgs S. et Vanlandingham D.L. (2017).** Biological Control Strategies for Mosquito Vectors of Arboviruses. *Insects*, 8(1): 21. DOI:10.3390/insects8010021.

**Hubálek Z. et Halouzka J. (1999).** West Nile Fever-a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe. *Emerg. Infect*, Dis. 5, *pp.643–650.*

**-J-**

**Joy T. K., Arik A. J., Corby-Harris V., Johnson A. A. et Riehle M. A. (2010).** The impact of larval and adult dietary restriction on lifespan, reproduction and growth in the mosquito *Aedes aegypti*. *Exp. Gerontol*, 45, *pp. 685-690*.

**Juliano S.A. (2009).** Species interactions among larval mosquitoes: context de-pendence across habitat gradients. *An-nu Rev Entomol*, 54, *pp. 37–56*.

**-K-**

**Keshavarzi D., Soltani Z., Ebrahimi M., Soltani A., Godwin N.G., Soltani F. et al. (2017)**. Monthly prevalence and diversity of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Fars Province, Southern Iran. *Asian Pac J Trop Dis*, 7(2), *pp. 112-120*. DOI: https://doi.org/10.12980/apjtd.7.2017D6-369

**Khawling V., Nachimuthu S. et Guruswami G. (2014).** Diversity and abundance of mosquito species in relation to their larvalhabitats in Mizoram, North Eastern Himalayan region. *Acta Tropica*, 137, *pp. 1-18.*

**Khoobdel M., Keshavarzi D., Mossa-Kazemi H. S. et Sobati H. (2019).** Species diversity of mosquitoes of the Genus Culex (Diptera, Culicidae) in the coastal areas of the Persian Gulf. AIMS Public Health, 6 (2), *pp. 99-106*. DOI: 10.3934/publichealth.2019.2.99

**Kimberly E. M., Arguin P. M. et Tan K. R. (2018).** Malaria Surveillance — United States. *MMWR Surveill Summ*, Department of Health and Human Services. *Centers for Disease Control and Prevention*. 67(7) .U.S.

**Kiniffo I. R., Agbo-Ola L., Issifou S. et Massougbodjl A. (2000).** Les Mères des enfants de Moins de cinq ans et le paludisme dans la Vallée de Dangbo au Sud-Est du Benin. *Médecine d'Afrique Noire*, 47 (1) : 100.

**Korba R.A., Alayat M.S., Bouiba L., Boudrissa A., Bouslama Z., Boukraa S. et al. (2016).** Ecological differentiation of members of the *Culex pipiens* complex, potential vectors of West Nile virus and Rift Valley fever virus in Algeria. *Parasites & Vectors*, 17, *pp. 9 - 455*. DOI : 10.1186/s13071-016-1725-9.

**Kostov B., Bécue-Bertaut M. et Husson F. (2015).** Correspondence Analysis on Generalised Aggregated Lexical Tables (CA-GALT) in the FactoMineR Package, *The R Journal*, 7(1), *pp. 109-117*. ISSN 2073-4859

**Kramer L. D. et Ciota A. T. (2015).** Dissecting vectorial capacity for mosquito-borne viruses. *Curr. Opin. Virol*, 15, *pp. 112-118.*

**Krauer F., Riesen M., Reveiz L., Oladapo O.T., Martinez-Vega R., Porgo T.V. et al. (2017).** Zika virus infection as a cause of congenital brain abnormalities and guillain-barre syndrome: systematic review. W. H. O. Z. C. W. *PLoS Med*, 14(1): e1 002203. DOI: https ://doi.org/10.1371/ journal.pmed.1002203.

**Kulkarni M.A. (2016).** Propagation et répercussions des maladies à transmission vectorielle émergentes à l'échelle mondiale. *Relevé des maladies transmissibles au Canada,* 42(10), *pp. 221-222*.

**-L-**

**Laboudi M. (2013).** Etude *d'Anopheles labranchiae* (Diptera, Culicidae), vecteur du paludisme, au nord du Maroc : Caractérisation moléculaire et approche écologique. Univercité Mohammed V. Faculté des Sciences Agdal de Rabat. *Thèse de Doctorat National*. N° d'ordre: 2668. *110 p*.

**Laboudi M., Faraj C., Sadak A., Azelmate M., Rhajaoui M. et El-Aouad R. (2012).** Some environmental factors associated with *Anopheles labranchiae* larval distribution during summer 2009, in Larache Province, Morocco. *African Entomology*. 20 (2), *pp. 229-238*.

**Laboudi M., Sadak A., Ouahabi S., Boccolini D. et Faraj C. (2014).** Molecular characterization of *Anopheles maculipennis* complex (Diptera:Culicidae) in Northern Morocco. Faunistic Entomology, 67, pp. 37-42.

**Laboudi M., Sahibi H., Elabandouni M., Nhammi H., Ait HamouS. et Sadak A. (2018).** A review of cutaneous leishmaniasis in Morocco: A vertical analysisto determine appropriate interventions for control and prevention. *Acta Tropica*, 187, *pp. 275–283*. DOI: https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.07.019

**Lacour G., Chanaud L., L'Ambert G et HanceT. (2015).** Seasonal Synchronization of Diapause Phases in *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *PloS one*. 10 (12): e0145311.

**Lana R. M., Carneiro T. G., Honório N. A. et Codeço C.T. (2014)**. Seasonal and nonseasonal dynamics of Aedes aegypti in Rio de Janeiro, Brazil: Fitting mathematical models to trap data. *Acta Tropica***,** 129, *pp. 25 – 32*. DOI: 10.1016/j.actatropica.2013.07.025

**Lane R.P. et Crosske R.W.Y. (1993).** Medical Insects and Arachnids . Chapman & Hall, *723p*. ISBN 978-94-010-4679-4 ISBN 978-94-011-1554-4 (eBook). DOI : 10.1007/978-94-011-1554-4

**Larhbali Y., Belghyti D., El Guamri Y., Lahlou O, El Kharrim K., Kirami A. et Khamri Z. (2014).** Situation épidémiologique du paludisme importé et étude entomologique des gîtes larvaires de localités à risque potentiel dans la province de Khémisset (Maroc). *Médecine et Santé Tropicales*, 24, *pp. 397-402*. DOI : 10.1684/mst.2014.0388

**Larhbali Y., Belghyti D., El Guamri Y., Lahlou O., El Kharrim K., Kirami A. et Hamr K. Z. (2011).** Cartographie de la faune culicidienne dans la province de Khémisset (Maroc). *ScienceLib Editions Mersenne*, 3(110603), *pp.1-7*. ISSN 2111-4706.

**Le Goff G., Boussès P., Julienne S. Brengues C., Rahola N., Rocamora G. et al. (2012).** The mosquitoes (Diptera: Culidae) of Seychelles: taxonomy, ecology, vectorial importance, and identification keys. *Parasites and Vectors*, 5 (207). DOI: https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-207

**Lemma W., Alemu K., Birhanie M., Worku L., Niedbalski J., McDowell M. A. et Lobo N. F. (2019).** *Anopheles cinereus* implicated as a vector of malaria transmission in the highlands of north-west Ethiopia. *Parasites & vectors*: 12(557), *2p*. DOI: https://doi.org/10.1186/s13071019-3797-94

**Leyton Ramos L.M., Aguirre Obando O.A., Duque J.E., Garcia-Merchàn V.H. (2020).** Effect of altitude on wing metric variation of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in a region of the Colombian Central Andes. *PLoS ONE*, 15(8): e0228975. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228975

**Lim S.M., Brault A.C., Van Amerongen G., Bosco-Lauth A.M., Romo H., Sewbalaksing V.D. et al. (2015).** Osterhaus, Penelope Koraka,1 Byron E.E. Martina. Susceptibility of carrion crows to experimental infection with lineage 1 and 2 West Nile viruses. *Emerg Infect Dis*. 21(8), *pp. 1357-.1364*. DOI : www.cdc.gov/eid

**Liu N. (2015).** Insecticide resistance in mosquitoes: impact, mechanisms, and research directions. *The Annual Review of Entomology*. 60, *pp. 537–59.*

**Liu X., Wu H., Guo Y., Ren D., Yang J., Li J., et al. (2019).** Breeding Site Characteristics and Associated Factors of Culex pipiens Complex in Lhasa, Tibet, P. R. China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(1407), *13p*. DOI: 10.3390/ijerph16081407

**Lorenz C., Alves J.M.P., Foster P.G. et al. (2019).** First record of translocation in Culicidae (Diptera) mitogenomes: evidence from the tribe Sabethini. *BMC Genomics*, 20 (1), pp. 1-8.

**Louah A., Ramadani M., Saoud Y. et Mahjour J. (1995).** Biotypologie de la faune culicidienne de la péninsule tingitane. *Bull Inst Sci Rabat,* 19, *pp.93-102.*

**Lovett B., Bilgo E., Millogo S.A., Ouattarra A., Sare I., Gnambani E.J. et al. (2019).** Transgenic Metarhizium rapidly kills mosquitoes in a malaria- endemic region of Burkina Faso. *Science*, 364, *pp. 894 –897*.

**Lundström J.O. (1999).** Mosquito-borne viruses in western Europe: a review. *J. Vector Ecol*. 24, *pp. 1–39.*

**Lyimo E. O., Takken W. et Koella J. C. (1992).** Effect of rearing temperature and larval density on larval survival, age at pupation and adult size of *Anopheles gambiae*. *Entomol. Exp. Appl.* 63, *pp. 265-271*.

**-M-**

**Maaroufi A., El Berri H., Rhajaoui M., Rguig A., Soulaymani R., Tazi M. et al. (2018).** Maladies sous surveillance. Bilan des maladies épidémiques, 2ème semestre 2017, *Bulletin d'Epidémiologie et de Santé Publique*, 56(76), *pp. 3-12*. ISSN 0851 8238.

**Magnus, M.M., Esposito, D.L.A., Costa, V.A.D., Melo, P.S., Costa-Lima, C., Fonseca, B., et al. (2018).** Risk of Zika virus transmission by blood donations in Brazil. *Hematol. Transfus. Cell Ther*. 40 (3), *pp. 250 – 254*. https://doi.org/10.1016/j.htct.2018.01.011.

**Mahamane Iro S., Alpha Seydou Y et Doumma A. (2020).** Mesures des indicateurs de prolifération des larves de moustiques au niveau des mares permanentes et semi permanentes de Saga, Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci*, 14(4), *pp. 1188-1202*. ISSN 1997-342X

**Mahgoub M.M., Kweka E.J. et Himeidan Y.E. (2017).** Characterisation of larval habitats, species composition and factors associated with the seasonal abundance of mosquito fauna in Gezira, Sudan *Infectious Diseases of Poverty*, 6(23). DOI : 10.1186/s40249-017-0242-1

**Manceau B. (2016).** Connaissances et prévention de la maladie de Lyme: enquête auprès de patients en zone rurale dans le Morbihan en Bretagne. *Thèse En vue du Diplôme d'état de docteur en Médecine. Université de Rennes. Sous le sceau de l'Université Bretagne Loire*. *45pp*.

**Manguin S. et Boete C. (2011).** Global impact of mosquito biodiversity, humanvector-borne diseases and environmental change. In: Pujol, J.L. (Ed.), The Importance of Biological Interactions in the Study of Biodiversity. InTech, Winchester, UK. *pp. 27–50*. DOI: http://www.intechopen.com/articles/show/title/global-impact-of-mosquito

**Marc I., Chibani A., Alemad A., Alkhali A., Belala A., Hadji M., Belghyti D. et El kharrim K. (2016).** Etude Ecologique et Entomologique des Culicides larvaires des gites de la province de Kenitra (Maroc). *European Scientific Journal*, 12 (32). ISSN: *1857 – 7881* (Print) e - ISSN 1857-7431. DOI: 10.19044/esj.2016.v12n32p398.

**Marinho R.A., Beserra E.B., Bezerra-Gusmão M.A., Porto V. de S., Olinda R.A. et C. dos Santos C.A. (2016).** Effects of temperature on the life cycle, expansion, and dispersion of Aedes aegypti (Diptera: Culicidae) in three cities in Paraiba, Brazil. *Journal of Vector Ecology*. 41(1), *pp. 1-10.*

**Martínez de la Puente J., Ferraguti M., Ruiz S., Roiz D., Soriguer C.R. et Figuerola J. (2016).** *Culex pipiens* forms and urbanization: efects on blood feeding sources and transmission of avian Plasmodium. *Malaria Journal* 15(589), *pp. 1-8*. DOI: 10.1186/s12936-016-1643-5

**Matile L. (1989).** Les Diptères d'Europe occidentale : Introduction, techniques d'étude et morphologie - Nématocères, Brachycères Orthorrhaphes et Aschizes. *Société. Nouvelle des Éditions Boubée, 439 p*.

**Matubi E.M., Bukaka E., Luemba T.B., Situakibanza H., Sangaré I., Mesia G. et al. (2015).** Détermination des paramètres bioécologiques et entomologiques d'Anopheles gambiae sl dans la transmission du paludisme à bandundu-ville, République Démocratique de Congo. *Pan African Medical Journal*, 22 (108). DOI:10.11604/pamj.2015.22.108.6774

**Mbida Mbida A., Etang J., Akono Ntonga P., Eboumbou Moukoko C., Awono-Ambene P., Tagne D., Talipouo A. et al. (2016).** Nouvel aperçu sur l'écologie larvaire d'*Anopheles coluzzii* Coetzee et Wilkerson, 2013 dans l'estuaire du Wouri, Littoral-Cameroun. *Bull. Soc. Pathol. Exot*. 110, *pp 92–101*. DOI : 10.1007/s13149-016-0519-9

**Melero-Alcíbar R., Aranda C. et Molina R. (2010).** Re-description of the pupa of *Uranotaenia unguiculata* (Diptera: Culicidae) and a morphological key for identification of pupae of mosquito genera in the Palaearctic Region. *Eur Mosq Bull*. 28, *pp. 45– 50.*

**Merabti B. (2016).** Identification, composition et structure des populations Culicidiénne de la région de Biskra (Sud-est Algérien). Effets des facteurs écologiques sur l'abondance saisonnière. Essais de lutte. *Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat des sciences*. *155p*.

**Messai N., Aouati A. et Berchi S. (2016).** Impact of the surface water physicochemical parameters on Culicidae (Diptera: Nematocera) of lakeside Ecosystem "Sebkhet Ezzemoul" (Oum El Bouaghi - Algeria). *Journal of Entomology and Zoology Studies*; 4(3), *pp. 391-398.*

**Messai N., Berchi S., Boulknafd F. et Louadi K. (2011).** Inventaire systématique et diversité biologique de Culicidae (Diptera: Nematocera) dans la région de Mila (Algérie). *Entomologie faunistique*, 63 (3), *pp. 203-206.*

**Metzger W. G., Sulyok Z., Theurer A. et Köhler C. (2020).** Entwicklung von Impfstoffen gegen Malaria – aktueller Stand. Development of malaria vaccines-state of the art, 63, *pp. 45-55*. DOI://doi.org/10.1007/s00103-019-03070-1

**Meyer Steiger D.B., Ritchie S.A. et Laurance S.G. (2016).** Mosquito communities and disease risk influenced by land use change and seasonality in the Australian tropics. *Parasit and Vectors*, 9(1): 387.

**Ministère de la Santé Publique**. Direction de la réglementation et du contentieux, Direction de la réglementation et du contentieux - Base de données **(2014).** Référence: B.O n°4344 - 27 chaabane 1416 (18-1-96). Arrêté du ministre de la santé publique n° 683-95 du 30 chaoual 1415 (31 mars 1995) fixant les modalités d'application du décret royal n° 554-65 du 17 rabii I 1387 (26 juin 1967) portant loi rendant obligatoire la déclaration de certaines maladies et prescrivant des mesures prophylactiques propres à enrayer les maladies.

**Ministère de la santé (2016).** Circulaire N°017. DELML / 2016. http://www.sante.gov.ma

**Mitschler A., Grange F., Lipsker D., Jaulhac B., Piemont Y., Belanger P. et al. (2004).** Connaissance et prévention des borrélioses par piqûres de tiques. *Annales de dermatologie et de vénéréologie*, 131(6-7), *pp. 547-553*. DOI : AD-6-7-2004-131-6-7-0151-9638-101019-ART4.

**Moller-Jacobs L. L., Murdock C. C. et Thomas M. B. (2014).** Capacity of mosquitoes to transmit malaria depends on larval environment. Parasites and Vectors 7(593).

**Molho S. (2018).** Perceptions et comportements de prévention de la population face à la dengue et au chikungunya en France métropolitaine : comment améliorer la lutte anti-vectorielle au moyen de la mobilisation sociale ? *Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris Descartes, Faculté de Médecine Paris Descartes, 90 p.*

**Montarsi F., Mazzon L., Cazzin S., Ciocchetta S. et Capelli G. (2015).** Seasonal and Daily Activity Patterns of Mosquito (Diptera: Culicidae) Vectors of Pathogens in Northeastern Italy. *J. Med. Entomol*. 52(1), *pp. 56–62*. DOI: 10.1093/jme/tju002.

**Morse SS. (2001).** Factors in the emergence of infectious disease, *Plagues and politics*. London: Palgrave Macmillan; *pp. 8–26*. https://doi.org/10.1057/9780230524248_2

**Morin C.W., Comrie A.C. et Ernst K. (2013).** Climate and Dengue Transmission: Evidence and Implications. *Environmental Health Perspectives*, 121(11-12), *pp. 1264-1272*. DOI: http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1306556.

**Moussiegt O. (1988).** *Aedes (Ochlerotatus) caspius* (Pallas, 1721). Bibliographie. Document E.I.D. No. 45. Montpellier.

**Müller R., Knautz T., Vollroth S., Berger R., Aljoscha, Reuss F., Groneberg D.A. et Kuch U. (2018).** Larval superiority of *Culex pipiens* to *Aedes albopictus* in a replacement series experiment: prospects for coexistence in Germany. *Parasites & Vectors*, 11(80). DOI : 10.1186/s13071-018-2665-3.

**Muschett G., Umbers K.D.L., Herberstein M.E. Herberstein. (2017).** Within-season variability of fighting behavior in an Australian alpine grasshopper. *PLoS One*, 12(4), *pp. 1-21*. PLOS ONE DOI:| https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171697

**Muturi E. J., Blackshear M. Jr. et Montgomery A. (2012).** Temperature and density-dependent effects of larval environment on Aedes aegypti competence for an alphavirus. *J. Vector Ecol*, 37, *pp. 154 –161*.

**-N-**

**Nabarro L.E.B., Nolder D., Broderick C. et al. (2018).** Geographical and temporal trends and seasonal relapse in Plasmodium ovale spp. and Plasmodium malariae infections imported to the UK between 1987 and 2015. *BMC Medicine*. 16 (218). DOI: https://doi.org/10.1186/s12916-018-1204-6.

**Nada Raja T., Hu T.H., Kadir K.A., Mohamad D.S.A., Rosli N., Wong L.L., et al. (2020).** Naturally Acquired Human. Plasmodium cynomolgi and P. knowlesi Infections, Malaysian Borneo. *Emerging Infectious Diseases*. www.cdc.gov/eid 26 (8), *pp 1801-1809*. DOI: https://doi.org/10.3201/eid2608.200343

**Nchoutpouen E., Talipouo A., Djiappi-Tchamen B., Djamouko-Djonkam L, Kopya E., Ngadjeu C.S. et al. (2019*).*** *Culex* species diversity, susceptibility to insecticides and role as potential vector of Lymphatic filariasis in the city of Yaoundé, Cameroon. *PLoS Negl Trop Dis*. 13(4): e0007229. DOI : https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0007229.

**Ng'habi K. R., John B., Nkwengulila G., Knols B. G. J., Killeen G. F. et Ferguson H. M. (2005).** Effect of larval crowding on mating competitiveness of Anopheles gambiae mosquitoes. *Malar. J*, 4(49). https://doi.org/10.1186/1475-2875-4-49

**Nguyen L.N., Esterrel P., Lardeuxl F., Williams S.A. et Nicolass L. (1999).** La filariose lymphatique, un fléau économique et social. *Annales de L'institut Pasteur.* 10(l), *pp. 93-106*. Elsevier, Paris.

**Niang M., Sane R., Sow A., Sadio B.D., Chy S., Legrand E., Faye O., Diallo M., Sall A.A., Menard D. et Toure-Balde A. (2018).** Asymptomatic Plasmodium vivax infections among Duffy-negative population in Kedougou, Senegal. *Tropical Medicine and Health*, 46(45). DOI: https://doi.org/10.1186/s41182-018-0128-3

**-O-**

**Ogden N.H. (2016).** Maladies à transmission vectorielle, changement climatique et conception urbaine. *Relevé des maladies transmissibles au Canada*; 42, *pp. 225-6*. DOI : https://doi.org/10.14745/ccdr.v42i10a04f

**Okech B. A., Gouagna L. C., Yan G., Githure J. I. et Beier J. C. (2007).** Larval habitats of *Anopheles gambiae* s.s. (Diptera: Culicidae) influences vector competence to *Plasmodium falciparum* parasites. *Malar. J*, 6(50). https://doi.org/10.1186/1475-2875-6-50

**OMS. (1967).** Série de rapport thechniques N° 368. L'écologie des moustiques. Rapport d'un groupe scientifique de l'OMS. Genève, *23 p*.

**OMS. (1991).** Vector bionomics in the epidemiology and control of malaria. Part II. The WHO European region and the WHO eastern Mediterranean region. WHO, Geneva, *352 p*.

**OMS. (2004).** Position de l'OMS sur l'utilisation de DDT pour la lutte contre les vecteurs de maladies en application de la convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants. Genève: Organisation mondiale de la Santé. WHO/HTM/RBM/2004.53. *2p*. Numéro de document WHO/HTM/RBM/2004.53.https://apps.who.int/iris/handle/10665/68632.

**OMS. (2005).** Bureau régional de la Méditerranée orientale. Comité régional de la Méditerranée orientale. Cinquante-deuxième Session EM/RC52/3 Août 2005 Original: arabe Document technique : Maladies à transmission vectorielle : un problème de santé publique réémergent. 12 p.

**OMS. (2013).** Communication pour un impact comportemental (ComBi). Outil pour la communication comportementale et sociale dans le cadre de la riposte aux flambées épidémiques. *123p*. www.who.int/csr/en/.

**OMS. (2014).** Fièvre jaune. Évaluation entomologique rapide sur le terrain pendant les épidémies de fièvre jaune en Afrique Manuel: Orientations méthodologiques à l'usage des scientifiques ayant des connaissances de base en entomologie. WHO/HSE/PED/CED/2014.3

**OMS. (2017a).** Action mondiale pour lutter contre les vecteurs 2017–2030 (Version 5.4) Document de base pour éclairer les délibérations lors de la 70e session de l'Assemblée mondiale de la Santé.

**OMS. (2017b).** Virus du Nil occidental. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/westnile-virus

**OMS. (2017c).** World malaria report 2016. Geneva, Switzerland. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/208815/WHO_HTM_GMP_2016.6_eng.pdf;jsessionid=2E8E81454CD799B0A90610C79F9BCDEE?sequence=1

**OMS. (2018).** World malaria report 2017. Geneva : World Health Organization. pp. 1-186.

**OMS. (2019).** Fièvre jaune. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/yellow-fever

**OMS. (2020a).** Maladies à transmission vectorielle. https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases

**OMS. (2020b).** Dengue et dengue sévère**.** https://www.who.int/fr/news-room/fact sheets/detail/dengue-and-severe-dengue

**Orshan L., Bin H., Schnur H., Kaufman A., Valinsky A., Shulman L. et al. (2008).** Vector-Borne Diseases, Surveillance, Prevention. Mosquito Vectors of West Nile Fever in Israel. *J. Med. Entomol*. 45(5), *pp. 939-947.*

**Ortega-Morales A., Zavortink T., Huerta-Jiménez H. et al. (2019).** The mosquitoes (Diptera: Culicidae) of Hidalgo state, Mexico. *Acta Tropica,* 189, *pp. 94–103*. DOI : https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.07.003

**Osório H. C., Amaro F., Zé-Zé L., Moita S., Labuda M. et Alves M. J. (2008).** Species composition and dynamics of adult mosquitoes of Southern Portugal. *European Mosquito Bulletin. Journal of the European Mosquito Control Association,* 25, *pp. 12-23*. ISSN1460-6127; www.europeanmosquitobulletin.com

**Osorio H.C., Ze-Ze L. et Joao Alves M. (2012).** Host-feeding patterns of Culex pipiens and other potential mosquito vectors (Diptera: Culicidae) of West Nile virus (Flaviviridae) collected in Portugal. *J Med Entomol,* 49(3), *pp. 717–21*.

**Oudainia W. (2015).** Étude bioécologique et systématique des Culicidae de la région d'Oum El Bouaghi. Effet de la température sur l'agressivité et la biologie de *Culex pipiens*. *Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba. Faculté des Sciences. Republique Algerienne Democratique et Populaire. 162 p*.

**Ould El Mamy A.B., Kane Y., El Arbi A.S., Barry Y., Bernard C., Lancelot R. et Cêtre-Sossah C. (2014).** L'épidémie de fièvre de la Vallée du Rift en Mauritanie en 2012. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales,* 12 (3-4), *pp. 169-173*. http://eismv.org/Publications.html#sommaire_1

**-P-**

**Paaijmans K. P., Huijben S., Githeko A. K. et Takken W. (2009).** Competitive interactions between larvae of the malaria mosquitoes *Anopheles arabiensis* and *Anopheles gambiae* under semi-field conditions in western Kenya. *Acta Tropica*, 109, *pp. 124-130.*

**Paaijmans K. P., Takken W., Githeko A.K. et Jacobs A. F. G. (2008).** The effect of water turbidity on the near-surface water temperature of larval habitats of the malaria mosquito Anopheles gambiae. *Int. J. Biometeorol*, vol.52, *pp.747–753.*

**Rashad A.G., Abdulsalam M.A.M., Mogeeb.S.A. (2012).** Microbial control of malaria: Biological warfare against the parasite and its vector. *Acta Tropica*, 121, *pp. 71– 84*.

**Paksa A., Sedaghat M.M., Vatandoost H. Yaghoobi-Ershadi M.R., Moosa-Kazemi S.H., Hazratian T. et al. (2019).** Biodiversity of Mosquitoes (Diptera: Culicidae) with Emphasis on Potential Arbovirus Vectors in East Azerbaijan Province, Northwestern Iran. *J Arthropod Borne Dis*, 13(1), *pp. 62-75.*

**Pfaehler O., Oulo D. O., Gouagna L. C., Githure J. et Guerin V. (2006).** Influence of soil quality in the larval habitat on development of *Anopheles gambiae Giles. J. Vector Ecol*, 31, *pp. 400-405.*

**Pielnaa P., Al-Saadawe M., Saro A., Dama M. F., Zhou M., Huang Y., Huang J., Xia Z. (2020).** Zika virus-spread, epidemiology, genome, transmission cycle, clinical manifestation, associated challenges, vaccine and antiviral drug development. *Virology*, 543, *pp. 34–42.*

**Pemola Devi N and Jauhari R.K. (2004).** Altitudinal distribution of mosquitoes in mountainous area of Garhwal region : Part–I. *J Vect Borne Dis*, 41(2), *pp. 17–26.*

**Pottier A. C. M. (2008).** Influence des modifications des facteurs environnementaux, socio-économiques & culturels sur l'épidémiologie des maladies vectorielles. *Thèse pour obtenir le grade de Docteur Veterinaire Diplome D'etat* – Toulouse 3 – 4110. *144p.*

**Powers A.M., Brault A.C., Tesh R.B. et Weaver S.C. (2000).** Re-emergence of Chikungunya and O'Nyong-Nyong viruses: evidence for distinct geographical lineages and distant evolutionary relationships. *J Gen Virol*, 81(2), *pp. 471-9*.

**Priest J.W., Plucinski M.M., Huber C.S. Rogier.E., Mao.B., Christopher.J. et al. (2018).** Specifcity of the IgG antibody response to *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae*, and *Plasmodium ovale* MSP119 subunit proteins in multiplexed serologic assays. *Malaria Journal*. 17(417). DOI: https://doi.org/10.1186/s12936-018-2566-0.

**-R-**

**Raharimalala F.N., Andrianinarivomanana T.M., Rakotondrasoa A., Collard J.M. et Boyer S. (2017).** Usefulness and accuracy of MALDI-TOF mass spectrometry as a supplementary tool to identify mosquito vector species and to invest in development of international database. *Medical and Veterinary Entomology*. 31 (3), *pp. 289–298*. DOI: 10.1111/mve.12230

**Rajahram G. S., Barber B. E., William T., Menon J., Anstey N. M. et Yeo T. W. (2012).** Deaths due to Plasmodium knowlesi malaria in Sabah, Malaysia: association with reporting as Plasmodium malariae and delayed parenteral artesunate. *Malaria Journal*, 11(284). DOI: http://www.malariajournal.com/content/11/1/284.

**Ranson H., N' Guessan G., Lines J., Moiroux N., Nkuni Z., Corbel V. (2011).** Pyrethroid resistance in African anopheline mosquitoes: what are the implications for malaria control? *Trends in Parasitol*. 97(2), pp. 91-98.

**Reiter P. (2001).** Climate change and mosquito-borne disease, Environ. *Health Per-spect*, 109 Suppl 1(Suppl 1), pp.141-161. doi: 10.1289/ehp.01109s1141.

**Rguig A., Ziani M., Barkia A., Benmamoune A., El Menzhi O. (2012).** Mise au Point : La surveillance épidémiologique au Maroc. *Bulletin Epidémiologique*. Edition Juin, *pp.9-10*.

**Rioux J. A. (1958).** Les Culicides du Midi méditerranéen. P. Lechevalier, Paris. *303p*.

**Rioux J. A., Croset H., Corre J.-J., Simoneau P. et Gras G. (1967).** Les bases phyto-écologiques de la lutte anticulicidienne. *Annales de Parasitologie*, 42(6), *pp. 665-680*. DOI: http://www.parasite-journal.org or https://doi.org/10.1051/parasite/1967426665

**Robert V., Petrarca V., Carnevale P., Zoulani A., Coluzzi M. (1990).** Analyse cytogénétique du complexe Anopheles gambiae dans un village du Sud-Est du Burkina-Faso. *Genetics Selection Evolution, BioMed Central*, 22 (2), *pp.161-174*.

**Rodhain F. (2000).** Modifications climatiques: impacts potentiels sur la santé. L'exemple des maladies à vecteurs. *Bull. Ass. Anc. Elèves Inst. Pasteur,* 162, *pp. 8-14*.

**Romi R., Pontuale G., Ciufolini M.G., Fiorentini G., Marchi A., Nicoletti L. et al. (2004).** Potential vectors of West Nile Virus following an equine disease outbreak in Italy. *Med. Vet. Entomol*. 18, *pp. 14–19*.

**Roux O., Vantaux A., Roche B., Yameogo K. B., Dabiré K. R., Diabaté A. et al. (2015).** Evidence for carry- ov er effects of predator exposure on pathogen transmission potential. *Proc. Biol. Sci*, 22, 282(1821): 20152430. doi: 10.1098/rspb.2015.2430

**Rueangweerayut R., Bancone G., Harrell E. J., Beelen A. P. et Kongpatanakul S. (2017).** Hemolytic Potential of Tafenoquine in Female Volunteers Heterozygous for Glucose-6- Phosphate Dehydrogenase (G6PD) Deficiency (G6PD Mahidol Variant) vers us G6PD -Normal Volunteers. *Am. J. Trop. Med. Hyg*., 97(3), *pp. 702-711*. DOI: https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0779

**Rumeau A. et Coste M. (1988).** Initiation a la systématique des diatomées d'eau douce pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. *Bull. Fr. Pêche Piscic*, 309, *pp. 1-69*.

**Rydzanicz K., Jawień P., Lonc E. et Modelska M. (2016).** Assessment of productivity of Culex spp. larvae (Diptera: Culicidae) in urban storm water catch basin system in Wrocław (SW Poland). *Parasitol Res*, 115, *pp.1711–1720*. DOI: 10.1007/s00436-016-4912-x

**-S-**

**Saleeza S.N.R., Norma-Rashid Y. et Sofian-Azirun M. (2014).** Guppies as predators of common mosquito larvae in Malaysia. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health*, 45(2), *pp. 299-308.*

**Saluzzo J. F., Vidal P. et Gonzalez J. P. (2004).** Les virus émergents. E. IRD Editions. Marseille. *188p*. ISBN : 9782709915397. DOI : 10.4000 /books.irdeditions.3348. http://www.openedition.org/6540

**Sanford M.R., Ramsay S., Cornel A.J. Clare D Marsden, Norris L.C., Patchoke S, et al. (2013).** A preliminary investigation of the relationship between water quality and Anophe-les gambiae larval habitats in Western Cameroon. *Malar J*, 12(225). https://doi.org/10.1186/1475-2875-12-225

**Schafner F. et Mathieu B. (2020).** Identifier un moustique : morphologie classique et nouvelles techniques moléculaires associées pour une taxonomie intégrée. *Revue francophone des laboratoires*. 2020(524), *pp. 24-33*.

**Schiller A., Allen M., Coffey J., Fike A. et Carballo F. (2019).** Updated methods for the production of toxorhynchites rutilus septentrionalis (Diptera, Culicidae) for use as biocontrol agent against container breeding pest mosquitoes in Harris county, *Texas. Journal of Insect Science*, 19(2), *pp. 1–6*. DOI: 10.1093/jisesa/iez011.

**Schuffenecker I., Peyrefitte C.N., El Harrak M., Murri S., Leblond A. et Zeller H.V. (2005).** West Nile Virus in Morocco, 2003. *Emerging Infectious Diseases*, 11(2), *pp. 306-309*. DOI: www.cdc.gov/eid

**Senevet G, Andarelli L (1959).** Les Moustiques de l'Afrique du Nord et du bassin méditerranéen : les genres *Culex, Uranotaenia*, *Theobaldia*, *Orthopodomyia* et *Mansonia*. *Encycl. Ent.*, 37, P. Lechevalier, Paris, *384 p*.

**Service SW. (1976).** Mosquito ecology: fields sampling methods. Applied science publishers, London, *583p*.

**Shaalan E. A.S and Canyon D.V. (2009).** Aquatic insect predators and mosquito control. *Tropical Biomedicine*, 26(3), *pp. 223–261*.

**Shaukat A.M., Breman J.G., Mckenzie F.E. (2010).** Using the entomological inoculation rates to assess the impact of vector control on malaria parasite transmission and elimination. *Malar. J*, 12, (9:122). doi: 10.1186/1475-2875-9-122.

**Silberbush A., Tsurim I., Margalith Y. et Blaustein L. (2014).** Interactive effects of salinity and a predator on mosquito oviposition and larval performance. Oecologia, 175(2), *pp. 565-575*. DOI: 10.1007/s00442-014-2930-x.

**Simard F. (1999).** Variabilité génétique et flux de gènes chez les moustiques *Anopheles arabiensis* et *Anopheles gambiae*, vecteurs du paludisme en Afrique. Apport des loci microsatellites. *Thèse. Université Henri Poincaré - NANCY I. Faculté des Sciences UF.R. Sciences et Techniques Biologiques Ecole Doctorale Biologie et Santé. 270p*. DOI : https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01747577.

**Simmons C. P., Farrar J. J., Nguyen V. V. C. et Bridget W. (2012).** Current concepts Dengue. New england journal of medicine, 366 (15), *pp.1423-1432*. DOI: https://doi.org/10.1056/NEJMra1110265.

**Singh B., Singh P.R, Mohanty MK (2012).** Toxicity of a plant based mosquito repellent/killer, *Interdiscip Toxicol*, 5(4), *pp. 184-91*.

**Sofizadeh A., Moosa-Kazemi S.H. et Dehghan H. (2017).** Larval Habitats Characteristics of Mosquitoes (Diptera: Culicidae) in North-East of Iran", *J Arthropod-Borne Dis*, 11(2), *pp. 211–225*.

**Soltani Z., Keshavarzi D., Ebrahimi M., Soltani A., Moemenbellah-Fard M.J., Soltani F. et al. (2017).** The fauna and active season of mosquitoes in West of Fars Province, Southwest of Iran. *Archives of Razi Institute*, 72(3), *pp. 203-208*.

**Song B.H. et Yun S.I. (2017).** Zika virus: history, epidemiology, transmission, and clinical presentation. J. Neuroimmunol. 308, *pp. 50–64*. DOI : https://doi.org/10.1016/j.jneuroim.

**Souza R.S., Virginio F., Riback T.I.S., Suesdek L., Barufi J.B. et Genta F.A. (2019).** Microorganism-Based Larval Diets Affect Mosquito Development, Size and Nutritional Reserves in the Yellow Fever Mosquito *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae). *Front. Physiol*, 9(10:152). DOI: 10.3389/fphys.2019.00152.

**-T-**

**Tachet H., Bournaud M. et Richoux P. (1992).** Introduction à l'étude des macroinvertébrés des eaux douces : systématique élémentaire et aperçu écologique. *4ème édition. Paris.152 p*.

**Takken W., Smallegange R. C., Vigneau A. J., Johnston V., Brown M., Mordue-Luntz A. J. et Billingsley P. F. (2013).** Larval nutrition differentially affects adult fitness and Plasmodium development in the malaria vectors *Anopheles gambiae* and *Anopheles stephensi*. *Parasites and Vectors,* (6, 345). doi:10.1186/1756-3305- 6-345

**Telang A., Qayum A. A., Parker A., Sacchetta B. R. et Byrnes G. R. (2012).** Larval nutritional stress affects vector immune traits in adult yellow fever mosquito *Aedes aegypti* (*Stegomyia aegypti*). *Med. Vet. Entomol*. 26, *pp. 271-281*.

**Tharrault Y. (2008).** Diagnostic de fonctionnement par analyse en composantes principales : Application à une station de traitement des eaux usées. Université Delorraine. *Thèse de Doctorat. École Doctorale IAEM Lorraine. DFD Automatique et Production Automatisée. Institut National Polytechnique de Lorraine. 170 p*.

**Tiawsirisup S., Junpee A. et Nuchprayoon S. (2012).** Mosquito Distribution and Japanese Encephalitis Virus Infection in a Bat Cave and Its Surrounding Area in Lopburi Province, Central Thailand. *Thai J V et Med*. 42(1), *pp. 43-49.*

**Tibayrenc M. (1979).** Les isoenzymes et L'Entomologie médicale, *Entomologiste médical ORSTOM*. Série. *Ent. méd. et Parasitol*., 17(4), *pp. 249-256*.

**Tmimi F., Faraj C., Bkhache M., Mounaji K., Failloux A. et Sarih M. (2018).** Insecticide resistance and target site mutations (G119S ace-1 and L1014F kdr) of *Culex pipiens* in Morocco. *Parasites & Vectors*, 11(1) :51. DOI : 10.1186/s13071-018-2625-y.

**Trari B. (1991).** Catalogue raisonné des peuplements du Maroc et études typologiques de quelques gîtes du Gharb et leurs communautés larvaires Culicidées (Diptera). *Thèse de 3ème cycle, Université Mohamed V, Faculté des Sciences de Rabat. 216 p.*

**Trari B. (2017).** Les moustiques (Insèctes, Diptères) du maroc: Atlas de répartition et études épidémiologiques. *Thèse de doctorat d'état Université Mohammed V . Faculté des Sciences de Rabat.Maroc. 334 p*. N° d'ordre : 2970.

**Trari B. et Carnevale P. (2011).** De la préélimination à l'élimination du paludisme au Maroc. Quels risques pour l'avenir? *Bull. Soc. Pathol. Exot,* 104, *pp. 291-295*. DOI : 10.1007/s13149011-0156-2.

**Trari B. et Dakki M. (2017).** Caractérisation génétique du sous-groupe Maculipennis (Diptera : Culicidae) au Maroc : un outil fondamental pour lutter contre le paludisme. Eastern Mediterranean Health Journal. *La Revue de Santé de la Méditerranée orientale*. 23 (12), *pp. 809-814*. DOI : https://doi.org/10.26719/2017.23.12.809.

**Trari B., Dakki M. et. Harbach R.E. (2017).** An updated checklist of the Culicidae (Diptera) of Morocco, with notes on species of historical and current medical importance. *Journal of Vector Ecology*. 42 (1), *pp. 94-104.*

**Trari B., Dakki M., Himmi O., El Agbani.M. A. (2003).** Les moustiques (Diptera Culicidae) du Maroc. Revue bibliographique (1916-2001) et inventaire des espèces. *Bull Soc Pathol Exo,* 96, *pp. 329 – 34*. DOI: [http://www.pathexo.fr/documents/articles-bull/T96-4-2405-2552.pdf]

**Trew Deckard D., Chung W.M., Brooks J. T., Smith J. C., Woldai S., Hennessey M., Kwit N., Mead P. (2016).** Male-to-Male Sexual Transmission of Zika Virus — Texas. Retrieved from US. *Clinical Infectious Diseases*, 64(2), *pp. 211–213*. https://doi.org/10.1093/cid/ciw692

**-V-**

**Vavre F. et Mavingui P. (2011).** Les bactéries symbiotiques d'arthropodes et de nématodes de nouvelles alliées dans le contrôle des maladies infectieuses. *médecine/sciences*, 27, *pp. 953-8.*

**Veillon P. (2012).** Généralités sur les Culicidae « moustiques », Diptera. *5 pp*. www.nouara-algerie.com/article-generalites-sur-les-culicidae-moustiques-diptera-par-phillipe-veillon-pvg-environnement-108536504.html.

**Versteirt V., Boyer S., Damiens D., De Clercq E.M., Dekoninck W., Ducheyne E. et al. (2013).** Nationwide inventory of mosquito biodiversity (Diptera: Culicidae) in Belgium. *Europe. Bull Entomol Res*, 103(2), *pp. 193-203.*

*Verwoerd D.W. (2015).* Définition d'un vecteur et d'une maladie à transmission vectorielle. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz, 34 (1), *pp. 33-35*.

**Vyas-Patel N. (1988).** Parasitism of Kenyan Mosquito Larvae (Diptera: Culicidae) by Romanomermis cuficivorax (Nematoda: Mermithidae). *Journal of Nematology. The Society of Nematologists,* 20(1), *pp. 96-101*.

**-W-**

**Walker I.R., Wilson S.E. et Smol J.P. (1995)**. Chironomidae (Diptera): quantitative palaeosalinity indicators for lakes of western Canada. Canadian journal of fisheries and aquatic sciences, 52(5), *pp. 950-960*.

**Weng M.H., Lien J.C., Wang Y.M., Lin C.C., Lin H.C., et Chin C. (1999).** Isolation of Japanese encephalitis virus from mosquitoes collected in Northern Taiwan between 1995 and 1996. *J. Microbiol. Immunol. Infect*. 32, *pp. 9–13.*

**Westbrook C. J., Reiskind M. H., Pesko K. N., Greene K. E., Lounibos L. P. (2010).** Larval environmental temperature and the susceptibility of *Aedes albopictus Skuse* (Diptera: Culicidae) to Chikungunya virus. *Vector Borne Zoonotic Dis*, 10, *pp. 241-247*.

**Wilkerson R. C., Linton Y. M., Fonseca D. M., Schultz T. R., Price D. C., Strickman D. A. (2015).** Making mosquito taxonomy useful: a stable classi fi cation of tribe Aedini thatbalances utility with current knowledge of evolutionary relationships. *PLoS One*, 10(7), e0133602. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0133602

**Williams J., Pinto J. (2012).** Manuel de Formation à l'Entomologie du Paludisme. *L'Agence américaine pour le développement international*. *79 p*.

**Wilsandrei C., Djane Clarys B.S., Gisely C.M, Wanderli P. T, Vanderson S. S., Paulo. P., et al. (2019).** Do climate changes alter the distribution and transmission of malaria? Evidence assessment and recommendations for future studies. *Mini Review Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical Journal of the Brazilian Society of Tropical Medicine*, (52:e20190308). doi: 10.1590/0037-8682-0308-2019.

**Wynn G. et Paradise C.J. (2001).** Effects of microcosm scaling and food resources on growth and survival of larval *Culex pipiens*. *BMC Ecology*, (1:3). DOI: http://www.biomedcentral.com/1472-6785/1/3

**-Y-**

**Yiallouros M., Storch V., Thieryt I. et Becker N. (1994).** Efficacy of clostridium bifermentans serovar Malaysia on target and nontarget organisms. *Journal of the American Mosquito Control Association*, l0 (1), *pp. 51-55.*

**-Z-**

**Zeller H. (1998).** Dengue, arbovirus et migrations dans l'Océan Indien. *Bull Soc Pathol Exot*, 91(1), *pp.56-60*.

## WEBOGRAPHIE

Doctissimo (2018) https://www.doctissimo.fr/html/sante/encyclopedie/sa_1453_dengue.htm

EID MÉDITERRANÉE. OPÉRATEUR PUBLIC EN ZONE HUMIDES (2016), http://www.eid-med.org/actualites/moustique-tigre-cest-la-diapause

Hotjar :https://www.hotjar.com/poll-survey-sample-size-calculator

https://fsnv.univ-setif.dz/images/telecharger/BPA/3eme%20Parasitologie%2019-20%20COURS%20m%C3%A9tho%20inventaires%20ANNANI.pdf

https://www.cdc.gov/dpdx/malaria/index.html

https://www.eid-rhonealpes.com/lutte/controle-et-surveillance

https://www.humanite-biodiversite.fr/system/attachments/13038/original/Culex_pipiens_diagram_fr.svg.png?1467565132

INSECT ECRAN. https://www.insectecran.com/maladie/paludisme-malaria/transmission

Oscar à la ligne: http://oscar34.canalblog.com/archives/2020/05/07/38266082.html

Raosoft :http://www.raosoft.com/samplesize.html

**S**VT 2de (2019) - Manuel élève. http://112551.site.magnard.fr/ressources/644

# ANNEXES

**ANNEXE 1** : Fiche de description des gîtes

Fiche n° :
Commune :
Circonspection :
Date :
Nom du gîte :
1/ Caractéristique du gîte :
Origine : Naturel ☐
Artificiel ☐
Nature : Temporaire ☐
Permanent ☐
Largeur :
Longueur :
Profondeur :
Relevé par GPS :
Latitude :
Longitude :
Altitude :
Présence de végétation :
2/ Heure du prélèvement :
3/

| Usage de l'eau | Boisson | | Lavage | | Industrie | | Irrigation | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

4/ Origine de l'eau
Source ☐
Puits ☐
Forage ☐
Rivière ☐
Lac ☐
Autre ☐
5/ Aspect particulier : - débris :
- couleur :
6/ Paramètres physicochimiques :

| Température (C°) Au moment du prélèvement | | pH | Salinité µs /cm | $O_2$ dissous (mg/l) | Conductivité électrique | Débit approximatif à la minute où à la seconde |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Eau | Air | | | | | |
| | | | | | | |

7/ Conditions météorologiques du moment :
Soleil ☐
Pluie ☐
Vent ☐
Couvert ☐
Autre ☐
8/ Pente :
Nulle ☐
Moyenne ☐
Forte ☐
9/ Voisinage de point:

| Etablissement agricol | | Etablissement industriel | | Autres | …… …… |
|---|---|---|---|---|---|

## ANNEXE 2 : Clé simplifiée des critères morphologiques des moustiques identifiés.

**• Larve de *Culex* :**

1 - TÊTE : Longueur de l'antenne
- Antenne longue (L=la longueur de la tête)

2 - TÊTE : Suture hypostomale (suture maxillaire)
- Complète ou nettement marquée

3- ABDOMEN : Plaques abdominales
- Absentes

4 - ABDOMEN : Plaque sclérifiée du segment VIII
- Absente

5 - ABDOMEN : Disposition des épines du segment VIII en l'absence de plaque
- Sur une rangée
- En désordre

6- - ABDOMEN : Position de l'orifice respiratoire
- S'ouvrant à l'extrémité d'un tube cylindrique

7- ABDOMEN : Ornementation du siphon
- Avec peigne basal et plusieurs touffes de soies ventrales

8- -ABDOMEN : Zone d'insertion de la soie 4-X (=brosse ventrale)
- Sur la seule aire barrée

9 - TÊTE / THORAX / ABDOMEN : Soies remarquables
- Absence de soies remarquables

**• Larve d'*Aedes*:**

1- TÊTE : Longueur de l'antenne
- Antenne courte (L=1/4 de la longueur de la tête)
- Antenne longue (L=la longueur de la tête)
- Antenne moyenne (L=1/2 de la longueur de la tête)

2 - TÊTE : Suture hypostomale (suture maxillaire)
- Complète ou nettement marquée

3 - ABDOMEN : Plaques abdominales
- Absentes

4 - ABDOMEN : Plaque sclérifiée du segment VIII
- Absente

5 - ABDOMEN : Disposition des épines du segment VIII en l'absence de plaque
- sur une rangée
- En désordre

6 - ABDOMEN : Position de l'orifice respiratoire
- S'ouvrant à l'extrémité d'un tube cylindrique

7 - ABDOMEN : Ornementation du siphon
- Avec peigne basal et 1 seule touffe de soies médiane

8 - ABDOMEN : Zone d'insertion de la soie 4-X (=brosse ventrale)
- Sur la seule aire barrée
- Sur l'aire barrée et sous le segment anal

9.- TÊTE / THORAX / ABDOMEN : Soies remarquables
- Absence de soies remarquables

**• Larve d'*Anopheles*:**

1 - TÊTE : Longueur de l'antenne
- Antenne courte (L=1/4 de la longueur de la tête)
- Antenne moyenne (L=1/2 de la longueur de la tête)

2 - TÊTE : Suture hypostomale (suture maxillaire)
- Complète ou nettement marquée

3 - ABDOMEN : Plaques abdominales
- Sur la plupart des segments

4 - ABDOMEN : Plaque sclérifiée du segment VIII
- Présente

5 - ABDOMEN : Disposition des épines du segment VIII en présence de plaques
- Solidarisées et formant un peigne

6 - ABDOMEN : Position de l'orifice respiratoire
- S'ouvrant directement sur le segment VIII

7 - ABDOMEN : Zone d'insertion de la soie 4-X (=brosse ventrale)
- Sur la seule aire barrée

8 - TÊTE / THORAX / ABDOMEN : Soies remarquables
- des soies plumeuses
- des soies abdominales en éventail

**• Larve de *Culiseta* :**

1 - TÊTE : Longueur de l'antenne
- Antenne courte (L=1/4 de la longueur de la tête)
- Antenne longue (L=la longueur de la tête)
- Antenne moyenne (L=1/2 de la longueur de la tête)

2 - TÊTE : Suture hypostomale (suture maxillaire)
- Complète ou nettement marquée

3 - ABDOMEN : Plaques abdominales
- Absentes

4 - ABDOMEN : Plaque sclérifiée du segment VIII
- Absente

5- ABDOMEN : Disposition des épines du segment VIII en l'absence de plaque
- En désordre

6 - ABDOMEN : Position de l'orifice respiratoire
- S'ouvrant à l'extrémité d'un tube cylindrique

7- ABDOMEN : Ornementation du siphon
- Avec peigne et 1 touffe basale

8 - ABDOMEN : Zone d'insertion de la soie 4-X (=brosse ventrale)
- Sur l'aire barrée et sous le segment anal

9 - TÊTE / THORAX / ABDOMEN : Soies remarquables
- Absence de soies remarquables

**• Larve d'*Uranotaenia* :**

1 - TÊTE : Longueur de l'antenne
- Antenne courte (L=1/4 de la longueur de la tête)

2 - TÊTE : Suture hypostomale (suture maxillaire)
- Absente ou à peine ébauchée

3 - ABDOMEN : Plaques abdominales
- Seulement sur le segment VIII

4 - ABDOMEN : Plaque sclérifiée du segment VIII
- Présente

5 - ABDOMEN : Disposition des épines du segment VIII en présence de plaques
- En 1 rangée d'épines

6 - ABDOMEN : Position de l'orifice respiratoire
- S'ouvrant à l'extrémité d'un tube cylindrique

7 - ABDOMEN : Ornementation du siphon
- Avec peigne basal et 1 seule touffe de soies médiane

8 - ABDOMEN : Zone d'insertion de la soie 4-X (=brosse ventrale)
- Sur la seule aire barrée

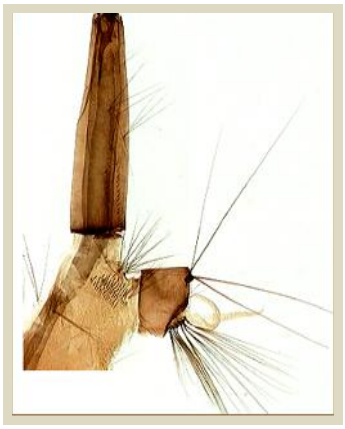
9 - TÊTE / THORAX / ABDOMEN : Soies remarquables
- Absence des soies remarquables
- Des soies céphaliques épaissies

## Distinction entre les critères morphologiques

Position de l'orifice respiratoire

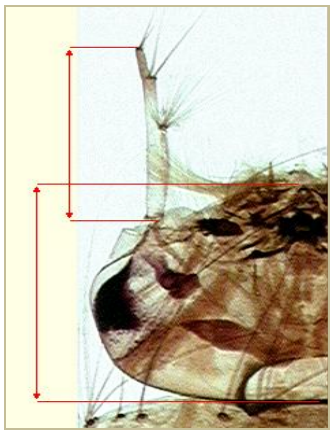


Orifice respiratoire s'ouvrent directement sur le segment VIII

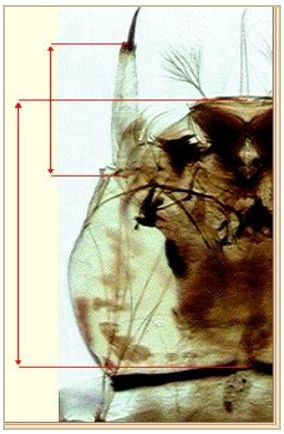


Orifice respiratoire s'ouvrent à l'éxtrimité d'un tube cylindrique

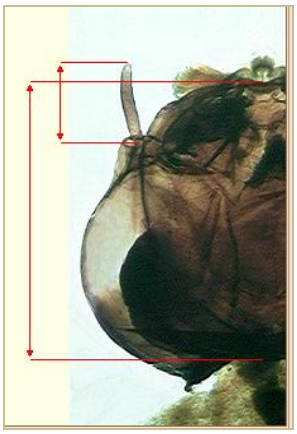
Longueur de l'antenne



Antenne longue

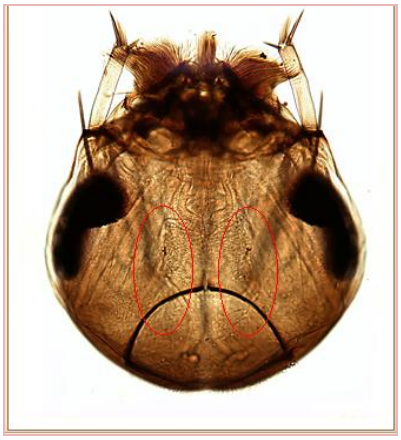


Antenne moyenne

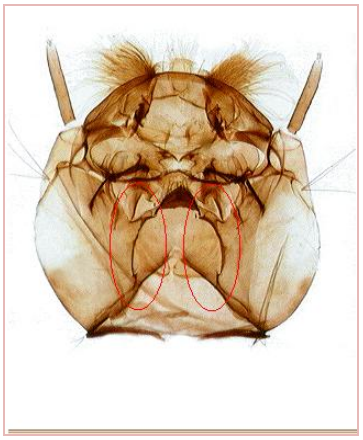


Antenne courte

Suture hypostomale (suture maxillaire

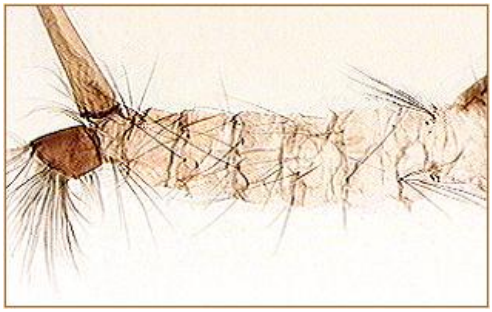


Absente ou à peine ébouchée

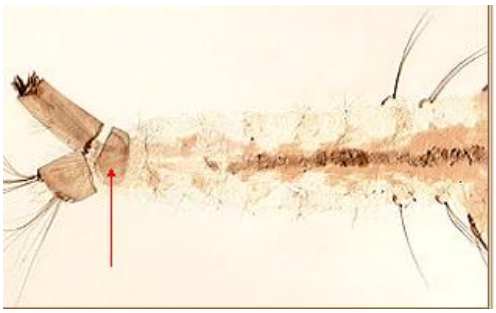


Complète ou nettement marquée

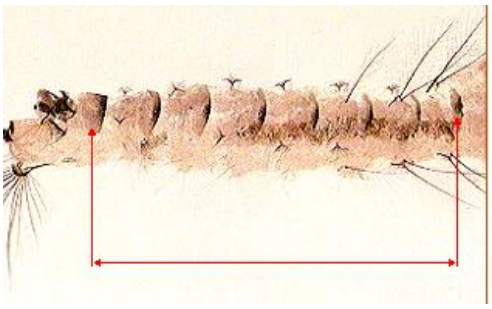
Plaques abdominales



Absence des plaques abdominales

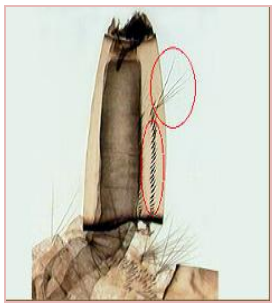


Plaques abdominales sur le segment VIII

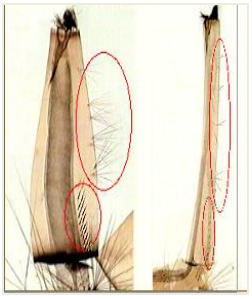


Plaques abdominales sur la plus part des segments

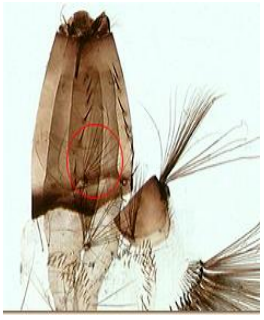
Ornementation du siphon



Siphon avec peigne basale et une touffe de dois médiane

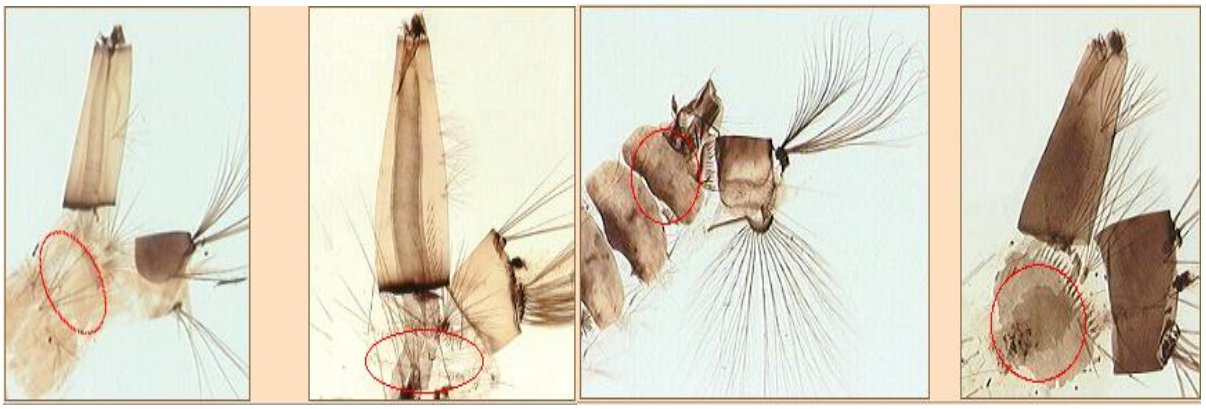


Siphon avec peigne basal et plusieurs touffes de soies ventrales



Siphon avec peigne et une touffe basale

Plaque sclérifiée du segment



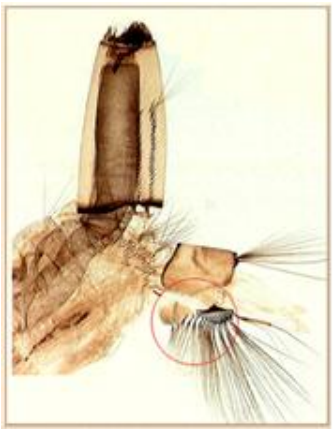
Absente

Présente

Zone d'insertion de la soie 4-X (=brosse ventrale

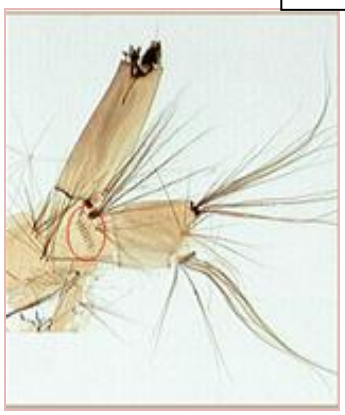


Sur la seule aire barrée



Sur l'aire barrée et sous le segment anal

Disposition des épines du segment VIII en l'absence de plaque



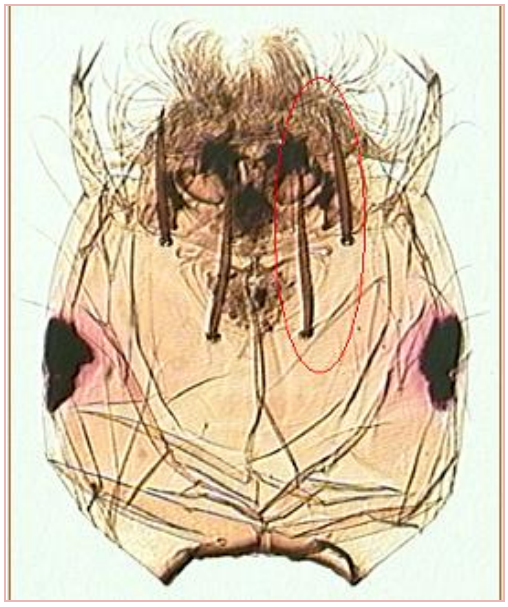
Sur une rangée



En désordre

Soies

Absence des soies remarquables



Des soies céphaliques épaissies



Des soies abdominales en éventail



Des soies plumeuses

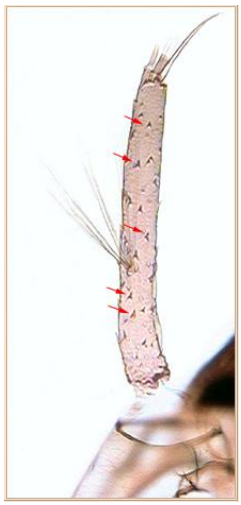
## Identification des espèces inventoriées

**• *Aedes flavescens* [Larve]**

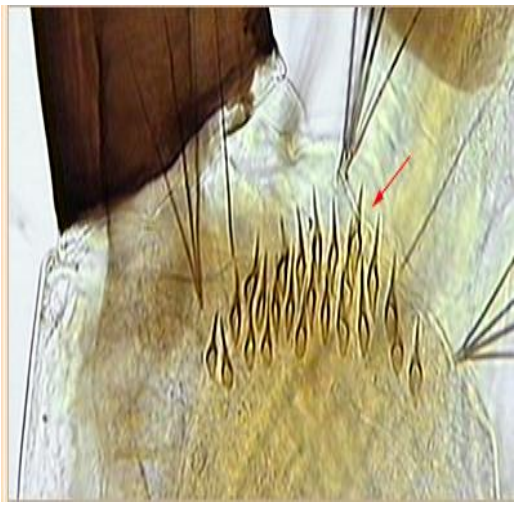
1 - TÊTE : Ornementation du tégument de l'antenne
- Nettement spiculé

2 - ABDOMEN : Disposition des dents formant le peigne du segment VIII
- En désordre

3 - ABDOMEN : Ornementation du bord apicodistal du segment X
- Présence de spicules



Tégument de l'antenne



Dents formant le peigne du segment VIII en désordre



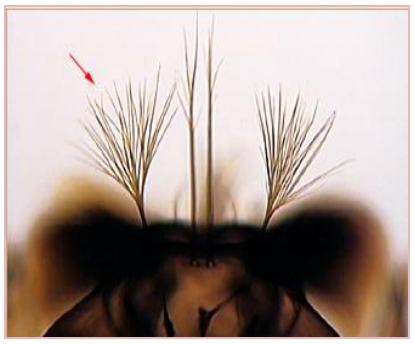
Présence de spicules

**• *Anopheles maculipennis* s.l. [Larve]**

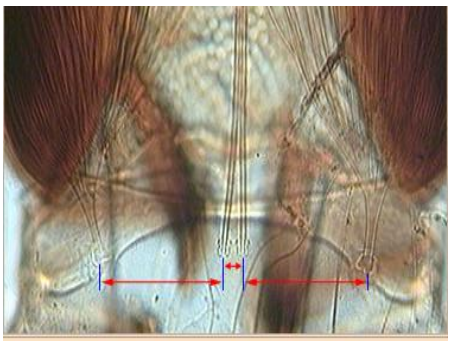
1 - TÊTE : Forme de la soie 3-C
- Ramifiée en buisson

2 - TÊTE : Distance entre les soies clypéales 2-C
- Inférieure à la distance entre 2-C et 3-C

3 - TÊTE : Aspect de la soie 2-C
- Aciculée seulement à l'extrémité



Soie 3-C Ramifiée en buisson



Distance entre les soies clypéales 2-C inférieure à la distance entre 2-C et 3-C



Soie 2-C aciculée seulement à l'extrémité

• ***Anopheles cinereus*** **[Larve]**

1 - TÊTE : Distance entre les soies clypéales 2-C
- Supérieure à la distance entre 2-C et 3-C

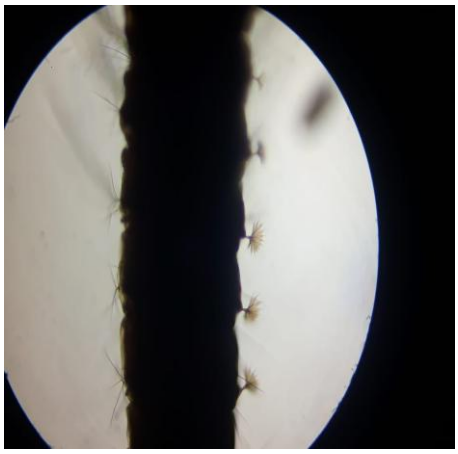
2 - TÊTE : Aspect de la soie 2-C
- Simple et lisse

3 - TÊTE : Forme de la soie 3-C
- Simple et lisse

4 - ABDOMEN : Répartition des soies palmées
- Développées de III à VII



Soies clypéales 2-C et 3C simples et espacées



Soies palmées développées au niveau des segments abdominaux III , IV, V, VI et VII

• ***Anopheles sergentii*** [Larve]

1 - TÊTE : Aspect de la soie 2-C
- Simple et lisse

2 - TÊTE : Niveau d'insertion de la soie antennaire 1-A
- au niveau du tiers basal

3 - ABDOMEN : Répartition des soies palmées
- Développées de I à VII

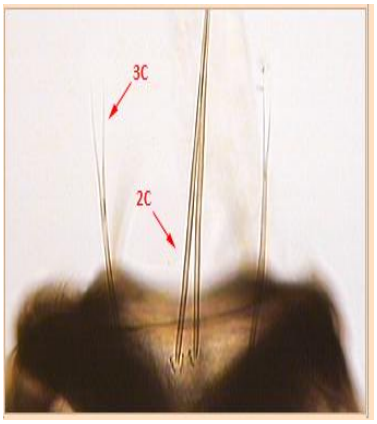
4 - TÊTE : Forme de la soie 3-C
- Aciculée ou fourchue à l'apex



Soies palmées réparties de segment I à VII



Une seule soie antennaire au niveau du tiers basal




Soies clypéales : 2-C simples et et 3-C aciculées ou fourchues à l'apex

**• *Culiseta longiareolata* [Larve] •**

1 - TÊTE : Ornementation du tégument de l'antenne
- Lisse

2 - ABDOMEN : Taille et forme du siphon
- Court et trapu



Antenne non spiculée



Siphon cout et presque conique

**• *Uranotaenia balfouri* [Larve]**

- TÊTE : Aspect des soies céphaliques 5 et 6-C : Épaisses et raides



Soies céphaliques épaisses et raides

**• *Uranotaenia unguiculata* [Larve]**

- TÊTE : Aspect des soies céphaliques 5 et 6-C : Fines et souples



Soies céphaliques fines et souples

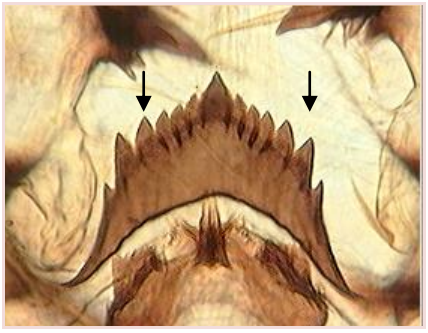
**. *Culex theileri* [Larve]**

1 - TÊTE : Nombre de dents du mentum
- Moins de 8 de part et autre de la dent médiane

2 - ABDOMEN : Forme des écailles du VIII ème segment
- Toutes avec épine médiane

3 - ABDOMEN : Nombre de branches de la soie caudale 1-X
- 1 branche

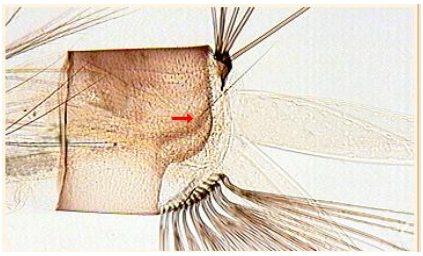
4 - ABDOMEN : Forme de l'épine subapicale 2-S du siphon
- Courte



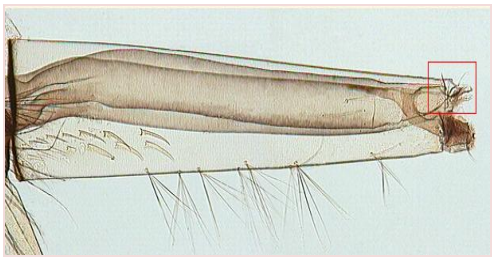
Dents du mentum de moins de 8 de part et autre de la dent médiane



Écailles du VIII ème segment avec épine médiane



Une branche de la soie caudale 1-X



Courte épine subapicale du siphon

**• *Culex pipiens* [Larve]**

1 - TÊTE : Nombre de dents du mentum
- 8 dents ou plus de part et autre de la dent médiane

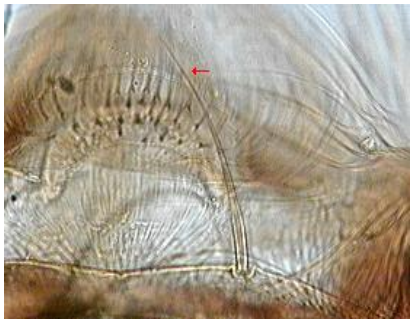
2 - TÊTE : Forme de l'épine préclypéale 1-C
- Mince et effilée à l'apex

3 - ABDOMEN : Nombre de branches de la soie 1a-S du siphon
- 2 à 5 branches

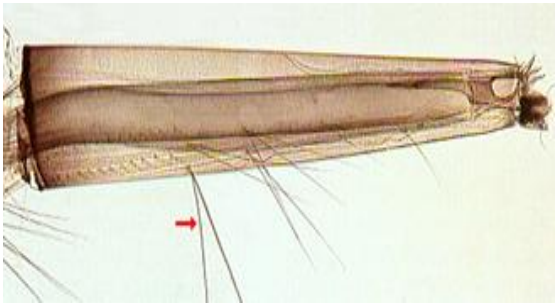
4 - ABDOMEN : Nombre de branches de la soie caudale 1-X
- 1 branche



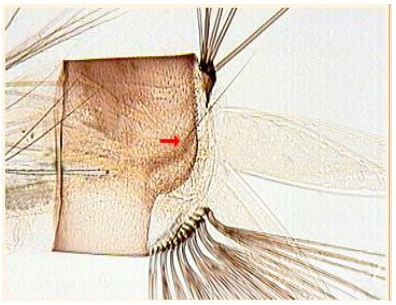
Nombre de dents du mentum est 8 dents ou plus de part et autre de la dent médiane



Épine préclypéale 1-C
mince et effilée à l'apex



Nombre de branches de la soie 1a-S du siphon est entre 2 à 5 branches



Nombre de branches de la soie caudale 1-X
1 branche

• ***Culex hortensis*** **[Larve]**

1 - ABDOMEN : Disposition des soies 1-S du siphon

- Des soies ventrales et latérales

2 - ABDOMEN : Nombre de soies latérales (1-S) du siphon

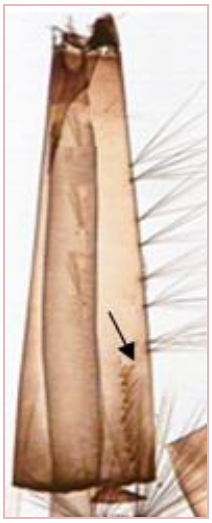
- 3 soies et plus

3 - ABDOMEN : Forme de l'épine subapicale 2-S du siphon

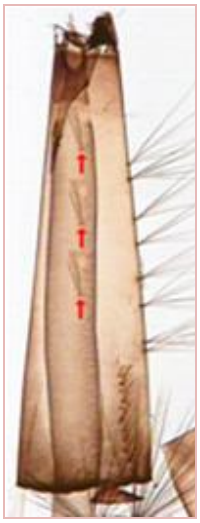
- Longue et crochue

4 - ABDOMEN : Position de la soie 1a-S par rapport à la dent distale du peigne du siphon

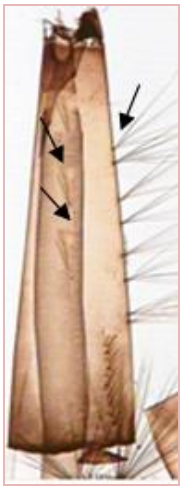
- Au-delà



Soies 1a-S au-delà des dents distale du siphon



3 soies latérales



Soies soies ventrales et latérales du siphon



Épine subapicale 2-S du siphon longue et crochue

• ***Culex perexiguus*** **[Larve]**

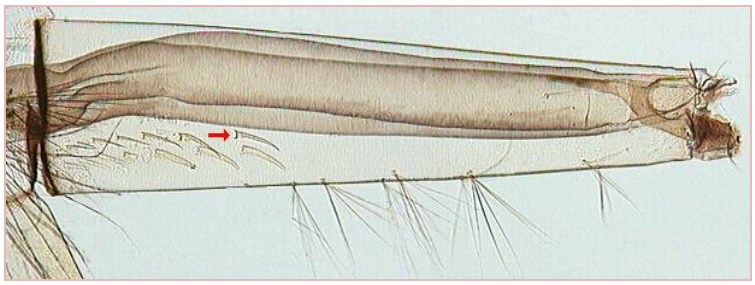
1 - ABDOMEN : Forme générale du siphon
- À bords droits

2 - ABDOMEN : Disposition des soies 1-S du siphon
- Des soies ventrales et latérales

3 - ABDOMEN : Nombre de soies latérales (1-S) du siphon
- » 2 soies

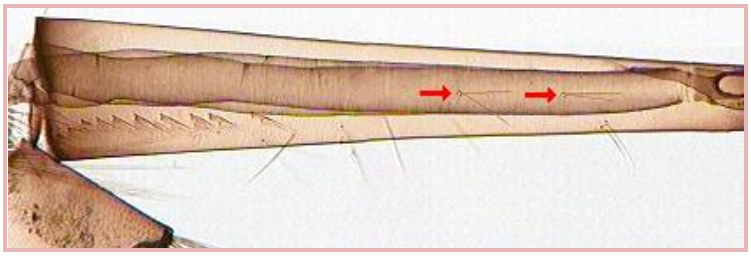
4 - ABDOMEN : Ornementation de la dent distale du peigne siphonal
- De 3 à 5 denticules basaux

5 - ABDOMEN : Forme des écailles du VIII ème segment
- Toutes sans épine médiane





Ornementation de la dent distale du peigne siphonal est de 3 à 5 denticules basaux





Nombre de soies latérales (1-S) du siphon est de 2 soies

Écailles du VIII ème segment sans épine médiane

**ANNEXE 3 :** Formulaire d'enquête auprès de la population estudiantine de la ville de Fès

Ce formulaire est une étude sur la perception, de la population estudiantine de la ville de Fès, sur les vecteurs du paludisme, considérés parmi les maladies à transmission vectorielle. Il vise à recueillir des informations par rapport à vos connaissances vis-à-vis de cette maladie et leurs vecteurs en vue de tirer des résultats scientifiques et mesures préventives à mettre en place pour l'avenir dans le cadre de toute stratégie de lutte et de prévention.

Ce questionnaire est totalement anonyme, il est élaboré dans le cadre de la réalisation d'un Doctorat National.

Votre coopération est hautement sollicitée pour l'enrichissement de cette étude. Vos réponses seront traitées dans les règles d'éthique et de confidentialité.

Section 1 : Profil du participant.

1- Quel est votre âge (ans)?

□ 20-30 □ 30-40 □ 40-50 □ + 50

2- Quel est votre Sexe?

□ Féminin □ Masculin

3-Quel type de baccalauréat possédez-vous ?

□Scientifique □Littéraire □Technique

4-Quel est votre niveau d'étude?

□Licence □Master □Doctorat

Section 2 : Perception vis-à-vis des maladies du paludisme.

1- Connaissez-vous le paludisme?

□ Oui □ Non

2- Le paludisme est une maladie ?

□ Bactérienne □ Virale □ Parasitaire □ Fongique □ Aucune idée

3- A votre avis, par quel moyen ou vecteur peut se transmettre cette maladie?

□ Eau □ Surface □ Moustique □ Contact □ Nourriture □ Sol

□ Air □ Animaux □ Sang □ Aucune idée □ Autre…

4- Parmi les symptômes suivants, quels sont ceux pouvant être rencontrés chez une personne atteinte du paludisme ?

□ Fièvre □ Frisson □ Sueur □ Douleur □ Céphalée

□ Symptomatologie digestive □ Aucune idée □ Autre…

Section 3 : Perception vis-à-vis des vecteurs des maladies: cas du paludisme

1-Pensez-vous qu'un insecte peut vous transmettre une maladie ?

□ Oui □ Non

1- Connaissez-vous que les moustiques sont des vecteurs du paludisme?

□ Oui □ Non

2- Les moustiques responsables de la transmission du paludisme sont :

□*Culex* □*Aedes* □*Anophèles* □Phlébotomes □Aucune idée

3- Quelle est la nourriture des moustiques vecteurs du paludisme ?

□Les végétaux □Le sang □La matière organique □Aucune idée □Autre…

4- Parmi les lieux ci-dessous, quels sont ceux de reproduction des vecteurs du paludisme ?

□Sol □Creux d'arbres □Fumiers □Etables □Eau

□Grottes □Aucune idée □Autre…

5- Quelle est la période d'activité des vecteurs du paludisme ?

□L'été □L'automne □L' hiver □Le printemps □Aucune idée

Section 4: Perception vis-à-vis des moyens de prévention et de lutte contre les vecteurs de transmission du paludisme.

1- Parmi les méthodes ci-dessous, quelles sont celles utilisées pour la lutte contre ces moustiques ?

□Chimique : Utilisation d'insecticides chimiques

□Mécanique : Destruction de biotopes de moustique

□Biologique : Utilisation de prédateurs : poisson, bactéries...

□Génétique

□Aucune idée

2- Quels sont les moyens de lutte contre ces moustiques ?

□Prises anti moustiques □Végétaux/herbes □Répulsifs/sprays

□Hygiène □Port des vêtements longs □Insecticides

□Moustiquaires □Vaccination □Autre…

3- Parmi les moyens de prévention ci-dessous quels sont ceux commodes pour anticiper la propagation de ces maladies au niveau de la population?

□Education □Information □Collaboration intra et intersectorielle

□Vaccination □Communication et sensibilisation

□Recherche scientifique □Autre…

4- Qu'est-ce que vous suggérez en matière d'amélioration de vos connaissances et dans le cadre de la prévention en lien avec les vecteurs de maladies infectieuses ?

……
……

Merci infiniment pour votre collaboration et votre contribution.