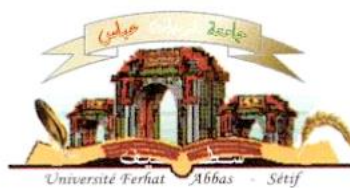


الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة فرحات عباس، سطيف 1  
كلية علوم الطبيعة والحياة

Filière : Sciences biologiques

Département : Biologie et Physiologie Animales

N°...../SNV/2024

## THÈSE

Présentée par

**BOUAOUD Laldja**

Pour l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT 3<sup>ème</sup> CYCLE**

**Spécialité : Parasitologie**

**THÈME**

Etude bioécologique et systématique des Culicidae vecteurs  
dans la région de Sétif et essais de lutte.

Soutenue publiquement le .../.../2024

**Devant le jury :**

Président	Annani Fouzi	M.C.A. Univ Sétif 1.
Directrice	Aissaoui Lynda	Pr. Univ Sétif 1.
Examinatrice	Dahamna Saliha	Pr. Univ Sétif 1.
Examineur	Boudjelida Hamid	Pr. Univ Annaba.
Examinatrice	Benkenana Naima	Pr. Univ Constantine.
Examinatrice	Mouhoubi Djamilia	M.C.A. Univ Sétif 1.

*Laboratoire d'Amélioration et de Développement de la production Végétale et Animale (LADPVA).*

## Résumé

L'étude systématique des moustiques dans le district de Sétif révèle la présence de 12 espèces réparties dans une seule sous-famille, les Culicinae, appartenant à 3 genres : *Culex*, *Culiseta* et *Aedes*. Le genre *Culex* est représenté par 8 espèces. Le genre *Culiseta* comprend 2 espèces, tandis que le genre *Aedes* comprend 2 espèces. De point de vue abondance, *Culex pipiens* et *Culiseta longeariolata* sont les espèces les plus abondantes dans les zones urbaines (48,82 % et 36,19 % respectivement), mais seulement *Culex pipiens* domine dans les zones rurales (69,77 %). Les sites urbains : Kaser El Abtal, Guellal et Ain Trick présentent la plus grande diversité, avec un indice ( $H'$ ) variant entre 0,03 et 0,04 bits. En revanche, le site rural, El Hchichia, se distingue comme le plus diversifié avec une valeur  $H'$  de 1,12 bits par rapport aux autres sites ruraux. Les résultats indiquent que l'abondance des moustiques est directement influencée par les mois ( $p < 0,001$ ). De plus, l'interaction entre le type de milieu de reproduction (urbain ou rural), le pH de l'eau et la température affecte significativement l'abondance des moustiques ( $p = 0,01$ ). En outre, une analyse photochimique de l'huile essentielle de *Mentha spicata* a révélé la présence de 43 composants, les composés prédominants étant le chrysanthénone (33,96 %), le camphre (19,78 %) et le 1,8 cinéole (8,24 %). L'huile essentielle de *Mentha spicata* présente une efficacité larvicide contre les larves L3 de *Culex pipiens* avec des valeurs de CL50 de 63  $\mu$ l, 41  $\mu$ l, et 30  $\mu$ l après 24, 48 et 72 heures respectivement. Elle agit également contre les larves L4 de la même espèce avec des valeurs de CL50 de 73  $\mu$ l, 60  $\mu$ l, et 30  $\mu$ l après 24, 48 et 72 heures respectivement. Ces résultats soulignent le potentiel de *M. spicata* comme agent naturel et efficace pour le contrôle des larves de moustiques *Culex pipiens*. L'effet des concentrations CL50 létales de l'huile essentielle de *M. spicata* sur *Cx. pipiens* provoque une augmentation significative des niveaux de protéines et de glucides ( $p = 0,006$ ), et une diminution significative des niveaux de lipides ( $p = 0,01$ ).

**Mots clés :** Inventaire ; Abondance ; Sétif ; Paramètres environnementaux ; Toxicité ; *Culex pipiens* ; *Mentha spicata*.

## Abstract

The systematic study of mosquitoes in the district of Setif reveals the presence of 12 species distributed within a single subfamily, the Culicinae, which belong to 3 genera. The genus *Culiseta* includes 2 species, while the genus *Aedes* comprises *Aedes caspius* and *Aedes vexans*. Among these, *Culex pipiens* and *Culiseta longeariolata* are the most abundant species in urban areas (48.82% and 36.19%, respectively), whereas *Culex pipiens* dominates in rural zones (69.77%). The urban sites Kaser El Abtal, Guellal, and Ain Trick exhibit the highest diversity, with an index (H') ranging between 0.03 and 0.04 bits. In contrast, a rural site El Hchichia, stands out as the most diverse with an H' value of 1.12 bits compared to other rural sites. The findings indicate that the abundance of mosquitoes is directly influenced by the months ( $p < 0.001$ ). Additionally, the interaction between the type of breeding habitat (urban or rural), water pH, and temperature significantly affects mosquito abundance ( $p = 0.01$ ). Furthermore, a photochemical analysis of *Mentha spicata* essential oil revealed the presence of 43 components, with the following predominant compounds: chrysanthenone (33.96%), camphor (19.78%), and 1.8 cineole (8.24%). The essential oil of *Mentha spicata* shows larvicidal effectiveness against L3 larvae of *Culex pipiens* with LC50 values of 63  $\mu$ l, 41  $\mu$ l, and 30  $\mu$ l after 24, 48, and 72 hours, respectively. It also acts against L4 larvae of the same species with LC50 values of 73  $\mu$ l, 60  $\mu$ l, and 30  $\mu$ l after 24, 48, and 72 hours, respectively. These results highlight the potential of *M. spicata* as a natural and effective agent for controlling *Culex pipiens* mosquito larvae. The effect of lethal LC50 concentrations of *M. spicata* essential oil on *Cx. pipiens* cause a significant increase in protein and carbohydrate levels ( $p=0.006$ ), and a significant decrease in lipid levels ( $p=0.01$ ).

**Keywords:** Inventory; Setif ; Abundance; Environmental parameters; Toxicity; *Culex pipiens* ; *Mentha spicata*.

## ملخص

تكشف الدراسة المنهجية للبعوض في منطقة سطيف عن وجود 12 نوعاً موزعة داخل فصيلة فرعية واحدة Culicinae، والتي تنتمي إلى 3 أجناس: *Culex*، *Culiseta*، و *Aedes*. يضم جنس *Culex* الأنواع التالية: *Culex perexiguus*، *Culex pipiens*، *Culex theileri*، *Culex deserticola*، *Culex laticinctus*، *Culex modestus*، *Culex univittatus*، و *torrentum*. يشمل جنس *Culiseta*: *Culiseta longiareolata* و *Culiseta annulata*. بينما يتكون جنس *Aedes* من *Aedes caspius* و *Aedes vexans*. من بين هؤلاء الأنواع يعد *Culex pipiens* و *Culiseta longiareolata* أكثر الأنواع وفرة في المناطق الحضرية (48.82% و 36.19% على التوالي) في حين تهيمن *Culex pipiens* على المناطق الريفية (69.77%). تُعد المواقع الحضرية Kaser El Abtal، Guellal، و Ain Trick أعلى تنوع، حيث يتراوح مؤشر (H') بين 0.03 و 0.04 bits. في المقابل، يبرز موقع El Hchichia الريفي باعتباره الأكثر تنوعاً بقيمة  $H' = 1.12$  bits مقارنة بالمواقع الريفية الأخرى. تشير النتيجة إلى أن وفرة البعوض تتأثر بشكل مباشر بالأشهر ( $p < 0.001$ ). بالإضافة إلى ذلك، فإن التفاعل بين نوع موقع التكاثر (الحضري أو الريفي)، درجة الحموضة المائية، ودرجة الحرارة يؤثر بشكل كبير على وفرة البعوض ( $p = 0.01$ ). علاوة على ذلك، كشف التحليل الكيميائي الضوئي للزيت العطري *Mentha spicata* عن وجود 43 مكوناً، مع المركبات السائدة نذكر: الكريسانثينون (33.96%)، الكافور (19.78%)، 1.8 سينول (8.24%). يُظهر الزيت العطري *Mentha spicata* فعالية ضد اليرقات *Culex pipiens* L3 مع قيم LC50 تبلغ  $63 \mu\text{l}$ ،  $41 \mu\text{l}$ ،  $30 \mu\text{l}$  بعد 24، 48، و 72 ساعة على التوالي. كما أنه يعمل ضد يرقات L4 من نفس النوع بقيم LC50 تبلغ  $73 \mu\text{l}$ ،  $60 \mu\text{l}$ ،  $30 \mu\text{l}$  بعد 24، 48، و 72 ساعة على التوالي. تسلط هذه النتائج الضوء على إمكانات *M. spicata* كعامل طبيعي وفعال للتحكم في يرقات بعوض *Culex pipiens*. تأثير تركيزات LC50 القاتلة لزيت *M. spicata* العطري على *Cx. pipiens*. تتسبب التراكيز في زيادة كبيرة في مستويات البروتين والكربوهيدرات ( $p = 0.006$ )، وانخفاض كبير في مستويات الدهون ( $p = 0.01$ ).

الكلمات المفتاحية: جرد، وفرة، سطيف، *Culex pipien*، *Mentha spicata*، خصائص البيئية، سمية.

## *Remerciements*

*Je tiens à exprimer mes remerciements et ma profonde gratitude avant tout à Allah le Tout Puissant de m'avoir donné la force, le courage, la santé et la patience pour pouvoir accomplir ce travail.*

*Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Monsieur ANNANI Fouzi, Maitre de conférences au Département de Biologie et Physiologie Animales, Université Setif, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant de présider ce jury.*

*Ma profonde et sincère gratitude et reconnaissance s'adresse à ma directrice de thèse M<sup>me</sup> AISSAOUI Lynda (Professeur, Université Ferhat Abbas, Setif). Pour tout ce qu'elle m'a apporté durant ces années, en mettant à ma disposition ses compétences dans le domaine de la recherche scientifique, je ne saurais le remercier pour sa patience, sa disponibilité permanente et surtout pour ses conseils judicieux, qui ont contribué à alimenter ma réflexion pour mener à bien ce travail.*

*Je suis très reconnaissante envers Monsieur BOUDJELIDA Hamid, Professeur à l'Université Badji Mokhtar-Annaba, qui a bien voulu accepter d'être membre de ce jury et de me faire l'honneur de juger ce modeste travail.*

*J'exprime ma sincère gratitude envers M<sup>me</sup> BENKENANA Naima, Professeur à l'Université Frères Mentouri-Constantine, pour avoir acceptée de juger cette thèse.*

*Mes plus vifs remerciements et toute ma considération à M<sup>me</sup> DAHAMNA Saliha (Professeur à l'Université de Setif 1) qui m'a fait l'honneur pour avoir jugé le présent travail.*

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers Dr. MOUHOUBI Djamila, Maitre de conférences A à l'université Ferhat Abbas-Setif pour sa participation en tant que membre du jury.*

*Je suis profondément reconnaissant envers Dr. BENSBA A Fethi, chef de département Biologie et Physiologie Animales pour leur précieux encouragements ; Votre contribution a été précieuse et je vous en suis profondément reconnaissant.*

## *Liste des Figures*

<b>Figure 1 :</b> Principales caractéristiques morphologiques permettant de différencier les œufs d'Anophelinae des Culicinae.....	<b>6</b>
<b>Figure 2 :</b> Principales caractéristiques morphologiques permettant de différencier les larves d'Anophelinae des Culicinae.....	<b>7</b>
<b>Figure 3 :</b> Morphologie générale de la larve.....	<b>7</b>
<b>Figure 4 :</b> Morphologie de la tête et l'antenne de la larve des Culicinae.....	<b>8</b>
<b>Figure 5 :</b> Morphologie de la tête et l'antenne de la larve des Anophélineae.....	<b>9</b>
<b>Figure 6 :</b> Thorax de la larve des Culicinae et Anophélineae.....	<b>10</b>
<b>Figure 7 :</b> Nymphe d' <i>Anophèle</i> .....	<b>11</b>
<b>Figure 8 :</b> Morphologie générale de l'adulte.....	<b>12</b>
<b>Figure 9 :</b> Tête de l'adulte des Culicinae.....	<b>12</b>
<b>Figure 10 :</b> Cycle de vie de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>15</b>
<b>Figure 11 :</b> Cycle de transmission des principaux arbovirus humains.....	<b>19</b>
<b>Figure 12 :</b> Les sites prospectés dans la région de Sétif.....	<b>26</b>
<b>Figure 13 :</b> Précipitation mensuelle dans la région de Sétif.....	<b>27</b>
<b>Figure 14 :</b> Température moyenne mensuelle dans la région de Sétif.....	<b>28</b>
<b>Figure 15 :</b> Humidité relative moyenne mensuelle dans la région de Sétif.....	<b>29</b>
<b>Figure 16 :</b> Diagramme ombrothermique de la région de Sétif.....	<b>29</b>
<b>Figure 17 :</b> Les gîtes prospectés dans la région de Sétif.....	<b>31</b>
<b>Figure 18 :</b> Mesure des paramètres physico chimique de l'eau des gîtes d'échantillonnage.....	<b>32</b>
<b>Figure 19 :</b> Echantillonnage, montage, et identification des Culicidae.....	<b>34</b>
<b>Figure 20 :</b> Elevages des larves de moustiques au laboratoire.....	<b>37</b>
<b>Figure 21 :</b> Séchage et hydrodistillation de <i>M. spicata</i> .....	<b>39</b>
<b>Figure 22 :</b> Extraction des glucides, lipides et protéine totaux.....	<b>41</b>
<b>Figure 23 :</b> Les étapes du dosage des protéines, lipides, et glucides.....	<b>44</b>
<b>Figure 24 :</b> Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>48</b>
<b>Figure 25 :</b> Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex torrentum</i> .....	<b>49</b>
<b>Figure 26 :</b> Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex theileri</i> .....	<b>50</b>
<b>Figure 27 :</b> Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex modestus</i> .....	<b>51</b>
<b>Figure 28 :</b> Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex laticinctus</i> .....	<b>52</b>
<b>Figure 29 :</b> Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex perexiguus</i> .....	<b>53</b>

<b>Figure 30</b> : Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culex diserticola</i> .....	<b>54</b>
<b>Figure 31</b> : Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culiseta longeariolata</i> .....	<b>55</b>
<b>Figure 32</b> : Caractéristiques morphologiques de la larve de <i>Culiseta annulata</i> .....	<b>56</b>
<b>Figure 33</b> : Caractéristiques morphologiques de la larve d' <i>Aedes caspius</i> .....	<b>57</b>
<b>Figure 34</b> : Caractéristiques morphologiques de la larve d' <i>Aedes vexans</i> .....	<b>58</b>
<b>Figure 35</b> : Histogramme représente la richesse spécifique dans les gîtes urbains et ruraux prospectés dans la région de Sétif.....	<b>59</b>
<b>Figure 36</b> : Abondance relatives de zones urbaines de la région de Sétif durant la période d'étude.....	<b>60</b>
<b>Figure 37</b> : Abondance relatives des zones Rurales de la région de Sétif durant la période d'étude.....	<b>60</b>
<b>Figure 38</b> : Indice de diversité et équitabilité des espèces Culicidiennes récoltées dans les zones urbaines et rurales de la région de Sétif.....	<b>61</b>
<b>Figure 39</b> : Effet de pH et température sur l'abondance relative des Culicidés dans les zones urbaines de la région de Sétif.....	<b>62</b>
<b>Figure 40</b> : Effet de pH et température sur l'abondance relative des Culicidés dans les zones rurales de la région de Sétif.....	<b>63</b>
<b>Figure 41</b> : Phénologie de l'abondance relative des larves de moustique.....	<b>64</b>
<b>Figure 42</b> : Effet des interactions entre les sites (ruraux et urbains) et les paramètres de l'eau (pH et température) sur l'abondance des larves de moustiques.....	<b>65</b>
<b>Figure 43</b> : GC-MS chromatogramme pour l'huile de <i>M. spicata</i> .....	<b>66</b>
<b>Figure 44</b> : Mortalité observée (%) des larves L3 de <i>Culex pipiens</i> après le traitement par les différentes concentrations de l'HE de <i>M. spicata</i> .....	<b>68</b>
<b>Figure 45</b> : Effet de l'HE de <i>M. spicata</i> sur les larves de 3 <sup>ème</sup> stade de <i>Culex pipiens</i> après 24, 48, 72h.....	<b>69</b>
<b>Figure 46</b> : Mortalité observée (%) des larves L4 de <i>Culex pipiens</i> après le traitement par les différentes concentrations de l'HE de <i>M. spicata</i> .....	<b>70</b>
<b>Figure 47</b> : Effet de l'HE de <i>M. spicata</i> sur les larves de 4 <sup>ème</sup> stade de <i>Culex pipiens</i> après 24, 48, 72h.....	<b>71</b>

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau 1 : Liste</b> taxonomique la plus récente des espèces Culicidiennes présentes en Algérie.....	<b>17</b>
<b>Tableau 2 :</b> Caractéristiques naturelles des gites prospectés dans la region de Setif.....	<b>30</b>
<b>Tableau 3 :</b> Réalisation de la gamme d'étalonnage des protéines.....	<b>42</b>
<b>Tableau 4 :</b> Réalisation de la gamme d'étalonnage des lipides.....	<b>43</b>
<b>Tableau 5 :</b> Réalisation de la gamme d'étalonnage des glucides.....	<b>44</b>
<b>Tableau 6 :</b> Les espèces identifiées dans les zones urbaines et rurales de la région de Sétif.....	<b>46</b>
<b>Tableau 7 :</b> Effet du type de site (rural ou urbain) mois (Mars 2021 à Février 2022), pH, la température et de leurs interactions sur les valeurs d'abondance des larves de moustiques.....	<b>65</b>
<b>Tableau 8:</b> Composition chimique de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> .....	<b>67</b>
<b>Tableau 9 :</b> Toxicité de l'HE de <i>M. spicata</i> appliquée sur les larves L3 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>69</b>
<b>Tableau 10 :</b> Toxicité de l'HE de <i>M. spicata</i> appliquée sur les larves L4 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>71</b>
<b>Tableau 11 :</b> Effet de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (CL50 et CL25), sur le contenu en protéine totaux ( $\mu\text{g}/$ individu) chez les larves du quatrième stade (L4) nouvellement exuvies de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>72</b>
<b>Tableau 12 :</b> Effet de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (CL50 et CL25), sur le contenu en lipide totaux ( $\mu\text{g}/$ indivdu) chez les larves du quatrième stade (L4) nouvellement exuvies de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>72</b>
<b>Tableau 13 :</b> Effet de l'huile essentielle de <i>M. spicata</i> (CL50 et CL25), sur le contenu en glucides totaux ( $\mu\text{g}/$ individu) chez les larves du quatrième stade (L4) nouvellement exuvies de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>73</b>



## *Liste des abréviations*

**Cx** : *Culex*

**Cs** : *Culiseta*

**Ae** : *Aedes*

**An** : *Anophèle*

**AR** : Abondance relative

**S** : Richesse totale

**E** : Equitabilité

**CL25** : Concentration létale de 25% de la population

**CL50** : Concentration létale de 50% de la population

**CL90** : Concentration létale de 90% de la population

**mm** : Millimètre

**L3** : Le troisième stade larvaire

**L4** : Le quatrième stade larvaire

**°C** : Degré Celsius

**µl** : Micro litre

**v** : Volume

**trs** : Tours

**min** : Minute

**DO** : Densité Optique

**mg** : Milligramme

**ml** : Millilitre

**HE** : Huile Essentielle

**g** : Gramme

**nm** : Nano mètre

**n** : Nombre

**h** : Heure

**m** : Moyenne

**SD** : Standard Deviation (Ecart type)

**ns** : Non significative

# Sommaire

## I. Résumé

## II. Remerciement

## III. Dédicace

## IV. Liste des figures

## V. Liste des tableaux

## VI. Liste des abréviation

Introduction.....	1
1. Synthèse bibliographique.....	5
1.1. Développement des Culicidae.....	5
1.1.1. Œufs.....	5
1.1.2. Larves.....	6
1.1.2.1. Tête de la larve.....	8
1.1.2.2. Thorax de la larve.....	9
1.1.2.3. Abdomen de la larve.....	10
1.1.3. Nymphe.....	10
1.1.4. Adulte.....	11
1.1.4.1. Tête de l'adulte.....	12
1.1.4.2. Thorax de l'adulte.....	12
1.1.4.3. Abdomen de l'adulte.....	13
1.2. Cycle de vie.....	13
1.2.1. Accouplement.....	13
1.2.2. Oviposition.....	14
1.2.3. Éclosion.....	14
1.2.4. Nymphose.....	14
1.2.5. Émergence.....	15
1.3. Gîtes larvaires.....	16
1.4. Systématique des Culicides.....	16
1.5. Interet médicale et vétérinaire des Culicides.....	18
1.6. Facteurs abiotiques.....	19

---

1.6.1.	Changement climatique.....	19
1.6.2.	Urbanisation.....	20
1.6.3.	Paramètres physico-chimiques.....	20
1.7.	Lutte contre les moustiques.....	21
1.7.1.	Lutte physique.....	21
1.7.2.	Lutte chimique.....	21
1.7.3.	Lutte biologique et utilisation d'extrait botanique.....	22
1.7.4.	Lutte génétique.....	24
2.	Matériel et méthodes.....	25
2.1.	Inventaire des Culicidés .....	25
2.1.1.	Présentation de la région d'étude.....	25
2.1.2.	Données climatiques de la région de Sétif.....	27
2.1.2.1.	La précipitation.....	27
2.1.2.2.	La température.....	28
2.1.2.3.	L'humidité.....	28
2.1.2.4.	Diagramme ombrothermique.....	29
2.1.3.	Choix et description des stations d'étude.....	30
2.1.4.	Analyses physico-chimiques de l'eau des gîtes.....	32
2.1.4.1.	Température.....	32
2.1.4.2.	Potentiel d'hydrogène.....	32
2.1.5.	Echantillonnage et identification des Culicidés.....	33
2.1.5.1.	Echantillonnage des larves.....	33
2.1.5.2.	Le montage des larves du 4 <sup>ème</sup> stade et identification.....	33
2.1.5.3.	Identification des espèces.....	33
2.1.6.	Analyses statistiques des paramètres.....	34
2.1.7.	Indice écologique.....	34
2.1.7.1.	Indices écologiques de composition.....	34
2.1.7.1.1.	Richesse totale.....	34
2.1.7.1.2.	Abondance relative.....	35
2.1.7.2.	Indices écologiques de structure.....	35
2.1.7.2.1.	Diversité spécifique.....	35
2.1.7.2.2.	Equitabilité.....	36
2.2.	Essais de lutte.....	37

2.2.1. Elevage des larves de <i>Culex pipiens</i> .....	37
2.2.2. Echantillonnage et description botanique de <i>Mentha spicata</i> .....	37
2.2.3. L'extraction de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i> par hydrodistillation et rendement.....	38
2.2.4. Analyses CG/ MS-MS.....	39
2.2.5. Bio essais de toxicité.....	39
2.2.6. Extraction et dosage des constituants biochimiques.....	40
2.2.6.1. Dosage des protéines.....	43
2.2.6.2. Dosage des lipides.....	43
2.2.6.3. Dosage des glucides.....	43
2.2.7. Analyses statistiques.....	45
3. Résultat.....	46
3.1. Inventaire des Culicidae.....	46
3.2. Caractéristique morphologique d'identification et bioécologique des espèces inventoriées.....	46
3.2.1. <i>Culex pipiens</i> .....	46
3.2.2. <i>Culex torrentum</i> .....	48
3.2.3. <i>Culex theileri</i> .....	50
3.2.4. <i>Culex modestus</i> .....	50
3.2.5. <i>Culex laticinctus</i> .....	51
3.2.6. <i>Culex perexiguus</i> .....	52
3.2.7. <i>Culex diserticola</i> .....	53
3.2.8. <i>Culiseta longiareolata</i> .....	54
3.2.9. <i>Culiseta annulata</i> .....	55
3.2.10. <i>Aedes caspius</i> .....	56
3.2.11. <i>Aedes vexans</i> .....	58
3.3. Indices écologiques.....	59
3.3.1. Indices écologiques de composition.....	59
3.3.1.1. Richesse totale.....	59
3.3.1.2. Abondance relative.....	59
3.3.1.2.1. Abondance relative dans les zones urbaines.....	59
3.3.1.2.2. Abondance relative dans les zones rurales.....	60
3.3.2. Indice écologique de structure.....	61

3.3.2.1. Indice de diversité de Shanon weaver.....	<b>61</b>
3.3.2.2. Equitabilité.....	<b>61</b>
3.4. Effet de pH et température sur l'abondance relative des Culicidae dans les gites urbains.....	<b>62</b>
3.5. Effet de pH et température sur l'abondance relative des Culicidae dans les gites urbains.....	<b>63</b>
3.6. Effet des paramètres environnementaux sur l'abondance des larves.....	<b>63</b>
3.6.1. Effet des saisons.....	<b>63</b>
3.6.2. Effet de l'interactions entre type de site, pH et la température de l'eau.....	<b>64</b>
3.7. Essais de lutte.....	<b>66</b>
3.7.1. Rendement et composition chimique de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i> .....	<b>66</b>
3.7.2. Activité larvicide.....	<b>68</b>
3.7.2.1. Effet larvicide de l'HE de <i>Mentha spicata</i> sur les larves L3 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>68</b>
3.7.2.2. Toxicité de <i>Mentha spicata</i> sur les larves L3 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>69</b>
3.7.2.3. Effet larvicide de l'HE <i>Mentha spicata</i> sur les larves L4 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>69</b>
3.7.2.4. Toxicité de <i>Mentha spicata</i> sur les larves L4 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>70</b>
3.7.3. Effet de l'HE de <i>Mentha spicata</i> sur la composition biochimique des larves L4 de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>71</b>
3.7.3.1. Contenu en protéine.....	<b>72</b>
3.7.3.2. Contenu en lipides.....	<b>72</b>
3.7.3.3. Contenu en glucides.....	<b>72</b>
<b>4. Discussion .....</b>	<b>74</b>
4.1. Inventaire des Culicidae.....	<b>74</b>
4.1.1. Effet des paramètres environnementaux sur l'abondance des larves.....	<b>76</b>
4.2. Essais de lutte.....	<b>78</b>
4.2.1. Rendement et composition chimique de l'huile essentielle de <i>Mentha spicata</i> .....	<b>78</b>
4.2.2. Toxicité de <i>Mentha spicata</i> à l'égard des larves de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>79</b>
4.3. Effet larvicide de l'HE de <i>Mentha spicata</i> sur la composition biochimique des larves de <i>Culex pipiens</i> .....	<b>80</b>
<b>5. Conclusion et perspectives.....</b>	<b>83</b>

6. Références bibliographique.....	85
7. Annexes.....	108

---

# Introduction

### Introduction

Les Arthropodes sont des variétés de formes et peuvent être trouvés dans tous les environnements (marin, eau douce, terrestre). Le plus grand nombre d'espèces et d'individus dans cet embranchement est de 85 %, dont les trois quarts sont des insectes (**Silvie et al., 2014**). Ils peuvent être responsables de nombreuses maladies causées par de nombreux agents pathogènes mortels tels que les virus, les protozoaires et les helminthes (**Fernandes et al., 2019**). Parmi ces vecteurs, les moustiques (Diptera : Culicidae), un groupe d'insectes hématophages, responsables de la propagation de maladies vétérinaires ou médicales (**Saidi, 2021**) ; comme le paludisme, le virus du Nil occidentale, la dengue et d'autres arbovirus (**Börstler et al., 2016 ; Fernandes et al., 2019**) environ 300 millions de personnes sont infectées par ces maladies chaque année (**Franklinos et al., 2019 ; Nwabor et al., 2019**). Les maladies transmises par les moustiques dites à transmission vectorielle (MTVs), représentent toujours une part importante du fardeau mondial de la morbidité et de la mortalité (estimé à 17 % des maladies infectieuses) et des pertes socio-économiques dans le monde (**OMS, 2020 ; Patricia et al., 2014**). L'expansion géographique des moustiques est associée à une fréquence croissante d'épidémies de MTVs, dans le monde (**Ma et al., 2022**). Les MTVs, ont causé un fardeau élevé des maladies chez les humains, y compris la fièvre dengue, la fièvre chikungunya, la maladie du virus Zika, la fièvre jaune, l'encéphalite japonaise et le paludisme, avec environ 96 millions, 693 mille, 500 mille, 200 mille, 68 mille et 212 millions de cas par an, respectivement (**Franklinos et al., 2019 ; Reno et al., 2020**). De nombreux arbovirus ont été isolés d'espèces de moustiques appartenant aux genres *Culex*, *Aedes* et *Culiseta* (**Pfeffer & Dobler, 2010 ; Ayhan et al., 2022**).

Dans le monde entier, les prochaines décennies seront marquées par des transitions environnementales et climatiques sans précédent (**Guillaume, 2018**), affectant ainsi l'expansion des populations de moustiques (**Arroussi et al., 2021**) attribuée à la rapidité de ces changements, qui ont facilité leur propagation dans des zones auparavant inhabituelles ou inaccessibles (**Kraemer et al., 2019**). À cause de cette prolifération, les futures générations seront confrontées à des pathologies nouvelles qui, auparavant, ne se trouvaient que dans les régions tropicales (**Darriet, 2014**).

L'Algérie, comme de nombreux autres pays, a connu des variations des MTVs au cours des dernières décennies (**Boubidi et al., 2010 ; Lafri et al., 2017**). Les espèces *Anopheles*



*sergentii* et *Anopheles cinereus hispaniola* étaient responsables de la transmission du paludisme (Sinka *et al.*, 2010 ; Snow *et al.*, 2012). De plus, *Aedes albopictus*, une espèce envahissante et potentiellement vectrice du virus Zika, s'est récemment répandue dans la partie Nord du pays (Izri *et al.*, 2011 ; Lafri *et al.*, 2014 ; Benallal *et al.*, 2016 ; Arroussi *et al.*, 2021) ; Les tendances saisonnières du climat ont été associées à la fois à l'abondance des moustiques (Roiz *et al.*, 2010) et à l'apparition des MTVs (Servadio *et al.*, 2018). Grâce à leur plasticité écologique, les moustiques ont pu coloniser presque tous les milieux naturels et s'adapter à un très grand nombre d'habitats (Brunhes *et al.*, 2001). Ils sont présents presque dans tous les milieux où l'eau est nécessaire à leur développement larvaire (Schaffner *et al.*, 2023). La période de développement de l'œuf à l'adulte varie selon les espèces et est fortement influencée par des facteurs environnementaux. La température, l'humidité relative et les précipitations ont un impact sur la prolifération des moustiques (Aissaoui & Boudjelida, 2017). Des caractéristiques telles que la survie, le développement, la longévité des adultes, leur taux et leur fréquence de reproduction, leur alimentation en sang ainsi que les périodes d'incubation sont sensibles à la température pour de nombreuses espèces de moustiques (Schmidt *et al.*, 2018). De plus, Les facteurs physico-chimiques influencent la prolifération et l'abondance des stades larvaires dans les milieux aquatiques. Tels que la température de l'eau et la composition chimique propre à chaque condition locale (El Ouali *et al.*, 2010 ; Benhissen *et al.*, 2018, Paksa *et al.*, 2019), il est essentiel de mettre à jour les connaissances sur les facteurs qui affectent la diversité et les changements d'abondance des espèces de moustiques vecteurs dans des conditions locales spécifiques. L'analyse de la relation entre les espèces culicidiennes et les paramètres physiques et chimiques des sites de reproduction a permis d'identifier les paramètres favorables au développement des espèces de moustiques (Hapugoda *et al.*, 2020). Cela permettra la surveillance, l'évaluation de la prévalence et le risque de leurs maladies associées (Nkumama *et al.*, 2017 ; Medeiros-Sousa *et al.*, 2020). Principalement, les microclimats des logements urbains et ruraux affectent différemment la richesse et l'abondance des moustiques (Flores Ruiz *et al.*, 2022). D'autre part, les activités agricoles et l'urbanisation telles que la culture du riz, l'arrosage et la pisciculture ont entraîné la propagation de diverses espèces de moustiques (Amusan *et al.*, 2005). En raison d'importantes modifications du paysage liées à l'établissement de nouvelles structures urbaines et pour couvrir les besoins fondamentaux de l'homme (alimentation, énergie, eau) (McDonnell & Pickett, 1990). Afin de développer une reconnaissance éco-

épidémiologique à plusieurs niveaux, il est crucial de se baser sur la biologie des moustiques à des échelles variées. Cela permet de comprendre les relations entre les conditions environnementales, les caractéristiques du cycle de vie des moustiques et la propagation des MTVs (**Chandrasegaran et al., 2020**). En plus des caractéristiques écologiques, une lutte efficace contre les moustiques nécessite une bonne connaissance de leurs populations en termes de diversité en espèces (**Li et al., 2019**).

L'homme cherche, depuis longtemps, à lutter contre les moustiques pour s'en débarrasser. Ces insectes, incriminés dans des maladies sérieuses comme le paludisme, est devenu un problème de santé publique (**Zerroug, 2018**). Les moyens mis alors en oeuvre étaient essentiellement des mesures d'aménagement de l'environnement (**Bouchekkif, 2017**). Des efforts pour contrôler les moustiques porteurs de maladies comprennent des mesures de mise en oeuvre telles que les produits synthétiques et larvicides. Toutefois l'efficacité de ces mesures impose une pression de sélection pour la résistance (**Moyes et al., 2017 ; Pichler et al., 2018 ; Tancredi et al., 2020**) ; De plus, les effets indésirables et la toxicité pour les organismes non cibles (**Ramkumar et al., 2015 ; Benelli et al., 2018**). De conséquent, de nouvelles méthodes sont nécessaires pour une lutte efficace comme les inhibiteurs de la synthèse de la chitine (**Rehimi & Soltani, 1999**), les régulateurs de croissances des insectes (IGRs) (**Boudjelida et al., 2005 ; Hamaidia et al., 2018; Hamaidia & Soltani, 2019**), le *Bacillus thuringiensis* (**Aissaoui & Boudjelida, 2014 ; Bouaziz et al., 2023**) ainsi que les insecticides d'origine végétale ( **Aissaoui et al., 2022a ; Aissaoui et al., 2022b ; keffous & Aissaoui, 2023**). Les huiles de la famille des Lamiaceae ont attirés beaucoup d'attention dans le cadre de la recherche des produits naturels pour lutter contre les insectes (**Benayad, 2008**), une recherche bibliographique ainsi que des disponibilités locales, nous a permis de choisir la plante *Mentha spicata* qui est une espèce importante de la famille des Lamiacées. Les huiles essentielles de *Mentha spicata* sont employés dans divers domaines tels que : la médecine traditionnelle, les cosmétiques, la santé publique et l'agriculture. Certains composés actifs de *Mentha* se présentent sous forme commerciale et sont utilisés pour lutter contre les phytopathogènes et les insectes nuisibles antimicrobiens/agents insecticides (**Singh et Pandey, 2018**). Ce travail est réalisé dans le but de contribuer utilement à l'amélioration des connaissances scientifiques sur la faune culicidienne de la région de Setif (Nord-est de l'Algérie) par une étude bioécologique tout en s'appuyant sur des facteurs environnementaux et l'étude de la toxicité de l'huile essentielle de la plante *Mentha spicata* l'égard du moustique

*Culex pipiens*. Le travail est divisé en trois parties ; La première partie s'articule sur l'étude bibliographique des culicidés dans différents types de sites (urbains et ruraux) dans la région de Setif. La deuxième partie sur l'inventaire systématique, suivi spatiotemporel de la distribution saisonnière de la population culicidienne et à explorer si les paramètres physico-chimiques, tels que la température de l'eau et le pH, influence la production générale de larves de moustiques dans les habitats aquatiques urbains et ruraux. Une troisième partie sera consacrée à l'étude toxicologique larvicide de l'huile essentielle de *Mentha spicata* qui comprend les volets :

1. Un screening phytochimique de l'extrait végétal de la plante *M. spicata*.
2. Une étude toxicologique sur des larves du troisième et quatrième stade de l'espèce de moustique domestique *Culex pipiens* et l'estimation des concentrations létales (CL25, CL50 et CL90).
3. Une étude biochimique du corps entier des L4 en considérant le taux des constituants métaboliques (protéines, glucides et lipides).

# Synthèse bibliographique

## **1. Synthèse bibliographique**




### **1.1. Développement des Culicides**

Les moustiques sont des insectes nématocères qui regroupent plus de 3600 espèces (Darriet, 2014). Ils appartiennent à la famille des Culicidae, cette famille comprend deux sous-familles : les Culicinae et les Anophelinae (Duvallet *et al.*, 2017 ; Duvallet & Chabasse, 2020). Les moustiques ont généralement des caractéristiques claires, ce qui facilite l'identification de la famille, mais leur classification en sous-familles, genres et sous-genres est beaucoup plus complexe (Himmi, 2007). Selon Clément (2000), toutes les espèces de moustiques sont des insectes à métamorphose complète ou holométabole c'est-à-dire que la larve ne ressemble pas à l'adulte. Ils ont au cours de leur cycle de vie une première vie aquatique (les stades immatures) puis après la métamorphose une vie aérienne (les adultes).

Les moustiques sont des insectes suivant un cycle de métamorphose complète passant par les stades : œufs, larves, et de nymphe pour enfin aboutir à l'adulte (Carneval & Robert, 2009).

#### **1.1.1. Œufs**


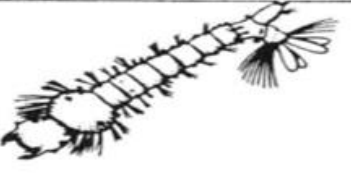

Selon les genres de moustiques, les femelles pondent leurs œufs de différentes manières. Ils sont placés sur le substrat humide ou à la surface de l'eau, que ce soit individuellement (genres *Aedes* et *Anophele*) ou regroupés dans des masses ayant la forme d'une nacelle (genres *Culex*, *Culiseta*, *Uranotaenia*, *Orthopodomyia* et *Mansonia*) (Figure 1). Les deux types flottent grâce à la tension superficielle (*Aedes*, *Culex*) ou au système de "flotteurs" latéraux (*Anopheles*) (Duvallet *et al.*, 2017). Le nombre des œufs pondus peut atteindre 300 selon les espèces (Riperts, 2007). Les œufs sont généralement fusiformes en mesure environ 0.5 mm au moment de la ponte ils sont blanchâtres et prennent rapidement par oxydation de certains composants chimiques de la thèque, une couleur marron ou noire (Aissaoui, 2014).

Anophelinae	Culicinae	
<i>Anophèles</i>	<i>Aedes</i>	<i>Culex</i>
0,5 mm 	0,5 mm 	0,5 mm 

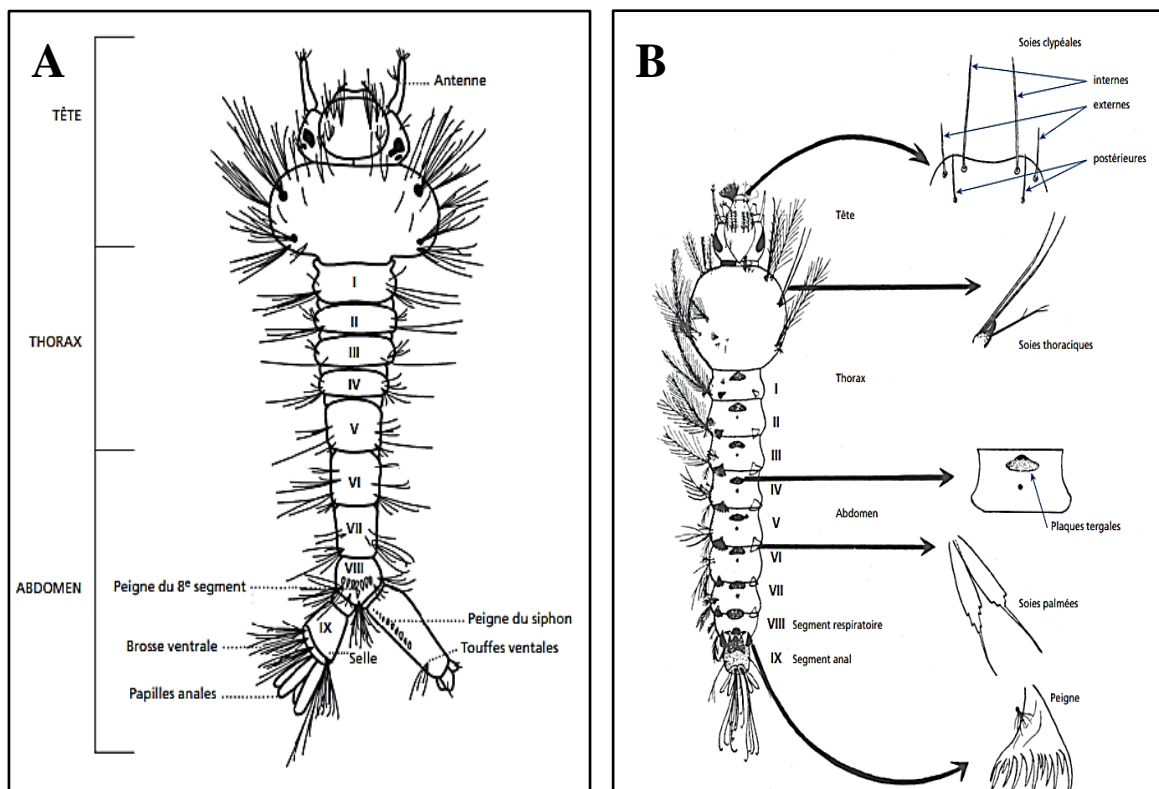
**Figure 1.** Principales caractéristiques morphologiques permettant de différencier les œufs d'Anophelinae des Culicinae (Carnevale & Robert, 2009).

### 1.1.2. Larves

Sont généralement microphage se nourrissant de petites particules dans l'eau. Ont un siphon respiratoire qui leur permet d'accéder à l'oxygène aérien, la durée de développement des quatre stades larvaires dépend de l'espèce, de la température, de l'eau et de la disponibilité des ressources alimentaires (**Duvallet et al., 2017**). Les larves ont un aspect vermiforme, son corps se divise en trois segments : Tête, Thorax trapu dépourvu d'appendices locomoteurs ce qui ne signifie pas qu'elle soit immobile et abdomen souple sa taille varie de 2 à 12 mm en moyenne en fonction des stades et des espèces, son extrémité caudale est munie d'un siphon ou tube respiratoire affleurant à la surface de l'eau, ce tube est munie de 5 clapets qui s'ouvrent sur deux orifices pour que l'air pénètre à l'intérieur quand la larve remonté à la surface de l'eau et se rabattent quand elle gagne les profondeurs (**Kettle, 1995**) (Figure 2). Elles sont mobiles et respirent grâce à leur siphon respiratoire (**Belkhiri, 2022**).

Anophelinae	Culicinae	
<i>Anophèles</i>	<i>Aedes</i>	<i>Culex</i>
		

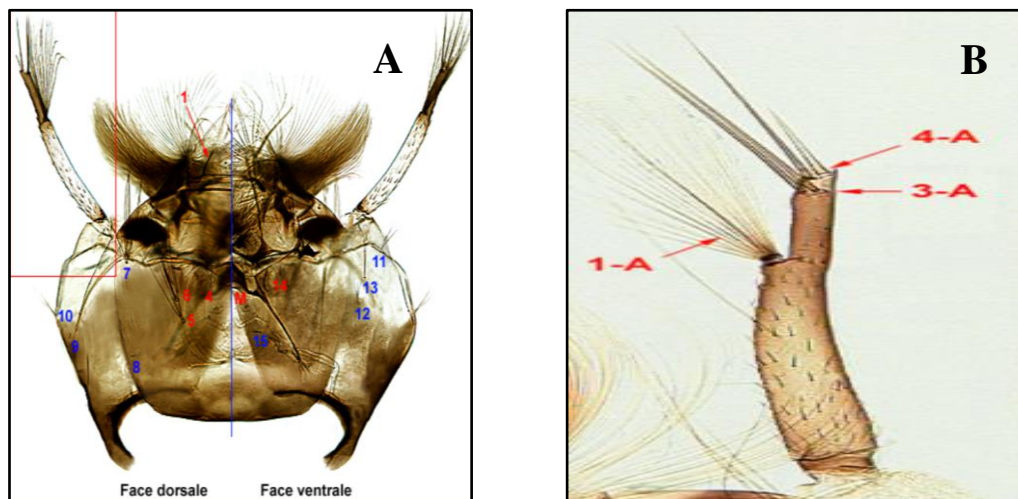
**Figure 2.** Principales caractéristiques morphologiques permettant de différencier les larves d'Anophelinae des Culicinae. (Carnevale & Robert, 2009).



**Figure 3.** Morphologie générale de la larve (Carnevale & Robert, 2009). **A :** Culicinae ; **B :** Anophélineae.

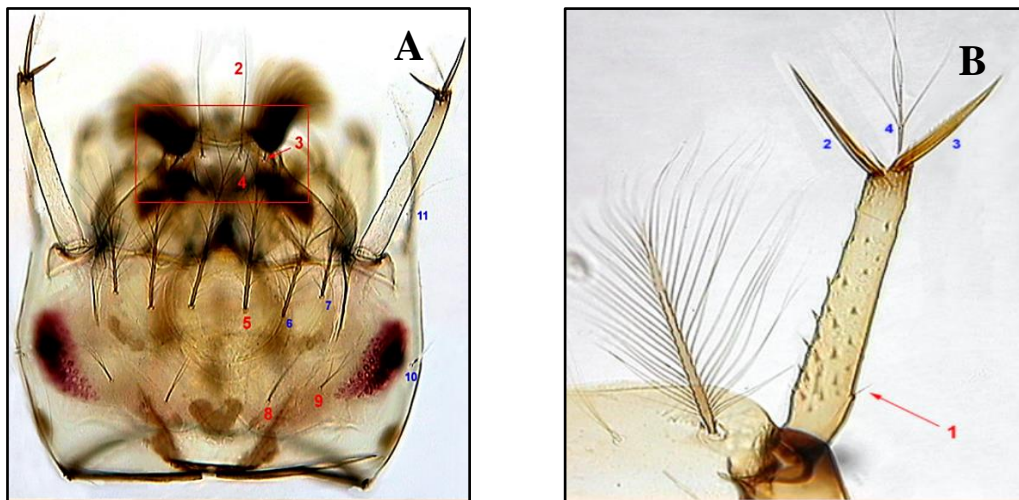
### 1.1.2.1. Tête de la larve

Les larves des Culicidae, ont trois plaques chitinisées sur la tête : l'une est une plaque fronto-clypeus, dorsale, impaire et médiane, les deux autres sont des plaques épïcricraniennes, latérales et symétriques. Les fronto-clypeus et les plaques épïcricraniennes sont unis par les sutures épïcricraniennes, de l'extrémité antérolatérale de ces sutures se détachent les antennes (**Chahed, 2022**) (Figure 4,5). La longueur des antennes et le nombre de soies antennaires se diffèrent selon les genres (Figure 4,5). En position ventrale, la tête est équipée de deux antennes, de deux gros yeux composés et d'une paire de brosses buccales qui permettent de générer un courant d'eau qui transporte les particules alimentaires vers le mentum. Elle comporte aussi de nombreuses soies qui peuvent être utilisées pour identifier les espèces, telles que les soies préclypéales internes et externes (**Carnevale & Robert, 2009**).



**Figure 4.** Morphologie générale de la tête et l'antenne des larves des Culicinae  
**A :** Tête. 1-c : épine clypéale 4-c : Soie clypéale postérieure 5-c : soie frontale interne 6-c : soie frontale externe 14-c : soie postmaxillaire M : mentum 1-A : Touffe 3-A : Soie subapicale externe. **B :** Antenne. 4-A : Soie apicale (Brunhes et al., 1999).



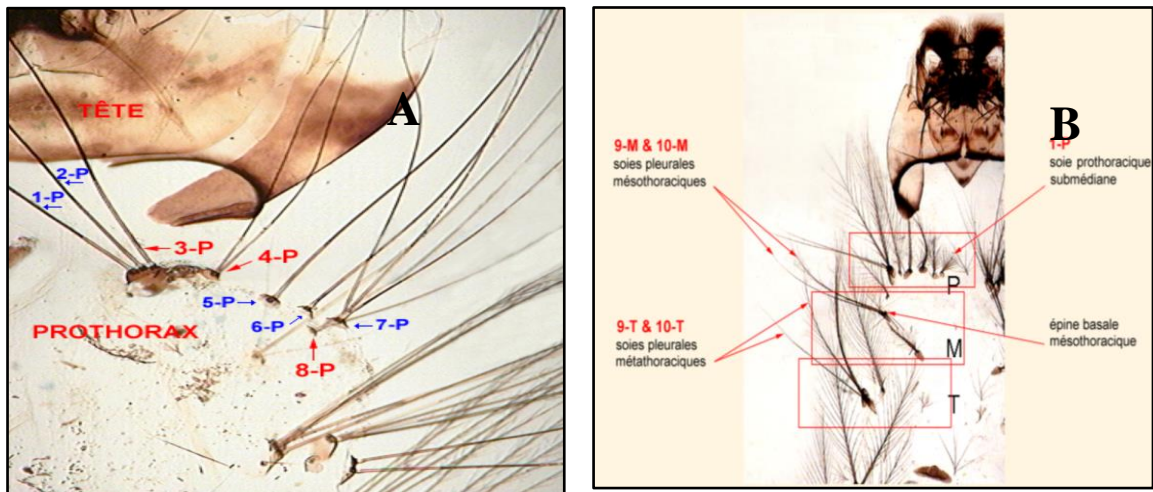


**Figure 5.** Morphologie générale de la tête et l'antenne de la larve des Anophelinae.

**A :** Tête. 2-c : Épine clypéale interne 3-c : Soie clypéale externe 4-c : Soie clypéale postérieure 5-c : Soie frontale interne 8-c : Soie suturale interne 9-c : Soie suturale externe. **B :** Antenne. 1-A : Touffe 3-A : Soie subapicale externe. 4-A : Soie apicale (Brunhes et al., 1999).

#### 1.1.2.2. Thorax de la larve

Le thorax n'est pas segmenté chez les larves des Culicidae, mais il est composé de trois segments coalescents (pro, méso et métathorax) (Figure 6) (Rioux, 1958), chaque individu porte plusieurs soies, dont la forme et la taille varient en fonction de leur implantation (les soies ventrales diffèrent des dorsales) et en fonction des espèces (Figure 3). Selon **Carnevale et Robert (2009)**, ces soies ont été numérotées (chétotaxie) et peuvent être utilisées pour une diagnose spécifique.



**Figure 6.** Thorax de la larve des Culicinae et Anophelinae

3-p : soie prothoracique submédiane 4-P : soie prothoracique latérale 8-P : soie ventrale des séries latérales (Brunhes et al., 1999). **A** : Culicinae ; **B** : Anophelinae.

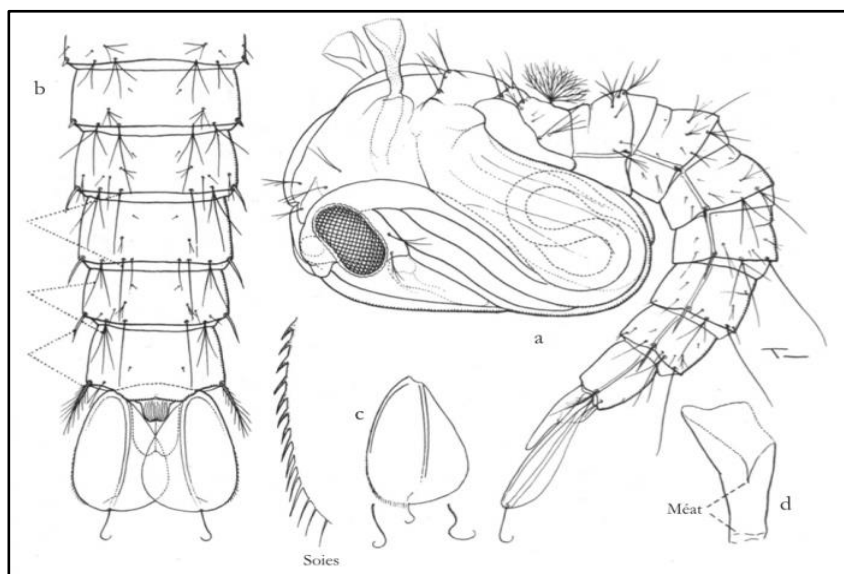
### 1.1.2.3. Abdomen de la larve

L'abdomen des larves des Culicidae est allongé et subcylindrique, il se compose de 9 segments (**Berchi, 2000a**), avec des ornements variés pour chaque segment. Les 7 premiers segments sont morphologiquement comparables, mais le 8<sup>ème</sup> et le 9<sup>ème</sup> segment sont très différents. Les peignes sont insérés sur le 8<sup>ème</sup> segment, avec un nombre variable d'épines de différentes formes : lisses, denticulées (**Rioux, 1958**), dont la forme peut être utilisée de manière systématique. Le 9<sup>ème</sup> segment n'est pas dans le prolongement du corps, c'est le segment anal. Il comporte une selle (plaque sclérifiée), plus au moins importante selon les espèces. De nombreuses sont utilisées en systématique, dont l'une est modifiée pour former une brosse ventrale, qui permet le déplacement de la larve. De plus, il possède deux paires de papilles anales qui entourent l'anus et qui contribuent à l'équilibre osmotique. Selon **Carnevale et Robert (2009)**, le siphon respiratoire est formé d'épines réunies sous forme d'un peigne du siphon et de soies, dont la forme et la position sont utilisées pour la classification systématique.

### 1.1.3. Nymphe

Les nymphes de Culicinae ressemblent aux nymphes d'*Anophèles*. Les trompettes respiratoires sont en général moins évasées et plus longues chez les Culicinae (**Brunhes et al., 2001**). La soie latérale du segment 8 est positionnée à l'angle inférieur du segment chez les

Anophèles, alors qu'elle est reportée au-dessus de l'angle inférieur chez les Culicinae. Les nymphes présentent une tête et un thorax globuleux (**Berchi, 2000**) (Figure 7). En ce qui concerne le sexe, **Carnevale et Robert (2009)** ont confirmé qu'il existe un dimorphisme sexuel évident. Les nymphes mâles sont plus petites que les femelles et se développent rapidement, tandis que les génitalia du futur appareil génital sont visibles ventralement entre les palettes natatoires. Les nymphes sont aquatiques et ne se nourrissent pas. Elles obtiennent l'oxygène de l'air à l'aide de leurs trompettes respiratoires.



**Figure 7.** a : Nymphe d'*Anopheles*, b: extrémité abdominale, c: palette natatoire, et d: trompette respiratoire. (Gillies & De meillon, 1968).

#### **1.1.4. Adulte**

Au stade adulte, leur taille varie selon les genres et espèces de 3 à 40 mm mais elle ne dépasse que très rarement les 10 mm. Les moustiques possèdent, comme tous les Diptères, une seule paire d'ailes membraneuses, longues et étroites, repliées horizontalement au repos (**Rioux, 1958**). Les Culicidae possèdent un corps mince et des pattes longues et fines ; il y a trois parties distinctes au corps : la tête, le thorax et l'abdomen (Figure 8). Les moustiques adultes ont une tête dotée d'une paire d'antennes et d'un appareil masticateur composé de mandibules et de dents. Le thorax est plus important que la tête et se compose de trois parties : le prothorax, le mésothorax et le métathorax. L'abdomen, situé à l'arrière, peut comporter un siphon respiratoire selon l'espèce (**Nadji, 2011**).

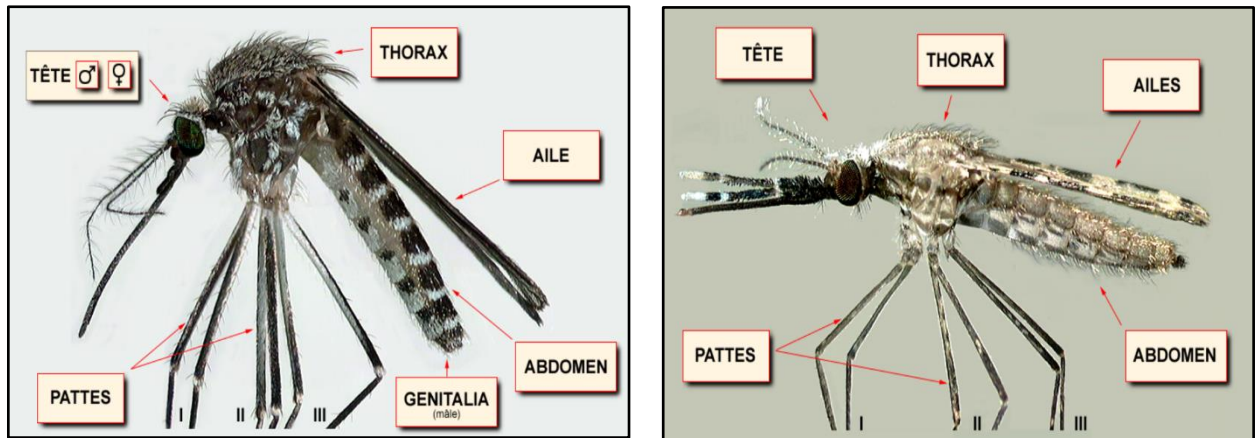


Figure 8. Morphologie générale de l'adulte. **A** : Culicinae ; **B** : Anophelinae (Brunhes et al., 1999).

#### 1.1.4.1. Tête de l'adulte

De forme générale globuleuse, elle porte deux yeux à facettes, volumineux et presque jointifs, souvent de couleur bleue ou verte métallique ; une paire d'antennes à quinze segments, plumeuses chez le mâle (Figure 9A), presque glabre chez la femelle (Figure 9B). Elle porte aussi des appendices buccaux de type piqueur-suceur (**Chahed, 2022**). Les Anophèles ont des antennes longues et fines, tandis que les culicinés ont des antennes plus courtes. Les femelles d'Anophèles ont des palpes aussi longs que leur trompe, alors que les femelles des culicinés ont des palpes nettement plus courts que leur trompe (**Nadji, 2011**) (Figure 11).

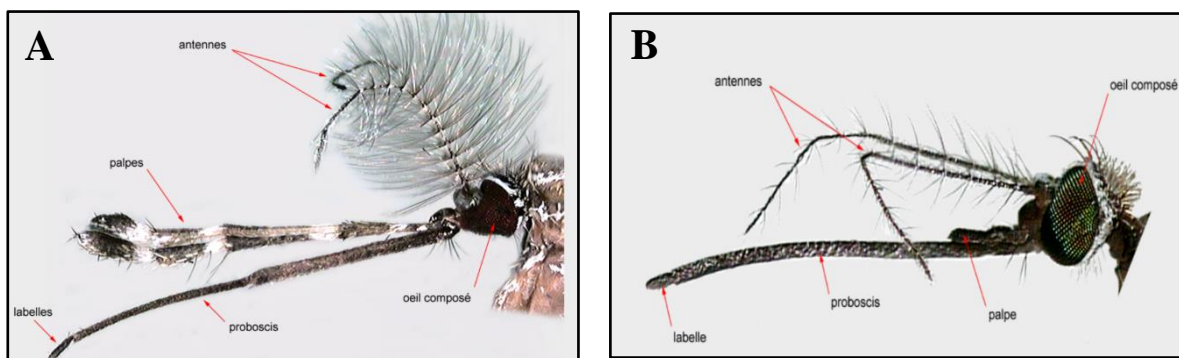


Figure 9. Tête de l'adulte des Culicinae. **A**. Mâle ; **B**. Femelle (Brunhes et al., 1999).

#### 1.1.4.2. Thorax de l'adulte

Résulte de la fusion de trois segments rigides : le prothorax, le mésothorax et le métathorax (**Rioux, 1958**). Il est recouvert de poils allongés, le second segment, qui est le plus développé,

porte une paire d'ailes recouvertes de nombreuses écailles, et dont la nervation est assez simple ; sur ces anneaux, on observe également une paire de cuillerons, petites écailles membraneuses, épaisses sur les bords, que l'on considère comme des dépendances des ailes (Becker et al., 2010). Le troisième segment, très obscur, n'a pas d'ailes, mais il est équipé d'un réseau nerveux dense, paraît avoir un rôle sensoriel. Il est essentiel pour le vol : l'ablation d'un seul balancier rend celui-ci impossible (Nadji, 2011) (Figure 8).

### 1.1.4.3. Abdomen de l'adulte

Il est allongé et beaucoup plus étroit que le thorax. Sa face dorsale est uniformément sombre ou décorée de bandes ou de triangles pâles (Senevet & Andarelli, 1960) (Figure 8). L'abdomen se compose de dix segments dont huit seulement sont visibles extérieurement (Rioux, 1958). Il est mince et allongé, le huitième et le neuvième segment formant le génitalia (hypopygium) assurant les fonctions sexuelles. Les tergites et les sternites abdominaux sont ornés d'écailles constituant des caractères spécifiques, surtout chez la femelle. L'hypopygium mâle est du type circum-versum et comporte dorsalement une paire de forcipules, crochets volumineux constitués de trois segments. Un segment volumineux dit coxite, un segment distal, allongé et mince, dit style enfin un troisième segment en forme de griffe, surmonte le style. Hypopygium femelle a une morphologie relativement simple et possède un rôle taxonomique dans la distinction des genres (Himmi et al., 1995).

## 1.2. Cycle de vie

Chez les Culicinae comme chez les Anophelinae, le cycle de vie comporte une phase aquatique dite pré imaginaire (stade œuf, larve, nymphe) et une phase aérienne dite imaginaire (stade adulte), ces deux phases se divisent en 5 étapes : L'accouplement, l'oviposition, l'éclosion, la nymphose, l'émergence (Duvallet et al., 2017) (Figure 10).

### 1.2.1. Accouplement

Même si les femelles de moustiques peuvent s'accoupler avec plusieurs mâles, elles sont le plus souvent inséminées par un seul d'entre eux. Elles stockent les spermatozoïdes dans leurs spermathèques pour leur vie (3 spermathèques chez la plupart des Culicinae, mais certains *Mansonia* en ont deux et les *Uranotoenia* et *Aedeomyia* une seule) (Duvallet et al., 2017). Elles nécessitent du sang pour extraire les protéines indispensables à la maturation de leurs



œufs. La fécondation des œufs s'effectue lors de la ponte grâce au stockage du sperme des mâles par la femelle dans une spermathèque (Clements 1999).

### 1.2.2. Oviposition

Après une ovogénèse d'environ 3 jours (durée variable selon les espèces et la température) les femelles pondent de 40 à 80 œufs par ponte. Cette ponte est soit unique dans un seul gîte aquatique. Par exemple pour les *Culex* dont la ponte forme un radeau, soit fractionné comme pour les *Aedes*. La morphologie des œufs varie d'une espèce à l'autre, leur biologie est également très variable (Duvallet et al., 2017).

### 1.2.3. Éclosion

Quelle que soit l'espèce de moustique, l'œuf doit se trouver dans des conditions idéales pour pouvoir éclore généralement en 48 heures. Une diminution de la température ou du taux d'humidité peut entraîner des délais d'éclosion. Ainsi, l'éclosion des œufs d'*Aedes albopictus* sont capables de rentrer en diapause le temps que les conditions soient de nouveau favorables (Bonizzoni et al., 2013). Les larves se déplacent par mouvements saccadés à la surface de l'eau ou au fond de l'habitat larvaire ; elles se nourrissent de micro-organismes, d'algues, de protozoaires, d'invertébrés et de détritiques (Clément, 2000 ; Becker et al., 2010). Parmi les stades aquatiques, seules les larves se nourrissent. Elles sont voraces, parce qu'elles ont besoin d'une alimentation abondante pour se développer. Les larves ont une croissance discontinue et subissent 4 mues. La dernière donne une nymphe (Clément, 1999).

### 1.2.4. Nymphose

Lorsqu'elle a terminé sa croissance, la larve devient moins active et se transforme en nymphe ou puppe, celle-ci beaucoup plus trapue que la larve a la forme d'une virgule, la nymphe est active mais elle arrive de rester immobile juste sous la surface de l'eau, absorbant l'air par ses tubes respiratoires (Pihan, 1986). La nymphe vit 2-3 jours dans l'eau le temps que s'opèrent de profondes modifications anatomiques puis elle entame sa mutation en s'immobilisant à la surface de l'eau. La métamorphose s'accomplit en 1-2 jours si la température est suffisamment élevée (Belkhiri, 2022).

### 1.2.5. Émergence

Selon Bussieras et **Chermette (1991)** et **Kettle (1995)**, quand l'adulte est complètement formé dans son enveloppe nymphale, l'insecte reste en surface et commence à respirer, le tégument se dessèche au contact de l'air et il se forme une déchirure en T sur sa face dorsale sous l'effet de l'augmentation de la pression interne. L'imago se dégage progressivement en se gonflant d'air pour s'envoler après un temps nécessaire au dépliement des ailes et des pattes (par augmentation de la pression de l'hémolymphe).

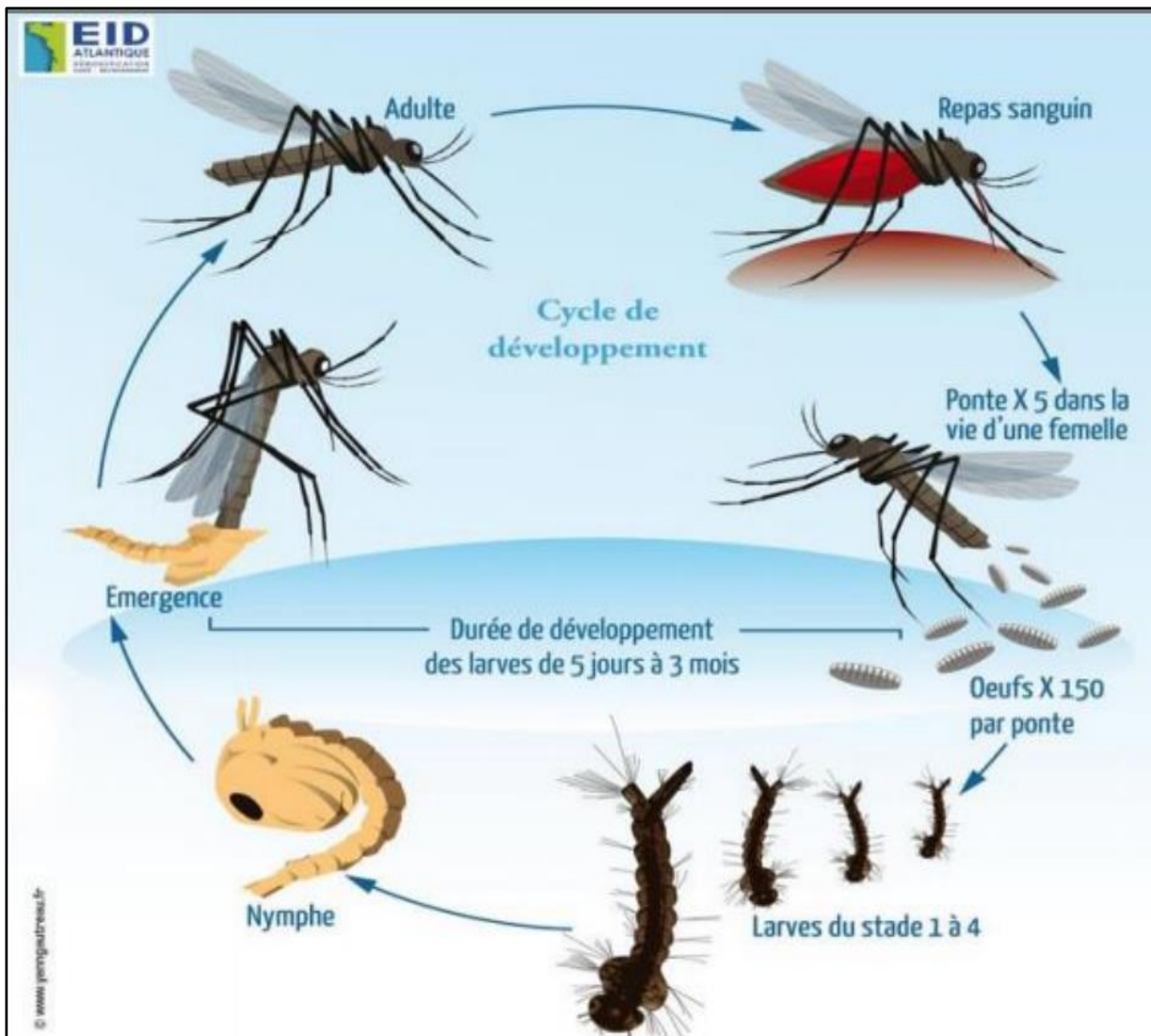


Figure10. Cycle de vie de *Culex pipiens* (Beaudrouet, 2018).

### **1.3. Gîtes larvaires**

Il existe une grande diversité de gîtes larvaires favorables au développement des moustiques. Certaines espèces pondent leurs œufs dans des eaux douces permanentes telles que les lacs et les étangs, tandis que d'autres pondent leurs œufs dans l'eau stagnante qui s'est accumulée dans les seaux remplis d'eau de pluie, les pneus de voiture ou les piscines. La neige est aussi un gîte propice à la ponte des moustiques qui vivent dans les régions arctiques, les œufs éclosent à sa fonte (**Lew, 2010**). Les *Anophèles* demeurent plus ruraux (**Darriet, 2014**), Ils peuvent se développer dans les eaux saumâtres ou douces, dans les endroits ensoleillés, dans les forêts ombragées, dans les gîtes sans ou avec une végétation dressée ou avec des algues filamenteuses vertes. La plupart du temps, elles se développent dans des eaux relativement propres, contrairement aux larves de *Culex* qui peuvent se développer dans des eaux souillées de substances organiques. Elles sont donc fréquentes dans les zones urbaines où l'hygiène n'est pas garantie (**Carnevale & Robert, 2009**). Les *Culex* urbains tels *Culex pipiens pipiens* affectionnent les eaux polluées des puisards, des latrines et des caniveaux. Les *Aedes* sont des moustiques urbains, ils se reproduisent dans des gîtes de petite à moyenne taille, qui renferment des eaux claires à l'intérieur des villes (**Darriet, 2014**), comme les récipients naturels (creux d'arbres) ou artificiels (récipient, pneus, bouche d'égout) (**Schaffner et al., 2020**). Selon Duvallet et de **Gentile (2012)**, *Ae. albopictus* se développe dans les environs et à l'intérieur des habitations. Elle apprécie les petits gîtes où l'eau est calme, tels que les trous des pierres, les pneus anciens, les vases, les gouttières et les récipients abandonnés (**Bouree et al., 2015**). Les jarres, les fûts, les citernes de stockage des eaux, les dessous des pots de fleurs, les boîtes de conserves et les canettes vides, etc., sont également ses préférés. L'origine de tous ces sites "hors sol" est la même : ils sont des résultats de l'activité humaine (**Darriet, 2019**). En général, certains gîtes sont plus attractifs que d'autres en raison de facteurs liés à la qualité de l'eau (**Darriet, 2014**).

### **1.4. Systématique des Culicidés**

Au cours des vingt dernières années, de nombreux travaux ont été menés sur la faune culicidienne en Algérie, en particulier sur la systématique. Les résultats obtenus à partir d'une synthèse des données faunistiques et taxonomiques et les observations montrent que 61 espèces sont connues en Algérie (**Robert et al., 2019**). D'une région à une autre, la diversité de cette faune varie qualitativement et quantitativement ; Le recensement de 61 espèces, ces



espèces sont réparties en deux sous-familles : les Culicinae et les Anophelinae. La sous-famille des Culicinae est représentée par un grand nombre d'espèces. *Cx. pipiens* est l'espèce la plus abondante (84,04 %) en Algérie et en Afrique du Nord (Senevet & Andarelli, 1960). Cette espèce montre une plasticité au niveau du gîte prospecté. Le tableau dessous résume les travaux les plus récents dans l'inventaire des culicidae selon l'étage climatique (Tableau 1).

**Tableau 1** : Liste taxonomique la plus récente des espèces culicidiennes présentes en Algérie.

Etage climatique	Régions étudiés	Auteur et Année	Culicidés inventoriés	
			Genre	Espèce
Humide	Annaba	Arroussi et al. (2021)	<i>Culex</i>	<i>Cx. pipiens</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. modestus</i>
			<i>Culiseta</i>	<i>Cs. longiareolata</i>
			<i>Aedes</i>	<i>Ae. aegypti</i> , <i>Ae. albopictus</i>
			<i>Anopheles</i>	<i>An. labranchiae</i> , <i>An. claviger</i> ,
Sub-humide	Tizi Ouzou	Chahed et al. (2022)	<i>Culex</i>	<i>Cx. pipiens s.l.</i> , <i>Cx. impudicus</i> , <i>Cx. territans</i> , <i>Cx. perexiguus</i> , <i>Cx. hortensis</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. laticinctus</i> , <i>Cx. mimeticus</i> ,
			<i>Culiseta</i>	<i>Cs. longiareolata</i> .
			<i>Aedes</i>	<i>Ur. unguiculata</i> , <i>Ae. berlandi</i> , <i>Cq. richiardii</i> .
			<i>Anopheles</i>	<i>An. maculipennis s.l.</i> , <i>An. Claviger</i>
Semi aride	M'sila	Asloum, (2021)	<i>Culex</i>	<i>Cx. pipiens.</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. brumpti.</i> , <i>Cx. deserticola.</i> , <i>Cx. hortensis.</i> , <i>Cx. impudicus</i> , <i>Cx. laticinctus</i> , <i>Cx. martinii.</i> , <i>Cx. modestus.</i> , <i>Cx. perexiguus.</i>
			<i>Culiseta</i>	<i>Cs. longiareolata</i>
			<i>Anopheles</i>	<i>An. cinereus</i> , <i>An. multicolor</i> , <i>An. sergentii</i>
	Souk Ahras	Hamaidia & Berchi (2018)	<i>Culiseta</i>	<i>Cs. longiareolata</i> , <i>Cs. subochrea</i> , <i>Cs. annulata</i> ,
			<i>Culex</i>	<i>Cx. pipiens</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. laticinctus</i> , <i>Cx. Antennatus</i> , <i>Cx. hortensis</i> , <i>Cx. perexiguus</i> , <i>Cx. mimeticus</i> , <i>Cx. impudicus</i>
			<i>Anopheles</i>	<i>An. labranchiae</i> , <i>An. petragnanii</i> , <i>An. rufipes broussesi</i>
	Sétif	Nabti & Bounechada (2019)	<i>Culex</i>	<i>Cx. simpsoni</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. pipiens</i> , <i>Cx. hortensis</i>
			<i>Culiseta</i>	<i>Cs. longiareolata</i>
			<i>Aedes</i>	<i>Ae. caspius</i>
			<i>Anopheles</i>	<i>An. labranchiae</i> , <i>An. cinereus Hispaniola</i>
	Batna	Belkhiri (2022)	<i>Culex</i>	<i>Cx. Pipiens</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. Hortensis</i> , <i>cx. diserticola</i> .
			<i>Culiseta</i>	<i>Cs. longiareolata</i> <i>Cs. Subochrea</i>
<i>Aedes</i>			<i>Ae. Caspius</i> ,	
<i>Anopheles</i>			<i>An. Labranchiae</i> , <i>An. cinereus Hispaniola</i>	

Aride	Biskra	Merabeti et al. (2021)	Culex	<i>Cx. pipiens</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. hortensis</i> , <i>Cx. modestus</i> , <i>Cx. laticinctus</i> , <i>Cx. torentium</i> .
			Culiseta	<i>Cs. longiareolata</i> , <i>Cs. annulata</i> , <i>Cs. subochrea</i> , <i>Cs. ochroptera</i> , <i>Cs. sp</i>
			Aedes	<i>Ae. caspius</i> , <i>Ae. annulipes</i> , <i>Ae. vexans</i> , <i>Ae. dorsalis</i> , <i>Ae. sp1</i> , <i>Ae. sp2</i>
			Anophèle	<i>An. multicolor</i> , <i>An. sergentii</i> , <i>An. sp</i>
			Uranautenia	<i>Ur. uranautaenea</i>
			Orthopodomya	<i>Orth. pulcirtarsis</i>
Saharien	Laghouat	Alayat et al. (2023)	Culex	<i>Cx. pipiens</i> , <i>Cx. antennatus</i> , <i>Cx. deserticola</i> , <i>Cx. hortensis</i> , <i>maderensis</i> , <i>Cx. brumpti</i> , <i>Cx. theileri</i> , <i>Cx. laticinctus</i>
			Culiseta	<i>Cs. annulata.</i> , <i>Cs. longiareolata</i>
			Aedes	<i>Ae. vexans</i>
			Anopheles	<i>An. labbranchiae.</i> , <i>An. sergentii.</i> , <i>An. dthali.</i> , <i>An. cinereus.</i> , <i>An. multicolour.</i>

### 1.5. Intérêt médicale et vétérinaire des culicidae

Les Culicidae sont des vecteurs de plusieurs maladies (Protozoaires ; Microfilaires & Arbovirus), qu'ils propagent à la fois aux humains et aux animaux domestiques (**Lavaud & Dutau, 2020**). La majorité des arbovirus circulent originellement dans un cycle enzootique faisant intervenir des animaux sauvages, l'Homme et les animaux domestiques n'étant que des hôtes accidentels (**Duvallet et al., 2017**). Trois genres sont particulièrement cruciales pour les infections humaines : *Anopheles*, *Aedes* et *Culex* (**Duvallet & Chabasse, 2020**). Un grand nombre d'arbovirus est transmis dans les conditions naturelles par les espèces : *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, *Culex pipiens*. Ces arbovirus n'ont pas tous la même importance médicale et circulent pour la plupart chez des animaux. Cependant une faible proportion est susceptible d'affecter l'homme, dont la fièvre jaune, la dengue, le Zika, le chikungunya, le virus West Nile, la fièvre de la vallée du rift, Pour l'ensemble de ces maladies, des différences considérables sont observées concernant la distribution géographique, le degré d'endémicité et l'épidémiologie. En dehors des populations humaines, les moustiques assurent également la transmission de nombreux agents infectieux parasitaires et viraux parmi les populations de mammifères, d'oiseaux, de reptiles et d'amphibiens (**Rodhain & Perez, 1985**).

Le paludisme, causé par un parasite du genre *Plasmodium*, est principalement transmis par les moustiques du genre *Anophele*. De nombreux parasites responsables de filarioses ont pour vecteurs des moustiques. C'est le cas de la filaire de Bancroft (*Wuchereria bancrofti*), dont

les vecteurs principaux figurent parmi les moustiques des genres *Culex* et *Anophèles* (Appawu *et al.*, 2001 ; Vythilingam *et al.*, 2005).

Les espèces : *Ochleroratus spp*, *Psorophora spp*, *Culex spp*, *Culiseta spp*, *Aedes spp* sont des vecteurs responsables de la transmission des maladies infectieuses tel que : Virus West Nile, Encéphalite japonaise, Encéphalite de saint-louis, Encéphalite de Murray Valley, Fièvre de la vallée de rift. L'homme se contamine après l'amplification des agents pathogènes chez les animaux domestiques (Duvallet *et al.*, 2017) (Figure 11).

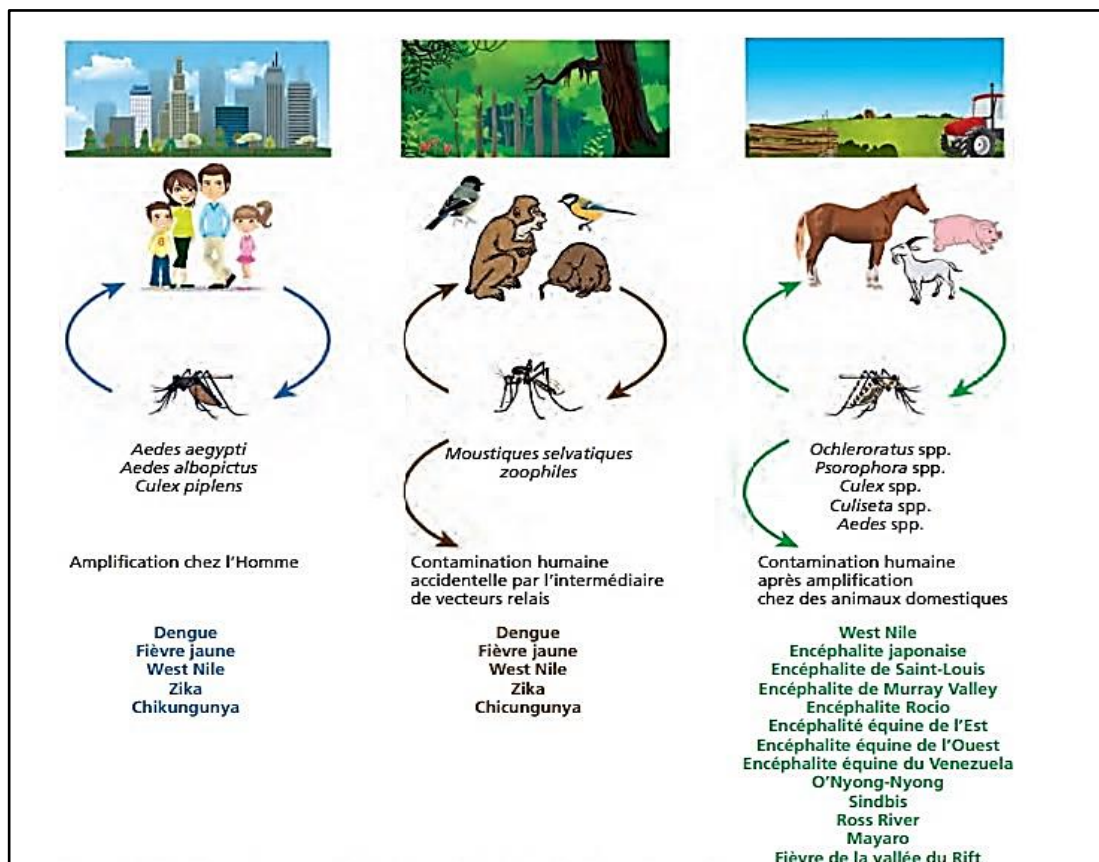


Figure 11. Cycle de transmission des principales arboviroses humaines (Duvallet *et al.*, 2017).

## 1.6. Facteurs abiotiques

### 1.6.1. Changements climatiques

Le changement climatique est devenu une menace majeure pour la biodiversité, des gènes aux espèces jusqu'au niveau du biome (Sintayehu, 2018). Étant donné que les paysages aquatiques sont particulièrement vulnérables, on prévoit que les changements climatiques auront une incidence sur la répartition des espèces (Reinhold *et al.*, 2018), et par conséquent,

sur les maladies à transmission vectorielle et la santé. Le réchauffement climatique engendre beaucoup de modifications, notamment de température, précipitations, humidité et aurait un impact important sur les moustiques et les maladies qu'ils transmettent. En effet, ce changement climatique intervient sur la répartition, l'abondance, le comportement, la dynamique des populations de moustiques vecteurs de maladies (**Mourot, 2020**).

### 1.6.2. Urbanisation

La densité des moustiques est relativement liée à la position des sites de reproduction. Souvent, les zones rurales offrent de meilleures conditions pour la reproduction et l'alimentation des espèces de moustiques ; par conséquent, la richesse en espèces dans les sites ruraux est supérieure à celle des sites urbains. Cependant, une étude menée en Grande-Bretagne a confirmé que l'urbanisation pourrait influencer la composition, l'abondance et la phénologie des populations de moustiques reproducteurs, où la richesse en espèces dans les sites urbains était plus faible que dans les sites ruraux, mais la densité des moustiques était au contraire plus élevée (**Townroe & Callaghan, 2014**). Dans une autre étude, **Rubio et al. (2011)** ont mesuré le taux d'incidence des sites de reproduction des moustiques dans les zones urbaines, s'appuyant sur les pneus usagés comme habitats sélectionnés par les femelles de *Cx. pipiens* et *Ae. aegypti*, où ils ont constaté que 65,2 % de l'eau des pneus remplis étaient infestés et que l'abondance d'*Ae. aegypti* était plus élevée dans les grandes villes. **Cardo et al. (2018)** ont également constaté que le *Cx. pipiens* et le *Cx. quinquefasciatus* s'adaptaient bien aux sites urbains.

### 1.6.3. Paramètres physico-chimiques

Pour les moustiques, la nature de l'eau est un élément caractérisant le milieu dans lequel évoluent les stades pré-imaginaux. En effet, Le gîte larvaire des Culicidae est en effet associé aux propriétés physico-chimiques de l'eau qui demeurent essentiels pour la répartition et l'abondance des espèces à l'échelle du biotope. La capacité biologique des larves de moustiques, leur prolifération et leur développement, ainsi que la diversité et l'occurrence des moustiques sont influencées par les paramètres physico-chimiques des habitats (**Basiliana et al., 2017**). Il est intéressant de noter que les moustiques sont naturellement tolérants à des valeurs de pH extrêmes, ce qui leur permet d'explorer différents types d'environnements (**Clark et al., 2002**). De plus, étant des ectothermes, les moustiques dépendent de la

température de l'eau afin de contrôler les activités enzymatiques indispensable à leur déplacement et à leur croissance (Abram *et al.*, 2017). De plus, les propriétés pédologiques des gîtes larvaires jouent un rôle dans l'attraction ou la stimulation des femelles (MC Daniel *et al.*, 1976).

### 1.7. Lutte contre les moustiques

#### 1.7.1. Lutte physique

Afin de lutter contre les moustiques nuisibles, tels que *Cx. pipiens* et *Ae. Albopictus*, qui ont une préférence pour les villes, où la densité humaine est élevée, les techniques physiques sont extrêmement bénéfiques si les citoyens sont sensibilisés. Ces mesures impliquent de minimiser les gîtes larvaires à l'intérieur et à l'extérieur des habitations. Selon Bouree *et al.* (2015) il est recommandé de retirer les petits détritiques, tels que les déchets organiques (fruits tombés, débris végétaux), de remplacer l'eau des pots de fleurs par du sable humide, de vérifier le bon écoulement des gouttières et des rigoles d'eau de pluie, de couvrir les réservoirs d'eau avec une moustiquaire ou une moustiquaire imprégnée, et de tailler les arbres en bouchant les trous dans leur écorce. Si possible, il est recommandé d'utiliser une climatisation dans les maisons. Selon Carnevale & Robert (2017), il est recommandé d'utiliser des mesures de protection dans les maisons telles que des ventilateurs, des grillages de fenêtres, des rideaux imprégnés et d'autres fermetures des points d'entrée, ainsi que des répulsifs (appliqués sur la peau et sur les vêtements imprégnés), ainsi que des serpentins, des plaquettes, etc., afin de limiter le contact entre l'hôte et le vecteur ou de réduire la densité ou la longévité.

#### 1.7.2. Lutte chimique

Les méthodes de lutte employées contre ces vecteurs sont pour la plupart chimiques. Les organophosphorés, les pyréthrinoides et les carbamates de synthèse sont utilisés comme insecticides (Tolle, 2009 ; Becker *et al.*, 2010 ; Hamaidia & Soltani, 2014). Les méthodes chimiques consistent à utiliser des produits chimiques pour lutter contre les moustiques. Cependant, Le principal moyen de lutter contre les insectes ravageurs et vecteurs de maladies reste la lutte chimique. Elle utilise de plus en plus des régulateurs de croissance des insectes, des produits sélectifs et des biopesticides. Les régulateurs de croissance des insectes (Insect Growth Regulators : IGRs) et les perturbateurs de croissance des insectes renommés IGDs

(Insect Growth Disruptors) (Meir paul & Tarlochan., 2012) ; Elles sont extrêmement performantes, mais elles peuvent être nocives pour l'environnement et la santé humaine. De plus, les moustiques peuvent développer des formes de résistance, Haubruge & Amichot (1998), le développement de la résistance aux insecticides chez les insectes est un phénomène très inquiétant. La résistance aux insecticides chez les moustiques, risque de les accumuler dans leurs organismes, ce qui conduit à la persistance de ces polluants chimiques le long des chaînes trophiques et l'apparition du phénomène d'amplification. *Culex pipiens* est un moustique connu par sa résistance aux insecticides dans le milieu urbain, Weill *et al.* (2003) ont affirmé que cette espèce développe des résistances à divers insecticides tels que : DDT, pyréthrinoides, carbamates, organophosphorés, toxines de *Bacillus sphaericus*, etc. El-Akhal *et al.* (2016) ont trouvé une résistance de *Cx. pipiens* au Téméphos et d'autres organophosphorés, alors que Ser & Cetin (2019) ont rapporté que la déltaméthrine est un insecticide qui cause entre 58,78% à 97,56% de mortalité chez les populations de cette espèce, alors que la perméthrine cause une mortalité de 100% dans toutes les populations. Haddad *et al.* (2022) ont trouvé que l'espèce *Ae. albopictus* est sensible aux pyréthroïdes et aux carbamates, mais elle est résistante aux organophosphorés et organochlorés. Selon Duvallet & Chabasse (2020), quatre objectifs principaux ont été identifiés pour les méthodes de lutte visant à réduire la nuisance et à limiter la transmission de pathogènes. Ces objectifs incluent l'évitement des piqûres de moustiques, la réduction de la densité de leurs populations en dessous du seuil de nuisance, la limitation des contacts entre les moustiques et les hôtes vertébrés, ainsi que la réduction de la longévité des moustiques femelles (les femelles âgées sont les plus menacées pour la transmission de pathogènes). Dans une vision de lutte intégrée, les moyens de lutte antivectorielle se répartissent selon la gestion environnementale et le contrôle physique, le contrôle chimique, le contrôle génétique et le contrôle biologique par le biais d'entomophages et de micro-organismes entomo-pathogènes (Bawin *et al.*, 2014).

### 1.7.3. Lutte biologiques et utilisation d'extraits botaniques

La sur-utilisation massive des insecticides chimiques dans les programmes de lutte contre les vecteurs a contribué au développement de la résistance chez des espèces ciblées (Main *et al.*, 2018) ainsi qu'à l'atteinte au niveau de la faune non ciblée a été signalée suite à l'utilisation de produits de synthèse, affectant ainsi de différentes espèces d'intérêt biologique et écologique (Zamora Perea, 2009 ; Barata *et al.*, 2004) ; ce qui a encouragé les scientifiques à concentrer leurs travaux sur la recherche de nouveaux produits qui pourraient être de bonnes



alternatives pour le contrôle des vecteurs dans le but d'être rentables et respectueux envers l'environnement (**Pavela & Benelli, 2016**). L'objectif de la lutte biologique est de réduire la densité d'une population spécifique en utilisant des organismes vivants. Ce terme désigne l'introduction ou la réintroduction d'organismes vivants dans un écosystème, afin de diminuer ou éliminer des populations d'organismes considérés comme « nuisibles », mais qui jouent un rôle dans les réseaux trophiques et donc, dans la structure d'un ou plusieurs écosystèmes (**Suty, 2010**). Selon **Dajoz (1975)**, la bio lutte englobe toutes les techniques utilisant des organismes vivants afin de diminuer ou éliminer les dommages causés par des espèces défavorables à l'homme ou à ses animaux domestiques. Selon **Carnevale & Robert (2017)**, la bactérie *Bacillus thuringiensis* a été suggérée comme un bio-pesticide pour la lutte anti vectorielle. L'efficacité de certaines formulations commerciales des toxines de cette bactérie font l'objet de plusieurs publications (**Boudjelida et al., 2008 ; Aissaoui & Boudjelida, 2014 ; Bouaziz et al., 2023**). **Bouree et al. (2015)**, ont suggéré d'utiliser des poissons larvivores et des champignons pour lutter contre les larves de Culicidae. Selon **Suty (2010)**, De plus, la régulation naturelle est essentielle pour gérer les larves de moustiques et est principalement liée aux poissons d'eau douce et aux autres groupes de prédateurs, c'est le cas des espèces communes : *Pseudophoxinus guichenoti* et *Pseudophoxinus callensis* (**Carnevale, 2017; Zouachi-Chouahda, 2011; Zaidi & Soltani, 2013**). D'autre part, l'emploi de composants naturels moins toxiques, plus rationnels, plus actifs et non polluants, comme les métabolites secondaires des plantes est recommandé (**Govindarajan et al., 2016**). Il est à noter que l'utilisation des extraits des plantes aromatiques comme produits répulsifs est une lutte intégrée qui rentre dans les méthodes biologiques. Les plantes aromatiques sont parmi les insecticides les plus efficaces d'origine botanique et les huiles essentielles constituent souvent la fraction bioactive des extraits de plantes (**Shaaya et al., 1997**). Beaucoup de ces plantes, sont connues pour être productrices d'huiles essentielles notamment des plantes supérieures, des angiospermes et des gymnospermes, appartenant à environ 50 familles, le plus souvent des Apiaceae, Lamiaceae, Myrtaceae, Pinaceae et des Zingiberaceae. Leurs HES sont connues pour leurs usages culinaires et surtout dans la médecine traditionnelle pour le traitement de différents maux (**AbdelMassih & El Beyrouthy, 2022**). Elle donne souvent un effet positif comme larvicides contre les larves de Culicidae. **Dris & Bouabida (2020)**, ont examiné l'efficacité de l'huile essentielle de la plante algérienne *Ruta Graveolens* (Sapindales : Rutaceae) contre les larves de *Cx. Pipiens* et ils ont constaté un effet larvicide marqué. De

même, **Aouinty et al. (2006)** ont révélés l'efficacité larvicide des extraits aqueux des feuilles de ricin *Ricinus communis* et du bois de thuya *Tetraclinis articulata* sur les larves de la même espèce de moustiques *Cx. pipiens*. Selon ces auteurs, les extraits de ces plantes peuvent servir de biocides naturels dans le but de lutter contre les moustiques. De leur côté, Cinq plantes aromatiques (*Thymus vulgaris*, *Artemisia herba-alba*, *Juniperus phoenicea*, *Rosmarinus officinalis* et *Eucalyptus globulus*) ont été testées par **Nabti & Bouenchada (2019)** pour lutter contre les larves de *Culiseta longiareolata*. Ils ont démontré un effet larvicide sur l'espèce étudiée. Même effet a été enregistré après utilisation de l'huile essentielle de *Mentha rotundifolia* sur les larves de *Cx. pipiens* par **Kharoubi et al. (2020)**. L'application d'extraits botaniques pourrait être une solution alternative pour le contrôle des moustiques (**Aissaoui et al., 2022b**).

#### 1.7.4. Lutte génétique

Il s'est avéré que l'étude de la génétique formelle servira de base nécessaire à des études élaborées, comme le développement et l'évaluation des mécanismes de lutte génétique (**Laven, 1971**). Il s'agit de mettre en place des modifications physiologiques visant soit à éliminer les populations locales de moustiques, soit à diminuer leur sensibilité aux infections et leur capacité à transmettre des agents pathogènes (**OMS, 2020**). **Dajoz (1975)** a rapporté que l'introduction massive de mâles stériles dans une population naturelle est plus avantageuse que les insecticides. De même la libération des moustiques mâles stériles génétiquement modifiés (MGM) pour lutter contre la prolifération d'*Ae. albopictus*, étant donné que la femelle n'est fécondée qu'une seule fois a été suggéré par (**Bouree et al., 2015; Balatsos et al., 2021 ; Oliva et al., 2021**).



Matériel et  
méthodes

## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Inventaires des Culicides**

#### **2.1.1. Présentation de la région d'étude**

La zone d'étude est représentée par la région de Sétif. Situé dans la partie Nord-est de l'Algérie et appartenant aux hauts plateaux (36° 11' 29" N, 5° 24' 34" E), il s'étend sur une superficie de 6549,64 Km<sup>2</sup> et une altitude de 1100m du niveau de la mer. Sétif est bordée au nord par Bejaia et Jijel, au sud par M'sila et Batna, à l'est par Mila et à l'ouest par Bordj Bou Arreridj. La wilaya de Sétif est composée de 20 daïras qui sont divisées en 60 communes avec une adéquation de 227 habitants/Km<sup>2</sup> (Andi, 2013). Cette région est caractérisée par un climat méditerranéen continental avec des étés frais, pluvieux et longs, chauds et secs (**Zerroug, 2012**) et les principales parties de la région ont tendance à être arides. L'étude a été réalisée en milieu urbain et rural, une prospection a permis d'inventorier certains sites de reproduction potentiels (Figure. 16). Cette prospection a été réalisée pendant douze mois, de Mars 2021 à février 2022, dans onze endroits divisés en sites ruraux et urbains. Six sites ruraux ont été caractérisés par une végétation dense, des écuries et une faible population humaine : Ain Abessa, Baidha Bordj, Oued Bousselem, Ouricia, Tella et El Hchichia. Cinq sites urbains comptant une forte densité de population humaine, de bâtiments et d'usines : Ain Trick, Guellél, Hammeme Sokhna, Kaser El Abtal et Setif centre (Figure 12).

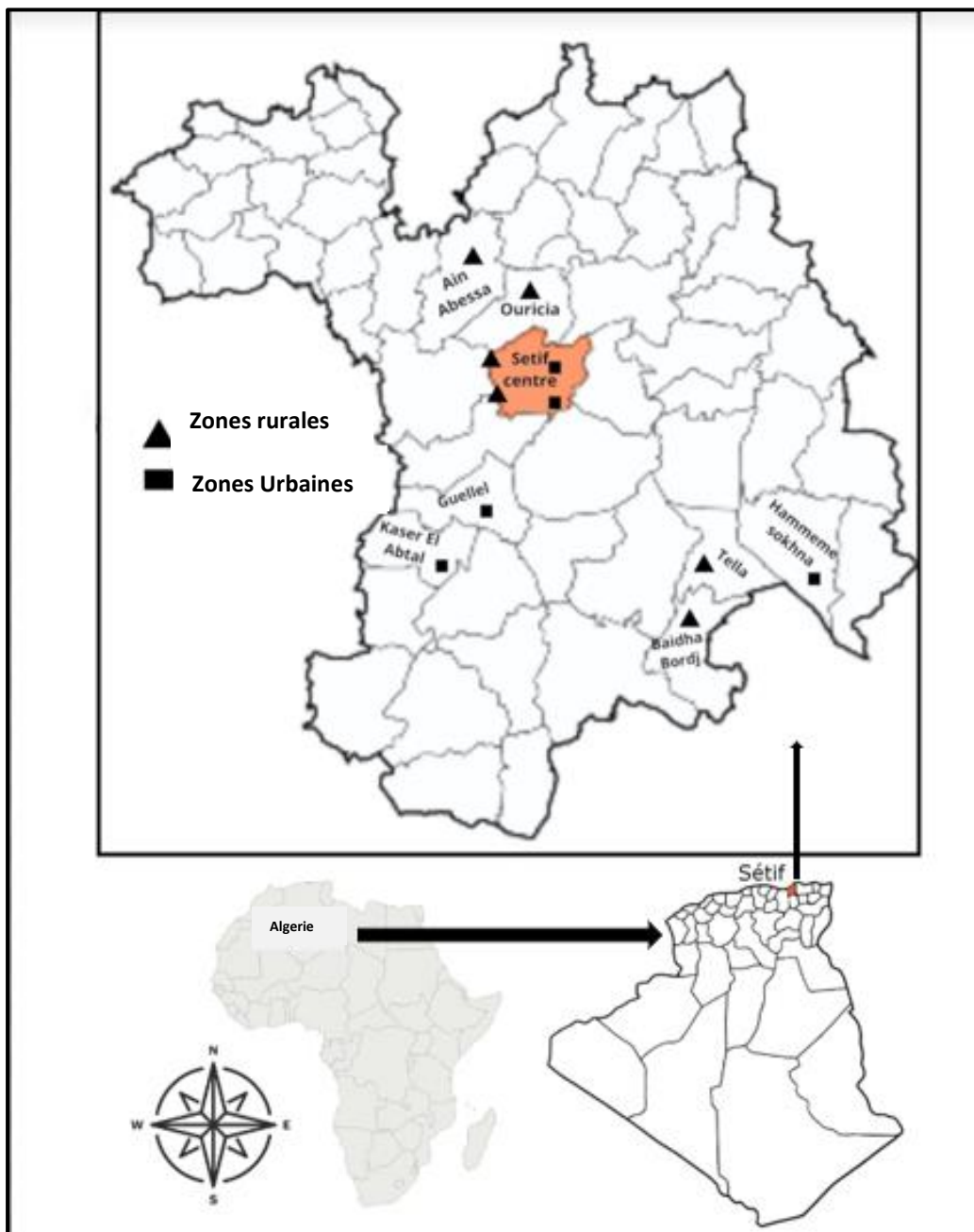


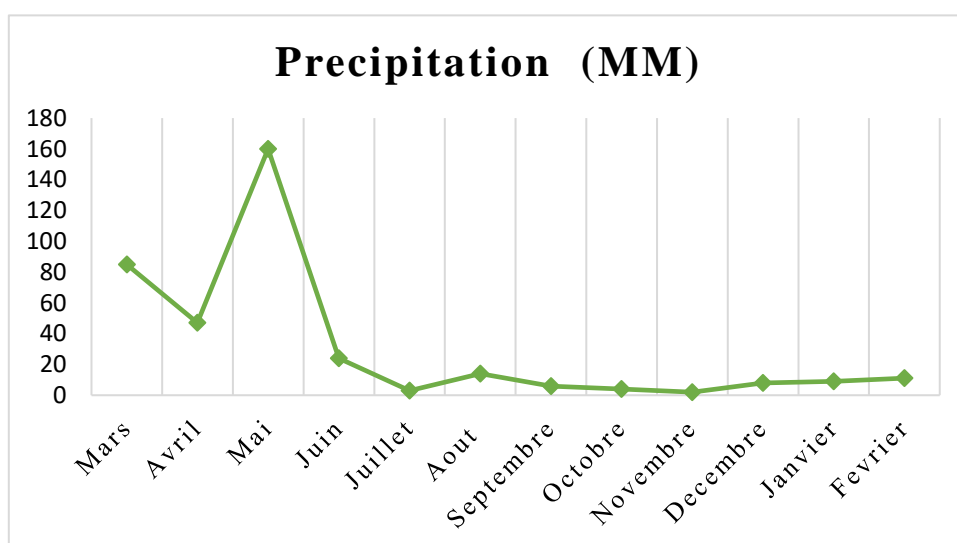
Figure 12. Les sites prospectés dans la région de Sétif (Photos personnelles).

### 2.1.2. Données climatiques de la région d'étude

Les conditions climatiques jouent un rôle fondamental dans la distribution et la vie des organismes. En l'absence de ces conditions, les populations sont éliminées suite à de multiples effets néfastes sur la physiologie de ces organismes (**Dajoz, 1982**). Les facteurs climatiques : Lumière et température peuvent être distingués comme facteurs énergétiques, les précipitations comme facteurs hydrologiques et le vent comme facteurs mécaniques (**Ramade, 1984**). Les moyennes mensuelles des températures minimales et maximales, les précipitations ont été calculées à partir des données obtenues du service météorologique de la région de Setif (Ain Sfaha).

#### 2.1.2.1. La précipitation

La pluviométrie agit sur la vitesse du développement des animaux, sur leur longévité et sur leur fécondité (**Dajoz, 1982**). Ainsi, elle permet l'humidification du sol sur lequel se forment des gîtes favorables à la pullulation des moustiques et d'autres Nématocères. La pluie légère n'arrête pas les différentes activités des Diptères, mais une forte pluie les supprime complètement (**Seguy, 1950**). La région de Sétif entre 2021-2022, reçoit annuellement un total de 373 mm de précipitation, le mois de Mai est le plus pluvieux avec une moyenne de 160 mm, alors que le mois de Novembre et le mois de Juillet représente les mois les moins pluvieux de l'année avec 2 et 3 mm respectivement (Figure 13).



**Figure 13.** Précipitations mensuelles dans la région de Sétif (Mars 2021-Fevrier 2022).

### 2.1.2.2. La température

La température a une influence majeure sur l'évolution biologique des Culicidae. Elle a un impact sur la durée de vie, la fertilité des adultes, la maturation des œufs et même la répartition des espèces (Dreux, 1980 ; Aissaoui, 2014). Les saisons ont un impact significatif sur la variation de la température. Durant l'été, elle s'élève jusqu'à 31 °C au mois de Juillet et Aout 2021 Par contre, en hiver, elle chute jusqu'à 7°C au mois de Janvier 2022 (Figure 14).

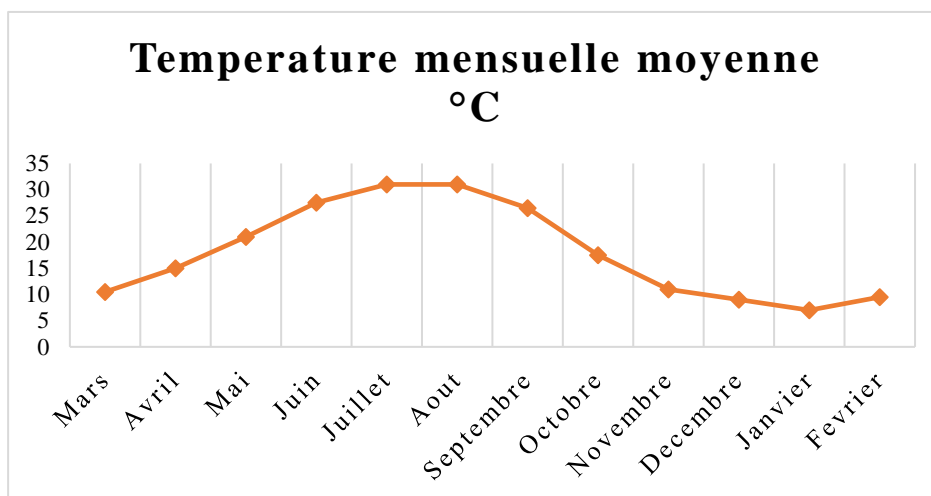
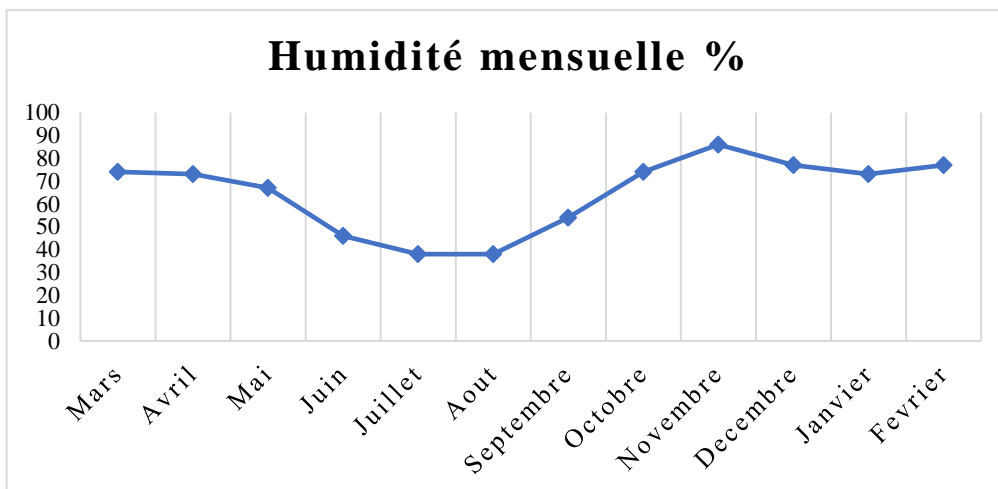


Figure 14. Températures moyennes mensuelles dans la région de Sétif (Mars 2021-Fevrier 2022).

### 2.1.2.3. L'humidité

Les données collectées à la station météorologique démontrent clairement que la région d'étude (Setif) présente une variation saisonnière importante atteignant le maximum au mois de Novembre avec une valeur de 86%, aux mois de Juillet et Aout l'humidité est moins de 50% (Figure 15).

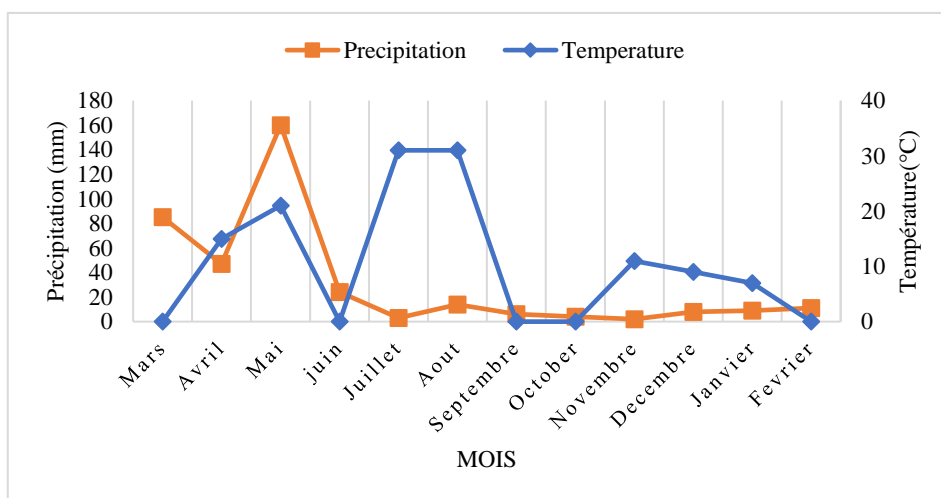


**Figure 15.** Humidité relative moyenne mensuelle dans la région de Sétif (Mars 2021-Février 2022).

#### 2.1.2.4. Diagramme ombrothermique

Le diagramme ombrothermique est un mode de représentation classique du climat d'une région, il met en évidence les régimes thermiques et pluviométriques d'un site donné (**Dajoz, 2006**). Le climat est sec quand la courbe des températures se trouve au-dessus de celle des précipitations. Ainsi le climat est humide dans le cas contraire (**Dreux, 1980**).

Le diagramme ombrothermique de la région de Sétif durant (Mars 2021-Février 2022) révèle l'existence de deux période sèche, la première période s'étend sur 2 mois (Juin-juillet). Une deuxième période sèche s'étend sur 3 mois (Novembre à Janvier) (Figure 16).



**Figure 16.** Diagramme Ombrothermique de la région de Sétif (Mars 2021-Février 2022).

### 2.1.3. Choix et description des stations d'étude

Une prospection préliminaire a été effectuée en zones rurales et urbaines dans la région de Sétif, ce qui nous a permis d'inventorier Onze gîtes larvaires où on a récolté la faune Culicidiène à l'état larvaire (Figure 17, Tableau 2). Ce choix est en fonction de la présence de gîtes larvaires potentiels et de la diversité des milieux.

**Tableau 2.** Caractéristiques naturelles des gîtes prospectés dans la region de Setif.

Surface	Site	Type de site	Nature de site	Qualité de l'eau	Végétation	Pollution
Urbain	Kaser El Abtal	Fosse	Temporaire	Saumatre	Absente	Pollué
	Hammem Sokhna	Fosse	Temporaire	Peu clair	Présente en bordure et en milieu du site	Non pollué
	Ain Trick	Oued	Permanant	Saumatre	Présente en bordure du site	Pollué
	Sétif Centre	Bassin en cimen	Temporaire	Peu clair	Forte végétation	Pollué, mauvaise odeur
	Guellet	Oued	Permanent	Saumatre	Absente	Pollué, mauvaise odeur
Rurals	El Hchichia	Oued	Permanent	Saumatre	Présente en bordure du site	Pollué, mauvaise odeur
	Ain Abessa	Fosse	Permanant	Peu clair	Faible végétation	Non pollué
	Ouricia	Fosse	Temporaire	Clair	Forte végétation	Non pollué
	Oued Bousselem	Marais	Permanant	Saumatre	Forte végétation	Pollué, mauvaise odeur
	Tella	Marais	Permanant	Peu clair	Faible végétation	Non pollué
	Baidha Bordj	Marais	Permanant	Saumatre	Forte végétation	Pollué





**Figure 17.** Les gites prospectés dans la région de Sétif.

**A:** Kaser El Abtal. **B:** Hammem Sokhna. **C:** Ain Trick. **D:** Sétif Centre. **E:** Guellet  
**F:** El Hchichia. **G:** Ain Abessa. **H:** Ouricia. **I:** Oued Bousselem **J:** Tella. **K:** Baidha Bordj.



## 2.1.4. Analyse physico-chimique de l'eau des gites

Des prélèvements des échantillons d'eau, ont été effectués avec une fréquence de 2 fois par mois, durant l'année 2021-2022 au niveau des 11 stations, dans des flacons puis acheminés au laboratoire pour l'analyse.

### 2.1.4.1. Température

La température de l'eau joue un rôle important dans la solubilité des sels et des gaz (**Rodier 2009**). Par ailleurs, une augmentation de température accroît les vitesses des réactions chimiques et biochimiques (**Devillers et al., 2005**). L'activité métabolique des organismes aquatiques est accélérée lorsque la température de l'eau s'accroît. La mesure de la température de l'eau s'effectue sur place à l'aide d'un thermomètre (Figure 18 A). La valeur de ce paramètre est influencée par la température ambiante mais également par d'éventuels rejets d'eaux résiduaires chaudes.

### 2.1.4.2. Potentiel d'hydrogène (pH)

Il évalue la balance entre l'acide et la base sur une échelle de 0 à 14, et le pH de neutralité est représenté par 7. Les eaux acides à pH faible augmentent le risque de présence de métaux sous une forme ionique plus toxique. Ce paramètre est influencé par plusieurs facteurs, y compris l'origine de l'eau, et définit de nombreux équilibres physico-chimiques (**Permo, 1981**). Le pH est mesuré au laboratoire durant chaque sortie à l'aide d'un pH mètre de type (Hanna t, model : HI122) (Figure 18 B).



**Figure 18.** Mesure des paramètres physico-chimiques de l'eau des gites d'échantillonnage (photos personnelles). **A:** Thermomètre; **B:** pH

## **2.1.5. Echantillonnage et identification des culicidés**

### **2.1.5.1. Echantillonnage des larves**

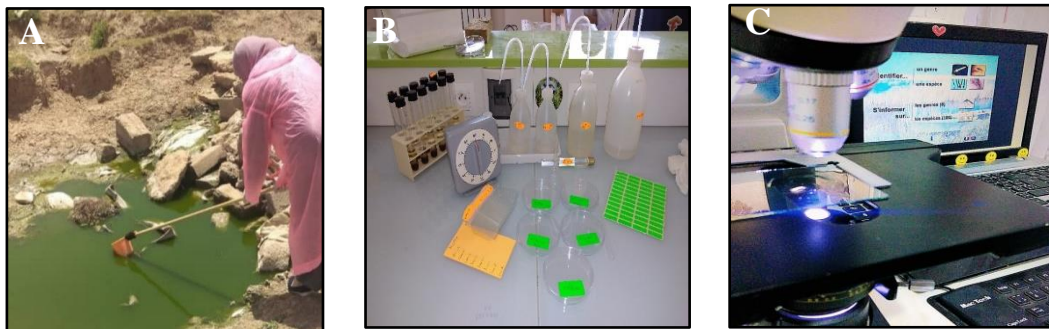
Les larves ont été collectées tous les 15 jours pendant une période allant de Mars 2021 à Février 2022, en utilisant la technique de "dipping" dans les habitats larvaires choisis. La méthode implique de plonger une louche composée d'un pot en plastique à long manchon d'une capacité de 1 L (Figure 19A) dans l'eau, puis de la déplacer de manière uniforme en évitant les vibrations. La collecte a été effectuée à différents endroits des sites de reproduction afin d'obtenir des échantillons homogènes.

### **2.1.5.2. Le montage des larves du IV<sup>ème</sup> stade et identification**

Les échantillons sont placés dans des flacons remplis d'alcool à 70 % et étiquetés avec toutes les informations nécessaires (date de sortie ; station). Les larves conservées dans l'alcool ont été réhydratées dans un bain-marie distillé pendant quelques minutes, puis clarifiées dans une solution à 10 % de potassium (KOH) pendant 10 minutes avant que les larves ne soient identifiées. Rincer ensuite à l'eau distillée (3 fois au total, 2 à 5 minutes à chaque fois), et déshydrater dans 3 bains d'alcool concentré (70°, 90°, 100°) pendant 15 minutes. Enfin, la lame et la lamelle sont assemblées dans une goutte de glycérine, fixé à l'aide de quelques gouttes de la Baume de Canada (Figure 19B) Ce montage a pour but de permettre une meilleure observation du spécimen sous microscope optique.

### **2.1.5.3. Identification des espèces**

Les taxons triés sont systématiquement identifiés selon le niveau de précision requis (Famille ; genre et espèce) à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope de type OPTIKA, selon les clés dichotomiques de **Himmi *et al.*, (1995)**, et informatique selon le logiciel d'identification des Moustiques d'Afrique méditerranéennes de **Schaffner *et al.* (2001)** (Figure 19 C).



**Figure 19.** Echantillonnage, montage et identification des Culicides. **A:** Echantillonnage des larves ; **B:** Montage des larves ; **C:** Identification des espèces (photos personnelles).

### 2.1.6. Analyses statistiques des paramètres

Le modèle de régression a été utilisé avec une réponse bilatérale négative pour étudier l'impact des sites, des mois, du pH de l'eau et de la température de l'eau sur l'abondance des larves de moustiques. Ces analyses ont été effectuées à l'aide du logiciel R (version 4.1.2; équipe R Core 2021, Therneau 2022).

### 2.1.7. Indice écologique

#### 2.1.7.1. Indice écologique de composition

Les indices écologiques de composition appliqués sont présentés par la richesse spécifique totale et, abondance relative.

##### 2.1.7.1.1. Richesse totale

Par définition, la richesse totale est le nombre d'espèces que compte un peuplement considéré dans un écosystème donné (**Ramade, 1984**). Elle représente un des paramètres fondamentaux caractéristique d'un peuplement (**Muller, 1985**). Selon **Benyacoub et Chabi (2000)**, La richesse totale d'un peuplement est exprimée par le nombre d'espèces (S) inventoriés dans la zone d'étude. Par contre la richesse moyenne (S') est le quotient du nombre total d'individu (Ki) pour chaque espèce sur le nombre total de prélèvements effectués (N) (**Aissaoui, 2014**).

$$S' = Ki/N$$

#### **2.1.7.1.2. Abondance relative**

L'abondance d'un organisme est le nombre total de cet organisme ou le nombre d'organismes par unité d'espace. La seconde définition se réfère à la densité de la population de l'organisme. L'abondance, avec la répartition, est une mesure de base en écologie. L'abondance relative est le pourcentage des individus de l'espèce ( $n_i$ ) par rapport au total des individus  $N$  toutes espèces confondues (**Dajoz, 2000**). Elle se calcule comme suit :

$$AR = n_i / N \cdot 100$$

$n_i$  : nombre d'individus d'une espèce

$N$  : nombre total d'individus toutes espèces confondues.

#### **2.1.7.2. Les indices écologiques de structure :**

Les indices de structure montrent l'aspect qualitatif de l'entomofaune étudiée. Il s'agit de la diversité de Shannon-Weaver et de l'équipartition. Les différents indices de diversité actuellement utilisés permettent d'étudier la structure des peuplements en faisant référence ou non à un cadre spatio-temporel concret. Ils permettent d'avoir rapidement, en un seul chiffre, une évaluation de la biodiversité du peuplement (**Jacques et Christian, 2003**).

##### **2.1.7.2.1. Diversité spécifique**

La diversité peut s'exprimer par le nombre d'espèces présentes dans un milieu mais, ce nombre n'est pas toujours connu avec exactitude. Dans ce cas, divers indices de diversité sont proposés pour comparer des peuplements entre eux, de voir comment ceux-ci évoluent dans l'espace et le temps. Nous avons utilisé dans l'interprétation de nos résultats, l'indice de diversité de (**Shannon, 1963**). Cet indice est défini comme étant la probabilité d'occurrence d'un événement et calculé selon la formule suivante (**Ramade, 1984**).

$$H' = - \sum P_i \log_2 P_i$$

$n_i$  : nombre d'individus d'une espèce  $i$

$N$  : effectifs ou nombre total d'individus de la Collection Où  $P_i = n_i / N$

La valeur donnée par cette formule est une information exprimée en bits. La diversité ne varie pas seulement en fonction du nombre d'espèces présentées mais aussi en fonction de leur abondance relative (**Anonyme, 2009**). Elle est maximale quand toutes les espèces du peuplement sont représentées par le même nombre d'individus. Par contre, si la diversité est faible on parle d'un peuplement pauvre en espèces (**Blondel, 1979**).

#### **2.1.7.2.2. L'équitabilité**

L'indice d'équitabilité (E) correspond au rapport de la diversité observée (H') à la diversité maximale (H' max) (**Weesi & Belemsobgo, 1997**). Il est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$E = H' / H' \text{ max ou } H' \text{ max} = \text{Log}_2 S$$

S: La richesse totale

Cet indice varie entre 0 et 1. Il tend vers 0 quand la quasi- totalité des effectifs correspond à une seule espèce du peuplement. Il tend vers 1 lorsque chacune des espèces est représentée par le même nombre d'individus (**Ramade, 1984**).

## 2.2. Essais de lutte

### 2.2.1. Elevage des larves de *Culex pipiens*

Les larves de moustique *Culex pipiens* sont collectées à diverses stations d'échantillonnage. D'après **Rihimi & Soltani (1999)**, les larves sont élevées dans des récipients contenant de l'eau du gîte et nourries avec un mélange de biscuits et de levure (75% et 25%), comme illustré dans la Figure 25. Le régime alimentaire joue un grand rôle dans la fécondité, car les protéines permettent à la femelle de pondre plus d'œufs par rapport aux femelles nourries de sucre seulement (**Wigglesworth, 1972**). Après avoir atteint le stade nymphal, les larves sont placées dans des récipients et mises dans des cages (20cm x20cmx 20cm) (Figure 20), où elles vont devenir adultes. Les adultes de moustiques sont nourries de datte.



**Figure 20.** Elevage des larves de moustique au laboratoire (photos personnelles).

### 2.2.2. Echantillonnage et description botanique de *Mentha spicata*

La partie aérienne de *Mentha spicata* a été récolté dans la période de l'été (Juin-juillet 2021) dans la région de Sétif (Amoucha 36°23'17''N 5°24'39'') (Nord-est de la région de Sétif). *Mentha* est un genre important de la famille des Lamiacées. *Mentha spicata* L. (menthe verte) est un rhizome rampant, glabre et plante herbacée vivace à forte odeur aromatique, atteignant une hauteur de 30 à 100 cm, avec des tiges et un feuillage sans poils ou poilus, et un large rhizome charnu souterrain (**Kunwar, 2017**). Les feuilles sont ovales à lancéolées, de 5 à 9 cm de long, 1,5 à 3 cm de large et ont des bords dentelés. La menthe verte porte des fleurs en épis minces, chacune rose ou blanche, de 2,5 à 3 mm de long et de large. La forme carrée des tiges est une marque de fabrique de la famille des menthes (**Bayani, 2017**). Il existe quelques synonymes hétérotypiques pour cette espèce, y compris

*Mentha cordifolia*, *Mentha crispa* var. *crispata* f. *reticulata*, *Mentha viridis* (L.) L., *Mentha cordifolia* et *Mentha villosa* var. *cordifolia* (El-Menyiy, 2022). *M. spicata* L. est bien adapté aux conditions climatiques des régions tropicales et subtropicales. Il peut pousser dans une variété de sols et se trouve couramment dans les jardins agricoles (Kassahum, 2014). Elle est employée dans les domaines de la médecine traditionnelle, cosmétique, de la santé publique et de l'agriculture. Selon Singh & Pandey (2018), certains des composés actifs de *M. spicata* sont commercialisés et sont employés comme des antibactériens/insecticides pour combattre les pathogènes et les ravageurs des plantes. La position systématique de *Mentha spicata* est la suivante :

**Règne :** Plantae

**Division :** Magnoliophyta

**Classe :** Magnoliopsida

**Ordre :** Lamiales

**Famille :** Lamiaceae

**Genre :** *Mentha*

**Espèce :** *Mentha spicata* (Iserin et al., 1997).

### 2.2.3. L'extraction de l'huile essentielle de *M. spicata* par hydrodistillation et rendement

La matière végétale est lavée avec de l'eau distillée, puis séchée à l'aire libre pendant 72 heures (Figure 21A) ensuite, elle est broyée à l'aide d'un mixeur (Moulinex) jusqu'à ce qu'elle soit transformée en poudre. Une quantité de 50 g de poudre végétale a été hydro distillée pendant 3 heures à l'aide d'un appareil de type Clevenger (Figure 21B). L'huile essentielle obtenue a été conservée à 4°C dans des flacons sombres. Le rapport entre le poids d'huile extraite et celui de la plante sèche a été utilisé pour calculer le rendement en huile essentielle. L'équation ci-dessous permet d'exprimer son pourcentage :

**Rendement en huile = teneur en huile (g)/poids de la plante sèche × 100.**





**Figure 21.** Séchage et hydrodistillation de *M. spicata*  
**A :** *M. spicata* ; **B :** Hydro distillateur  
(Photos personnelles).

#### 2.2.4. Analyse par CG/MS-MS

Un chromatographe de type (Hewlette Packard Agilent 6890), couplé à un Spectrophotomètre de masse, de type (Hewlette Packard Agilent 5973), sont utilisées pour réaliser l'analyse CG/MS-MS. Le volume d'injection est de 2  $\mu$ l en mode fractionné, et le rapport de fractionnement a été fixé à 1 : 80, une colonne capillaire HP-5MS (30 m de longueur ; diamètre interne 0,25mm ; 0,25 d'épaisseur du film) est utilisé, L'hélium a haute pureté (N60) a été utilisé comme gaze vecteur à un débit de 0,5ml/min. La température du four est maintenue à 60 °C pendant 8 min, augmenté de 2 °C/min jusqu'à 250°C. La température finale est maintenue pendant 10 min. La masse a été observée par ionisation électronique à 70 EV.

#### 2.2.5. Bio essais de toxicité

On prépare pour chaque stade larvaire (L3-L4) de *Culex pipiens* cinq récipients plus un récipient témoin de 500 ml contenant chacune 200 ml d'eau déchloruré, et dans chaque récipient ont introduit 25 larves de *Culex pipiens*. L'application des bioessais sont effectués selon les procédures recommandées par l'organisation mondiale de la santé (OMS, 2005), 1ml d'huile essentielle a été dissout dans l'éthanol pour obtenir 1 % et 10 % de solution stock. Nous avons déterminé 6 concentrations à administrer (20, 30, 40, 50, 80 et 100  $\mu$ l), chaque Concentration est appliquée sur les cinq répétitions pour chaque stade larvaire nouvellement exuviées (L3 et L4) de l'espèce *Cx. pipiens*, l'ajoute de nourriture et le changement de l'eau



effectuées quotidiennement, le testea duré 3 jours et la mortalité a été après chaque 24h. Les larves qui ne montraient aucun mouvement étaient enregistrées comme étant morte.

### **2.2.6. Extraction et dosage des constituants biochimiques**

Une série de larves L4 *Culex pipiens* ont été traitées avec de l'huile essentielle de menthe verte à des concentrations létales de CL25 et CL50 pendant 24, 48 et 72 heures, pesées et placées dans des tubes Eppendorf contenant 1 ml d'acide trichloroacétique (TCA 20 %). Des répétitions, comprenant chacune 10 individus, ont été réalisées pour extraire différents métabolites selon Shibko *et al.* Après broyage des larves à l'aide d'un homogénéisateur à ultrasons, puis centrifugation (5000 tr/min, 4°C) (Figure 23C) selon la méthode de **Duchateau et Florkin (1959)**, le surnageant (1) obtenu a été utilisé pour le dosage des glucides totaux, le culot (1) additionnée de 1 ml d'un mélange éther/chloroforme (1V/1V), après une deuxième centrifugation (5000 trs/min, 10 min) dans les mêmes conditions que précédemment. Afin de récupérer le surnageant 2 qui sera utilisé pour le dosage des lipides (**Goldsworthy et al., 1972**), le culot 2 dissout dans 1 ml de soude (0.1 N), permettra la quantification des protéines selon **Bradford (1976)** (Figure 22) La quantité des métabolites a été déterminée en fonction de la quantité du standard utilisé selon la formule suivante : Quantité (glucides, lipides ou protéines) =  $DO - b \times a \times 10 / \text{poids (mg)}$ . Les résultats ont été exprimés en µg par individu sur la base de trois répétitions.

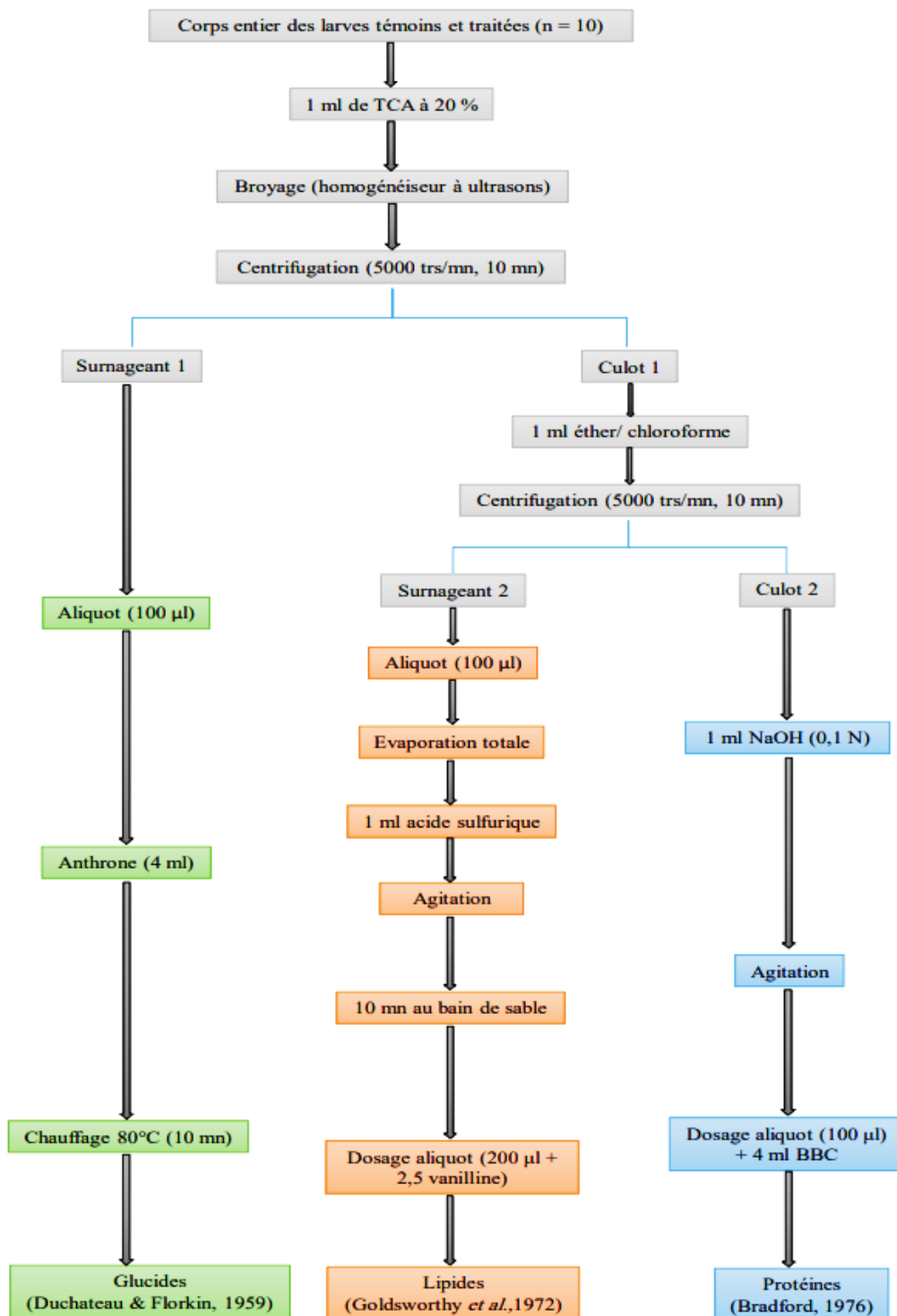


Figure 22. Extraction des glucides, lipides et protéines totaux selon Shibko *et al.* (1966).

### 2.2.6.1. Dosage des protéines

Le dosage des protéines a été effectué en utilisant la méthode de **Bradford (1976)**, dans une fraction aliquote de 100  $\mu$ l à laquelle on ajoute 4 ml de réactif du bleu brillant de comassie (BBC) (G250, Merck) comme réactif (100mg BBC, 50 ml d'éthanol absolu 95°, 100ml d'acide orthophosphorique à 85% complété à 1000ml par de l'eau distillée), une coloration bleue apparaitre confirme la présence de protéine (Figure 23F). L'absorbance est lue avec un spectrophotomètre (JENWAY 6405 UV/Vis) à une longueur d'onde de 595 nm, et la gamme d'étalonnage est effectuée à partir d'une solution l'albumine de bœuf (Sigma, France). La quantité de protéines est calculée à l'aide de la droite de régression issue d'une gamme d'étalonnage (Tableau 3).

**Tableau 3.** Réalisation de la gamme d'étalonnage des protéines.

Tube	1	2	3	4	5	6
Solution (BSA) ( $\mu$ l)	0	20	40	60	80	100
Eau distillé ( $\mu$ l)	100	80	60	40	20	0
Réactif BBC (ml)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

### 2.2.6.2. Dosage des lipides

Les lipides ont été déterminés selon la méthode de **Goldsworthy *et al.* (1972)**, en utilisant la sulfophosphanillinique comme réactif (0.38g de vanilline, 55 ml d'eau distillée et 195 ml d'acide orthophosphorique à 85 %). Le dosage des lipides se fait après évaporation totale du solvant dans un bain à sec à 40°C, des prises aliquotes de 100  $\mu$ l de surnagent II des extraits lipidiques ou de gamme étalon, auxquelles on ajoute 1 ml d'acide sulfurique (96 %). Les tubes fermés sont agités (Figure 23 A) et chauffés dans un bain à sec à 100°C pendant 10 minutes. Après refroidissement, 200  $\mu$ l de chaque tube auxquels repris dans 2,5 ml de réactif sulfophosphanillinique (Dissoudre 0.38 g de vanilline dans 55 ml d'eau distillée et ajouter 195 ml d'acide ortphosphorique à 85%. Ce réactif se conserve pendant 3 semaines à 4 °C et à l'obscurité) et on agite. Après 30 minutes à l'obscurité, une coloration rose se développe (Figure 23D). Les absorbances ont été lues dans un spectrophotomètre à une longueur d'onde

de 530 nm. La solution mère des lipides est préparée en utilisant l'huile de tournesol qui contient plus de 99 % de triglycérides selon la procédure : 2.5 mg d'huile de table pesés dans un tube Eppendorf ; cette quantité est ensuite reprise dans 1 ml du mélange (éther / chloroforme) (V/V) (Tableau 4).

**Tableau 4.** Réalisation de la gamme d'étalonnage des lipides

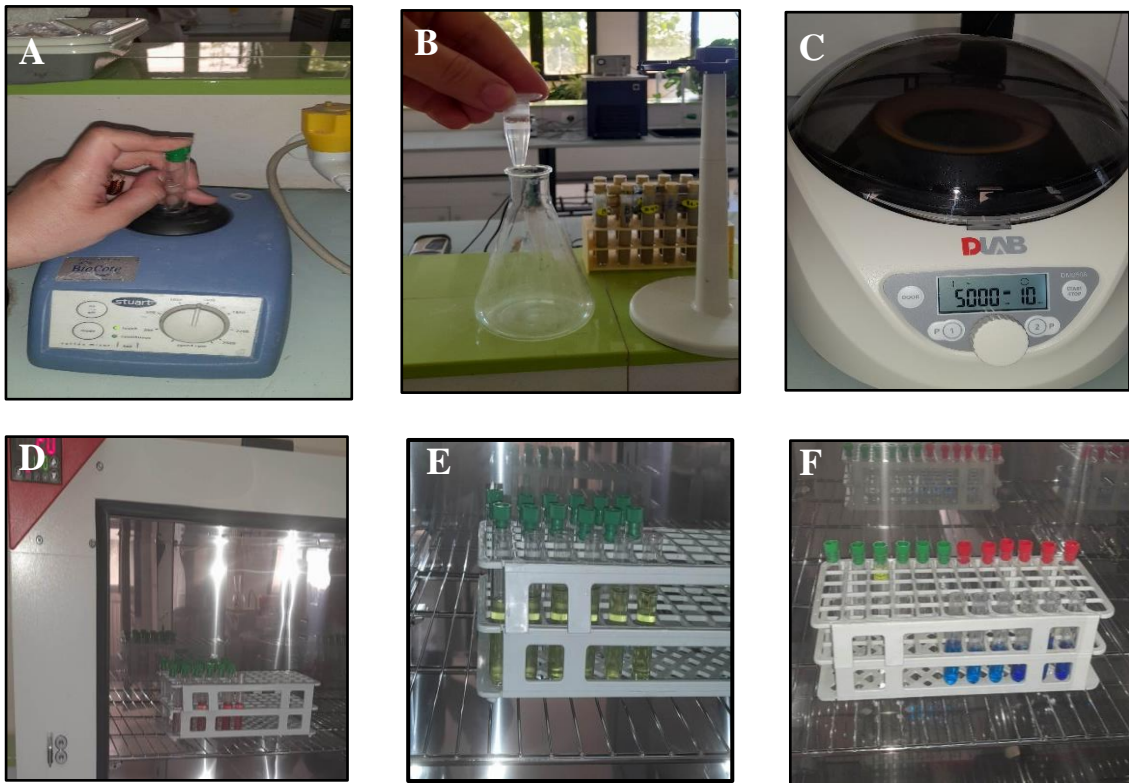
Tube	1	2	3	4	5	6
Quantité de la solution mère de lipides ( $\mu$ l)	0	20	40	60	80	100
Solvant Ether/Chloroforme ( $\mu$ l)	100	80	60	40	20	0
Réactif de vanilline (ml)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

### 2.2.6.3. Dosage des glucides

Le dosage des glucides totaux a été effectué selon la méthode de **Duchateau & Florkin (1959)**. En utilisant l'Anthrone comme réactif (150 mg d'Anthrone 75 ml d'acide sulfurique et 25 ml d'eau distillée) et une solution mère de glucose (1mg/1ml) comme standard. La quantité des glucides est calculée à partir de la droite de régression obtenue à partir de la gamme d'étalonnage, effectuée à partir d'une solution mère de glucose 1mg/1ml d'eau distillée (Tableau 5). 4 ml de réactif d'anthrone sont additionnés à 100  $\mu$ l du surnageant I (Figure 23B), contenu dans un tube à essai et de chauffer le mélange à 80 °C pendant 10 mn. une coloration verte se développe, dont l'intensité mesurée à une longueur d'onde de 620 nm est proportionnelle à la concentration des glucides présentent dans l'échantillon (Figure 24E).

**Tableau 5.** Réalisation de la gamme d'étalonnage des glucides

Tube	1	2	3	4	5	6
Quantité de la solution mère de Glucose ( $\mu$ l)	0	20	40	60	80	100
Eau distillée ( $\mu$ l)	100	80	60	40	20	0
Réactif d'anthrone (ml)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5



**Figure 23.** Les étapes du dosage des protéines, lipides et glucides (photos personnelles).  
**A:** Agitateur. **B:** Culot ; **C:** Centrifugeuse ; **D:** coloration rose des lipides ; **E:** Coloration vert des glucides ; **F:** Coloration bleue des protéines.

### **2.2.7. Analyses statistiques**

Les données sont présentées comme des moyennes d'erreur type (SE). Les concentrations létales (CL25, CL50, CL90) ont été analysées en utilisant l'ajustement de courbe sigmoïde non linéaire, basé sur la valeur  $R^2$ . L'analyse statistique présentée par ANOVA I et le test de tukey, a été réalisée à l'aide d'un logiciel Prism V.7.00. Les résultats du dosage obtenus ont été exprimés par la moyenne  $\pm$  l'écart-type (SD).

Résultats

### 3. Résultats

#### 3.1. Inventaire des Culicidae

L'ensemble des espèces recensées dans la région de Sétif pendant l'année de prospection est enregistrée dans le Tableau 5. L'examen des résultats permet de mettre en évidence l'existence de 11 espèces dans les zones rurales avec 2255 individus, et 8 espèces dans les zones urbaines avec 1811 individus. Pour les deux zones d'étude urbaines et rurales, les espèces inventoriées appartenant à une seule famille, est celle de Culicinae, ou on constate la présence de trois genres : *Culex*, *Culiseta*, *Aedes*. Il existe une différenciation des espèces enregistrées dans les zones rurales ; il s'agit de : *Culex pipiens*, *Culex theileri*, *Culex laticinctus*, *Culex perexiguus*, *Culex univittatus*, *Culex torrentum*, *Culex modestus*, *Culiseta longiareolata*, *Culiseta annualata*, *Aedes vexans* et *Aedes caspius*. Pour les zones urbaines on a constaté la présence des mêmes espèces avec l'absence de 4 entre elles : *Culex laticinctus*, *Culex perexiguus*, *Culex univittatus*, *Culiseta annualata* et l'apparition de nouvelle espèce *Culex diserticola*.

**Table 6.** Les espèces identifiées dans les zones urbaines et rurales de la région de Sétif (Mars 2020-Fevrier 2021).

Famille	Genre	Espèces	Zones rurales	Zones urbaines
Culicidae (Meigen 1860)	<i>Culex</i>	<i>Culex pipiens</i> Linné, 1758	+	+
		<i>Culex theileri</i> Theobald, 1903	+	+
		<i>Culex laticinctus</i> Edwards, 1913	+	-
		<i>Culex perexiguus</i> Theobald, 1903	+	-
		<i>Culex univittatus</i> Théobald, 1903	+	-
		<i>Culex torrentum</i> Martini, 1925	+	+
		<i>Culex modestus</i> Ficalb, 1890	+	+
		<i>Culex diserticola</i> Kirkpatrick, 1924	-	+
	<i>Culiseta</i>	<i>Culiseta longiareolata</i> macquart, 1838	+	+
		<i>Culiseta annualata</i> schrank, 1776	+	-
	<i>Aedes</i>	<i>Aedes vexans</i> Meigen, 1830	+	+
		<i>Aedes caspius</i> Pallas, 1771	+	+

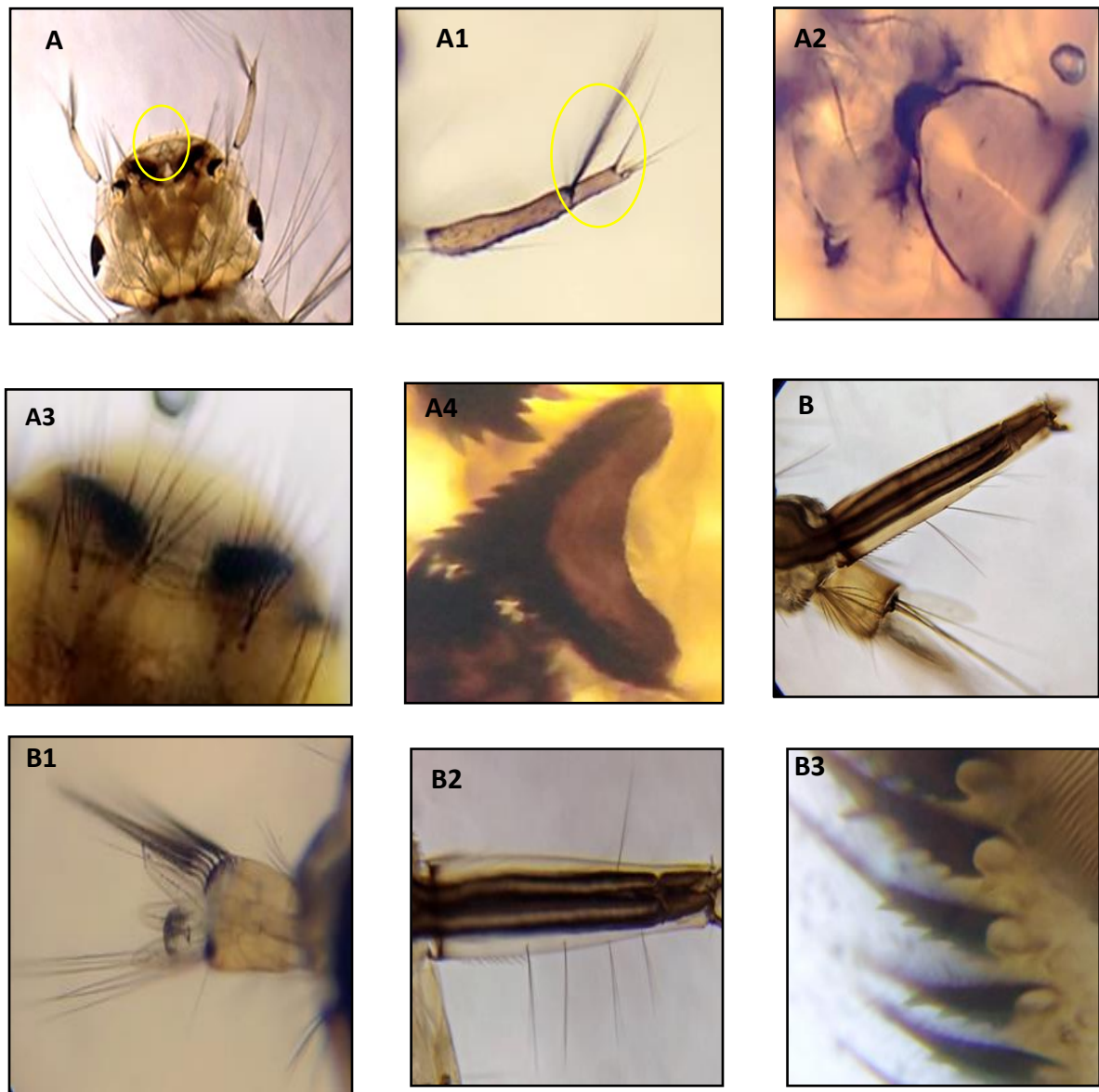
+ Présence ; - Absence.

#### 3.2. Caractéristiques morphologiques d'identification et bio-écologie des espèces inventoriées

##### 3.2.1. *Culex pipiens* Linné, 1758



*Culex pipiens* est une espèce très fréquente en Algérie et en Afrique du Nord, les larves de cette espèce sont rencontrées dans les gîtes les plus diverse comme les gîtes permanents à eau douce pauvre ou riche en végétation, gîtes temporaires à eau douce riche ou pauvre en végétation, cette espèce a été signalé par plusieurs auteurs ou l'eau est fraîche et pure, encombrés en végétation ou clair (**Senevet & Andarelli 1960 ; Brunhes *et al.*, 1999**). Cette espèce est très abondante pendant les mois d'été et automne (**Shaffner *et al.*, 2001**). Selon Elena 2007 les moustiques développent tout au long de l'année dans les sites souterrains inondés par eaux polluées, par exemple dans les sous-sols des maisons et souterraines, les tunnels, le *Culex pipiens* colonise les différents types de milieux pendant une longue période. Par contre le froid constitue un facteur limitant pour certains gîtes le cycle de développement de *Culex pipiens* est interrompu dans les premiers mois de l'année qui correspondent à la saison hivernale (**Aissaoui, 2014**). La larve de *Culex pipiens* possède une tête longue (Figure 24 A). L'épine préclypéale est mince et effilée à l'apex (Figure 24 A), La soie antennaire 3-A est proche de 4-A (Figure 24 A1), La structure hypostomale est complète (Figure 24 A2). Les soies 5-C et 6-C sont formés de 4 branches ou plus (Figure 24 A3), Le mentum contient 8 dents et plus de part et d'autre de la dent médiane (Figure 24 A4). Le huitième segment porte des écailles toutes sans épine médiane et disposées en désordre (Figure 24 B). Le siphon présente généralement une forme droite ou convexe, avec des soies ventrales et une seule soie latérale dont la soie I a-S du siphon est positionnée au-delà de la dent distale du peigne du siphon (Figure 24 B2), L'épine subapicale 2-S du siphon est courte, la dent distale du peigne siphonal est composée de 3 à 5 denticules (Figure 24 B3).



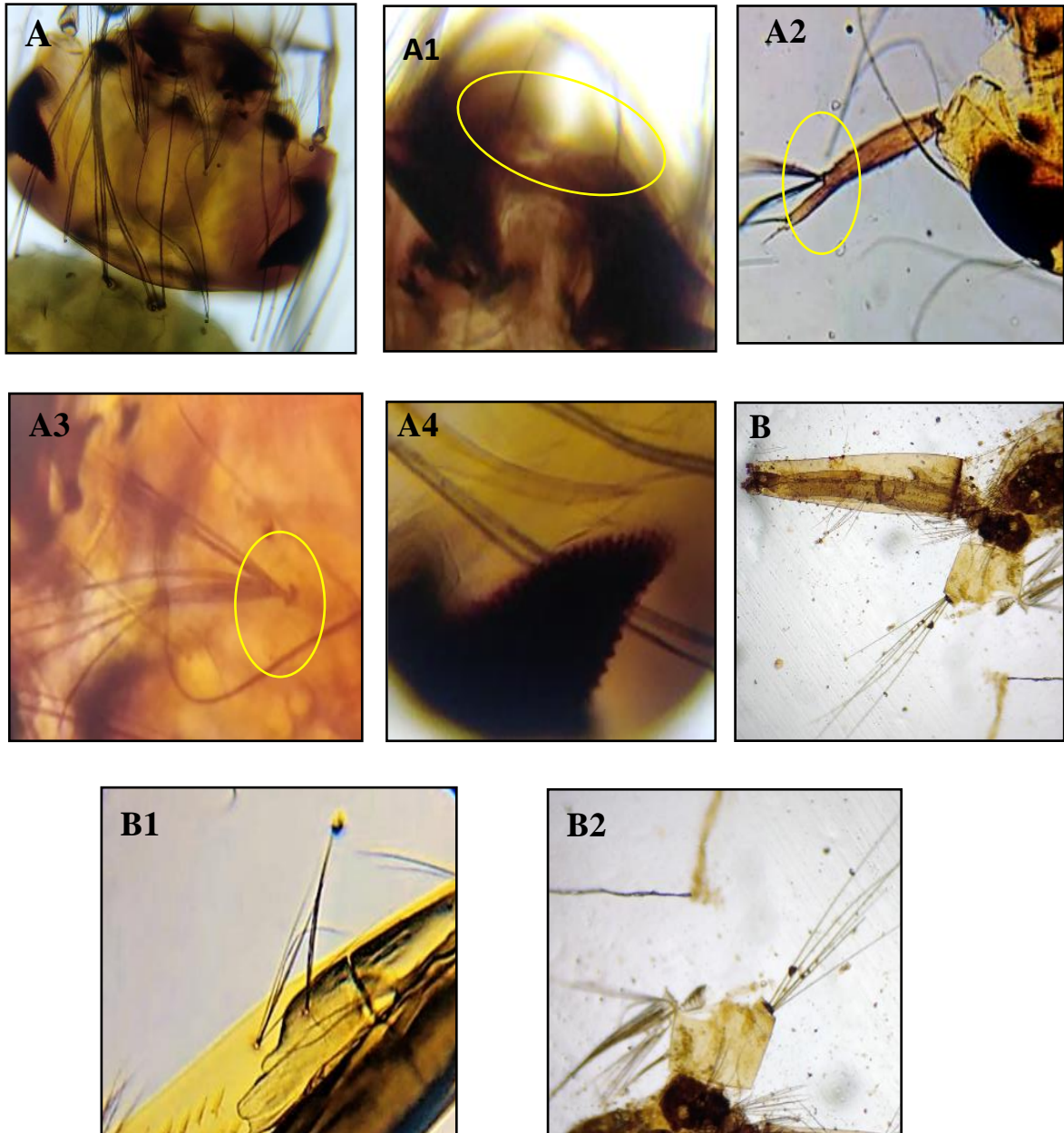
**Figure 24.** Caractéristiques morphologiques de la larve de *Culex pipiens*. **A** : Tête (X40). L'épine préclypéale (X40). **A1** : Soie antennaire 3-A (X100). **A2** : Structure hypostomale (X100). **A3** : soies 5-C et 6-C (X100). **A4** : Mentum (X100). **B** : écailles de huitième segment (X40). **B2** : Forme générale du siphon (X60). **B3** : L'épine subapicale 2-S du siphon (X100). (Photos personnelles).

### 3.2.2. *Culex torrentum* Martini, 1925

*Culex torrentum* est multivoltin, les larves de *Culex torrentum* semblent être eurygone. Elles sont vectrices du virus Sindbis (Ockelbo) (Brunhes *et al.*, 2001).

La tête de *Culex torrentum* possède : une soie préclypéale 1-C mince et effilée à l'apex (Figure 25 A1), une soie antennaire 3-A : est à proximité de 4A (Figure 25 A2). La soie 5-

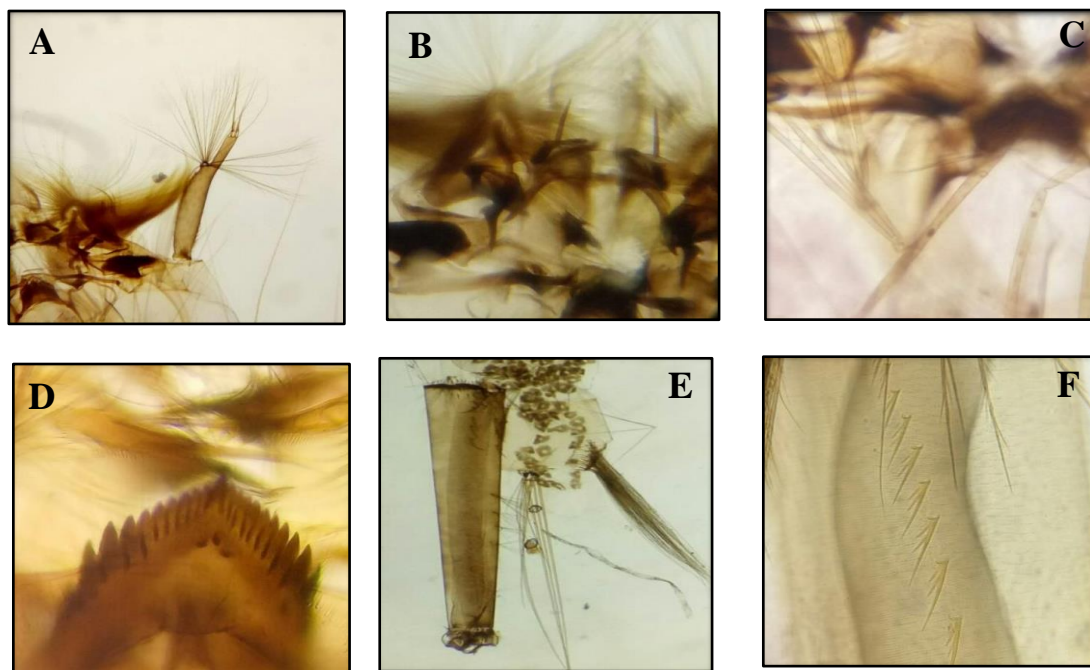
C et 6-C : sont formées de 4 branches (Figure 25 A3), Le mentum : de 8 dents ou plus (Figure 25 A4). Le siphon à bord droit formé de soies ventrales et 2 soies latérales (Figure 25 B1). Le caractère qui distingue *Culex torrentum* par rapport au *Culex pipiens* (au niveau du segment anale une soie X-1 doublée) (Figure 25 B2).



**Figure 25.** Critères morphologiques de la larve de *Culex torrentum*. (Djeddar, 2022). **A :** Tête (X40). **A1 :** Soie préclypéale 1-C (X100). **A2 :** Soie antenneaire 3-A (X40). **A3 :** Soie 5-C et 6-C (X100). **A4 :** Mentum (X100). **B :** Siphon (X40). **B1 :** Soies ventrale et 2 soies latérales (X100). **B2 :** Soie X-1(X40) (Photos personnelles).

### 3.2.3. *Culex theileri* Theobald, 1903

*Culex theileri* a une aire de répartition très vaste qui s'étend de l'Afrique du Sud à la Russie d'Europe et du Maroc à l'Inde et au Nepal (Brunhes *et al.*, 2001). Selon Senevet & Andarelli (1960) les larves de cette espèce peuvent se rencontrer dans un grand nombre de gîtes.



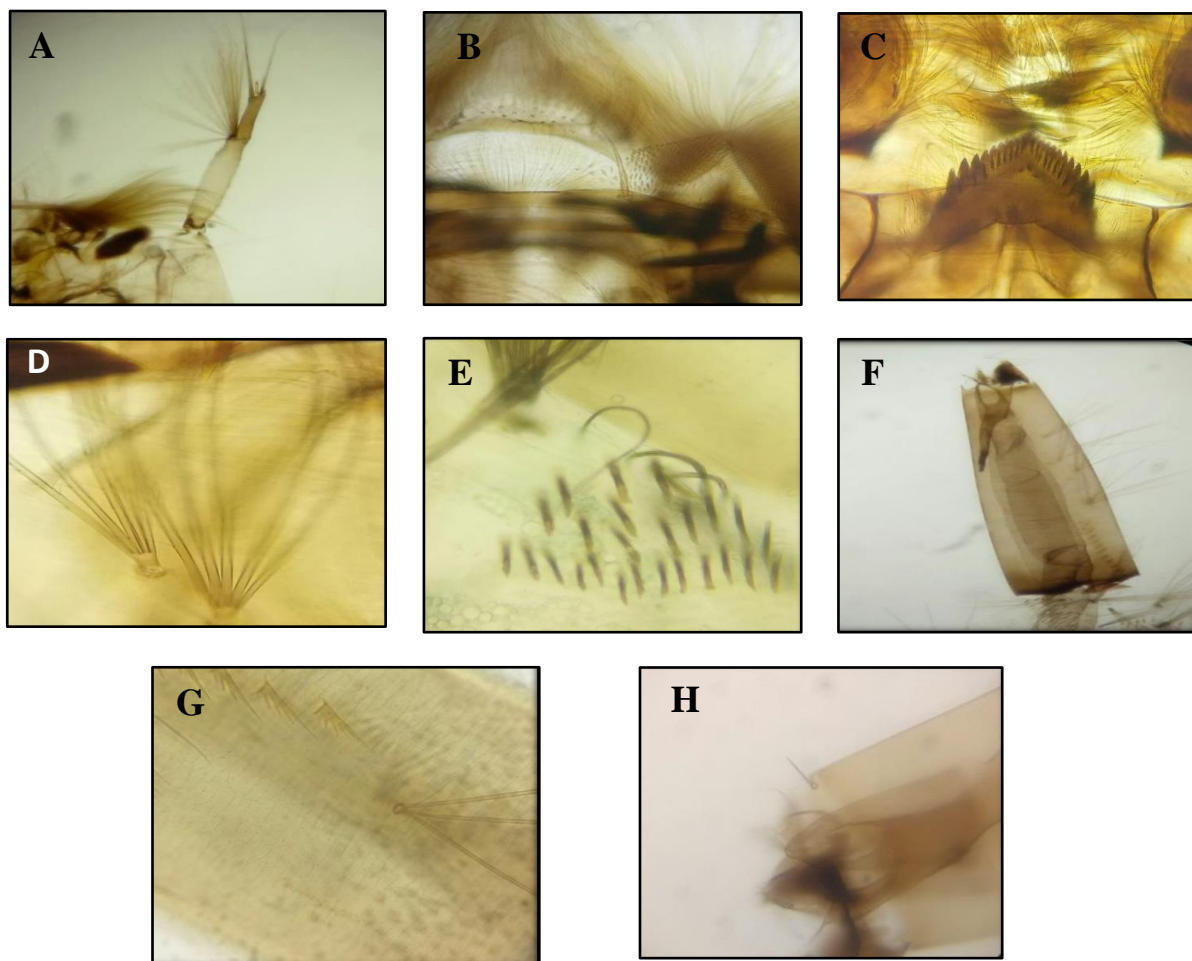
**Figure 26.** Caractéristiques morphologiques de *Culex theileri*. **A:** Soie antennaire 3-A(X60). **B:** Epine préclypéale(X100). **C :** Soies céphaliques 5-C et 6-C (X100). **D:** Mentum (X100). **E:** siphon(X40). **F:** Dent du peigne siphonal (X100). (Djeddar, 2022).

### 3.2.4. *Culex modestus* Ficalb, 1890

*Culex modestus* est une espèce qui se rencontre dans de nombreux gîtes dont l'eau est douce ou légèrement saumâtre. Les larves de ce genre peuvent se développer dans de petits gîtes, souvent très ensoleillés et couverts de végétation. Cette espèce est soupçonné d'être vecteur des virus West Nile, Sindbis et *Dirofilaria immitis* (nématode). Les principaux éléments d'identification sont : la soie antennaire 3-A est proche de 4-A (Figure 27 A), l'épine préclypéale 1-C est mince et effilée jusqu'à l'apex (Figure 27 B) et le mentum est composé de 8 dents ou plus de part et d'autre de la dent médiane (Figure 27 C). Les branches des soies céphaliques 5-C et 6-C sont de 4 ou plus (Figure 27 D). Les écailles du huitième segment de l'abdomen sont composées d'écailles toutes sans épine médiane et mises en ordre (Figure 27



E). Le siphon respiratoire est situé à l'extrémité droite, avec seulement 7 paires de touffes ou plus dont la soie I a-S du siphon est positionnée au-delà de la dent distale du peigne du siphon (Figure 27 F, G); cette dernière est formée de 3 à 5 denticules basaux (Figure 27 G) et l'épine subapicale 2- S du siphon est courte (Figure 27 H).

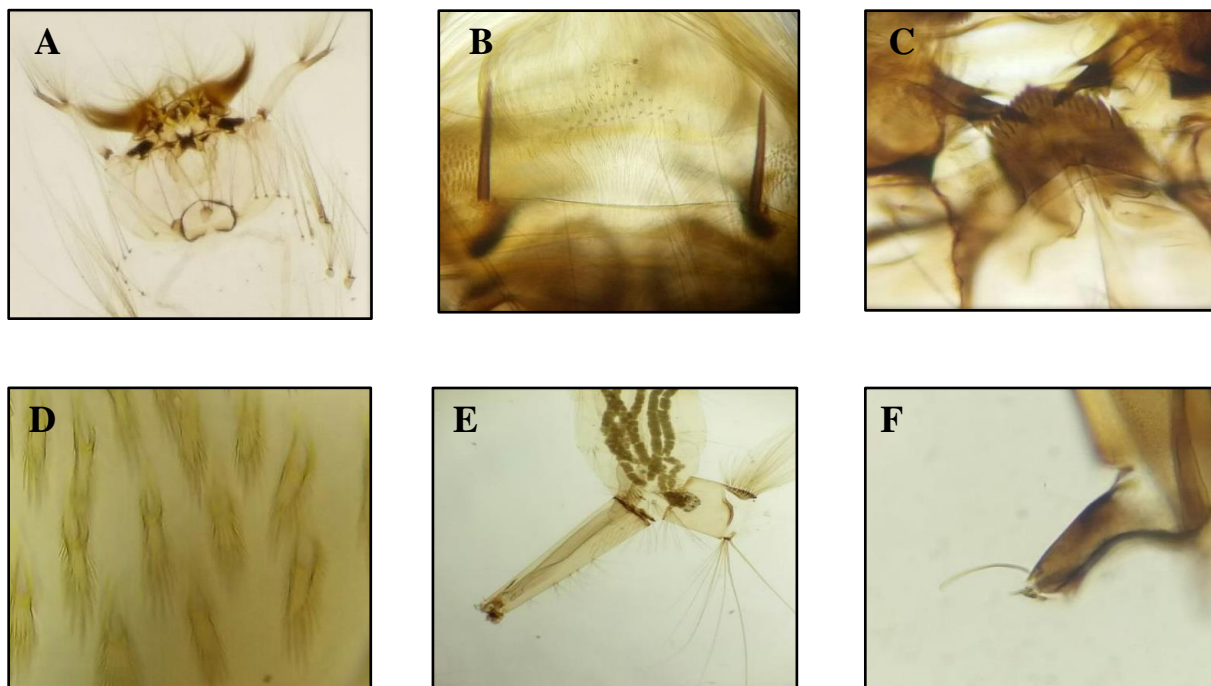


**Figure 27.** Caractéristiques morphologiques de *Culex modestus*. **A:** Soie antennaire (X60) 3-A. **B:** Epine préclypéale 1-C(X100). **C:** Mentum (X100). **D:** Soies cephaliques (X100). **E:** Ecaillés de huitième segment (X100). **F:** Siphon respiratoire (X60) **G:** Dent distale du peigne du siphon (X100). **H:** L'épine subapicale 2- S (X100) (Djeddar, 2022).

### 3.2.5. *Culex laticinctus* Edwards, 1913

*Culex laticinctus* est sans importance médicale (Schaffner *et al.*, 2001). Les gîtes larvaires sont très extrêmement divers. L'eau de ces habitats aquatiques peut y être douce ou légèrement saumâtre. Les femelles n'ont été observées ni dans les habitations ni piquant l'homme. La larve de cette espèce se caractérise par une tête plus longue que large, d'une soie antennaire 3-A insérée à proximité de 4-A (Figure 28 A), d'une épine préclypéale 1-C épaisse

jusqu'à l'apex (Figure 28 B) et d'un mentum triangulaire qui constitue plus de 8 dents de part et d'autre de la dent médiane (Figure 28 C). Au niveau de l'abdomen, le huitième segment porte des écailles toutes sans épine médiane et disposées en désordre (Figure 28 D). La forme générale du siphon respiratoire est à bord droit, son indice est compris entre 3 et 4,5 (Figure 28 E) et l'épine subapicale 2-S du siphon est courte (Figure 28 F). Aussi, sur le segment anal il existe une seule soie caudale (1-X) (Senevet & Andarelli 1956).

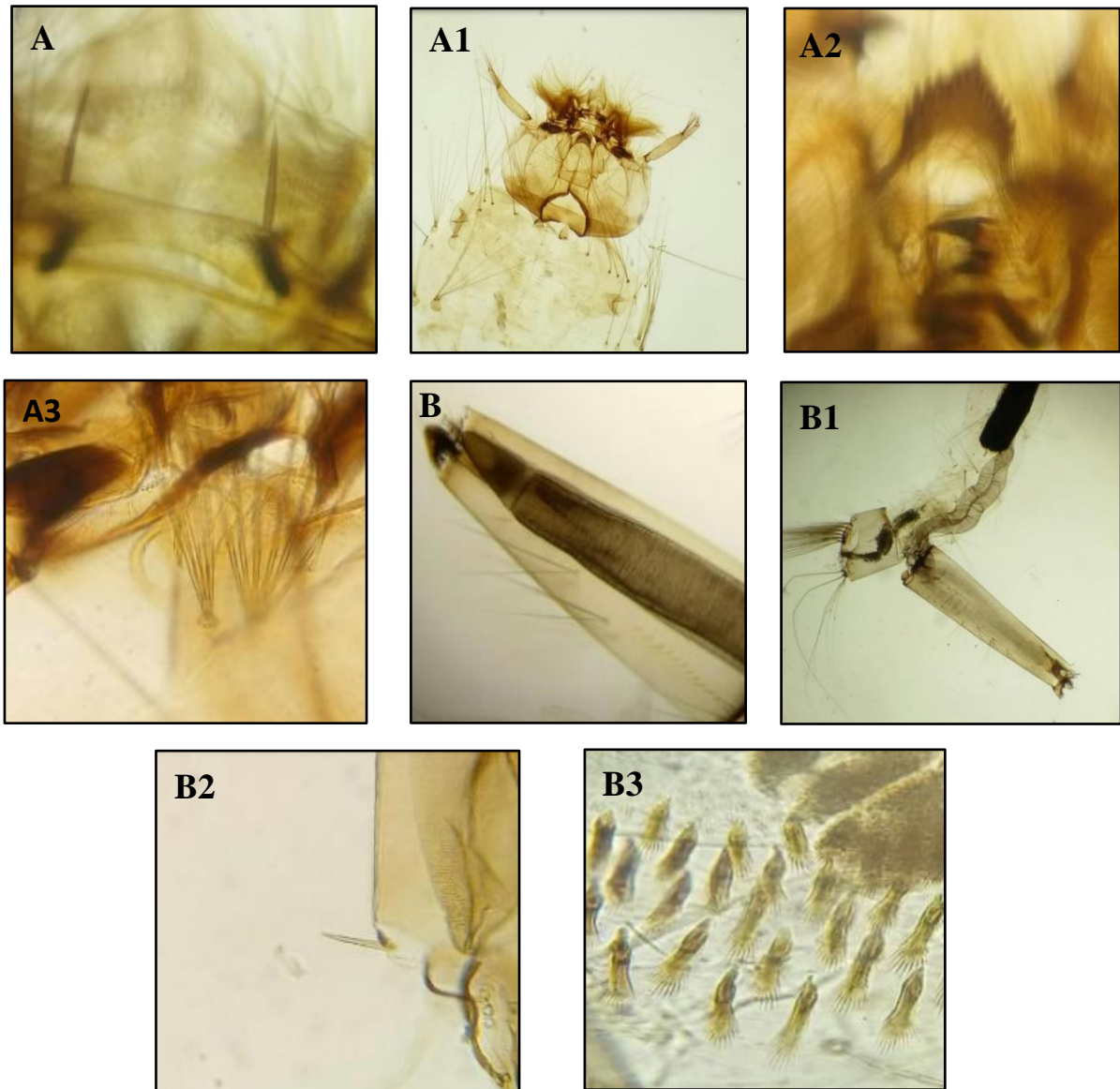


**Figure 28.** Caractéristiques morphologiques de *Culex laticinctus*. A: Tête (x40). B: Épine préclypéale (X100). C: Mentum (X100). D: Les écailles de huitième segment (X100). E: Siphon(x40). F: Épine subapicale 2-S(X100) (Djeddar, 2022).

### 3.2.6. *Culex perexiguus* Théobald, 1903

*Culex perexiguus*, une espèce très répandue en été et en automne, même au printemps. Les larves de cette espèce sont trouvées dans de nombreux gîtes sauvages ou domestiques. Selon Brunhes *et al.* 1999, *Cx. perexiguus* est soupçonné d'être vecteur des virus West Nile et Sindbis dans plusieurs pays du Moyen orient. La larve présente une tête plus longue que large (Figure 30 A), une épine préclypéale épaisse jusqu'à l'apex (Figure 29 A1) et un mentum composé de moins de 8 dents de part et d'autre de la dent médiane (Figure 29 A2). Le nombre de branches de la soie 5 C et 6-C est de 5 à 6 (Figure 29 A3). L'indice (longueur/largeur) du siphon est de 5.5-7.9 (Figure 29 B). La forme générale du siphon est à bord droit et les dents du peigne siphonal sont bien développées et n'occupant pas plus du quart de la longueur du

siphon (Figure 29 B1). La soie Ia-S du siphon est positionnée au-delà de la dent distale du peigne du siphon ; celle-ci est composée de 2 à 3 branches et l'épine subapicale 2-S du siphon est courte (Figure 29 B2). Au niveau de l'abdomen, les écailles du huitième segment toutes sans épine médiane et disposées en désordre (Figure 29 B3).



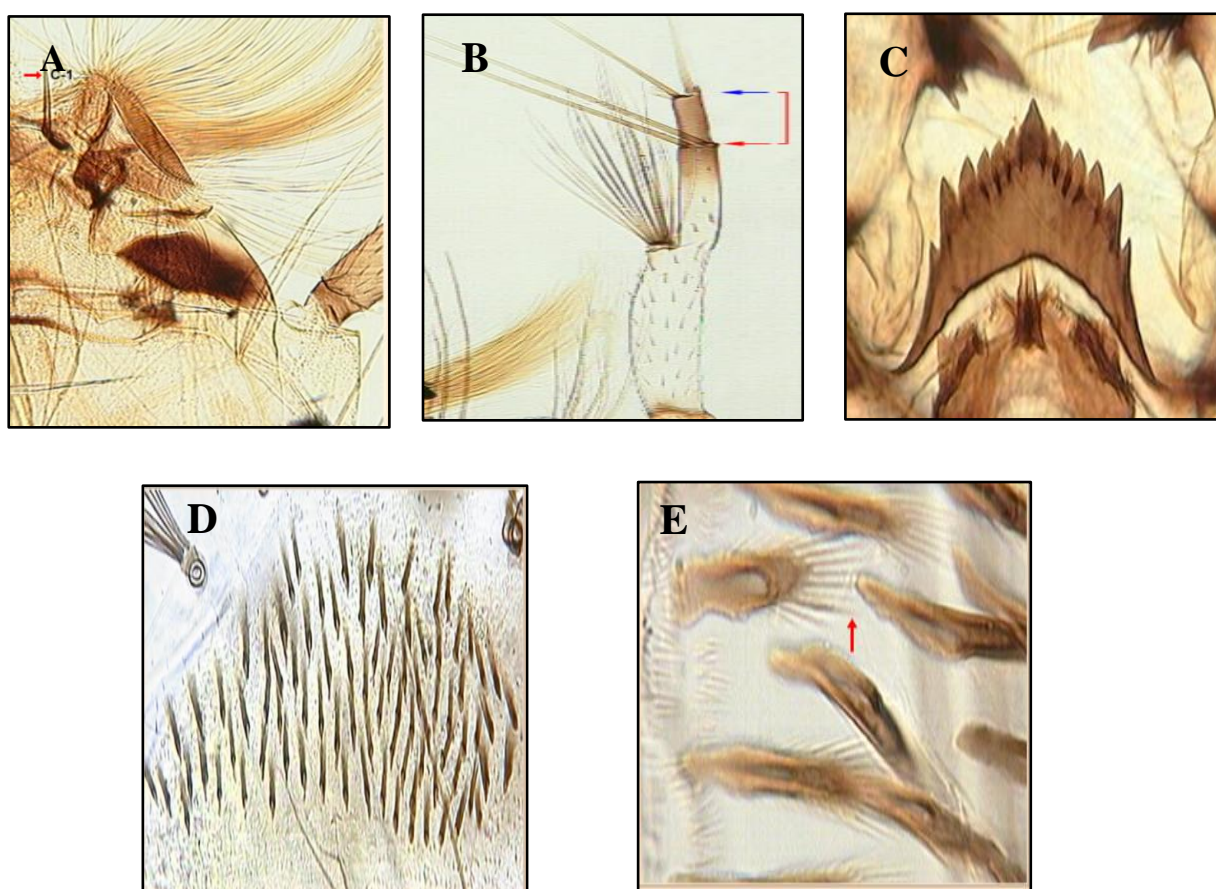
**Figure 29.** Caractéristiques morphologiques de *Culex perexiguus*. **A:** Tête (X40). **A1:** Epine préclypéale(X100). **A2:** mentum(X100). **A3:** soie 5 C et 6-C(X100). **B :** Siphon (X40). **B1 :** Dent distale du peigne siphonal et la soie Ia-S(X60). **B2 :** Epine subapicale(X100). 2- S **B3:** Écailles du VIII segment abdominal(X100) (Djeddar, 2022).

### 3.2.7. *Culex diserticola* Kirkpatrick, 1924

*Culex diserticola* est présent dans toute l'Afrique méditerranéenne en particulier dans les régions Saharienne ou pré-Saharienne, son aire de répartition s'étend jusqu'à l'Iran. Les



larves se développent dans les trous de rocher, le lit des oueds, les résurgences, les mares au fond sablonneux, l'eau de ces gites est douce et claire, la végétation peut être présente ou absente. Les larves se nourrissent en restant au fond de l'eau, elles rencontrent surtout en hiver et au printemps, les femelles présentent surtout en hiver et ne piquent pas l'homme. La soie antennaire 3-A de cette espèce est éloignée de 4-A (Figure 30 B), préclypéale 1-C épaisse jusqu'à l'apex (Figure 30 A), les dents du mentum est moins de 8 de part et autre de la dent médiane (Figure 30 C) les écaille du 8<sup>ème</sup> segment sont déposés en désordre (Figure 30 D), toute sans épine médiane (Figure 30 E).



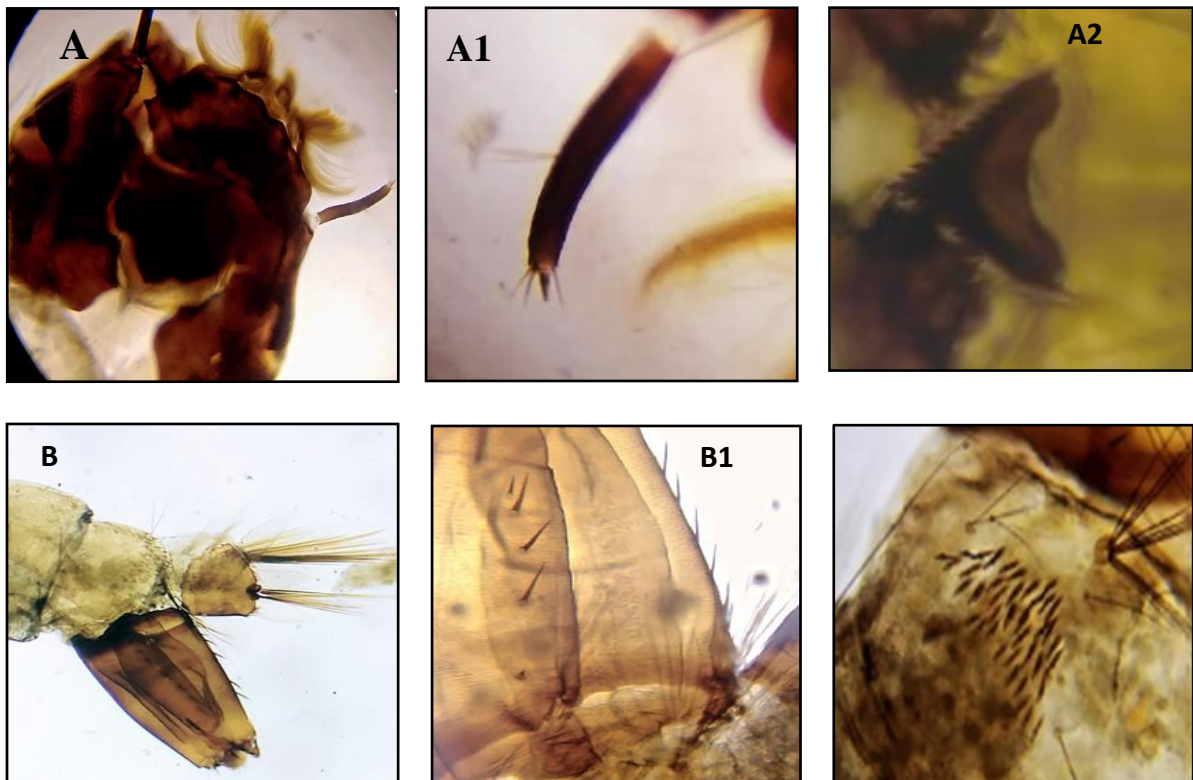
**Figure 30.** Caractéristiques morphologiques de *Culex diserticola*. **A:** Épine préclypéale 1-C (X100). **B:** Soies antennaire 3-A et 4-A (X60). **C:** Mentum (X100). **D,E:** Écaille du 8<sup>ème</sup> segment (X60, X100) (Brunhes, 1999).

### 3.2.8. *Culiseta longiareolata* macquart, 1830

*Cs. longiareolata* est multivoltin à développement continu dans les pays chauds, et présente une diapause hivernale chez les imagoes femelles et chez les larves (région tempérées). Les adultes sont présentes toute l'année avec un maximum de densité au printemps et un autre en



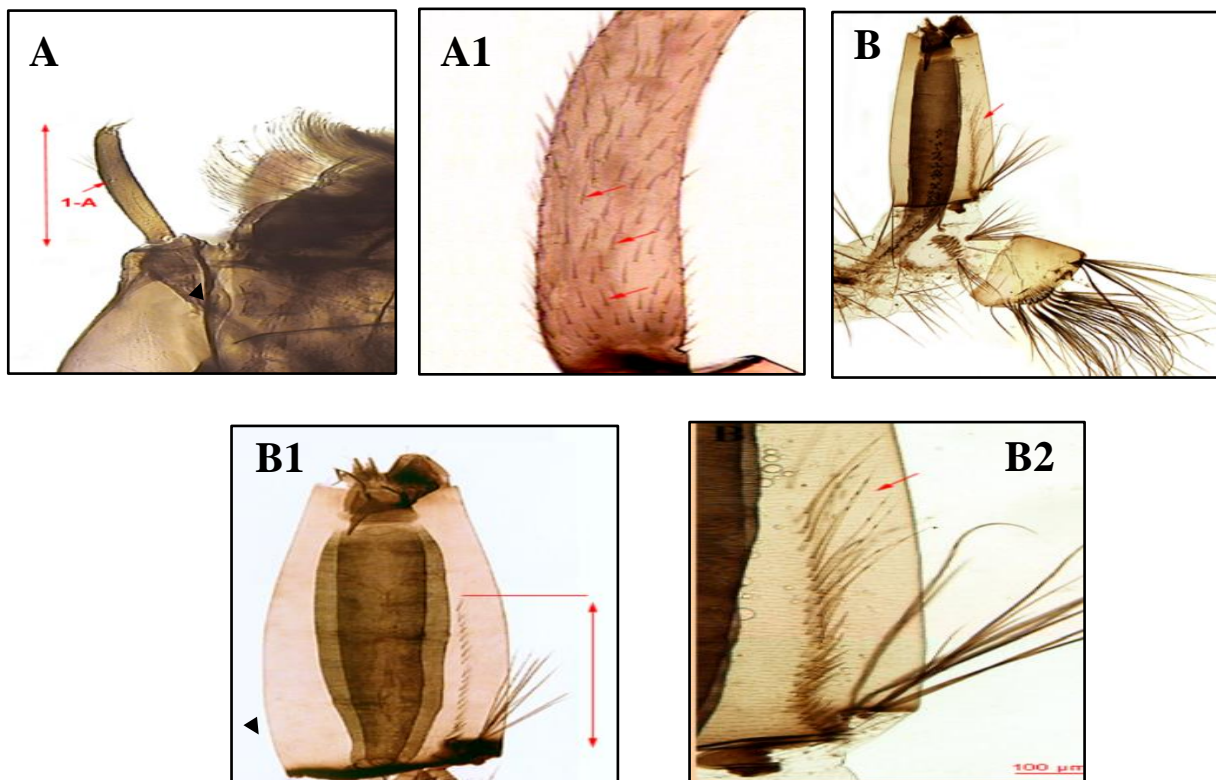
automne (Aissaoui, 2014). Cette espèce à large répartition, les œufs sont solitaires aux moments de la ponte et forment ainsi une nacelle. Les gîtes larvaires sont de type très variés (bassin, abreuvoirs, puits abandonnés, trous de rocher, mares, rizières, canaux) mais l'eau y est toujours stagnante et généralement riche en matière organique. Ces gîtes sont permanents ou temporaire, ombragés ou ensoleillés, remplis d'eau douce ou saumâtre, propre ou polluée. Un aussi large spectre de possibilités rend bien compte de la vaste répartition et de l'abondance de l'espèce. La tête de *Culiseta longiareolata* est sombre très pigmentée (Figure 31 A) avec des antennes court à tégument lisse (Figure 31 A1). Le mentum triangulaire (Figure 31 A2). Cette espèce possède un siphon conique possédant 2 touffes de soies basales (Figure 31 B1). Peigne siphonal s'étend sur quasiment tout le siphon avec des dents déposées irrégulièrement le long du siphon (Figure 31 B1). Le 8<sup>ème</sup> segment porte des écailles toutes avec épine médiane et déposées en désordre (Figure 31 B 2).



**Figure 31.** Caractéristiques morphologiques de la larve de *Culiseta longiareolata*. **A:** Tête (X40). **A1:** Antenne (X100). **A2:** Mentum (X100). **B1:** Siphon (X60). **B2,3:** Peigne siphonal (X60). (Photos personnelles).

### 3.2.9. *Culiseta annulata* schrank, 1776

Les œufs de cette espèce sont solidarisés au moment de la ponte, forment une barquette, les larves éclosent 4 jours après la ponte. Les larves se développent dans de très nombreux gîtes qui peuvent être naturels (mare riche en matière organique, prairie inonde, fossé, bords de rivières) ou artificiels (bassin dont l'eau est polluée, citerne). Les eaux riches en azote sont tout particulièrement fréquentées et les larves peuvent y être très nombreuses. La tête de *Culiseta annulata* possède (Figure 32 A) des antennes nettement spiculés (Figure 32 A1), très courtes, la soie antennaire 1-A est peu visible (Figure 32 A), cette espèce est caractérisé par un siphon de taille moyen (Figure 32 B), le peigne siphonal dépasse la moitié du siphon, formé de dents basales denticulées et serrées les unes contre les autres et de dents distales très longues, presque transparents, semblables à des soies (Figure 32 B, C).

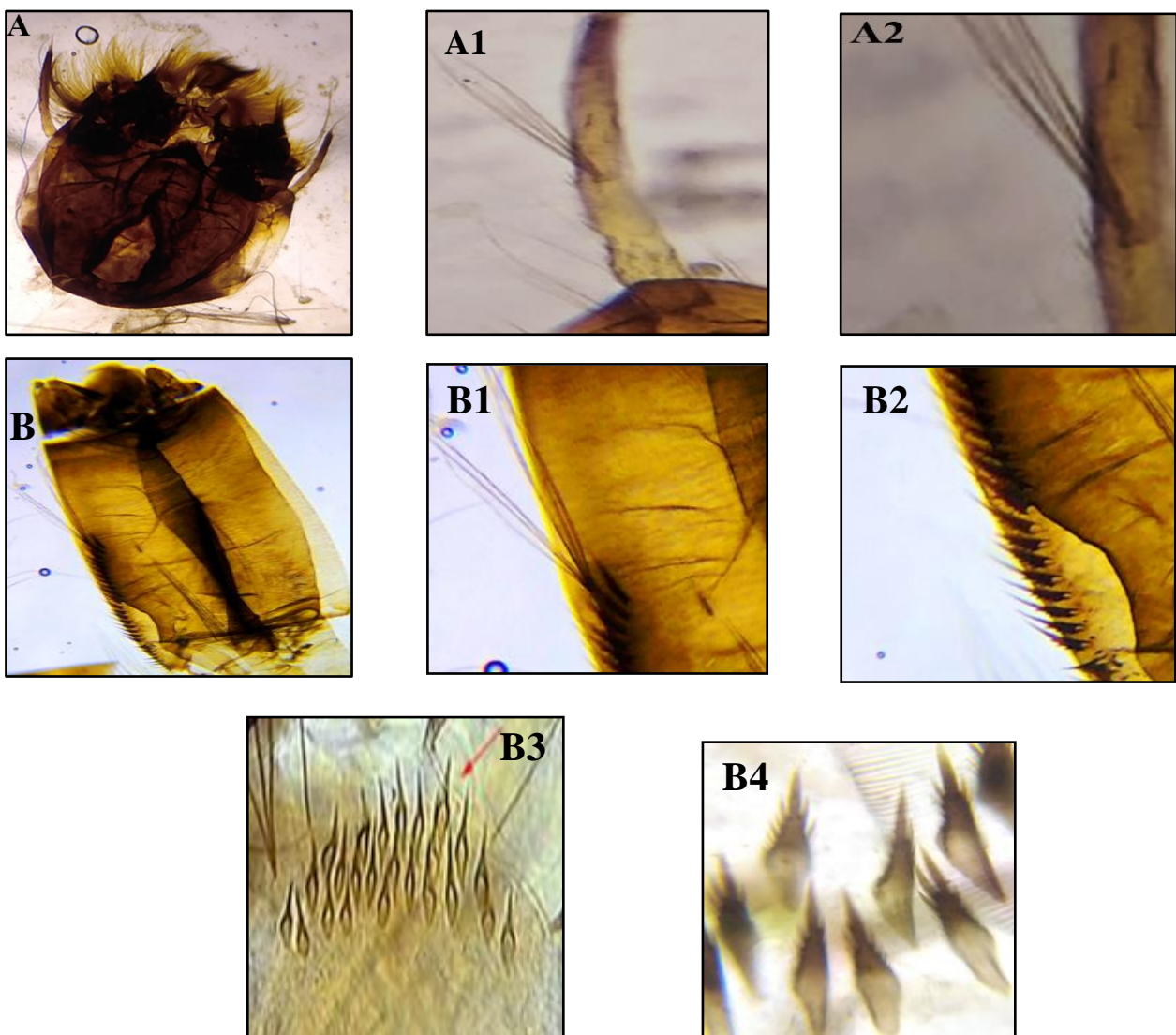


**Figure 32.** Caractéristiques morphologiques de *Culiseta annulata*. **A:** Tête (X40). **A1:** Antenne (X60). **B:** Siphon (X40). **B1,2:** Peigne siphonales (X60) (Brunhes, 1999).

### 3.2.10. *Aedes caspius* Pallas 1771

*Aedes caspius* est un moustique paléarctique, a été observé dans tous les pays d'Afrique méditerranéenne mais toujours à basse altitude. Il existe une grande diversité de gîtes larvaires, généralement de grandes dimensions (mares, marais, rizières, canaux), mais parfois de taille plus réduite (puits abandonnés). L'eau peut être douce ou salée, et la végétation

halophile est généralement abondante. *Aedes caspius* est anthropophile et exophile, cette espèce est responsable d'une forte nuisance dans les zones de marais, vecteurs de Filaires animale et d'arbovirus (Tahyna, Virus de la myxomatose). Le segment antennaire d'*Aedes caspius* est nettement spiculé, et la soie 1-A situé sur la moitié basale de l'antenne (Figure 33 A1). La soie 1-A est constituée de plus de trois branches (Figure 33 A2), le siphon dépourvus de soies dorsales (Figure 33 B), la soie 1a-s est de 5-10 branches (Figure 33 B1). Les dents du peigne du siphon ont une forme d'épines (Figure 33 B2), les écailles du 8<sup>ème</sup> segment déposés en désordre avec une dent médiane plus longue (Figure 33 B4). Elle sont de couleur jaune crème (Figure 33 B3).

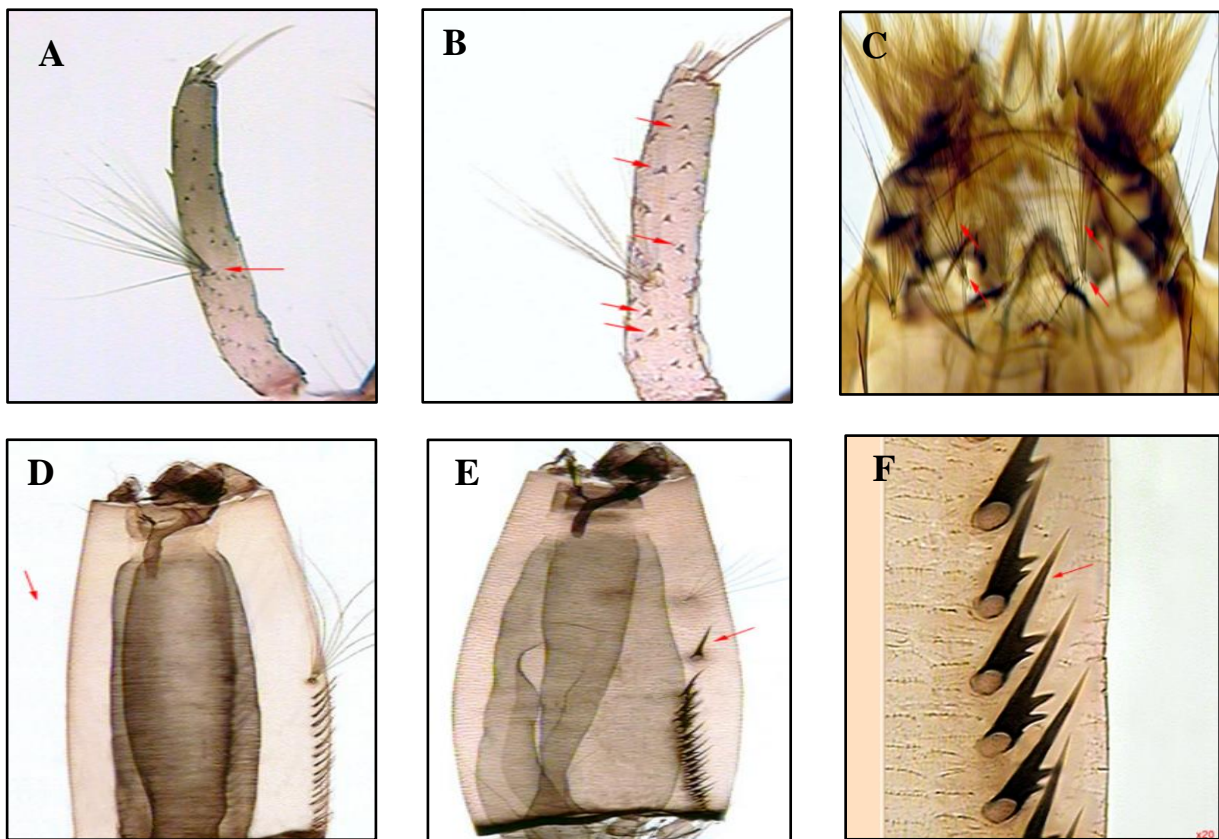


**Figure 33.** Critères morphologiques de la larve d'*Aedes caspius*. **A:** Tête (X40). **A1, A2:** Soie antennaire 1-A(X40). **B:** Siphon (X40). **B1:** Soie 1a-s (X40). **B2:** Dents du peigne du siphon (X60). **B3,B4:** Écailles du 8<sup>ème</sup> segment (X100) (Photos personnelles).



### 3.2.11. *Aedes vexans*

*Aedes vexans* est une espèce qui a été signalée au Maroc et en Libye ; son aire de répartition s'étend aux régions paléarctique, néarctique, orientale et australienne. Les larves de cet espèce se développent généralement en grand quantité dans de nombreux gîtes temporaires, petites ou grand, avec ou sans végétation, on les rencontre surtout dans les prairies inondées, les rizières, les fossés, les mares, les bords d'oued, le développement des larves dure de 4 à 25 jours. La tête des larves possède des antennes nettement spiculées (Figure 34 A), avec une soie antennaire A-1 située sur la moitié basale d'antenne (Figure 34 B), les soies C6 se forme de 2 ou 3 branches (Figure 34 C), absence de soies dorsale au niveau du siphon (Figure 34 D), qui est formé de 1 à 3 dents du peigne nettement isolées (Figure 34 E), l'aspect du peigne du siphon est en forme d'épines (Figure 34 F).



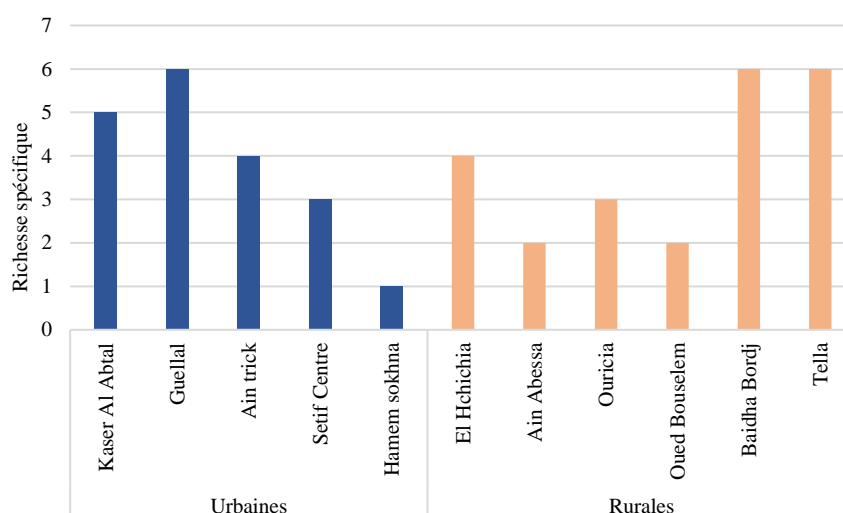
**Figure 34.** Critères morphologiques de la larve d'*Aedes vexans* .A: Antenne (X40). B: Soie antennaire 1-A(X40). C: Soie c6 (X100). D: Siphon (X40). E: Dents du peigne du siphon (X40). F: Epines siphonales (X100) (Brunhes, 1999).

### 3.3. Indices écologiques

#### 3.3.1. Indices écologiques de composition

##### 3.3.1.1. Richesse spécifique ou totale

Au niveau des zones urbaines la richesse totale la plus élevée a été signalé dans le gîte Guellal avec 6 espèces. Le gîte Kaser El Abtal occupe la deuxième position avec 5 espèces, ensuite les gîtes : Ain trick, Sétif centre enregistrent 4 et 3 espèces respectivement, la valeur minimale de la richesse totale au niveau des gîtes urbaines a été signalé dans le gîte Hammem Sokhna avec une seule espèce. Pour les zones rurales, deux gîtes marquent la richesse la plus élevée avec 6 espèces Baidha Bordj et Tella, ensuite El Hchichia avec 4 espèces. 3 espèces sont signalée à Ouricia, la richesse la plus faible enregistré dans les gîtes Ain Abessa et Oued Bousselem (Figure 35).



**Figure 35.** Histogramme représente la richesse spécifique dans les gîtes urbains et ruraux prospectés dans la région de Sétif (Mars 2021-Février 2022).

##### 3.3.1.2. Abondance relative

###### 3.3.1.2.1. Abondance relative dans les zones urbaines

Les résultats de l'abondance relatives des Culicides dans les zones urbaines de la région de Sétif, sont résumé dans la (Figure 36) *Culex pipiens* et *Culiseta longiareolata* sont les espèces les plus abondantes avec les valeurs 48,82%, et 36,19% respectivement. *Culex theileri* occupe la deuxième position avec un taux de 10,54%, alors que les espèces *Aedes caspius*, *Culex diserticola*, *Culex modestus* et *Culex torrentum* participent avec des faibles valeurs: 1,92% ; 1,04% ; 0,60% ; 0,43% respectivement.

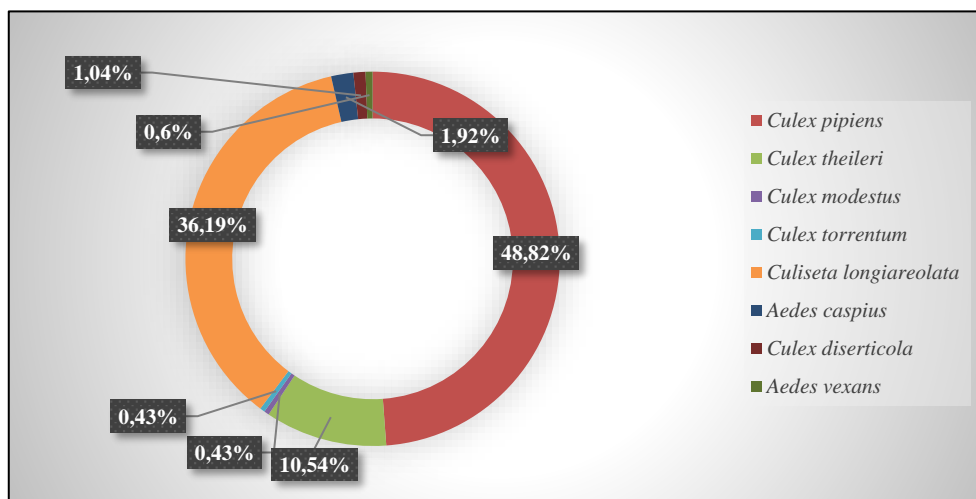


Figure 36. Abondance relative des zones urbaines de la région de Sétif durant la période d'étude (Mars 2021-Février 2022).

### 3.3.1.2.2. Abondance relative dans les zones rurales

Les résultats de l'abondance relative des zones rurales de la région de Sétif mentionnées dans la figure 37 montrent que *Culex pipiens* est l'espèce la plus abondante avec un taux de 69,77%, suivi par *Culex theileri*, *Aedes caspius*. Les espèces : *Culex modestus*, *Culiseta longeariolata*, *Culex perexiguus*, *Culex torrentum*, *Culex laticinctus*, *Aedes vexans* et *Culiseta annulata* présentent un faible taux d'abondance varie entre 4,09 et 0,04%.

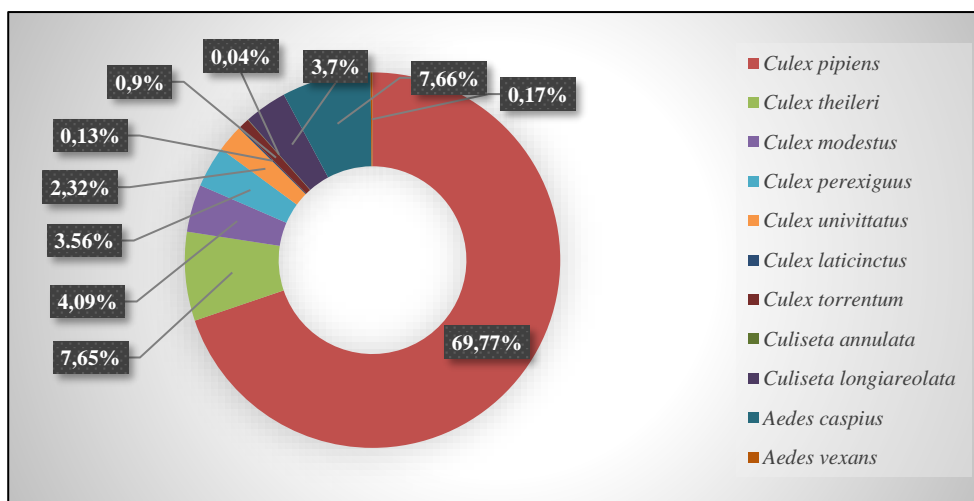
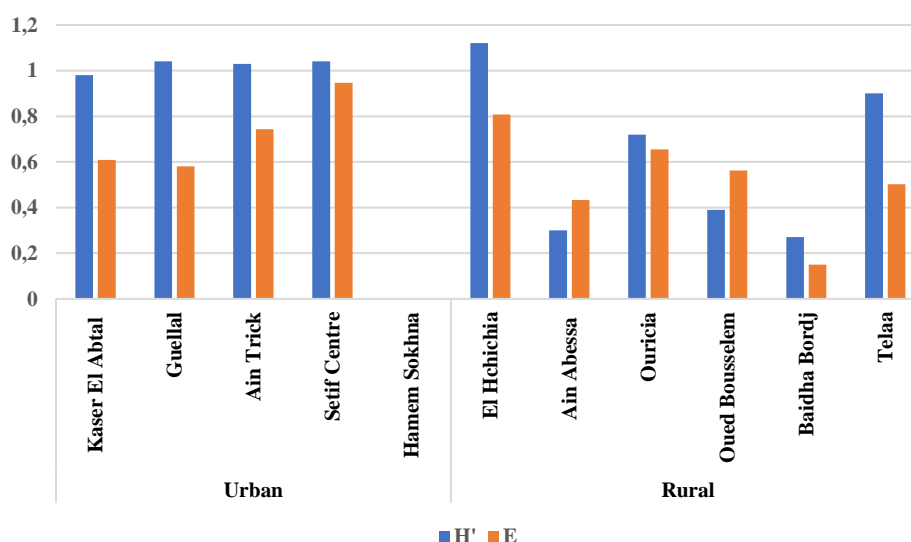


Figure 37. Abondance relative des zones rurales de la région de Sétif durant la période d'étude (Mars 2021-Février 2022).

### 3.3.2. Indices écologiques de structure

#### 3.3.2.1. Indice de diversité de Shannon- Weaver

Les résultats mentionnés dans la figure 38 et le tableau 5 présentent les valeurs de diversité de Shannon Weaver ( $H'$ ) et d'équitabilité ( $E$ ), d'après les résultats nous remarquons que les sites : Guellal, Setif centre et Ain Trick sont les sites urbains les plus diversifiées parce qu'ils présentent des valeurs de  $H' = 1,04 ; 1,04 ; 1,03$  bits respectivement. Le site Kaser El Abtal est marqué comme le site urbain moyennement diversifiées avec une valeur de  $H' = 0,98$  bits. Pour les sites ruraux : El Hchichia est le site le plus diversifier avec la valeur maximale de  $H' = 1,12$  bits, suivi par les sites moyennement diversifiés Tella avec 0,90 bits et Ouricia avec 0,72bits. Alors que le  $H'$  des autres sites rurales : Oued Bousselem 0,39 bits, Ain Abessa 0,3 bits, et Baidha Bordj 0,27 bits est loin de la valeur de la diversité maximal  $H' = 1,12$ , pour cela nous pouvons dire que le peuplement Culicidiennes au niveau de ces sites est très peu diversifiées.



**Figure 38.** Indice de diversité et équitabilité des espèces Culicidiennes récoltées dans les zones urbaines et rurales de la région d'étude (Mars 2021-Février 2022).

#### 3.3.2.2. Équitabilité

D'après les résultats portés dans la figure 38 nous constatons que l'équitabilité de différents sites (urbains et ruraux) est variée entre (0 et 0,95). Les valeurs les plus proches de 1 sont les sites urbains : Sétif centre 0,95bits et Kaser El Abtal 0,61 ; pour les sites ruraux : El Hchichia et Ouricia les valeurs sont 0,81 et 0,65 respectivement. Les différentes espèces de chaque un de ces sites donc sont en équilibre, car leur abondance est proche. Par ailleurs les peuplements

des sites rurales : Oued Bousselem, Tella, Ain Abessa, et le site urbain de Guellal sont peu homogènes et ses valeurs d'équitabilité sont : 0,56, 0,50, 0,45, et 0,58 bits respectivement, ce qui traduit un certain équilibre entre les populations des Culicides de ces 4 sites. Les sites Hammem Sokhna et Baidha Bordj ont une équitabilité faible, cela indique qu'il y n'a pas d'équilibre entre la population Culicidienne, et que l'homogénéité est très faible.

### 3.4. Effet de pH et température sur l'abondance relative des Culicides dans les gites urbains

Les zones urbaines de Kaser El Abtal, Guellal et Sétif centre se distinguent par des niveaux d'abondance relativement élevés, soit 35,74, 28,77 et 25,70 % respectivement. Cette observation est attribuable à la présence d'un pH alcalin dans ces habitats, variant entre 7,2 et 9,1, ainsi qu'à des températures oscillantes entre 16 et 17 °C. En revanche, les sites d'Ain Trick et de Hammem Sokhna ont enregistré les taux d'abondance les plus faibles, avec des pourcentages de 8 % et 1 % respectivement dans un pH alcalin aussi, cela peut être due à d'autres facteurs, tels que les conditions climatiques et les températures plus élevées dans ces sites qui limitent le cycle de vie des Culicides (Figure 39).

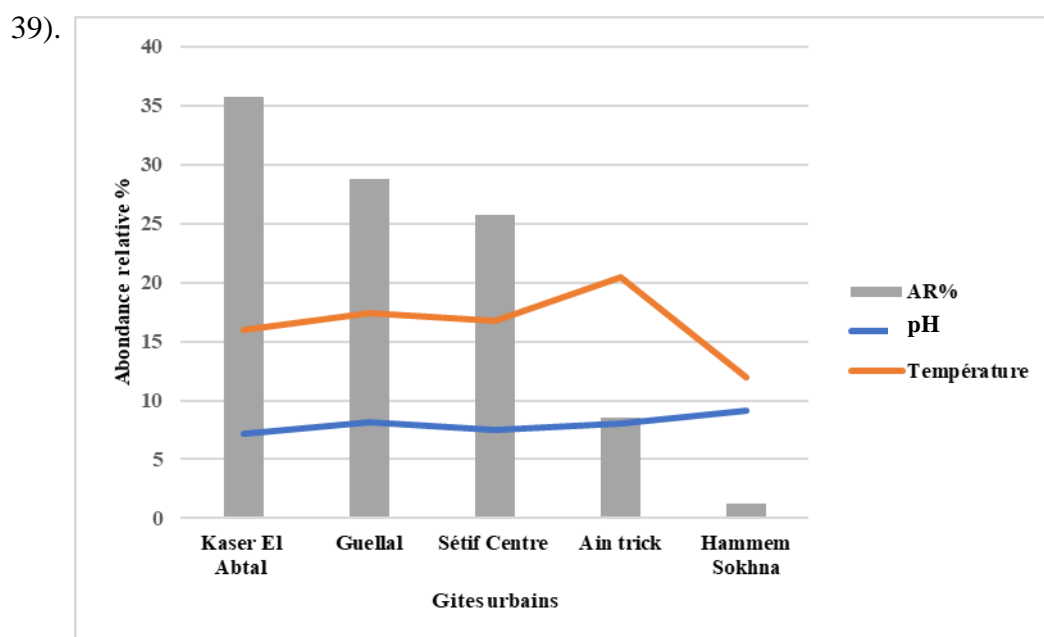


Figure 39. Effet de pH et Température sur l'abondance relative des Culicides dans les zones urbaines de la région de Sétif.



### 3.5. Effet de pH et température sur l'abondance relative des Culicides dans les gîtes ruraux

La figure 40 met en évidence les variations de l'abondance relative dans les différents sites ruraux. On remarque que les sites Baidha Bordj et d'Oued Bousselem affichent les pourcentages les plus élevés, respectivement 40,78 % et 30,94 %. Cette augmentation est associée à des niveaux de pH alcalins, de 9 et 8,2, ainsi qu'à des températures de l'eau favorables. En revanche, le site d'Ain Abessa présente une abondance relative plus faible, probablement due à son pH acide de 6,95 et à des températures plus élevées, ce qui peut limiter la prolifération des Culicidés.

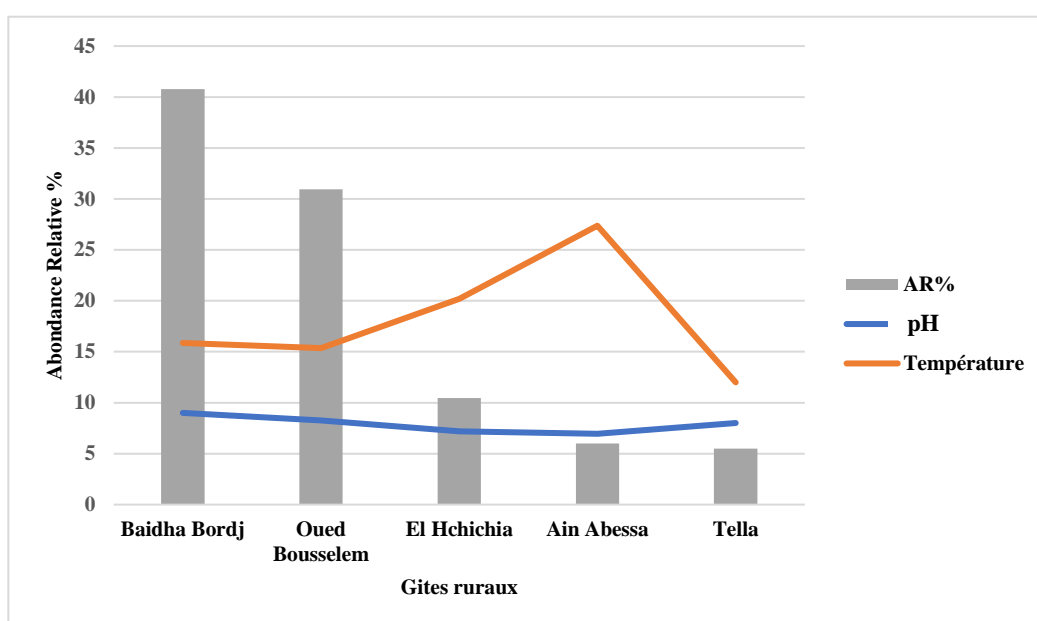


Figure 40. Effet de pH et température sur l'abondance des culicides dans les zones rurales de la région de Sétif.

### 3.6. Effet des paramètres environnementaux sur l'abondance des larves

#### 3.6.1. Effet des saisons

Les mois ont considérablement affecté l'abondance des larves de moustiques (Figure 41), montrant une nette augmentation de l'abondance de Mars à Août et une nette diminution à Février ; La période de Mars à Août correspond à une augmentation annuelle de la température de l'air de 14 à 36 °C. Cette période est également liée à une augmentation de la température de l'eau, de 15 à 21 °C. De Septembre à Novembre, l'intervalle de température

de l'eau a varié entre 16 et 21 °C elle est de 17 °C lorsque la température de l'air varie entre 32 et 13 °C. De ce fait, La diminution de l'abondance des larves est inversement liée à l'augmentation de la température de l'eau.

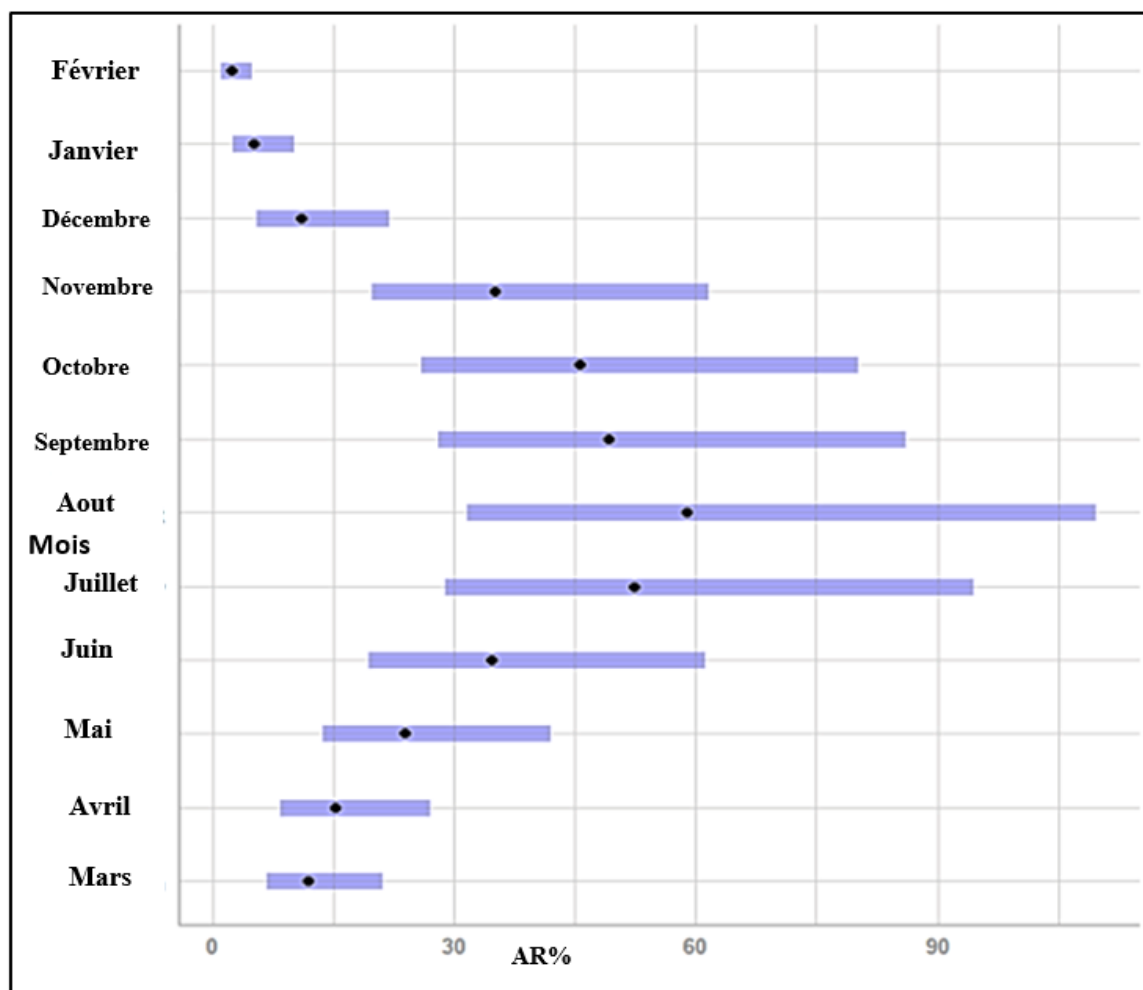


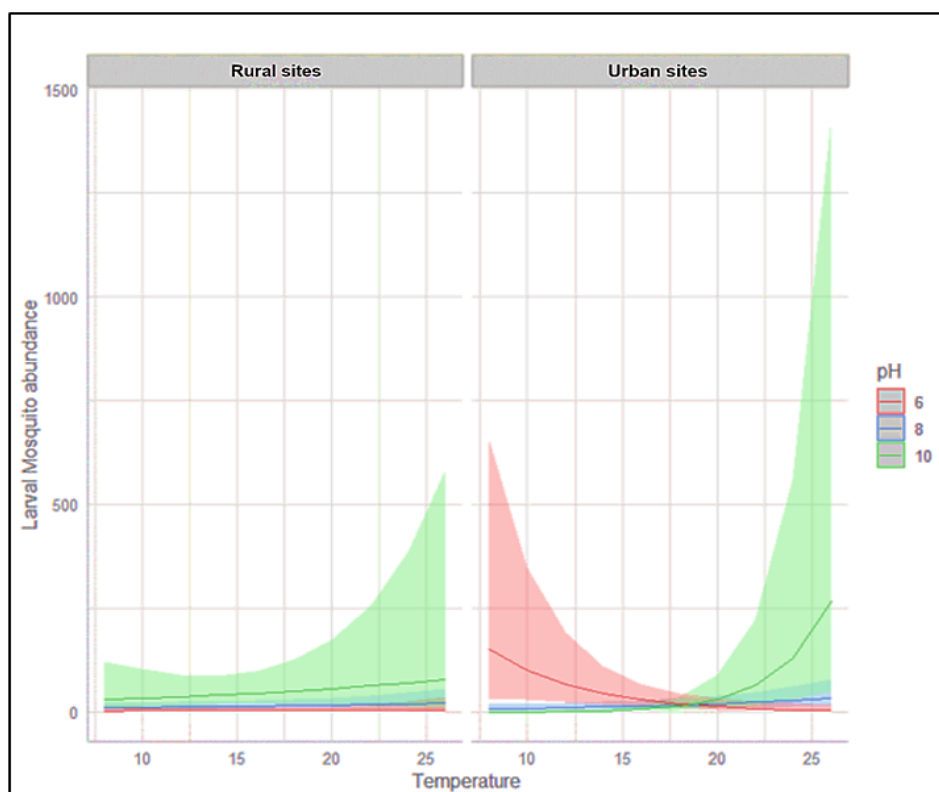
Figure 41. Phenologie de l'abondance relative des larves de moustique de Mars 2021 à Février 2022. AR% : Abondance relative.

### 3.6.2. Effet de l'interaction entre type de site, pH et la température de l'eau

Les interactions entre les sites (ruraux et urbains), le pH de l'eau et la température de l'eau ont également affecté l'abondance des moustiques. Dans les sites ruraux, l'abondance a augmenté avec la température de l'eau en pente différente selon le pH de l'eau. Lorsque le pH est passé de 6 à 10, la pente a augmenté. La diminution de l'abondance des larves est inversement liée à l'augmentation de la température de l'eau et une valeur de pH égale a 6 ; tandis que l'abondance a augmenté avec la température de l'eau pour les pH 8 et 10, avec une pente plus élevée pour le pH de base (Figure 42, Tableau 7).

**Table 7.** Effet du type de site (rural ou urbain) mois (Mars 2021 à Février 2022), pH, la température et de leurs interactions sur les valeurs d'abondance des larves de moustiques. Modèle de régression avec réponse binomiale négative. NS : Non Significatif, \* 0,05>valeur de p, \*\* : 0,01> p, \*\*\* : 0,001> p.

Facteur	LR Chisq	Df	p-valeur
Sites	0,164	1	0,68530 NS
Mois	60,339	11	<0,001 ***
pH	1,082	1	0,29818 NS
Temperature	0,875	1	0,34964 NS
Sites: pH	36,858	1	<0,001 ***
Sites: Température	0,193	1	0,66080 NS
pH: Température	5,764	1	0,01636 *
Sites : pH : Température	5,445	1	0,01962 *



**Figure 42.** Effet des interactions entre les sites (ruraux et urbains) et les paramètres de l'eau (pH et température) sur l'abondance des larves de moustiques de mars 2021 à février 2022.

### 3.7. Essais de lutte

#### 3.7.1. Rendement et composition chimique de l'huile essentielle de *Mentha spicata*

L'hydrodistillation des parties aérienne de *Mentha spicata* a fourni une huile essentielle avec un rendement de 0,5 % (p/p). Le dépistage photochimique de l'huile essentielle de *M. spicata* par CG/SM a révélé la présence de 43 phytoconstituants représentant 99,06 % du total des composants identifiés (Tableau 8 ; Figure 43). Parmi lesquels Chrysanthenone 33,96%, camphore 19,78%, 1,8 cinéole 8,24%, acétate de Jasmony 8%,  $\alpha$ -Thujone 6,73%, linalone 5,42%, étaient les composants prédominants dans l'huile de *Mentha spicata* tandis que les autres composants présentés avec un faible pourcentage comme le borneol 2,84% et Terpin-4-ol 1,45%.

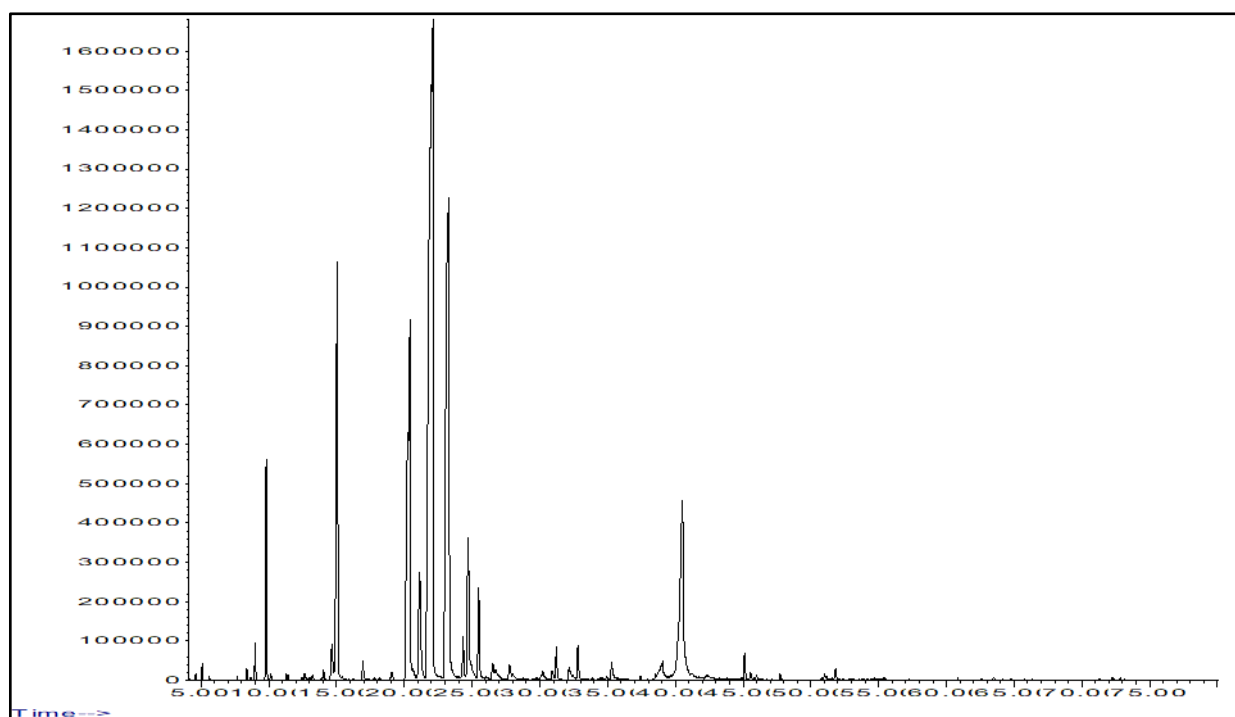


Figure 43. GC-MS chromatogramme pour l'huile essentielle de *M. spicata*.

**Table 8.** Composition chimique de l'huile essentielle de *Mentha spicata*.

N°	TR	IR	Composé	%
1	5,08	827	1,2,5,5-Tetramethyl-1,3-cyclopentadiene	0,158
2	5,58	843	(3E)-2,6-Dimethyl-1,3,5-heptatriene	0,034
3	7,67	906	Santolina triene	0,036
4	8,38	918	Tricyclene	0,117
5	8,67	923	$\alpha$ -Thujene	0,034
6	9	929	$\alpha$ -Pinene	0,389
7	9,81	943	Camphene	2,445
8	10,14	949	Thuja-2,4(10)-diene	0,069
9	11,3	969	Sabinene	0,077
10	11,44	971	$\beta$ -Pinene	0,065
11	12,64	992	Mesitylene	0,120
12	13,22	1002	$\alpha$ -Phellandrene	0,069
13	14,05	1014	$\alpha$ -Terpinene	0,145
14	14,5	1020	1,2,3-Trimethylbenzene	0,021
15	14,66	1023	p- cymene	0,697
16	15,07	1028	1,8-Cineole	8,247
17	16,93	1055	$\gamma$ -Terpinene	0,293
18	17,6	1067	p-Mentha-3,8-diene	0,016
19	19,07	1086	Camphen-6-one	0,173
20	20,24	1103	Filfolone	5,426
21	20,41	1105	$\alpha$ -Thujone	6,736
22	21,13	1115	$\beta$ -Thujone	2,728
23	21,93	1127	Chrysanthenone	33,963
24	23,2	1144	Camphor	19,780
25	24,33	1160	Pinocarvone	0,705
26	24,7	1165	Borneol	2,845
27	24,83	1167	Thujan-3-ol	0,371
28	25,1	1171	Neiso Isopulegol	0,087
29	25,48	1176	Terpin-4-ol	1,453
30	26,52	1191	Dihydro carveol	0,358
31	27,75	1208	Verbenone	0,486
32	30,21	1244	Carvone	0,137
33	30,92	1255	Methyl citronellate	0,164
34	31,23	1259	Cis-Chrysanthenyl acetate	0,482
35	32,16	1273	perillaldehyde	0,383
36	32,82	1282	Bornyl acetate	0,528
37	35,3	1319	Z-patchenol	0,280
38	37,44	1352	Cis-Chrysanthenyl propionate	0,037
39	38,52	1369	$\alpha$ -Ylangene	0,040
40	39,07	1377	Isolodene	0,251
41	40,5	1399	E-Jasmonyl acetate	8,001
42	45,15	1475	Germacrene D	0,414
43	51,82	1588	Ar-dihydro Turmerone	0,204
<b>Total</b>				<b>99,063</b>

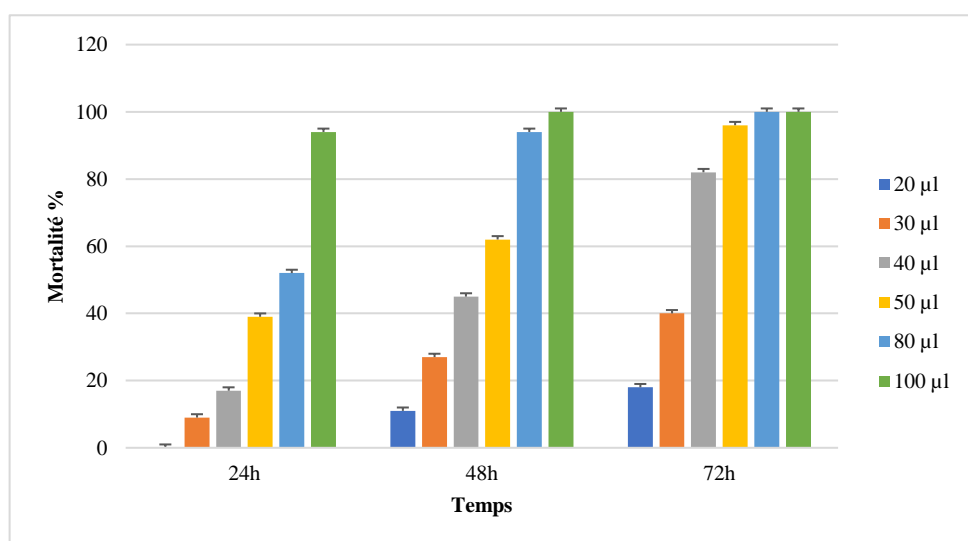
TR : temps de rétention (min) ; N° case : N° Substance chimique ; IR : indice de rétention : Indice de rétention de Kovats : par rapport aux n-alcanes sur colonne ; % : Valeur exprimée en pourcentage de surface relative par rapport au total des composants identifiés.

### 3.7.2. Activité larvicide

Les effets toxiques de l'huile essentielle de *Mentha spicata* sur l'espèce de moustique *Culex pipiens* ont été exprimés en enregistrant la mortalité observée à différentes périodes au cours des stades L3, L4 nouvellement exuviées de *Culex pipiens* après 24, 48 et 72h.

#### 3.7.2.1. Effet larvicide de *Mentha spicata* sur les larves L3 de *Culex pipiens*

Après 24 heures d'exposition des larves de *Cx. pipiens* à HE de *Mentha spicata*, le taux de mortalité varie entre (0% et 94 %) avec les concentrations 20 et 100  $\mu$ l respectivement. Les taux de mortalités 94 % et 100% sont enregistrées après 48h de traitement avec les concentrations (80  $\mu$ l et 100  $\mu$ l) respectivement. Les 72 heures d'exposition ont induit 100 % de mortalité avec les concentrations 80  $\mu$ l et 100  $\mu$ l. Une augmentation de mortalité a été observée en fonction du temps, et de concentrations avec une relation dose-réponse contre les larves du 3<sup>ème</sup> stade du *Culex pipiens* (Figure 44).



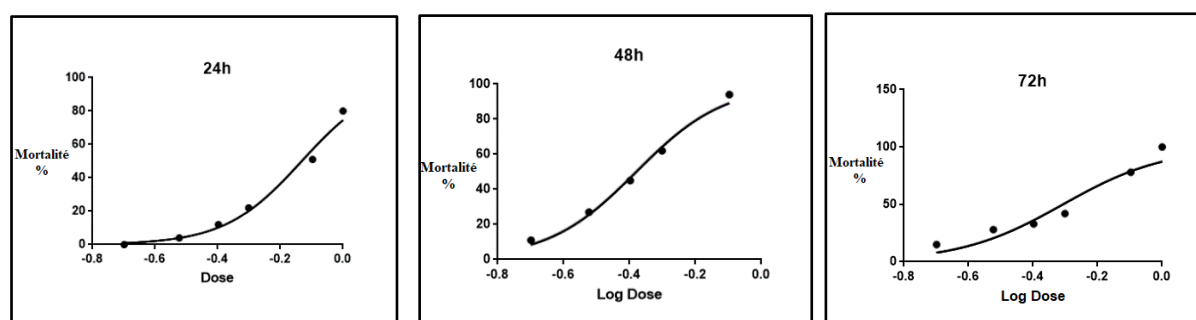
**Figure 44.** Mortalité observée (%) des larves L3 de *Culex pipiens* après le traitement par les différentes concentrations de l'HE de *M. spicata*.

### 3.7.2.2. Toxicité de *Mentha spicata* sur les larves L3 de *Culex pipiens*

Les résultats de l'analyse de régression de l'huile essentielle testée ont montré que l'huile de *M. spicata* possède une efficacité larvicide contre les larves L3 de *Cx. pipiens* (Figure 45). Les concentrations létales CL25, CL50 et CL90 après 24, 48 et 72h d'exposition sont estimés à partir de l'équation de régression et sont notés dans le (tableau 9).

**Tableau 9.** Toxicité de l'HE de *M. spicata* appliquée sur les larves 3 de *Culex pipiens* : Détermination des concentrations létales et leurs intervalles de confiance (95%).

Stade larvaire	Temps	CL25 (µl) FL (95%)	CL50 (µl) FL (95%)	CL90 (µl) FL (95%)	Slope	R <sup>2</sup>
L3	24h	30<44<63	49<63<83	81<128<293	3,14	0,92
	48h	25<29<33	38<41<45	67<82<106	3,23	0,99
	72h	18<24<30	26<30<35	35<47<67	5,11	0,97

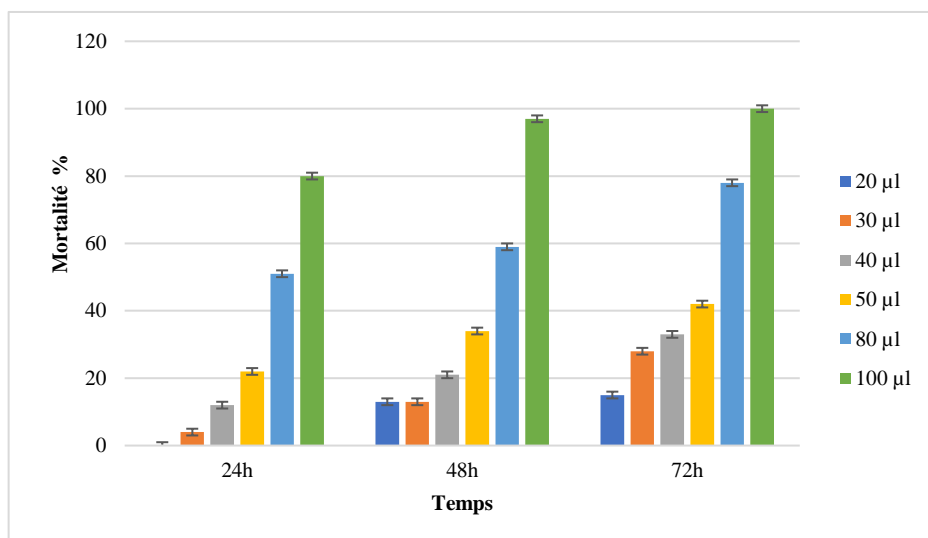


**Figure 45.** Effets de l'HE de *M.spicata* appliquée sur les larves 3 de *Culex pipiens* : courbe Dose/réponse des probits avec l'équation de régression non linéaire pour l'effet de l'HE de *M. spicata* testée sur des larves L3 de *Culex pipiens* pendant 24, 48 et 72 h.

### 3.7.2.3. Effet larvicide de l' HE de *M. spicata* sur les larves du 4<sup>ème</sup> stade de *Culex pipiens* après 24, 48, 72h

Les larves du stade L4 du moustique *Culex pipiens* ont été exposées à la même gamme de concentration de (20 µl à 100 µl). La mortalité observée durant ce stade après 24, 48 et 72

heures est représenté dans la figure 46 La concentration la plus faible 20  $\mu$ /ml cause la mortalité de 0% à 15% après 24 à 72h respectivement, le taux de mortalité augmente jusqu'à 80 % pour la concentration la plus élevée (100  $\mu$ l) après 24h, la mortalité 100 % est enregistré après 72h pour la même concentration.



**Figure 46.** Mortalité observée (%) des larves L4 de *Culex pipiens* après le traitement par les différentes concentrations de l'HE de *M. spicata*.

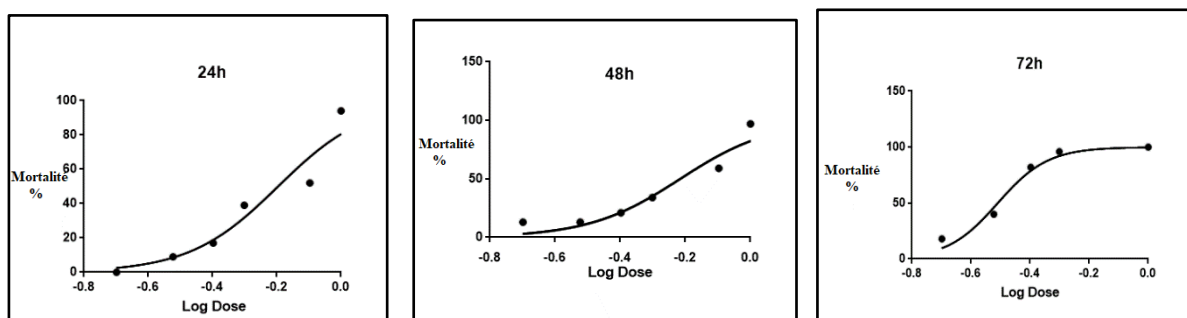
#### 3.7.2.4. Toxicité de *Mentha spicata* sur les larves L4 de *Culex pipiens*

Les résultats de l'analyse de régression de l'huile essentielle testée ont montré que l'huile de *M. spicata* possède une efficacité larvicide contre les larves L4 de *Cx. pipiens* (Figure. 47). Les concentrations létales CL25, CL50 et CL90 après 24, 48 et 72h d'exposition sont estimés à partir de l'équation de régression et sont notés dans le (tableau 10).



**Tableau 10.** Toxicité de l'HE de *M. spicata* appliquée sur les larves 4 nouvellement exuviées de *Culex pipiens* : Détermination des concentrations létales et leurs intervalles de confiance (95%).

Stade larvaire	Temps	CL 25( $\mu$ l) FL (95%)	CL50( $\mu$ l) FL (95%)	CL90( $\mu$ l) FL (95%)	Slope	R <sup>2</sup>
L4	24h	47<54<62	67<73<83	144<137<177	3,53	0,98
	48h	27<42<59	47<60<77	79<123<292	3,09	0,91
	72h	20<32<44	38<30<61	71<110<231	2,17	0,93



**Figure 47.** Effets de l'HE de *M. spicata* appliquée sur les larves 4 de *Culex pipiens* : courbe Dose/réponse des probits avec l'équation de régression non linéaire pour l'effet de l'HE de *M. spicata* testée sur des larves L4 de *Culex pipiens* pendant 24, 48 et 72 h.

### 3.7.3. Effet de l'HE de *Mentha spicata* sur la composition biochimique des larves L4 de *Culex pipiens*

Afin de déterminer l'effet de l'HE de *Mentha spicata* sur les métabolites secondaires, les teneurs en protéine, glucides, lipides ont été dosées sur les larves L4 de *Culex pipiens*. Les courbe d'étalonnage dont l'équation de la droite de régression expriment l'absorbance des quantités de métabolites standards utilisés (Albumine, glucose, l'huile de tournesol) nous permettrons d'estimer leurs valeurs sur les larves L4 de *Culex pipiens* de la série témoin et traitée avec la CL25 et CL50 après 24, 48 et 72 heures d'exposition.

### 3.7.3.1. Contenu en protéines totales

Chez les séries traitées par la CL25, les taux de protéine montrent une augmentation non significative ( $p=0,89$ ) par rapport aux temps testés (24, 48 et 72h), et chez les séries traitées par la CL50 le taux de protéine indique une augmentation hautement significative ( $p=0,006$ ) comparativement au témoin (Tableau 11).

**Tableau 11.** Effet de l'huile essentielle de *M. spicata* (CL50 et CL25), sur le contenu en protéine totaux ( $\mu\text{g}/\text{individu}$ ) chez les larves du quatrième stade (L4) nouvellement exuvies de *Culex pipiens* ( $m \pm \text{sem}$ ,  $n=3$ ).

Traitement /temps	24h	48h	72h	P valeur
Témoin	38,92 $\pm$ 5,02	40,68 $\pm$ 3,92	41,45 $\pm$ 4,11	0,77
CL 25	42,62 $\pm$ 4,43	43,68 $\pm$ 4,35	44,23 $\pm$ 4,35	0,89
CL50	53,91 $\pm$ 5,74	65,45 $\pm$ 1,76	73,93 $\pm$ 2,24	0,006

### 3.7.3.2. Contenu en lipides totaux

Chez les séries témoins, les résultats obtenus montrent une différence non significative de taux des lipides mesurés après 24,48 et 72h cependant, pour les séries traitées par la CL25, une diminution très hautement significative ( $p=0,003$ ) est observée par rapport aux temps testés. Chez les séries traitées par la CL50 il y a une diminution significative ( $p=0,01$ ) des taux des lipides mesurés après 24, 48 et 72h (Tableau 12).

**Tableau 12.** Effet de l'huile essentielle de *M. spicata* (CL50 et CL25), sur le contenu en lipides totaux ( $\mu\text{g}/\text{individu}$ ) chez les larves du quatrième stade (L4) nouvellement exuviées de *Culex pipiens* ( $m \pm \text{sem}$ ,  $n=3$ ).

Traitement /temps	24h	48h	72h	P valeur
Témoin	191,05 $\pm$ 12,90	199,93 $\pm$ 7,83	206,84 $\pm$ 9,04	0,24
CL 25	178,64 $\pm$ 15,06	165,52 $\pm$ 22,70	106,13 $\pm$ 4,53	0,003
CL50	169,46 $\pm$ 22,36	153,40 $\pm$ 24,75	96,43 $\pm$ 10,91	0,01

### 3.7.3.3. Contenu en glucides totaux

Chez les séries traitées par la CL25, les taux de glucides montrent une augmentation significative après les temps 24, 48 et 72h ( $p=0,004$ ). De même, chez les séries traitées par la

CL50 les taux des glucides indiquent une augmentation significative après les temps 24,48 et 72h (p=0,006) (Tableau 13).

**Tableau 13.** Effet de l'huile essentielle de *M. spicata* (CL50 et CL25), sur le contenu en glucides totaux ( $\mu\text{g}/\text{individu}$ ) chez les larves du quatrième stade (L4) nouvellement exuviées de *Culex pipiens* ( $m \pm \text{sem}$ , n=3).

Traitement /temps	24h	48h	72h	P valeur
Témoin	34,38 $\pm$ 1,05	35,77 $\pm$ 1,05	45,47 $\pm$ 3,81	0,002
CL 25	37,99 $\pm$ 1,10	39,82 $\pm$ 1,46	48,87 $\pm$ 4,04	0,004
CL50	48,05 $\pm$ 3,05	52,15 $\pm$ 2,25	60,1 $\pm$ 3,44	0,006

# Discussion

## 4. Discussion

### 4.1. Inventaire des Culicidae

Notre enquête systématique a révélé la présence de 12 espèces de moustiques, appartiennent aux genres : *Culex*, *Culiseta* et *Aedes*. Le genre *Culex* comprend huit espèces : *Cx. pipiens* étant le plus abondant dans les régions urbaines et rurales, suivi du *Cx. theileri* en plus faible abondance. Des recherches antérieures dans la région de Sétif ont établi une corrélation significative entre la présence de *Cx. theileri* et le vecteur du paludisme *An. labranchiae*. Cela suggère que *Cx. theileri* peut potentiellement agir comme une espèce indicatrice pour prédire la présence d'*An. labranchiae* dans l'environnement (Nabti & Bounechada, 2019). Cela souligne l'importance de la surveillance du *Cx. theileri*, servant d'indicateur potentiel d'*An. labranchiae* dans les régions rurales et urbaines, bien que d'autres recherches soient nécessaires pour confirmer cette relation. Arroussi *et al.* (2021) ont identifié plusieurs espèces de moustiques, notamment *Cx. theileri*, *Cx. modestus*, *An. labranchiae* et *An. claviger*, principalement dans les environnements périurbains près des cours d'eau avec diverses qualités d'eau et l'exposition au soleil. Dans ces habitats périurbains, la prédominance de *Culex perexiguus* était évidente (Camp *et al.*, 2019). Le niveau d'urbanisation au sein de nos sites a eu un impact significatif sur la diversité et la répartition des moustiques culicides, *Culex pipiens* étant l'espèce la plus abondante et servant d'exemple. D'autres espèces avaient des populations plus petites, c'est le cas de *Cx. laticinctus*, *Cx. perexiguus*, *Cx. univitattus* dans les sites ruraux et *Cx. modestus*, *Cx. torrentium* et *Cx. diserticola* dans les sites urbains. Dans le genre *Aedes*, deux espèces ont été répertoriées, principalement *Ae. caspius*, suivi de *Ae. vexans* dans les deux sites. Le genre *Aedes* comprend des vecteurs les plus préoccupants responsables de la transmission des arbovirus tels que la fièvre jaune, la dengue, le chikungunya, le Zika, la fièvre de la vallée du Rift et le Nil occidental (Becker *et al.*, 2010). Pas loin de notre région d'étude, des prospections dans une région caractérisée par un étage climatique semi-aride (Batna), réalisées par Belkhiri (2022), ont révélé la présence de 9 espèces de Culicidae réparties en deux sous-familles : les Culicinae, distinguées par le plus grand nombre d'espèces, réparties en 3 genres: *Culex* avec 4 espèces (*Cx. pipiens*, *Cx. theileri*, *Cx. diserticola* et *Cx. hortensis*), le genre *Aedes* avec une seule espèce (*Ae. caspius*), et *Culiseta* avec deux espèces (*Cs. longiareolata* et *Cs. subochrea*). La deuxième sous-famille comporte deux espèces (*An. labranchiae* et *An. cinereus*). Djeddar (2021) note la présence de 8998 larves de Culicidae dans la région Nord-

Est de l'Algérie (El taref-Annaba-Souk-Ahras). Dans cette région 11 espèces ont été inventoriés appartenant à deux sous famille (Anophélineae avec 2 espèces *An. labranchiae* et *An. claviger*) (Culicinae avec 6 espèces de genre *Culex* : *Cx. pipiens* ; *Cx. laticinctus*, *Cx. perexiguus*, *Cx. modestus*, *Cx. theileri*, *Cx. hortensis*, et 2 espèces d'*Aedes* : *Ae. Albopictus*, *Ae. aegypti*, et une seule espèce de genre *Culiseta* : *Cs. longeariolata*).

Les résultats d'inventaire révèlent que l'espèce *Cx. pipiens* est la plus répandue, prospère dans divers sites de reproduction (rurals et urbains), indépendamment des niveaux de pollution. Cela concorde avec les observations de **Patil (2021)**, qui a noté que *Cx. pipiens* est plus abondant dans les sources d'eau fortement contaminées, y compris celles contaminées par les eaux usées domestiques et industrielles. Bien que notre enquête n'ait pas spécifiquement mesuré la pollution chimique dans les sites de reproduction, il est possible que des zones rurales comme Guellal et Kaser El Abtal, et le site urbain Oued Bousselem, ont été affectées par des déchets, des sacs en plastique et de l'eau polluée. De plus la plus grande abondance de *Cx. pipiens* dans la zone rurale, est potentiellement influencée par le degré d'urbanisation, comme il été suggéré par **Gangoso et al. (2020)**. Leur étude indique que les régions fortement urbanisées ont un impact négatif sur la répartition et l'abondance du *Cx. pipiens*, alors que les zones moins urbanisées sont plus propices à cette espèce. Cependant, les schémas de répartition au sein des écosystèmes urbains, en particulier dans les régions en développement, peuvent varier considérablement (**Abella-Medrano et al., 2015, 2018**).

De point de vue densité, la faune de moustiques observée dans les zones urbaines et rurales du district de Setif présentait des variations notables de la diversité des espèces, comme l'indiquent l'indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E), qui affichaient des valeurs relativement élevées dans les deux environnements. Une fluctuation distinctive de H' a été observée, en particulier dans les zones rurales, indiquant une diversité des espèces dans ces sites cela suggère un environnement propice à la coexistence des espèces (**Aissaoui & Boudjelida, 2017**). **Dahchar et al. (2017)** et **Arroussi et al. (2021)** ont également affirmé les différences de diversité des espèces entre les sites urbains et ruraux. L'absence de diversité (indiquée par une valeur nulle de H') dans le site de reproduction de Hammem Sokhna était caractérisée par la présence d'une seule espèce, *Aedes caspius*, généralement présente dans des eaux stagnantes aux caractéristiques claires, dimensions réduites et végétation environnante.

Nos résultats concordent avec d'autres observations selon lesquelles la diversité des espèces diminue avec l'urbanisation et l'anthropisation accrues (**Ferraguti et al., 2016**). L'indice d'équitabilité montre que l'abondance des espèces de moustiques était hétérogène, indiquant

que certaines espèces étaient plus abondantes que d'autres. Les zones rurales étaient légèrement plus hétérogènes que les zones urbaines. Une étude menée dans la région (Collo dans le nord-est algérien) a montré des résultats similaires, avec un équilibre entre les populations dans les sites urbains, alors que les sites ruraux étaient caractérisés par une population déséquilibrée (**Dahchar et al., 2017**).

#### **4.1.1. Effet des paramètres environnementaux sur l'abondance des larves**

Nos résultats indiquent que les facteurs présentés par les mois et l'interaction entre le pH de l'eau, la température de l'eau et la nature des sites ont eu une incidence significative sur le nombre de larves de moustiques Culicidae dans la région de Sétif de Mars 2021 à Février 2022. L'abondance des larves de moustiques a montré une variation significative au cours des différents mois, avec une augmentation notable de mars à août, suivie d'un déclin jusqu'à février. Les mois doivent être considérés comme un facteur composé, intégrant divers éléments tels que la température de l'air et de l'eau, les régimes de précipitations, le pH de l'eau, l'intensité de la luminosité, la photopériode, etc. Dans la présente étude, la température et le pH des eaux de reproduction varient entre 18,9 et 24,9 °C et 7,5 à 8,6 respectivement. En conséquence, la densité maximale des espèces a été observée dans des conditions où la température de l'air variait de 26 à 36 °C, température de l'eau de 16 à 24,5 °C, et un pH légèrement alcalin variant de 7 à 8,5. Ces résultats sont similaires aux résultats obtenus par **Wilson et Sevarkodiyone (2014)** qui ont rapporté des conditions de température et de pH comparables (température de 20 à 27,7 °C et pH alcalin de 8 à 9) confirmant nos observations. (**Elhawary et al., 2020**) confirment notre résultat et notent que les espèces des Culicidae en Egypte semblent s'adapter à un large éventail de température de l'aire varie de 21 à 32 °C, nos résultats concordent avec les résultats de **Kenwya et al., 2013** qui a observé que les espèces *Cx. pipiens*, *Cx. perexiguus*, *Cx. pusillus* et *Cs. longiareolata* trouvé lorsque l'intervalle de température été de 17 à 30 °C. Notre étude a démontré qu'un pH plus basique entraîne une augmentation de l'abondance des larves dans les sites ruraux et urbains, tandis que le pH acide provoque généralement une diminution (sauf pour les sites urbains à basse température de l'eau). Ces observations ont été corroborer avec celles d'autres auteurs qui indiquent que les larves de *Cx. pipiens* se développent dans une eau à teneur organique plus élevée et un pH basic (**Berchi et al., 2013**). De même Elhawary et al., 2020 trouvent que le pH de l'eau des gîtes larvaires dans les sites urbains et ruraux était légèrement alcalins variait



entre 7,79 et 8,11, bien que les autres espèces de moustiques préfèrent une eau neutre ou légèrement alcaline (**Pelizza et al., 2007**). Selon **Arroussi (2021)** la densité maximale de l'espèce a été observée dans une température variant de 20 à 27,7 °C et dans un milieu alcalin dont le pH varie de 8 à 9. De plus, **Benhissen et al. (2018)** notent l'importance des deux paramètres la température et le pH sur l'apparition de la fluctuation des populations larvaires des moustiques.

D'autre part, la réponse des abondances de moustiques a varié en fonction du type de zone. L'écart dans le pH de l'eau entre les sites ruraux (7,7) et urbains (8,14) pourrait avoir influencé cette variation en conjonction avec la température de l'eau. Par exemple, l'abondance des moustiques a augmenté dans les sites urbains avec un pH de l'eau acide à basse température. Divers facteurs, comme la géologie différente entre les zones rurales et urbaines les précipitations ou le drainage des lixiviats, pourraient avoir contribué aux différences de pH de l'eau entre ces zones (**Van Ha et al., 2011 ; Nienie et al., 2017**). Le rôle de la température de l'eau est central dans la régulation de divers facteurs abiotiques et le fonctionnement des écosystèmes aquatiques. Elle a un impact profond sur la croissance, la reproduction et les réponses immunitaires des organismes aquatiques (**Kataria et al., 1995**). Dans notre étude, il semble que la température atmosphérique a influencé la température de l'eau de Mars à Août, car les deux ont augmenté en tandem. Cependant, en automne et en hiver, malgré une diminution de la température de l'air, la température de l'eau est restée relativement stable dans une plage de 2 °C. Cette observation suggère que la capacité du sol à retenir la chaleur potentiellement stockée pendant l'été, facilite son transfert vers le réservoir d'eau, maintenant ainsi une température de l'eau relativement plus élevée (**Selker & Or, 2019**). D'autres auteurs indiquent des résultats similaires, et que les densités de moustiques et leur diversité au niveau des populations dépendent des saisons en raison de facteurs abiotiques tels que la température, les précipitations et l'influence de l'humidité (**Reinhold et al., 2018**). Il a été signalé que les espèces de moustiques se propageaient vers le nord en raison du réchauffement climatique (**Tippelt et al., 2017**), contrairement de **Bashar & Tuno (2014)** qui ont étudié la relation entre les facteurs climatiques et l'abondance des moustiques Anophèles au Bangladesh. Ils ont signalé une association positive entre l'humidité relative et la densité des moustiques, mais il n'y avait pas de corrélation significative avec la température et les précipitations.

L'impact de l'interaction entre les sites (rural-urbain), le pH et la température de l'eau sur l'abondance des moustiques est validé. Ces résultats concordent avec les données présentées

par Gaertner et coll. (2017), ce qui suggère que les milieux urbains comme les parcs, les zones vertes en bordure de route, les surfaces bâties ou les tas de déchets pourraient devenir des points focaux pour les espèces envahissantes en milieu urbain. Au contraire, pour la plupart des espèces, l'abondance et la diversité des espèces sont généralement plus faibles dans les sites urbains que dans les sites ruraux. Cet écart est en grande partie attribuable aux activités anthropiques qui génèrent d'importantes perturbations écologiques susceptibles d'affecter la vie animale (McKinney, 2008).

### 4.2. Essais de lutte

#### 4.2.1. Rendement et Composition chimique de *Mentha spicata*

Les résultats du rendement en huile obtenu dans la présente étude étaient de (0,5 %) (p/p). Nos résultats sont en accord avec ceux de **Kofidis et al. (2006)** qui ont étudié le rendement de l'huile essentielle de *M. spicata* sauvage, cultivé en Grèce, allant de 0,1-1,8 %. *Mentha spicata* et *Mentha pulegium* produisent des huiles essentielles avec des rendements très différents et dans différentes régions (**Boukhalti, 2011 ; Moharfash, 2020**). D'autre part en Maroc Ismaili, 2016 note que le rendement de *Mentha spicata* est de 0,72%, tandis qu'Adjou et Soumanou, 2013, notent que le rendement de la même espèce et dans la même région présente un taux plus élevé avec 0.95 %. En effet, Le rendement en huile essentielle varie en fonction de la qualité du matériel végétal utilisé, en plus d'autres facteurs, tels que le stade de croissance, la qualité du sol, les conditions climatiques, le moment de la récolte et la période de séchage (**Mohammedi et al., 2020**).

Pour la présente étude, il a été noté que les principaux constituants de l'HE des parties aériennes de la plante *Mentha spicata* sont la Chrysanthénone 33,96%, le Camphor 19,78% ; le Cinéole 8,24%, acétate d'E-Jasmonyl 8%, a-Thujone 6,73%, l'ilfolone 5,42%, alors que les autres composants ont un taux plus faible comme le bornéol 2,84% et le Terpin-4-ol 1,45%. D'autre part, **Bardaweel et al. (2018)** ont montré que les principaux composants de l'HE de *Mentha spicata* de l'atlas saharien algérien étaient le carvone 49,5%, le limonène 16,1% et le 1,8-cinéole 8,7%. **Moharfash (2020)** en Egypte a également montré que les principaux composants de cette huile sont : 1,8-cinéole 19,55% et acétate de menthyle 14,4%. En Pologne, **Hawryl et al. (2015)** ont constaté que les principaux composants étaient la menthone, l'isomenthone, le menthol, le carvone, l'oxyde de pipéritone et le D-limonène dans l'HE de *M. spicata*. **Farahbakhsh (2020)** a confirmé que les composants prédominants dans l'HE de la même plante sont l'oxyde de pipéritone 58,87 %, la carvone 54 %, le 1,8-cinéole

22,71 % et le 3,8 menthadiène 21,58 %. Il est également important de noter que les composants carvone et limonène ont été trouvés avec des pourcentages différents dans des études antérieures (Ali-Shtayeh, 2019). De son côté, Zekri, (2023) montre que l'HE de la menthe verte était riche principalement en carvone (40 à 80 %) et en acétate de dihydrocuminyne (10 à 12 %), qui sont les deux principaux constituants responsables de l'odeur de la plante, avec le limonène (5 à 15 %) ; ils étaient accompagnés de dihydrocarvone, de dihydrocarvéol, d'acétate de carvyle et de caryophyllène. Dans d'autres cas, la carvone était accompagnée de 1,8-cinéole (jusqu'à 20%), de pulégone (jusqu'à 50%) ou de 4-terpinéol (jusqu'à 18%) (Avato, 1995). L'analyse chimique des HE de menthe verte a révélé la présence de carvone et de limonène comme constituants majeurs dans différentes régions du monde (El Fadl, 2010 ; El-wahab *et al.*, 2009 ; El Anbri *et al.*, 2022 ; Gimenez-Santamarina, 2022 ; Kee, 2017). Un autre chémotype qui caractérise l'HE de *M. spicata* L. est l'époxyde de pipéridone, qui atteint 80 % aux dépens de la carvone (1-2 %) (Misra *et al.*, 1989). Cependant, l'HE de cette plante d'origine Grèce était caractérisé par sa richesse en carvone (71,8 %) et en 1,8-cinéole (9 %) sans limonène (Koliopoulos, 2010). D'autres combinaisons mentionnées ont également montré l'abondance de la 3-Cyclopenten-1-one,2-hydroxy-3-(3-méthyl-2-butenyl) - (1 à 22,1%) dans la composition (Zekri, 2023). La méthode d'extraction et la durée de la collecte des plantes sont deux facteurs qui peuvent affecter la composition chimique des HE. En outre, elle est influencée par les facteurs internes et externes de la plante, tels que sa composition génétique et son environnement (Venditti, 2016 ; Sedaghat, 2011). Aussi il existe une variété de composition chimique pour la même espèce peut être expliqué par une différence au niveau de plusieurs paramètres soient géographiques, physicochimiques ou biologiques tels que : la différence du site de récolte y compris l'environnement de la plante, la lumière, les précipitations, la topographie, la saison, type de sols, période de récolte, le patrimoine génétique, la procédure d'extraction utilisée, la partie de la plante étudiée ou leurs produits phytochimiques (Malik *et al.*, 2012 ; Sujana *et al.*, 2013 ; Akhtar, 2015).

### 4.2.2. Toxicité de *Mentha spicata* à l'égard des larves de *Culex pipiens*

Les insecticides verts sont importants, sûrs et alternatifs aux insecticides synthétiques pour contrôler les insectes de santé publique et les maladies à transmission vectorielle. Les huiles essentielles et les extraits de plantes sont utilisés depuis des temps anciens pour lutter contre ces parasites (Mohafresh, 2020). Les HEs ont montré différents modes d'action, tels que des

activités anti appétissantes, répulsives ou dissuasives, et elles peuvent être utiles comme agents larvicides, ovicides et adulticides (Chansang *et al.*, 2018 ; Gong & Ren, 2020 ; Baz *et al.*, 2022 ; Abdelali *et al.*, 2023). Dans cette étude, les tests toxicologiques sont adoptés pour tester la sensibilité des larves L3 et L4 de *Culex pipiens* vis-à-vis l'huile essentielle de *Mentha spicata*, et ils sont nécessaire pour évaluer les concentrations létales (CL25, CL50, CL90). Nos résultats indiquent que l'HE de *M. spicata* présente une activité larvicide contre les larves de *Culex pipiens*. Dans l'étude d'Abo El-Kasem. (2022), l'activité larvicide de l'HE de *Mentha spicata* a été la plus efficace contre le troisième stade des larves de *Culex pipiens*, avec une CL50 de 269 ppm et une CL90 de 1 137 ppm. Le même resultat est observé par Govindarajan *et al.* (2011) après traitement par l'HE de *Mentha spicata* à l'égard des larves de *Cx. quinquefasciatus*, *Ae. aegypti* et *Ae. stephensi*. Dans ce but, l'activité toxicologique chez la même espèce de moustique *Cx. pipiens* traitée avec l'HE de *Laurus nobilis* a augmenté d'une manière significatif en fonction des concentrations chez les larves du troisième stade avec une CL50= 3,74 µl/l, une CL90= 14,47µl/l, et le quatrième stade larvaire de la même espèce avec LC50, LC90 =18µl/l et 39µl/l respectivement (Aissaoui *et al.*, 2022b). Egalement, l'huile essentielle de *M. spicata* a montré un effet toxique sur un grand nombre d'insectes ravageurs. Ceci est en accord avec les observations d'Eliopoulos *et al.* 2015 qui ont révélés une mortalité de 100 % pour *C. chinensis* lors d'un test de fumigation avec une valeur CL50 de 0,003 µl/ml d'air de traitement et une répulsion de 100 % à une concentration de 0,025 µl/ml d'air après 24h d'exposition. L'huile de *M. spicata* a montré une mortalité de plus de 80 % d'*Ephestia kuehniella* (Zeller) et de *Plodia interpunctella* (Hubner) à 2,5 ml/l après 2h d'exposition (Panagiotis *et al.*, 2015). Saroukolai *et al.* (2014) ont rapporté que l'huile essentielle de *M. spicata* présentait une valeur CL50 de 75,31 ppm contre les larves du coléoptère de la pomme de terre *Leptinotarsa decemlineata* (Say) par essai biologique de fumigation et que l'huile présentait également un indice de dissuasion alimentaire de 39,26 % contre les adultes à 16 ppm.

### 4.3. Effet d'HE de *M. spicata* sur la composition biochimique des larves de *Cx. pipiens*

Dans les études physiologiques, la détermination des protéines totales et de nombreuses macromolécules chimiques, telles que les lipides et les glucides, est importante (Yazdani *et al.*, 2014). Les protéines sont des composants biochimiques importants, nécessaires au développement de l'organisme et à sa croissance pour réaliser ses activités vitales (Yazdani *et al.*, 2014). La synthèse des protéines est dépendante et nécessaire pour la dégradation, le

maintien de la croissance corporelle, la reproduction, le mouvement de l'eau entre les tissus et l'hémolymphe (**Bouguerra et al., 2018**). Les niveaux de protéines ont augmenté par rapport à la série de contrôle lors du dosage des métabolites des larves L4 traitées. L'augmentation de la teneur totale en protéines dans le corps entier des larves pourrait être due à une synthèse accentuée des enzymes de détoxification. Selon **Askar et al. (2016)**, l'application d'huile de girofle sur les adultes des trois espèces de *Sitophilus* a entraîné une augmentation des niveaux de lipides totaux et de protéines. De même, l'utilisation d'extraits hydro alcooliques des feuilles de laurier-rose *Nerium* contre les larves du ver blanc rhizotrogini par rapport au contrôle (**Madaci et al., 2008**). On contraste, les résultats trouvés par **Keffous & Aissaoui, 2023** montrent une réduction du contenu en protéines chez les traités comparativement aux témoins, La réduction des protéines est un phénomène fréquent chez les insectes traités par les produits toxiques (**Nathan et al., 2008**), et qui peut être attribué à un ou plusieurs facteurs, tels que la diminution de leurs synthèse ou augmentation de leurs dégradation pour détoxifier les principes actifs présents dans les extraits de plantes ou les HEs (**Vijayaraghavan et al., 2010**). De plus, la réduction en réserve protéique peut être également due à l'adaptation physiologique de l'insecte à un état de stress causé par les insecticides (**Ribeiro et al., 2001**). D'autre résultats sont exprimés aussi par la réduction de la quantité des protéines induite par halofenozide, (le RH-0345) sur les larves traitées de *Cx. pipiens* (**Amira, 2014**), le novaluron sur des larves de *Culiseta longiareolata* et de *Cx. pipiens* (**Bouaziz et al., 2011; Djeghader et al., 2013**).

Les lipides sont les molécules essentielles à la formation de la structure cellulaire et de la cuticule. Ils fournissent une bonne source d'énergie et ils facilitent la conservation de l'eau en développant une membrane cuticulaire imperméable et en fournissant de l'eau métabolique après oxydation (**Farag et al., 2021**). Les lipides représentent la principale source d'énergie chez les insectes (**Beenakers et al., 1985**). Ils sont transportés du corps gras, site de leurs synthèses et stockage vers les organes utilisateurs via l'hémolymphe surtout lors de la vitellogénèse (**Keely, 1986 ; Van Hensden & Law, 1989**). Après avoir utilisé l'huile essentielle de *M. spicata*, nos résultats montrent une diminution importante des niveaux de lipides dans le quatrième stade larvaire de *Cx. pipiens*. On pourrait expliquer cette diminution de la protéine par l'utilisation des réserves lipidiques pour la réparation des cellules endommagées. De plus, les problèmes hormonaux affectent la régulation du métabolisme des lipides (**Sak et al., 2006**). Le même résultat est observé par **Sayada et al. (2021)** qui ont observé après traitement par l'huile essentielle de *Lavandula angustifolia* à l'égard de

*Rhyzopertha dominica*. L'épuisement des teneurs en lipides tissulaires sous le stress d'un insecticide pourrait être dû à la formation de lipoprotéines utilisées pour réparer les dommages cellulaires, à l'augmentation de la lipolyse (source d'énergie) et à l'hormone adipokinétique (Sak *et al.* 2006). Les glucides, en tant qu'éléments énergétiques, qui jouent un rôle crucial dans la croissance et le développement, peuvent être utilisés par le corps de l'insecte pour la transformation et la conversion en lipides (Visser *et al.*, 2017). Les analyses biochimiques de la présente étude révèlent une augmentation des glucides. Des résultats similaires ont été obtenus chez le criquet pèlerin traité par *Metarhizium anisopliae* (Seyoum *et al.*, 2002) et chez la larve de *G. pyloalis* traitée avec l'extrait de *A. annua* (Khosravi *et al.*, 2011). Pendant la formation des réserves larvaires telles que les protéines, les glucides et les lipides, qui se déroulent chez les moustiques, et qui servent de précurseurs pour la métamorphose des larves en pupes et adultes (Timmermann et Briegel, 1999). Cela suggère que toute perturbation de composés biochimiques importants a un effet direct et indirect sur les adultes résultants (Sak *et al.*, 2006).

Conclusion et  
perspectives



### 5. Conclusion et perspectives

La première section de l'étude s'est concentrée sur l'identification systématique des espèces de moustiques dans la région du Nord-Est de l'Algérie (Setif) entre Mars 2021 et Février 2022. Cette recherche a été menée dans 11 stations différentes. L'analyse systématique des moustiques, principalement axée sur le stade larvaire, a révélé la présence de 12 espèces de moustiques de trois genres : *Culex*, *Culiseta* et *Aedes*. Le genre *Culex* comprend huit espèces : *Cx. pipiens* étant le plus abondant dans les régions urbaines et rurales, suivi du *Cx. theileri* en plus faible abondance. D'autres espèces avaient des populations plus petites : *Cx. laticinctus*, *Cx. perexiguus*, *Cx. univitattus* dans les sites ruraux et *Cx. modestus*, *Cx. torrentium* et *Cx. diserticola* dans les sites urbains. Deux espèces de *Culiseta* ont été identifiées : *Cs. longiareolata* et *Cs. annulata*. Dans le genre *Aedes*, deux espèces ont été répertoriées, principalement *Ae. caspius*, suivi de *Ae. vexans* dans les deux zones.

Le niveau d'urbanisation au sein de nos sites a eu un impact significatif sur la diversité et la répartition des moustiques culicides, *Culex pipiens* étant l'espèce la plus abondante et servant d'exemple. De ce fait, La faune de moustiques observée dans les zones urbaines et rurales du district de Sétif présentait des variations notables de la diversité des espèces, comme l'indiquent l'indice de Shannon-Weaver (H') et l'équitabilité (E), qui affichaient des valeurs relativement élevées dans les deux environnements. Une fluctuation distinctive de H' a été observée, en particulier dans les zones rurales, indiquant une coexistence des espèces dans ces sites. De plus, L'indice d'équitabilité montre que l'abondance des espèces de moustiques était hétérogène, indiquant que certaines espèces étaient plus abondantes que d'autres.

Il ressort des résultats que les mois doivent être considérés comme un facteur complexe, intégrant divers éléments tels que la température de l'air et de l'eau, les régimes de précipitations, le pH de l'eau, l'intensité de la luminosité, la photopériode, etc. Ainsi, la densité maximale des espèces a été observée dans des conditions où la température de l'air variait de 26 à 36 °C, la température de l'eau de 16 à 24,5 °C, et l'eau présentait un pH légèrement alcalin variant de 7 à 8,5. Aussi, l'impact de l'interaction entre les sites (rurals/urbains) et les paramètres environnementaux (le pH et la température de l'eau) l'abondance des moustiques est validé.

La lutte par les insecticides botaniques est très recommandée, parmi les moyens mis en œuvre par les plantes pour se défendre contre leurs prédateurs. Dans ce contexte, le but de ce travail est d'évaluer les réponses des populations de l'espèce de moustique *Culex pipiens* la plus répandue dans la région de sétif ; Les essais toxicologiques ont permis de déterminer les

concentrations létales (CL25, CL50 et CL90) de l'huile essentielle de *Mentha spicata* à l'égard des larves du 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> stade nouvellement exuviées du moustique *Cx. pipiens*. Ils révèlent un effet insecticide avec une relation dose-réponse. Cette sensibilité est encore plus élevée lorsque l'exposition des larves aux insecticides est prolongée dans le temps (24, 48 et 72h).

Le traitement par les concentrations létales (CL25 et CL50) de l'HE de *M. spicata* sur la composition biochimique des larves de *Culex pipiens*, nos résultats révèlent une augmentation du contenu en protéines chez les larves traités comparativement aux témoins ; La diminution de la teneur en lipides dans notre étude peut être due à l'utilisation des réserves lipidiques pour la réparation des cellules endommagées. Les analyses biochimiques de la présente étude révèlent une augmentation des glucides.

Afin de compléter et de poursuivre ce travail, il serait essentiel d'aborder les points suivants : Une étude sur la biodiversité et l'identification des espèces culicidiennes serait indispensable pour une meilleure connaissance de la faune mal connue en Algérie. Poursuivre une étude approfondie de l'utilisation de produits naturels dans la lutte biologique intégrée, ainsi que le développement de méthodes naturelles comme la prédation ; Des études physiologiques afin de déterminer les effets toxiques des pesticides et des biocides, et pour mieux comprendre leurs effets à l'échelle cellulaire et tissulaire.

# Références

## Bibliographique

## 6. References bibliographiques

**Abdelali, S.K., Souttou, K., Elhassani, M.K., Aissaoui, L., & Bendachou, H. (2023).**

Chemical composition of *Artemisia herba alba* essential oil and its larvicidal and pupicidal effects against *Culex pipiens* (Diptera; Culicidae). *Actualidades Biologicas*, 45(118): 1-12.

**Abdel-Massih, R.M., & El Beyrouthy, M. (2022).** Plants used in Lebanon and the Middle East as Antimicrobials Medicinal Plants as Anti-Infectives. Current Knowledge and New Perspectives, *Academic press*, 59-101.

**Abella-Medrano, C.A, Ibáñez-Bernal, S., & Carbó-Ramírez, P (2018).** Blood-meal preferences and avian malaria detection in mosquitoes (Diptera: Culicidae) captured at different land use types within a neotropical montane cloud forest matrix. *Parasitol Int*, 67: 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2018.01.006>.

**Abella-Medrano, C.A., Ibáñez-Bernal, S., MacGregor-Fors, I. (2015).** Spatiotemporal variation of mosquito diversity (Diptera: Culicidae) at places with different land-use types within a neotropical montane cloud forest matrix. *Parasit Vectors*, 8 : 487. <https://doi.org/10.1186/s13071-015-1086-9>.

**Abo-ElKacem, B.H. (2022).** Laricidal and adulticidal activity of essential oils from plants of the Lamiaceae family against the West Nile virus vector *Culex pipiens* (Diptera :Culicidae). *Saudi J Biosci*, 29 (8) :103-350. DOI: 10.1016/J.SJBS.2022.103350.

**Aissaoui L. (2014).** Etude écophysiological et systématique des Culicidae dans la région de Tébéssa et lutte biologique. Thèse de Doctorat d'Etat en science Naturelle. Universiré Badji Mokhtar Annaba, Algérie., 187p.

**Aissaoui, L., & Boudjelida, H. (2014).** Larvicidal activity and influence of *Bacillus thuringiensis* (Vectobac G) on longevity and fecundity of mosquito species. *European journal of expermental biology*, 4(1): 104-109.

**Aissaoui, L., & Boudjelida, H. (2017).** Diversity and distribution of culicinae fauna in Tebessa district (North East of Algeria). *International Journal of Mosquito Research*, 4(1): 07–12.

**Aissaoui, L., Bouaziz, A., & Boudjelida, H. (2022) a.** Toxic effect of a certain medicinal plant extracts against larvae of mosquito species *Culiseta longiareolata* (Maquart, 1838). *Uttar Pradesh Journal of Zoology*, 43(6) : 19-25.

**Aissaoui, L., Bouaziz, A., Boudjelida, H., & Nazli, A. (2022) b.** Phytochemical screening and biological effects of *Laurus nobilis* (Lauraceae) Essential oil against mosquito larvae *Culex pipiens* (Linnaeus,1758) (Diptera: Culicidae) species. *Applied ecology and environmental research*, 21(1): 287-300

**Akhtar, N., Haq, I., & Mirza, B. (2015).** Phytochemical analysis and comprehensive evaluation of antimicrobial and antioxidant properties of 61 medicinal plant species. *Arabian Journal of Chemistry*.

**Alayat, M.S., Bendali, F., Mahmoudi, K., & Soltani, N. (2023).** Diversity and spatio-temporal distribution of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in the Laghouat arid region (Algerian northern Sahara). *Oriental insects*. 57(4) : 1102-1127. DOI: <https://doi.org/10.1080/00305316.2023.2187892>.

**Ali-Shtayeh, M.S., Jamous, R.M., Abu-Zaitoun, S.Y., Khasati, A.I., & Kalbouneh, SR. (2019).** Biological properties and bioactive components of *Mentha spicata* L. Essential oil: focus on potential benefits in the treatment of obesity, alzheimer's disease, dermatophytosis, and drug-resistant infections. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. doi: 10.1155/2019/3834265.

**Amira, K. (2014).** Caractérisation des hydrocarbures cuticulaires et l'effet d'un régulateur décroissance, RH-0345 sur le développement et la reproduction de *Culex pipiens*. Thèse de doctorat en Science. Université Badji Mokhtar, Annaba. 56p.

**Amusan, A.A.S., Mafiana, C.F., Idowu, A.B. (2005).** Sampling mosquitoes with CDC light trap in rice field and plantation communities in Ogun State, Nigeria. *Tanzania Health Research Bulletin*, 7: 111-116.

**Anonyme. (2009).** De bonnes dattes Pendant toute l'année. Ed. Abou Dhabi. 30p.

**ANDI (2013).** Report from ANDI, National Agency for Development & Investment, Setif 2013.

**Aouinty, B., Ouafara, S., Mellouki, F. & Mahari, S. (2006).** Évaluation préliminaire de l'activité larvicide des extraits aqueux des feuilles du ricin (*Ricinus communis* L.) et du bois

de thuya (*Tetraclinis articulata* (Vahl) Mast.) sur les larves de quatre moustiques culicidés : *Culex pipiens* (Linné), *Aedes caspius* (Pallas), *Culiseta longiareolata* (Aitken) et *Anopheles maculipennis* (Meigen). *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 10(2) : 67-71.

**Appawu, M.A., Dadzie, S.K., Baffoe-Wilmot, A., & Wilson, M.D., (2001).** Lymphatic filariasis in Ghana: entomological investigation of transmission dynamics and intensity in communities served by irrigation systems in the Upper East Region of Ghana. *Tropical Medicine & International Health*, 6: 511-516.

**Arroussi, D.E.R., Bouaziz, A., & Boudjelida, H. (2021).** Mosquito survey reveals the first record of *Aedes* (Diptera: Culicidae) species in urban area, Annaba district, Northeastern Algeria. *Pol J Entomol*, 90 (1) : 14-26. DOI: 10.5604/01.3001.0014.8065.

**Askar, S.I., Al-Assaal, M.S., & Nassar, A.M.K. (2016).** Efficiency of some essential oils and insecticides in the control of some Sitophilus insects (Coleoptera: Curculionidae). *Egyptian Journal of Plant Protection Research*, 4(2) : 39-55.

**Asloun, A. Y., Benhissen, S., Habbachi, W., Habbachi, S., Hedjouli, Z., Bouselama, Z., & Tahraoui, A. (2021).** Preliminary Inventory and General Aspect of the Distribution of Culicidae Species in the Steppe Region (M'sila, Algeria). *Journal of Bioresource Management*. 8(3) : 79-88.

**Avato, P., Sgarra, G., Casadoro, G. (1995).** Chemical composition of the essential oils of *Mentha* species cultivated in Italy. *Sci. Pharm*, 63: 223–230.

**Ayhan, N., Hachid, A., & Thirion, L. (2022).** viruses Communication Detection and Isolation of Sindbis Virus from Field Collected Mosquitoes in Timimoun, Algeria. *Viruses*, 14 (894) : 2-9.

**Balatsos, G., Puggioli, A., Karras, V., Lytra, I., Mastronikolos, G., Carrieri, M., Papachristos, D.P., Malfacini, M., Stefopoulou, A., & Ioannou, C.S. (2021).** Reduction in Egg Fertility of *Aedes albopictus* Mosquitoes in Greece Following Releases of Imported Sterile Males. *Insects*, 12(110) : 1-11.

**Bardaweel, S.K., Bakchiche, B., AL-Salamat, H.A., Rezzoug, M., Gherib, A., Flamini, G., (2018).** Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and Antiproliferative activities of essential oil of *Mentha spicata* L. (Lamiaceae) from Algerian Saharan atlas. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1) : 201–207.

**Barata, C., Solayan, A., & Porte, C., (2004).** Role of B-esterases in assessing toxicity of organophosphorus (Chlorpyrifos Malathion) and carbamate (Carbofuran) pesticides to *Daphnia magna* *Aquat Toxicol*, 66 :125–139.

**Bashar, K., & Tuno, N., (2014).** Seasonal abundance of *Anopheles* mosquitoes and their association with meteorological factors and malaria incidence in Bangladesh. *Parasites Vectors*, 7 (1) : 1–10.

**Basiliana, E., Wiliam, K., Burno, M., Robert, M., & Franklin, M. (2017).** Effect of physicochemical parametres on *Anopheles* and *Culex* mosquitoes larvae abundane in different breeding sites in rural setting of Muheza, Tanzaniya. *Parasites & Vector*, 1: 304. DOI: 10.1186/s13071-017-2238-x.

**Bayani, M., Ahmadi-hamedani, M., & Jebelli Javan, A. (2017).** Study of hypoglycemic, hypocholesterolemic and antioxidant activities of Iranian mentha spicata leaves aqueous extract in diabetic rats, *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 16 (8) : 75–82, 2017.

**Bawin, T., Seye, F., Boukraa, S., Zimmer, J.Y., Delvigne, F., & Francis F. (2014).** La lutte contre les moustiques (Diptera : Culicidae) : diversité des approches et application du contrôle biologique, *Entomological society of Canada*, 1-25.

**Baz, M.M., Selim, A., Radwan, I.T., Alkhaibari, A.M., & Khater, H.F. (2022).** *Scientific Reports*,12 : 1-19.

**Beaudrouet, A. (2018).** Le réchauffement climatique et ses conséquences sur le Comportement de quelques Diptères vecteurs d'infections humaines en France Métropolitaine. Thèse de doctorat en Pharmacie. Université de Limoges.

**Becker, N., Petric, D., Zgomba, M., Boase, C., Madon, M.B., Dahl, C., & Kaiser, A (2010).** *Mosquitoes and Their Control*. 2nd ed., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg Publisher: pp 577. Villeneuve F., Desire C.H. 1965- Zoologie. Bordas, 1ere édition, 323p.

**Belkhiri, Nora. (2022).** Etude des culicides des Aurès : Inventaire et lutte. These de doctorat. Université Hadj lakhdar, Betna, Algerie.



- Benallal, K., Allal-Ikhlef, A., Benhamouda, K., Schaffner, F. & Harrat Z., (2016).** First report of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Diptera: Culicidae) in Oran, West of Algeria. *Acta tropica*. 164 : 411-413
- Benayad, N. (2008).** Les huiles essentielles extraites des plantes médicinales marocaines : moyen efficace de lutte contre les ravageurs des denrées alimentaires stockées. Université Mohammed V -Agdal. Rabat, 63 p.
- Benelli, G., & Pavela, R. (2018).** Beyond mosquitoes –Essential oil toxicity and repellency against blood sucking insects. *Ind Crops Prod*, (117) : 382-392
- Benhissen, S., Habbachi, W., & Rebbas K. (2018).** Études entomologique et typologique des gîtes larvaires des moustiques (Diptera : Culicidae) dans la région de Bousaâda (Algérie). *Bull Soc Roy Sci Liege*, 87 : 112–20.
- Berchi, S. (2000a).** Bio écologie de *Culex pipiens L.* (Diptera : Culicidae) dans la région de Constantine et perspectives de lutte. Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, Algérie., 223p
- Berchi, S., Aouati, A., Louadi, K. (2013).** Typologie des gîtes propices au développement larvaire de *Culex pipiens L.* 1758 (Diptera-Culicidae), source de nuisance à Constantine (Algérie). *Ecologia Mediterranea*, 38:2.
- Benyacoub, S., & Chabi, Y., (2000).** Diagnose écologique de l'avifaune du Parc National d'El-Kala. Composition, statut de répartition. *Revue des sciences et technologie*, Université Annaba. 7(6) : 3 – 98.
- Blondel, J. (1979).** Biogéographie et écologie. Ed. Masson, Paris, 173 p.
- Bonizzoni, M., Gasperi, G., Chen, X., & James, A.A. (2013).** The invasive mosquito species *Aedes albopictus*: current knowledge and future perspectives. *Trends Parasitol.* 29(9) : 460-8.
- Börstler, J., Jöst, H., Garms, R., Krüger, A., Tannich, E., Becker, N., & Schmidt-Chanasit Lühken, R. (2016).** Host-feeding patterns of mosquito species in Germany. *Parasit Vectors*, 9 : 312-318.
- Bouaziz, H., Boudjelida, H., & Soltani, N. (2011).** Toxicity and perturbation of the metabolite contents by a chitinsynthesisinhibitor in the mosquito larvae of *Culiseta longiareolata*, *Scholars Research Library Annals of BiologicalResearch*, 2 (3) : 134-142.

- Bouaziz, A., Aissaoui, L., & Boudjelida, H. (2023).** The activity of *Bacillus thuringiensis* Vectobac G on the biochemical compositions of *Culex pipiens* and *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae) mosquito larvae. *Eco. Env. & Cons.* 29 (1) : 1-9.
- Boubidi, S.C., Gassen, I., Khechache, Y., Lamali, K., Tchicha, B., Brengues, C., Menegon, M., Severini, C., Fontenille, D., & Harrat, Z. (2010).** *Plasmodium falciparum* malaria, southern Algeria, 2007. *Emerging Infectious Diseases*, 16(2) : 301-303
- Bouchekkif, H. (2017).** Evaluation de l'activité insecticide des huiles essentielles et des extraits aqueux formulés de lentisque à l'égard des larves de *culex*. Mémoire de Master en Biologie, Université de Blida 1
- Boudjelida, H., Bouaziz, A., Thomas, S., Smaghe, G., & Soltani, N. (2005).** Effects of ecdysone agonist halofenozide against *Culex pipiens*. *Pestic Biochem Phys.* (83) :115- 123.
- Boudjelida H, Aissaoui L, Bouaziz A, Smaghe G & Soltani N. (2008).** Laboratory evaluation of *Bacillus thuringiensis* (Vectobac WDG) against mosquito larvae *Culex pipiens* and *Culiseta longiareolata*. *Commun Agric and Appl*, 73 (3) : 603-609.
- Bouguerra, N., Tine-Djebbar, F., & Soltani, N. (2018).** Effect of *Thymus vulgaris* L. (Lamiales: Lamiaceae) Essential oil on Energy Reserves and Biomarkers in *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) from Tebessa (Algeria). *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 1(4) : 1082 -1095.
- Boukhebt1, H., Chaker, A.N., Belhadj, H., Sahli, F., Ramdhani, M., Laouer, H., & Harzallah, D. (2011).** Chemical composition and antibacterial activity of *Mentha pulegium* L. and *Mentha spicata* L. essential oils. *Der Pharmacia Lettre*, 3(4) : 267-275.
- Bouree, P., Zambon, P., & Ensaf A., (2015).** *Aedes albopictus* : un moustique multifonction. *OptionBio*, 519 : 13-16.
- Brhunes, J., Rhaim, A., Geoffroy, B., Angel, G., Hervy, J.P., Hassaine, K., Fossati, O., D'Amico, F., Villepou, J., Mires, S., & Breuil, F. (1999).** Mosquitoes of Mediterranean Africa. Identification and teaching software. Montpellier/Tunis, The Institute of Research for Development, The Pasteur Institute of Tunis
- Brunhes, J., Schaffner, F., Angel, G., Geoffroy, B., Hevry, JP., & Rhaiem, A. (2001).** Moustiques d'Europe. Logiciel de l'Institut de Recherche et de Développement de Montpellier (France).

- Camp, J.V., Karuvantevida, N., Chouhna, H., Saf, E., Shah, J.N., & Nowotny, N. (2019).** Mosquito biodiversity and mosquito-borne viruses in the United Arab Emirate, 12 : 153.
- Cardo M.V., Rubio A., Junges M.T., Vezzani D., & Carbajo A.E. (2018).** Heterogeneous distribution of *Culex pipiens*, *Culex quinquefasciatus* and their hybrids along the urbanisation gradient. *Acta Tropica*. 178 : 229-235.
- Carnevale, P., Robert, V. (2017).** Les Anophèles, Marseille, France, P391. DOI : 10.4000/books.irdeditions.10374
- Chahed., S. (2022).** Biodiversité des moustiques (Diptera : Culicidae) de la région de Tizi-Ouzou (Nord d'Algérie). These de doctorat. Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, Algerie. Pp 304.
- Chandrasegaran, K., Lahondere, C., Escobar, L.E & Vinauger, C. (2020).** Linking mosquito ecology, traits, behavior, and disease transmission. *Trends in Parasitology*. 36(4) : 393-403.
- Chermette, R., & Bussieras, J. (1991).** Entomologie Vétérinaire, Abrégé de Parasitologie vétérinaire. Fascicule IV, Ed Service de Parasitologie ENVAIfort, 163p.
- Clarke, R.T, Furse, M.T, Gunn, R.J, Winder, J.M & Wright J.F. (2002).** Sampling variation in macroinvertebrate data and implications for river quality indices. *Fresh water Biology*, 47 : 1735-1751.
- Clements AN. (1999).** The Biology of Mosquitoes: Sensory Reception and Behaviour. CAB Inter Publ, Eastbourne. p576.
- Clements, A.N. (2000).** The biology of mosquitoes: development, nutrition and reproduction. CAB Inter Publ, Eastbourne. 752p.
- Dahchar, Z., Bendali-Saoudi, F., & Soltani., N. (2017).** Inventory of Culicidae of the wetland (of the West region of Annaba). *Entomology and zoology studies*, 5(2) : 430-436.
- Darriet, F. (2014).** Des moustiques et des hommes : Chroniques d'une pullulation annoncée. IRD : Marseille, 136p.
- Darriet, F. (2019).** Le moustique tigre : Le conquérant. *Espèces*, 34 : 14-21.
- Dajoz, R. (1975).** Précis d'écologie. 3e édition Gauthier-villars, Paris : 549p.
- Dajoz, R. (1982).** Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 503 p.

- Dajoz R. (2000).** Précis d'écologie. Edition Dunod, Paris, 615p.
- Dajoz, R. (2006).** Précis d'écologie cour et questions de réflexion, 8<sup>ème</sup> Ed, Dunod. Paris.
- De Villers, J., Squiblin, M., & Yourassowsky, C. (2005).** Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface : cadre général. Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE)/Observatoire des Données de l'Environnement. Fiche 2 : 1-16.
- Djeddar, H., Boudjelida, H., & Arroussi, D.E.R. (2021).** New alternative for culicid fauna control using *Borago officinalis* and *Drimia maritima* plant extracts. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, (22) : 5688-5694.
- Djehader, N.E.H., Boudjelida, H., Bouaziz, A., & Soltani N., (2013).** Biological effects of a benzoyl phenylurea derivative (Novaluron) on larvae of *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae). *Advances in Applied Science Research*.
- Dreux, P. (1980).** Précis d'écologie, Ed. Presses. Université, France., Paris.
- Dris, D. & Bouabida, H. (2020).** Larvicidal Activity of an Algerian *Ruta graveolens* Essential Oil on Mosquito Species *Culex pipiens*. *Transylvanian review*, (47) : 14717-14723.
- Duvallet, G., & Gentile, G. (2012).** Protection personnelle antivectorielle, Marseille
- Duvallet, G., Fontenille, D., & Robert V. (2017).** Entomologie médicale et vétérinaire. Institut de recherche pour le développement/QUAE édition, Marseille, 688p
- Duvallet, G. & Chabasse D. (2020).** Moustiques et pathogènes. *Revue francophone des laboratoires*, 524 : 57-67.
- El-Akhal, F., Guemmouh, R., Maniar, S., Taghzouti, K., & El Ouali Lalami, A. (2016).** Larvicidal activity of essential oils of *Thymus vulgaris* and *Origanum majorana* (Lamiaceae) against of the malaria vector *Anopheles labranchiae* (Diptera: Culicidae). *Int J Pharm Pharm Sci*, 8(3) : 372-376.
- El Anbri, C., Eddaya, T., Boughdad, A., Chaimbault, P., & Zaid, A. (2022).** Essential oil chemical diversity of Moroccan mint (*Mentha spicata* L.). *Mor. J. Agric. Sci*, 3 : 189–202.
- Elena, F., Florian-Liviua, P., Mihai, M., Gabriela, N. (2007).** Mosquitoes (Diptera : Culicidae) in Mila 26- Maliuc area (Danube Delta, Romania)-*Preleminary data*. *Sc. Annals of DDI*, 13 : 89 (96).

**El Fadl, A., & Chtaina, N. (2010).** Etude de Base sur la Culture de la Menthe du Maroc. Programme Régional de Lutte Intégrée Contre les Organismes nuisibles (Integrated Pest Management) au Proche Orient ; Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA) : Rabat, Morocco, 10.

**El Hawary, N.A., Soliman, M.A., Seif, A.I., & Mesherif, W.S. (2020).** Culicine mosquitoes (Diptera: Culicidae) communities and their relation physico-chemical characteristic in three breeding sites in Egypt. *Egyptean journal of zoology*, 74 : 30-42. DOI: 10.12816/ejz.2020.40783.1039.

**Eliopoulos, P.A., Hassiotis, C.N., Andeadis, S.S., & Porichi, E.E. (2015).** Fumigant toxicity of essential oils from Basil and Spreamint against tow major pyralid pests of stored products. 108(2), 805-810. DOI: 10.1093/jee/tox029.

**El menyiy, N., Merabti, H.N., El Omari, N., El Bakili, A., Bakrimi S.M., Belahbib, A., Amiri-Ardekani, E., & Ullah, R. (2022).** Medical uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of *Mentha spicata*. Evidence based complementary and alternative medicine, DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/7990508>.

**El Ouali Lalami, A., El Hilali, O., & Benlamlih, M. (2010).** Étude 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) : 119–27.

**El- Wahab, M.A.A. (2009).** Evaluation of Spearmint (*Mentha spicata* L.) Productivity Grown in Different Locations under Upper Egypt Conditions. *Res. J. Agric. Biol. Sci*, 5 : 250,254.

**Farag, S.M., Hussein, M.A., Hafez, S.E., Khaled, A.S., Kamel, O.M., & Zyaan, O.H. (2021).** Larvicidal, biological, and histopathological alterations induced by pomegranate peel extract, *Punica granatum* against *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae). *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 25(2) : 139-161.

**Farahbakhsh, J., Najafian, S., Hosseini Farahi, M., & Gholipour, S, (2020).** Essential oil storage conditions affect the chemical composition in cultivated *Mentha spicata*. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 11.

**Fernandes, R.S., Bersot, M.I, Castro, M.G., Telleria, E.L., Ferreira-de-Brito, A., Raphael, L.M., Bonaldo, M.C & Lourenço-de-Oliveira, R. (2019).** Low vector competence

in sylvatic mosquitoes limits Zika virus to initiate an enzootic cycle in South America. *Sci Rep* 9(1) : 20151- 20158.

**Flores Ruiz, S., Romo, S.C., & Vera, A.C. (2022).** Effect of the Rural and Urban microclimate on mosquito richness and Abundance in yucatan state, Mexico. *Vector-Borne and zoonotic Diseases*, 2 (5) : 281-288. <https://doi.org/10.1089/vbz.2021.0105>.

**Ferraguti, M., la Martínez-de la Puente, J., Roiz, D., Santiago, R., Soriguer, R., & Figuerola, J. (2016).** Effects of landscape anthropization on mosquito community composition and abundance. *Sci Rep*, 6, 29002.

**Franklinos, L.H.V., Jones, K.E., & Redding, D.W. (2019).** The effect of global change on mosquito-borne disease. *Lancet Infect. Dis*, 19 : 302-312.

**Gaertner, M., Wilson, J.R.U., & Cadotte, M.W., et I. (2017).** Non-native species in urban environments: patterns, processes, impacts and challenges. *Bio. Invasions*. 19 : 3461-3469. DOI: 10.1007/s10530-017-1598-7

**Gangoso, L., Aragonès Martínez- de la Puente, J., & Lucientes, J. (2020).** Determinants of the current and future distribution of the West Nile Virus mosquitoes vector *Culex pipiens* in Spain. *Environ* 428 : 188,109837. <http://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109837>.

**Gillie, S.M., & De Meillon, B. (1968).** Anophelinae of Africa South of the Sahara, 2<sup>nd</sup> Ed, Pub.South Afr. Inst. Med. Res., 55, 143p.

**Gimenez-Santamarina, S.J.A.; Llorens-Molina, F.; Sempere-Ferre, C.; Santamarina, J.; Rosellóand, M.; Santamarina, P (2022).** Chemical composition of essential oils of three *Mentha* species and their antifungal activity against selected phytopathogenic and post-harvest fungi. *All Life*, 15 : 64–73.

**Gong, X., & Ren, Y. (2020).** Larvicidal and ovicidal activity of carvacrol, p-cymene, and  $\gamma$ -terpinene from *Origanum vulgare* essential oil against the cotton bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hübner). *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08391-2>.

**Govindarajan, M., Sivakumar, R., & Rajeswari, M. (2011).** Chemical composition and larvicidal activity of essential oil from *Mentha spicata* (Linn.) against three mosquito species. *Parasitol Res*, 110 : 2023–2032. <https://doi.org/10.1007/s00436-011-2731-7>.

- Govindarajan, M., Rajeswary, M., Muthukumar, U., Hoti, S.L., Khater, H.F & Benelli, G. (2016).** Single-step biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *Zornia diphylla* leaves: A potent eco-friendly tool against malaria and arbovirus vectors. *J Photochem Photobiol B*, 161 : 482-489.
- Guillaume, A. (2018).** Sortie du rapport du GIEC sur le réchauffement planétaire de 1,5 °C. *La Météorologie*, 103 : 6-8.
- Haddad, N., Omran, H., Amraoui, F., Zakhia, R., Mousson, L., & Failloux, A.B. (2022).** The tiger mosquito in Lebanon two decades after its introduction: A growing health concern. *PLOS Neglected tropical diseases*, 16(2) : 1-13.
- Hamaidia, K., & Soltani, N. (2014).** Laboratory evaluation of a biorational insecticide, kinoprene, against *Culex pipiens* larvae: Effects on growth and development. *Annual Research & Review in Biology*. 4 (14) : 2263-2273.
- Hamaidia, H., & Berchi, S. (2018).** Systematic and ecological study of Mosquitoes (Diptera: Culicidae) in the Souk-Ahras region (Algeria). *Faun Entomol*, 71 : 1-8.
- Hamaidia K & Soltani N. 2019.** Compensation of kinoprene effect on reproduction of *Culex pipiens* by methoxyfenozide an ecdysone agonist.. *J Entomol Res* 43 (2) : 125-130.
- Hapugoda, M.D., Ranathunge, R.M.T.B., Kannangara, D.N., Gunatilaka, P.A.D.H.N., & Abeyewickreme, W. (2020).** *J Vector Borne Dis*, 57 : 85-95
- Haubruge, E., & Amichot M. (1998).** Les mécanismes responsables de la résistance aux insecticides chez les insectes et acariens. *Biotechnol. Agron. Soc. Enviro*.2 (3) : 161-174.
- Himmi O., Dakki M., Trari B., & Elagbani M.A. (1995).** Les Culicidae du Maroc : clés d'identification avec données biologiques et écologiques. *Trav. Inst. Sci., série Zool*. 44 : 50 - 58.
- Himmi, O. (2007).** Les Culicidés (Insectes, Diptères) du Maroc : Systématique, écologie et études épidémiologiques pilotes. Thèse de Doctorat, Université Mohammed V- Agdal, Rabat, Maroc, 334 p.
- Hawrył, M.A., Skalicka-Woźniak, K., Swieboda, R., Niemiec, M., Stępak, K., Waksmundzka-Hajnos, M., Hawrył, A., & Szymczak, G. (2015).** GC-MS fingerprints of mint essential oils. *open Chemistry*, 13 :1326–1332.



- Izri A., Bitam I. & Charrel R.N., 2011.** First entomological documentation of *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) in Algeria, *Microbiol. Infect*, 17 : 7
- Jacques, G. & Christian.H. (2003).** Traitement des données stationnelles (faune). Grall J., Hily C. Traitement des données stationnelles (faune). Fiche technique Ifremer.
- Kassahun, B.M., Egata, D. Lulseged F. T., Yosef W. B., & Tadesse S. (2014).** Variability in agronomic and chemical characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L) genotypes in Ethiopia. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 2 (10) : 2704–2711.
- Kataria, H.C., Iqbal, S.A., & Sandilya, A.K. (1995).** Limno-chemical studies of Tawa Reservoir. *Indian. Jour. of Env'tl Prctn*, 16(11) :841-846.
- Kee, L.A.; Shori, A.B.; & Baba, A.S. (2017).** Bioactivity and health effects of *Mentha spicata*. *Integr. Food Nutr. Metab.*, 5 : 1–2.
- Keely L.L. (1985).** Physiology and biochemistry of Fat body, pp. 211 – 248. In GA Kerkutet L.I. Gilbert (eds): *Comprehensive Insect Biochemistry, physiology and pharmacology*, vol. 3, Pergamon Press, oxford.
- Keffous, B.S & Aissaoui, L. (2022).** Chemical characterization of *Foeniculum vulgare* Mill essential oil composition and its toxicological effects against mosquito: *Aedes caspius* (PALLAS, 1771) species. *Uttar pradesh journal of zoology*, 43(21) : 66-73. DOI: 10.56557/UPJOZ/2022/v43i213214
- Kettle, D.S. (1995).** *Medical and Veterinary Entomology*, 2nd edition, Wallingford, CAB international, 725 p.
- Kharoubi, R., Rehim, N., & Soltani, N. (2020).** Essential oil from *Mentha rotundifolia* harvested in Northeast Algeria: Chemical composition, larvicidal and enzymatic activities on *Culex pipiens* larvae. *Transylvanian review*, XXVII (47) : 14724-14732.
- Khosravi, R., Jalali-Sendi, J. & Ghadamyari, M. (2010).** Effect of *Artemisia annua* L. on deterrence and nutritional efficiency of lesser mulberry pyralid (*Glyphodes pyloalis* Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Protection Research*, 50(4) : 423- 428.
- Kofidis, G., Bosabalidis, A., & Kokkini, S., (2006).** *Journal of Essential Oil Research.*, 16, 469-472.

- Koliopoulos, G., Pitarokili, D., Kioulos, E., Michaelakis, A., & Tzakou, O. (2010).** Chemical composition and larvicidal evaluation of *Mentha*, *Salvia*, and *Melissa* essential oils against the West Nile virus mosquito *Culex pipiens*. *Parasitol. Res.*, 107 : 327–335.
- Kraemer, M.U., Reiner, R.C., Brady, O.J., Messina, J.P., Gilbert, M., Pigott, D.M, & Shirude, S. (2019).** Past and future spread of the arbovirus vectors *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Nature Microbiology*, 4(5) : 854-863.
- Kunwar, G., Pande, C., & Tewari, G. (2017).** Essential oil composition of the aerial parts of *Mentha spicata* L. *Journal of essential oil-bearing plants JEOP*, 13 (3) : 353–356.
- Lafri, I., Bita, I., Beneldjouzi, A., & Ben Mahdi, M.H. (2014).** An inventory of mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Algeria. *Bulletin de la Société zoologique de France*, 139 (4) : 255-261.
- Lafri, I., Prat, C.M., Bitam, I., Gravier, P., Besbaci, M., Zeroual, F., & Leparç-Goffart, I. (2017).** Seroprevalence of West Nile virus antibodies in equids in the North-East of Algeria and detection of virus circulation in 2014. *Comparative immunology, microbiology and infectious diseases*, (50) : 8-12.
- Lavaud, F., & Dutau, G. (2020).** Hypersensibilité aux morsures d'arthropodes hématophages. *Revue Française d'Allergologie*, 60(6-7) : 498-506.
- Laven, H. (1971).** Génétique formelle, lutte génétique et structures des populations de moustiques. *Annales de parasitologie*, 46(3) : 103-115.
- Lew, K. (2010).** Mosquito-Borne Illnesses. Marshall Cavendish Benchmark edition, New York ,62p.
- Li, R., Xu, L., Bjørnstad, O. N., Liu, K., Song, T., Chen, A., & Stenseth, N. C. (2019).** Climate driven variation in mosquito density predicts the spatiotemporal dynamics of dengue. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 116(9) : 3624-3629.
- Ma, X.X., Wang, F.F., Wub, T.T., Li, Y., Sun, D.X.J., Wang, R., & Chang, Q. (2022).** First description of the mitogenome and phylogeny: *Aedes vexans* and *Ochlerotatus caspius* of the Tribe Aedini (Diptera: Culicidae). *Infection, Genetics and Evolution*, 102 (2022) : 105-311.

- Madaci, B., Merghem, R., Doumandji, B. & Soltani, N. (2008).** Effet du *Nerium oleander*, *laurier-rose*, (Apocynacées) sur le taux des protéines, l'activité de l'AchE et les mouvements des vers blancs rhizotrogini, (Coleoptera : Scarabaeidae). *Science et Technologie* 27 : 73 - 78.
- Main, B.J., Everitt, A., Cornel, A.J., Hormozdiari, F & Lanzaro GC. (2018).** Genetic variation associated with increased insecticide resistance in the malaria mosquito *Anopheles coluzzii*. *Par and Vect*, 11 : 225-234.
- Malik, F., S. Hussain, A. Sadiq, G. Parveen, A. Wajid, S. Shafat, R. A. Channa, R. Mahmood, H. Riaz, M. Ismail & F. Yasin Raja. (2012).** Phyto-chemical analysis, anti-allergic and anti-inflammatory activity of *Mentha arvensis* in animals. *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 6(9) : 613-619.
- Mc, D., & Pickett, S.T.A. (1990).** Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: unexploited opportunity for ecology. *Ecology*, 71: 1232-123. <https://doi.org/10.2307/1938259>.
- Mc Daniel, I.N., Bentley, H.P., & Yatangal L. (1976).** Effet of color and larval produce oviposition attractants on oviposition of *Aedes triseriatus*. *Envir. Entomol.*, 5 (3) : 553-5
- Mckinney, M.L. (2008).** Effects of urbanization on species richness: a review of plants and animals. *Urb Ecos*, 11 : 161-176. <http://doi.org/10.1007/s11252-007-0045-4>.
- Medeiros-Sousa, A.R., De Oliveira-Christe, R., & Camargo, A.A. (2021).** The Influence of the pH and Salinity of Water in Breeding Sites on the Occurrence and Community Composition of Immature Mosquitoes in the Green Belt of the City of São Paulo, Brazil. *Insects*, 12(9) : 797. DOI : 10.3390/insects12090797.
- Meir paul, p., & Tarlochan, S.D. (2012).** An overview of insect growth distripor applied aspect. *Insect growth distripor*, 4 : 1-162. DOI: 10.1016/B978-0-12-391500-9-00001-2.
- Merabti, B., Lebouz, I., & Ouakid, M. L. (2017).** Larvicidal activity and influence of Azadirachtin (Neem Tree Extract) on the Longevity and fecundity of mosquito species. *Acta Zoologica Bulgarica*, 69(3) : 429-435.
- Merabti, B., L bouz, I., Adamou, A. E., Kouidri, M., & Ouakid, M. L. (2017).** Effects of certain natural breeding site characteristics on the distribution of Culicidae (Diptera) mosquito species in southeast Algeria. *African Entomology*, 25(2) :506-514.

- Misra, L.N., Tyagi, B.R., & Thakur, R.S. (1989).** Chemotypic variation in Indian spearmint. *Planta. Med*, 55 : 575-576.
- Mohammedi, H., Mecherara-Idjeri, S., & Hassani, A. (2020).** Variability in essential oil composition, antioxidant and antimicrobial activities of *Ruta montana L.* collected from different geographical regions in Algeria. *Journal of Essential Oil Research.*, 32: 88-101.
- Moharfash SMM, Fallatah SA, Farag SM, & Moussa ATH (2020).** *Mentha spicata* essential oil nanoformulation and its larvicidal application against *Culex pipiens* and *Musca domestica*. *Elsevier*, 0926-6690. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112944>.
- Mourot E. (2020).** Biodiversité et moustiques face au changement climatique et à la mondialisation. Impacts sur la santé en France métropolitaine. Thèse de doctorat, Pharmacie, Université. Bordeaux. 103p.
- Moyes, C. L., Vontas, J., Martins, A. J., Ng, L. C., Koou, S. Y., Dufour, I., & Merabti, B., Boumaza, M., Ouakid, M., Carvajal, T. M., & Harbach, R. E. (2021).** An updated checklist of the mosquitoes (Diptera: Culicidae) present in Algeria, with assessments of doubtful records and problematic species. *Zootaxa*, 5027 (4) : 515-545.
- Muller, Y. (1985).** L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord. Sa place dans le contexte médio – européen. Thèse Doctorat Sci, Université Dijon, 318 p.
- Nabti, I., & Bounecheda, M. (2019).** Mosquito biodiversity in Setif region (Algerian High Plains), density and species distribution across climate zones. *Faunistic entomology*, 37 (1) : 14.
- Nadji, H. (2011).** Contribution a l'étude des moustiques de la region de biskra : aspects systematique, ecologique, biochimique et energetique. Mémoire de magister, Biskra.
- Nathan, S.S., Choi, M.Y., Seo, H.Y., Paik, C.H., Kalaivani, K. & Kim, J.D. (2008).** Effect of azadirachtin on acetylcholinesterase activity and histology of brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stal). *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70 : 244–250.
- Nienie, A.B., Sivalingam, P., Laffite, A., Ngelinkoto, P., Otamonga, J.P., Matand, A., Mulaji, C.K., Mubedi, J.I., Mpiana, P.T., & Poté, J. (2017).** Seasonal variability of water quality by physicochemical indexes and traceable metals in suburban area in Kikwit,

Democratic Republic of the Congo. *International Soil and Water Conservation Research* 5 : 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.004>.

**Nkumama, I.N., O'Meara, W.P., & Osier, F.H. (2017).** Changements dans l'épidémiologie du paludisme en Afrique et nouveaux défis pour l'élimination. Les tendances. *Parasitol*, 33 : 128-140.

**Nwabor OF, Nnamonu EI, Martins PE & Odiachi O. (2019).** Synthetic insecticides, phytochemicals and mosquito resistance. *Acad J Biotechnol* 5(8) : 118-125.

**Oliva, C.F., Benedict, M.Q., Collins, C.M., Baldet, T., Bellini, R., Bossin, H., Bouyer, J., Corbel, V., Facchinelli, L., & Fouque, F. (2021).** Sterile Insect Technique (SIT) against *Aedes* Species Mosquitoes: A Roadmap and Good Practice Framework for Designing, Implementing and Evaluating Pilot Field Trials. *Insects*, 12(191) : 1-26.

**OMS. (2020).** Évaluation des moustiques génétiquement modifiés dans la lutte contre les maladies à transmission vectorielle. Déclaration de principe. Organisation mondiale de la santé, Genève, Suisse

**OMS. (2005).** Guide for laboratory and field testing of mosquito larvicides Geneva: World Health Organisation.

**Oyewole, IO., Momoh, O.O., & Anyasor, G.N. (2009).** Physicochemical characteristics of Anopheles breeding sites: impact on fecundity and progeny development. *Afr J Environ Sci Technol*, 3(12) : 447-452.

**Paksa, A, Sedaghat, M.M., & Vatandoost, H. (2019).** Biodiversity of Mosquitoes (Diptera: Culicidae) with Emphasis on Potential Arbovirus Vectors in East Azerbaijan Province, Northwestern Iran. *Journal of Arthropod-Borne Diseases* 2019, 13(1) : 62–75.

**Panagiotis, E.I., Eleni, G.L., & Vaios, T.K. (2015).** Fortification of white milled rice with phytochemicals during cooking in aqueous extract of *Mentha spicata* leaves. *An adsorption studies*. 65: 589-596. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.07.012.

**Patil, S.C., Shivakumar, K. (2021).** Assessment of physicochemical parameters and water quality (Rotifera 469 diversity) of Bhima River at Katti Sanghavi Bridge (Karnataka, India). *Uttar pradesh journal of zoologies*, 20-28.

- Patricia, N.O, Popoola, K.O.K., & Olayemi, M.A. (2014).** Species composition and temporal distribution of mosquito populations in Ibadan, Southwest Nigeria. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2(4) : 164-169.
- Pavela, R., & Benelli, G. (2016).** Essential oils as ecofriendly bio pesticides Challenges and constraints. *Trends Plant Sci*, 21 : 1000-1007.
- Pelizza, S.A., Lo´pez Lastra, C.C., & Becnel, J.J. (2007).** Effects of temperature, pH and salinity on the infection of *Leptolegnia chapmanii* Seymour (Peronosporomycetes) in mosquito larvae. *J Invertebr Pathol*, 96, 133-137.
- Pfeffer, M., & Dobler, G. (2010).** Emergence of zoonotic arboviruses by animal trade and migration. *Parasites & Vectors*, 3 : 35.
- Pichler, V., Bellini, R., Veronesi, R., Arnoldi, D., Rizzoli, A., Lia, R. P., & Antognini, E. (2018).** First evidence of resistance to pyrethroid insecticides in Italian *Aedes albopictus* populations 26 years after invasion. *Pest Management Science*. 74(6) : 1319-1327.
- Pihan, J.C. (1986).** Les Insectes, Paris, New York, Barcelone. Edition Masson, 160p.
- Ramade F. (1984).** Element d’écologie. Ecologie fondamentale. Ed. Mac. Graw- Hill, Paris, 397 p.
- Ramkumar, G., & Shivakumar, M.S. (2015).** Laboratory development of permethrin resistance and cross-resistance pattern of *Culex quinquefasciatus* to other insecticides. *Parasitology research*. 114(7) : 2553-2560.
- Rehimi, N, & Soltani N. (1999).** Laboratory evaluation of Alsystin, a chitin Synthesis inhibitor, against *Culex pipiens L.* (Diptera: Culicidae): effect on development and cuticule secretion. *J. Appl. Entomol*, 123 : 437-441.
- Reinhold, J.M., Lazzari, C.R. & Lahondère, C., (2018).** Effects of the environmental temperature on *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* Mosquitoes: A Review. *Insects*, 9 : 158, <https://doi.org/10.3390/insects9040158>.
- Reno, E., Quan, N.G., & Franco-Paredes, C. (2020).** Prevention of yellowfever in travellers: An update. *Lancet Infect. Dis*, 20 : 129–137.

- Ribeiro, S., Sousa, J.P., Nogueira, A.J.A. & Soares, A.M.V.M. (2001).** Effect of endosulfan and parathion on energy reserves and physiological parameters of the terrestrial isopod *Procellia dilatatus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 49 : 131- 138.
- Rioux, J.A. (1958).** Les Culicides du « Midi » méditerranéen, étude systématique et écologique. Paul Lechevalier (Encyclopédie entomologique) édition, Paris, 303p.
- Ripert, C. (2007).** Epidemiologie des maladies parasitaires, tome 4, affections provoquées ou transmises par les arthropodes. Cachan : EM inter. 581 p.
- Robert, V., Günay, F., Le Goff, G., Boussès, P., Sulesco, T., Khalin, A., Medlock, J.M., Kampen, H., Petric, D. & Schaffner F., (2019).** Distribution chart for EuroMediterranean mosquitoes (western Palaearctic region). *Journal of the european mosquito control association*, 37 : 1-28.
- Rodhain, F., & Perez, C. (1985).** Précis d'entomologie médicale et vétérinaire. Maloine s.a.
- Roiz, D., Ruiz, S., Soriguer, R., Figuerola, J., 2015.** Landscape Effects on the Presence, Abundance and Diversity of Mosquitoes in Mediterranean Wetlands. *PLoS One* .10 : 128-112.
- Rodier, J., Legube, B., & Merlet, N. (2009).** L'analyse de l'eau. 9eme édition Dunod, Paris, France.1579p.
- Roiz, D., Rosà, R., Arnoldi, D., & Rizzoli, A. (2010).** Effects of temperature and rainfall on the activity and dynamics of host-seeking *Aedes albopictus* females in northern Italy. *Vector Borne Zoonotic Dis* 10, 811–816. <https://doi.org/10.1089/vbz.2009.0098>.
- Rubio, C., Pincus, D., Korennykh, A., Scucker, S., & El-Samad, H. (2011).** Homeostatic adaptation to endoplasmic reticulum stress depends on Ir1 Kinase activity. *J. Cell. Bio.* 193 (1) : 171-84.
- Saidi, K. (2021).** Étude taxonomique et toxicologique des moustiques dans les régions de Magra et Ain khadra (M'sila) (Doctoral dissertation, Université Mohamed BoudiafM'sila). Algérie.
- Sak, O., Uckan, F. & Ergin, E. (2006).** Effects of cypermethrin on total body weight, glycogen, protein and lipid contents of *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae). *Belgian Journal of Zoology*, 136 : 53-58.



- Saroukolai, A.T., Nouri-Ganbalani, G., & Rafiee-Dastjerdi, H. (2014).** Antifeedant activity and toxicity of some plant essential oils to colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). *Plant Prot. Sci*, 50 : 207–216. DOI: 10.17221/9/2014-PPS.
- Sayada, N., Tine, S., & Soltani, N. (2021).** Toxicity and physiological effects of essential oil from *Lavandula angustifolia* (M.) against *Rhizophthera dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) adults. *Journal of Entomological Research*, (45) :929-936.
- Schaffner, F., Angel, G., Geoffroy, B., Hervy, J.P., Rhaïem, A & Brunhes, J. (2001).** The mosquitoes of Europe. An identification and training programme. IRD Edition et EID Méditerranée.
- Schaffner, F., Krupa, E., Bender, C. & Mathieu, B. (2020).** Progression du moustique tigre en France : surveillance transfrontalière dans le Grand-Est, *Revue francophone des laboratoires*, 524 : 53-61.
- Schaffner, F., Weigand, A., Ries, C. (2023).** Atlas and catalogue of the mosquitoes (Diptera, Culicidae) of 487 Luxembourg.
- Schmidt, M., Hrabcova, V., Jun, D., Kuca, K., & Musilek, K. (2018).** Vector control and insecticidal resistance in the African malaria mosquito *Anopheles gambiae*. *Chemical Research in Toxicology*, 31 : 534-547.
- Sedaghat, M.M., Sanei Dehkordi, A., Abai, M.R., Khanavi, M., Mohtarami, F., Salim Abadi, Y., Rafi, F., & Vatandoost, H. (2011).** Larvicidal Activity of Essential Oils of Apiaceae Plants against Malaria Vector, *Anopheles stephensi*. *Iran Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 5(2) : 51-59.
- Seguy, E. (1951).** Order of Diptera (Diptera Linné, 1758. *Treatise on Zoology, Anatomy, Nervous System, Biology. Upper Insects and Hemipteroid*, 975 p
- Selker, J & Or, D. (2019).** Heat flow and thermal effects in soils. Pp 267-305. In *Soil hydrology and biophysics* (Eds. Selker J and Or D.). Oregon State University, Corvallis, Oregon, USA.
- Senevet G. & Andarelli L. (1960).** Contributions à l'étude de la biologie des moustiques en Algérie et dans le Sahara Algérien *Arch. Inst. Pasteur, Algérie*, (2) :305 - 326.

- Ser, O., & Cetin, H. (2019).** Investigation of susceptibility of *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) population of synthetic pyrethroid in Antalya Province of Turkey. *JArthropod Borne Dis*, 13(3) :243-258.
- Servadio, J. L., Rosenthal, S. R., Carlson, L., & Bauer, C. (2018).** Climate patterns and mosquito borne disease outbreaks in South and Southeast Asia. *Journal of Infection and Public Health*, 11(4) : 566-571.
- Seyoum, E., Bateman, R.P. & Charnley, A.K. (2002).** The effect of *Metarhizium anisopliae* var. *acridum* on haemolymph energy reserves and flight capability in the desert locust, *Schistocerca gregaria*. *Journal of Applied Entomology* 126 (2–3) : 119–124.
- Shaaya, E., Kostjukovski, M., Eilberg, J., & Sukprakarn, C. (1997).** Plant oils as fumigants and contact insecticides for the control of stored-product insects. *Journal of Stored Products Research*, (33) : 17-15.
- Shibko, S., Koivistoinen, P., Tratnyek, C.A., Newhall, A.R., & Friedman, L. (1966).** A method for sequential quantitative separation and determination of protein, RNA, DNA, Lipid, and glycogen from a single rat liver homogenate or from a subcellular fraction. *Analytical Biochemistry*, 19 : 514-528.
- Silvie, P., Gomez, V., Aberlenc, H.P., Bonfils, J., Cardozo, R., & Michel, B. (2014).** Diversité des Arthropodes rencontrés en culture cotonnière au Paraguay 1, insectes et acariens phytophages. *Entomology Faunistique*, 67 : 165-178.
- Singh, P., & Pandey, A.K. (2018).** Prospective of essential oils of the genus *mentha* as biopesticides. *Front. Plant Sci.* 9 : 12-95. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01295>.
- Sinka, M.E., Bangs, M.J., Manguin, S., Coetzee, M., Mbogo, C.M., Hemingway, J., & Hay, S.I. (2010).** The dominant Anopheles vectors of human malaria in Africa, Europe and the Middle East: occurrence data, distribution maps and bionomic précis. *Parasites and Vectors*, 3(1) : 1-34.
- Sintayehu, D.W. (2018).** Impact of climate change on biodiversity and associated key ecosystem services in Africa: a systematic review. *Ecosysteme Health and Sustainability*, 4 (9) : 225-239. DOI: 10.1080/20964129.2018-1530054.
- Snow, R.W., Amratia, P., Kabaria, C.W., Noor, A.M., & Marsh, K. (2012).** The changing limits and incidence of malaria in Africa: 1939–2009. *Advances in parasitology*, 78 : 169-262.

- Suty, L. (2010).** La lutte biologique vers de nouveaux équilibres écologiques. Quae édition/Educagri édition, Paris : 325p.
- Sujana, P., Sridhar, T.M., Josthna, P., & Naidu, C.V. (2013).** Antibacterial activity and phytochemical analysis of *Mentha piperita* L. (Peppermint) – an important multipurpose medicinal plant. *Am. J. Plant Sci*, 4 : 77–83.
- Tancredi, A., Papandrea, D., Marconcini, M., Carballar-Lejarazu, R., Casas-Martinez, M., Lo, E., & Bonizzoni, M. (2020).** Tracing temporal and geographic distribution of resistance to pyrethroids in the arboviral vector *Aedes albopictus*. *PLoS neglected tropical diseases*. **14 (6)** : 83-50.
- Timmermann, S.E. & Briegel, H., (1999).** Larval growth and biosynthesis of reserves in mosquitoes. *Journal of Insect Physiology* 45 : 461–470.
- Tippelt, L., Walther, D. & Kampen, H., (2017).** The thermophilic mosquito species *Uranotaenia unguiculata* Edwards, 1913 (Diptera: Culicidae) moves north in Germany. *Parasitology Research*, 116 : 3437–3440.
- Tolle, M. (2009).** Mosquito-borne diseases. *Curr. Probl. Pediatr. Adolesc. Health Care*, 39, 97-140.
- Townroe, S., Callaghan, A. (2014).** British container Breeding mosquitoes: the impact of urbanization and climate change on community composition and phynology. *Plos oN*, 9(4). DOI: 10.1371/journal.pone.0095325.
- Van Ha, N.T., Takizawa, S., Oguma, K., VanPhuoc, N. (2011).** Sourcesandleaching of manganese and iron in the Saigon River Basin, Vietnam. *Water Science and Technology*, 63(10), 2231–2237. 500 <https://doi.org/10.2166/wst.2011>
- Van Hendsen H. C.& Law J.H. (1989).** An insect transfersparticle promotes lipid loading from fat body to lipoprotein. *J. Biol. Chem.* 264, 287-292.
- Venditti, A., Frezza, C., Rossi, G., Di Cecco, M., Ciaschetti, G., Serafini. M., Bianco, A., (2016).** Secondary metabolites with ecologic and medicinal implications in *Anthemis cretica* subsp. *petraea* from Majella National Park. *Aims Molecular Science.*, 3(4), 648-660

- Vijayaraghavan, C., Sivakumar, C., Zadda Kavitha, M. & Sivasubramanian, P. (2010).** Effect of plant extracts on biochemical components of cabbage leaf webber, *Crociodolomia binotalis* Zeller. *Journal of Biopesticides* 3 (1) : 275–277.
- Visser, B., Willett, D., Harvey, J., & Alborn, H. (2017).** Concurrence in the ability for lipid synthesis between life stages in insects. *Royal Society Publishing*, 4 : 160815-160823.
- Vythilingam, I., Tan, C.H., & Nazni, W.A. (2005).** Transmission potential of *Wuchereria bancrofti* by *Culex quinquefasciatus* in urban areas of Malaysia. *Tropical biomedicine* 22 : 83-85.
- Weill, M., Duron, O., Labbé, P., Berthomieu, A., & Raymond, M. (2003).** La résistance du moustique *Culex pipiens* aux insecticides. *Médecine/Sciences*, 12(19) : 1190-1192.
- Weesi, P., & Belemsobgo, V. (1977).** Les rapaces diurnes du ranch de gibier de Nazinga (Burkina Faso). Liste commentée, analyse du peuplement et cadre biogéographique. *Alouda*, 65(3) : 263 – 278.
- Weetman, D. (2017).** Contemporary status of insecticide resistance in the major *Aedes* vectors of arboviruses infecting humans. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. 11(7): e0005625.
- WHO. (2020).** Available from <https://www.who.int/emergencies/diseases/zika/epidemiology-update>. Zika Epidemiology Update.
- Wiggles, W. (1972).** The principal of Insect physiology. Seventh Edi. Chapman and Hall.444p.
- Wilson J. Sevarkodiyone SP., Spatial and temporal distribution of mosquitoes (Culicidae) in Virudhunagar district, Tamil Nadu, South India. (2014).** *International Journal of Mosquito Research*, 1(3) : 04-09.
- Yazdani, E., Sendi, J.J. & Hajizadeh, J. (2014).** Effect of *Thymus vulgaris* L. and *Origanum vulgare* L. essential oils on toxicity, food consumption, and biochemical properties of lesser mulberry pyralid *Glyphodes pyloalis* Walker (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Plant Protection Research*, 54(1) : 53-61
- Zamora Perea, E., Balta Leon, R., Palomino Salcedo, M., Brogdon, W., & Devine, G. (2009).** Adaptation and evaluation of the bottle assay for monitoring insecticide resistance in disease vector mosquitoes in the Peruvian Amazon. *Malar. J*, 8 :208.

**Zaidi, N., & Soltani, N. (2013).** Laboratory evaluation of environmental risk assessment of pesticides for mosquito control: toxicity of Dimilin on a larvivorous fish, *Gambusia affinis*. *Advances in environmental biology*, 7(4) : 595-604.

**Zekri, N., Elazzouzi, H., Ailli, A., & Lorenzo, J.M. (2023).** Physicochemical Characterization and Antioxidant Properties of Essential Oils of *M. pulegium* (L), *M. suaveolens* (Ehrh.) and *M. spicata* (L) from Moroccan Middle-Atlas. *Foods*, 12 (4) : 760. DOI: 10.3390/foods12040760.

**Zerroug, K. (2012).** Elaboration d'un système d'information géographique (flore) dans la Wilaya de Sétif. Mémoire Magister. Option : Biodiversité et gestion des écosystèmes. Université Ferhat Abbas Sétif, 1 –114.

**Zerroug, S. (2018).** Etude biométrique et histologique sur des larves de *Culex pipiens* Linnée, 1758 (Diptera, Culicidae) Exposées aux extraits aqueux de plantes. Thèse de doctorat, Université des Frères Mentouri Constantine.

**Zouachi-Chouahda, S. (2011).** Evaluation de l'impact de deux xénobiotiques sur un poisson culiciphage à intérêt médical *Gambusia affinis*. Thèse de doctorat Biologie Animale, option Ecotoxicologie. Université d'Annaba, Département de Biologie.

# Annexes

## 7. Annexes : Production scientifique

### Publication catégorie (A) :

Bouaoud, L., Aissaoui, L & Arian, D (2023). Diversity and distribution of Culicidan fauna in urban and rural areas of Setif region (North-East Algeria). Vector borne and zoonotic diseases. <https://doi.org/10.1089/vbz.2023.0047>.

### Communications internationals

- 1- Bouaoud, L & Aissaoui, L (2021). Etude de la biodiversité des espèces de moustiques dans la région de Sétif (Algerie). Poster. **International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and Forest Ecosystems: (In support of sustainable development)**. Mohamed Boudiaf University of M'sila Faculty of Sciences. 28-29 /04/2021.
- 2- Keffous, BS., Aissaoui, L & Bouaoud, L (2021). Chemical composition and larvicidal activity of essential oil of *Laurus nobilis* against *Culex pipiens*, vector of West Nile. Poster. **International Seminar on Biodiversity, Valorization and Conservation of Urban and Forest Ecosystems: (In support of sustainable development)**. Mohamed Boudiaf University of M'sila Faculty of Sciences. 28-29 /04/2021.

### Communications Nationals

- 1- Bouaoud, L & Aissaoui, L. (2023). Toxicological effect of the essential oil of *Mentha spicata* against the *Culex pipiens* vector. Poster. **National seminar on phytotherapy and pharmacognosy**. Farhat Abbas University of Setif.
- 2- Bouaoud, L & Aissaoui, L. (2023). Effet des paramètres physico-chimiques sur la densité larvaire de *Culex pipiens* vecteur de maladies dans la région de Sétif. Séminaire national. Université Badji Mokhtar, Annaba
- 3- Bouaoud, L & Aissaoui, L. (2024). The activity os essential oil from *Mentha spicata* on the biochemical compositions of *Culex pipiens* (Diptera:Culicidae)



mosquito larvae. Oral. **1<sup>st</sup> National online seminar on the restoration and the rehabilitation of the natural ecosystems face to the global changes in Algeria.**  
University of Relizane, Algeria.



Open camera or QR reader and scan code to access this article and other resources online.



# Diversity and Distribution of Culicidian Fauna in Urban and Rural Areas of Setif Region (North-East Algeria)

Laldja Bouaoud,<sup>1</sup> Lynda Aissaoui,<sup>1</sup> and Ariane Dor<sup>2</sup>

## Abstract

**Objective:** The study explored larval mosquito breeding sites in urban and rural areas from March 2021 to February 2022 in the North-East region of Algeria to provide information on larval biology and ecology of different mosquito species.

**Methodology:** It focused on the effect of the physicochemical characteristics of the breeding sites (pH and water temperature), area, and months on the larval mosquito abundance. Diversity index and equitability were calculated for the registered mosquito species in both areas.

**Results:** Months significantly affected the larval mosquito abundances, with a clear abundance increase from March to August 2021, and then, a clear decrease to February 2022. The interactions between rural and urban areas, water pH, and water temperature as well affected the mosquito abundance. Twelve species of Culicidae were identified and distributed in three genera: *Culex*, *Culiseta*, and *Aedes*. *Culex pipiens* was the most dominant species in rural and urban sites, with a rate of 69% and 48%, respectively. In rural site, *Aedes caspius* and *Aedes vexans* occupied the second position with value of 7–8% each. In urban sites, the second position was occupied by *Culiseta longiareolata* (36%) and then by *Culex theileri* (10%). In terms of site diversity, only one site was highly diversified in rural sites, El Hchichia ( $H' = 1.12$  bits). In urban sites, Setif Center, Guellet an Ain Trick, had almost similar diversity with values between 1.03 and 1.04 bits. Equitability values were 0.48 in rural sites and 0.55 in urban sites. Therefore, the Culicidae species presented in these study sites are moderately balanced.

**Conclusion:** The present study provides key tools for planning a better vector control through the information on the effect of some factors on the proliferation of mosquitoes in the urban and rural sites of the Setif region and on the Culicidae diversity and abundance.

**Keywords:** Culicidian fauna, urban, rural, breeding sites, parameters

## Introduction

SINCE MOSQUITOES REPRESENT a serious threat to the public health, it is crucial to acquire knowledge of mosquitoes and their behavior through research on their ecology, reproduction, and feeding. Despite these important advances, mosquito-borne diseases (MBD) still represent a significant part of the global burden of morbidity and mortality (estimated at 17% of infectious diseases) and socioeconomic loss in the world (Patricia et al., 2014; WHO, 2019). The geographical expansion of mosquitoes is associated with a rising

frequency of outbreaks of MBD worldwide (Wang et al., 2022). MBD have caused a high disease burden among humans, including dengue fever, chikungunya fever, Zika virus disease, yellow fever, Japanese encephalitis, and malaria, with around 96 million, 693,000, 500,000, 200,000, 68,000, and 212 million cases per year, respectively (Franklinos et al., 2019; Reno et al., 2020).

Many arboviruses have been isolated from mosquito species belonging to the genera *Culex*, *Aedes*, and *Culiseta* (Ayhan et al., 2022; Pfeffer and Dobler, 2010). Through their ecological plasticity, mosquitoes have been able to colonize

<sup>1</sup>Research Laboratory of Improvement and Development of Animal and Plant Production, Department of Biology and Animal Physiology, University Ferhat Abbas of Setif, Setif, Algeria.

<sup>2</sup>Investigadora por México CONAHCYT-ECOSUR Unidad Tapachula, Chiapas, Mexico.

almost all natural environments and to adapt to a very large number of habitats (Brunhes et al., 2001). They are found in almost all environments where water occurs as a necessity for their larval development (Schaffner et al., 2023). The development period from egg to adult varies among species and is strongly influenced by environmental factors. Temperature, relative humidity, and rainfall have a positive impact on the proliferation of mosquitoes (Aissaoui and Boudjelida, 2017). At the time of oviposition, the female mosquito selects the better habitat for the immature aquatic stages (Carpenter and Walter, 1955).

Since the proliferation and abundance of larval stages in aquatic habitats depend on physicochemical factors such as water temperature, and chemical composition particular to each local conditions (Benhissen et al., 2018; El Ouali et al., 2010; Paksa et al., 2019), it is essential to update the knowledge of the factors affecting the diversity and abundance changes of mosquito vectors species in specific local conditions. The analysis of the relationship between Culicid species and the physical and chemical parameters of the breeding sites made possible to identify the parameters that are favorable to the development of mosquito species (Hapugoda et al., 2020). This will allow monitoring and assessing the prevalence and risk of their associated diseases (Medeiros-Sousa et al., 2021; Nkumama et al., 2017). Mainly, the microclimates of urban and rural housing differently affect mosquito richness and abundance (Flores Ruiz et al., 2022).

On the contrary, the agricultural activities and urbanization such as rice cultivation, watering, and fish farming have led to spread of various species of mosquitoes (Amusan et al., 2005). Due to major landscape modifications related to the settlement of novel urban structures and to cover human basic needs (e.g., Food, energy, water; McDonnell and Pickett, 1990), urbanization has been identified as a major threat to biodiversity (Alberti, 2008; McKinney, 2002; Shochat et al., 2010). Hence, the present study aims to estimate the composition, abundance, and diversity of Culicidae mosquitoes and to explore whether physicochemical parameters, such as water temperature, and pH, influence the general production in mosquito larvae in urban and rural aquatic habitats along the year in the Setif district (North-Eastern part of Algeria).

## Materials and Methods

### Study area and sampling sites

The study areas are represented by the district of Setif, in the North-Eastern part of Algeria belonging to the highlands (36°11'29" N, 5°24'34" E). It spreads over an area of 6549.64 km<sup>2</sup> and an altitude of 1100 meters above the sea level (Fig. 1). This region is characterized by a continental Mediterranean climate with cool and rainy winters with 8.5°C average temperature and 933 mm rainfall, and long, hot, and dry summers with 29°C average temperature and 1366 mm rainfall (Added et al., 2017; Zerroug, 2012). The main part of the region tends to be semi-arid.

The study was carried out during 12 months, from March 2021 to February 2022, in 11 locations for which the ecological characteristics of mosquito's larvae aquatic habitats allowed us to divide into rural and urban sites. Six rural sites were characterized by dense vegetation, animal stables, and low human population: Ain Abessa, Baidha Bordj, Oued Bousselem, Ouricia, Tella, and El Hchichia. Five urban sites

counted with high human population density, building, and factories: Ain Trick, Guellel, Hammeme Sokhna, Kaser El Abtal, and Setif Center (Fig. 1). Satellite images of rural and urban sites are available in the Supplementary Data S1 and S2, respectively.

### Air temperature

Monthly minimum and maximum temperature averages were calculated from data obtained from the meteorological service of the Setif region (Ain Sfaha) using Excel 2016.

### Water physicochemical parameters and specimens' collection

Preliminary prospections were realized to detect one positive breeding site per site. The breeding sites were classified and registered using the following criteria: nature (temporary or permanent), type (irrigation basin, drainage ditch, mare, valley), as well as their location and altitude were recorded using the Google Maps application for phone. The water parameters of each breeding site, water pH, and water temperature were measured during each sampling visit using digital meters (Hanna instrument, model: HI122).

In the study period, all sites have been visited two times per month, every 15 days, between 13:00 and 16:00 (hotter period of the day) to secure robustness of the results. The sampling took place using a 500 mL dipper to catch larvae during daytime and according to the standard "dipping" method cited by Silver (2008) and Becker et al. (2020). Collection details were recorded (sampling location and date) in the field for each collected specimen. The immature stages were counted and separated to the different larval stages and reared in a controlled environment in the laboratory at a temperature of 26°C ± 3°C and 12/12 h (light:dark) photoperiod. Larvae were daily fed with fresh food composed of a mixture of biscuit (Bifa special digestif blé complet) and dry yeast (75%:25% by weight, respectively) until the pupa stage was reached. Subsequently, the resulting pupae were transferred to jars containing water, with the help of a dipper, and placed in a cubic cage (30 × 30 × 30 cm) covered with a net until adult emergence. The adults were fed with 10% sugar solution (Aissaoui et al., 2022).

### Morphological identification of mosquito specimens

Only mosquito larvae that had progressed to the fourth stage were mounted and morphologically identified based on their visible features with the aid of a dissecting microscope (OPTIKA B-350) and identification keys by Brunhes et al. (1999) and Brunhes et al. (2001). These were preserved in 70% ethanol until they were fixed between the slide and the cover glasses in a drop of Faure's liquid. On the contrary, for cryptic species (*Aedes dorsalis* and *Aedes vexans*), pupae were reared in emerging boxes (25 × 25 × 30 cm) until the emergence of male adults to confirm identification by the genitalia analyses. In these cases, 12 males were dissected using a stereomicroscope at 20–40 × magnification. These specimens were then mounted between a slide and coverslip and further examined under a microscope at 100–400 × magnification. Species were identified with Himmi et al. (1995) for Moroccan species and Brunhes et al. (2001) and Brunhes et al. (1999).

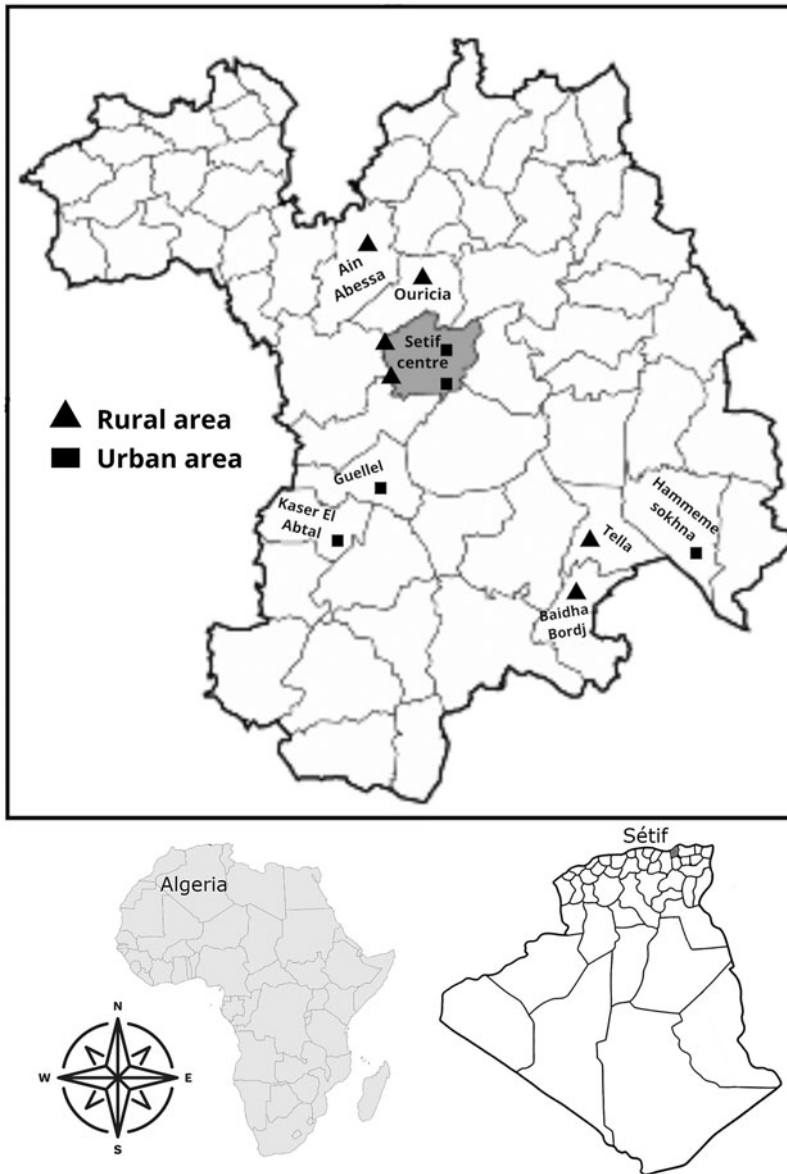


FIG. 1. Geographical location of the 11 sites in the study area. DSA of Setif, 2011.

### Data analyses

A regression model with negative binomial response was used to investigate the effect of sites, months, water pH, and water temperature on larval mosquito abundances. These analyses were performed using the R program (version 4.1.2; R Core Team 2021).

The results of the mosquito's population inventory were analyzed through different ecological indices. The total richness of a site is the number of species ( $S$ ) encountered in the study area. The frequency  $F$  or relative abundance studies the distribution of a species in each region and evaluate its commonness:  $F = (ni/N) \times 100$ , where  $ni$  is the number of individuals of the species and  $N$  is the total number of individuals. The Shannon–Weaver diversity index ( $H'$ ) is the amount of information sample about the structure of the site from which the sample was taken and how the sample and how individuals are distributed among various species (Daget,

1976). It is calculated as follows:  $H' = \sum_{i=1}^{i=n} (pi \cdot \text{Log}_2 pi)$

with  $pi = \frac{ni}{N}$ , where  $H'$  is the specific diversity,  $N$  is the total number of individuals in the site, and  $ni$  is the number of individuals of the species  $i$ . The equitability ( $E$ ) estimates the distribution of mosquito population in the studied sites; it is calculated as follows:  $E = H'/H_{\max}$  with  $H_{\max} = \text{Log}_2(S)$ , where  $S$  is the number of species forming the site. The equitability allows comparing the structures of the sites.

### Results

#### Effect of environmental parameters on larval abundances

From March to July, minimum and maximum air temperature increased from 19°C to 22°C, respectively. From July to August, air temperature did not change, while from August to February, minimum and maximum air temperature decreased to 16°C and 22°C, respectively (Supplementary Data S3).

All breeding sites were open and stagnant. In the rural sites, 66% were temporary, and 50% had waste. In urban

TABLE 1. EFFECT OF THE TYPE OF SITE (RURAL OR URBAN), MONTHS (MARCH 2021 TO FEBRUARY 2022), pH, TEMPERATURE, AND THEIR INTERACTIONS ON LARVAL MOSQUITO ABUNDANCE VALUES

Factor	LR Chisq	DF	P
Sites	0.164	1	0.68530 <sup>NS</sup>
Months	60.339	11	<0.001 <sup>***</sup>
pH	1.082	1	0.29818 <sup>NS</sup>
Temperature	0.875	1	0.34964 <sup>NS</sup>
Sites:pH	36.858	1	<0.001 <sup>***</sup>
Sites:temperature	0.193	1	0.66080 <sup>NS</sup>
pH:temperature	5.764	1	0.01636 <sup>*</sup>
Sites:pH:temperature	5.445	1	0.01962 <sup>*</sup>

Regression model with negative binomial response.  
 \*0.05 > P > 0.01, \*\*\*0.001 > P.  
 NS, not significant.

sites, 60% of the breeding sites were permanent, while 66% had waste. Water temperature varied significantly along the 12 months of the study ( $F=8.3253$ ,  $DF=1$ ,  $p=0.032$ ). The period from March to August corresponds to a 6°C increasing in the water temperature (from 15°C to 21°C). Then, from September to November, it slightly varied from 16°C to 17°C. Finally, from December to February, water temperature slightly varied from 12°C to 13°C. Water pH was significantly different in both areas:  $7.7 \pm 0.13$  in rural sites and  $8.14 \pm 0.16$  in urban sites ( $F=4.7019$ ,  $DF=1$ ,  $p=0.032$ ).

Months significantly affected the larval mosquito abundances (Table 1), showing a bell with a clear abundance

increase from March to August and a clear decrease to February (Fig. 2).

The interactions between sites (rural and urban), water pH, and water temperature as well affected the mosquito abundance. In rural sites, the abundance increased with the water temperature in different slope depending on the water pH. As the pH increased from 6 to 10, the slope increased. The decrease in the abundance of larvae is inversely related to the increase in the temperature of the water and pH 6, while the abundance increased with water temperature for pH 8 and 10, with a higher slope for basic pH (Fig. 3).

Specimens' collections

We collected and identified a total of 4066 mosquito specimens in 11 sites of Setif. The data allowed us to record 12 mosquito species belonging to a single subfamily: Culicinae, subdivided into 3 genera: *Culex*, *Culiseta*, and *Aedes* (Table 2). Eleven species were collected in rural sites and eight in urban sites.

Relative abundance of mosquito species

The number of each species varied as a function of month and sites (Table 2). In rural sites, *Culex pipiens* was clearly the most abundant species, with a proportion of more than 69% of the total species. *Aedes caspius* and *Ae. vexans* followed far behind with abundances of 7–8%, whereas the other species were present at proportions lower than 5%. In urban sites, *Cx. pipiens* was also the most abundant species, with a proportion of more than 48%. *Culiseta longiareolata*

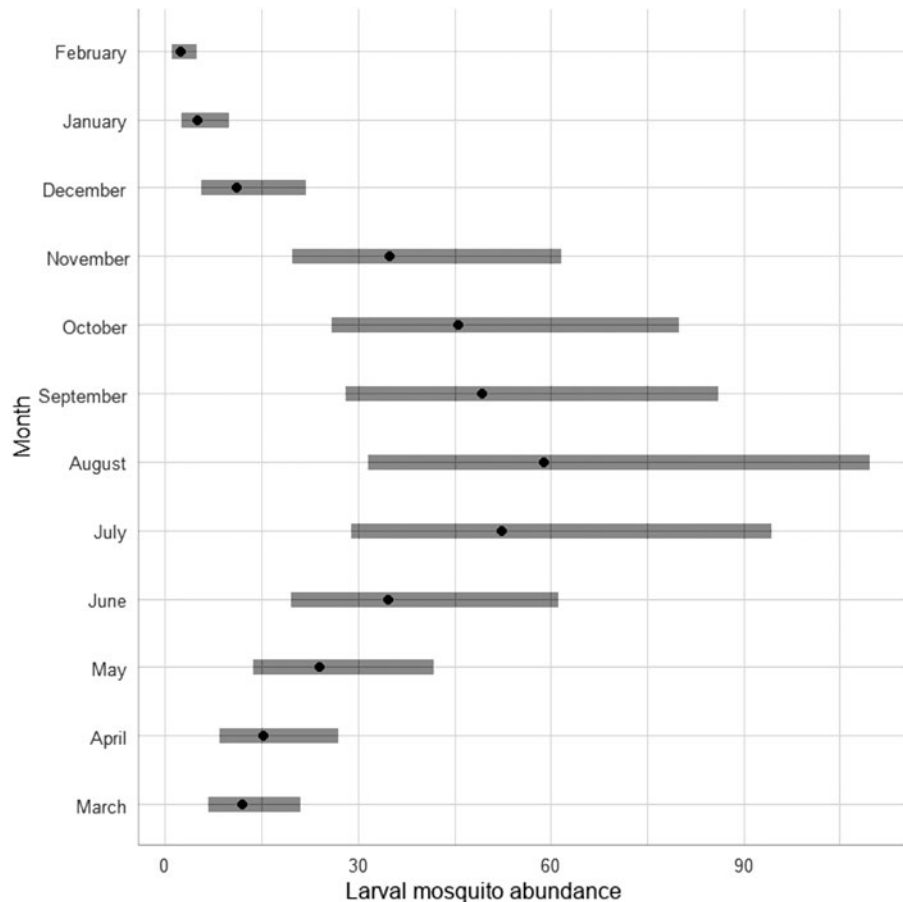
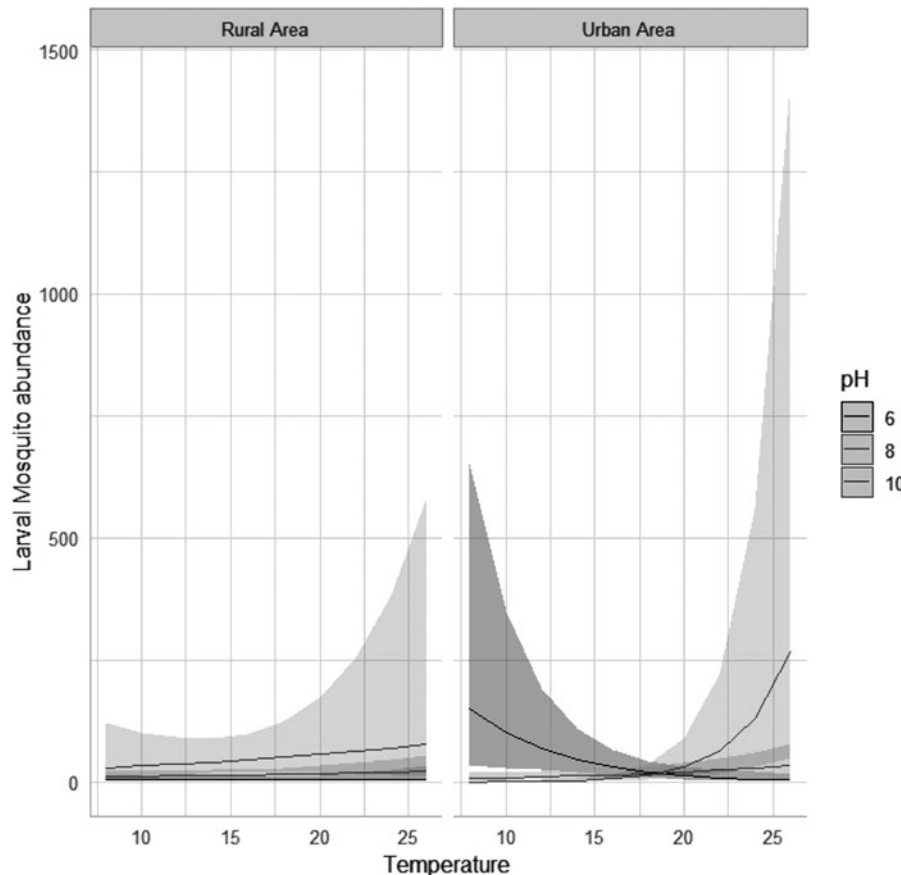


FIG. 2. Phenology of the larval mosquito abundance from March 2021 to February 2022.



**FIG. 3.** Effect of interactions between sites (rural and urban) and water parameters (pH and temperature) on the larval mosquito abundance from March 2021 to February 2022.

occupied the second position with a rate of 36%, followed by *Culex theileri* with 10%. The other species had abundance percentages lower than 2%.

#### Shannon–Weaver diversity index

For rural sites, sites showed clear differences between them. The site of El Hchichia was the most diversified with the highest  $H'$  value (1.12 bits), followed by Tella and Ouricia (0.9 and 0.72 bits, respectively), and Oued Bousselem (0.38 bits). Finally, Ain Abessa and Baidha Bordj (0.3 and 0.27 bits, respectively) were the less diversified rural sites (Fig. 4). For urban sites, diversity varied very few between four sites from 1.04 to 0.98 bits, with Setif Center and Guellet as the most diversified sites, followed by Ain trick and Kaser El Abtal, and the fifth site, Hammeme Sokhna, had no diversity at all (0 bits).

#### Equitability

The values of equitability in rural and urban sites vary between 0.48 and 0.55, respectively, meaning that the populations in these sites were not homogeneous and did not have the same relative abundance (Table 2).

#### Discussion

Our results indicated that two factors—months, and the interaction between water pH, water temperature, and nature of sites—significantly affected the number of Culicidae mosquito larvae in the Setif region from March 2021 to February 2022.

The abundance of larval mosquitoes showed significant variation across different months, with a notable surge from March through August, followed by a decline leading to February. The months needs to be considered a compounded factor, incorporating various elements such as air and water temperature, rainfall patterns, water pH, luminosity intensity, and photoperiod. So, maximum species density was observed in conditions where the air temperature ranged from 26°C to 36°C, water temperature from 16°C to 24.5°C, and the water exhibited a slightly alkaline pH varying from 7 to 8.5. These results are similar to the findings obtained by Sevarkodiyone and Wilson (2014), which reported comparable temperature and pH conditions (air temperature from 20°C to 27.7°C and alkaline water pH from 8 to 9) affirming our observations.

Our study demonstrated that a more basic water pH conditions result in increased abundance of larvae in both rural and urban sites, whereas acidic pH generally caused a decrease (except for urban sites at low water temperature). These observations are consistent with other authors indicating that *Cx. pipiens* larvae develop in water with a higher organic content and basic pH (Berchi et al., 2013), whereas other mosquito species larvae prefer neutral or slightly alkaline water (Pelizza et al., 2007; Yewole et al., 2009). On the contrary, the response of the mosquito abundances varied based on the type of area. The discrepancy in water pH between rural (7.7) and urban (8.14) sites might have influenced this variation in conjunction with water temperature. For instance, mosquito abundance increased in urban sites with acidic water pH at low temperatures. Various factors, such as differing geology between rural and urban areas



TABLE 2. NUMBER OF THE COLLECTED CULICIDAE SPECIES IN URBAN (U) AND RURAL (R) SITES OF THE STUDY AREA PER MONTH FROM MARCH 2021 TO FEBRUARY 2022

Species Urban/rural area	March		April		May		June		July		August		September		October		November		December		January		February	
	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R
<i>Culex pipiens</i>	28	68	35	79	67	111	106	322	135	365	145	401	128	128	103	42	53	23	37	11	28	10	24	7
<i>Culiseta longiareolata</i>	0	10	12	10	37	9	69	12	117	118	13	13	130	6	60	5	51	0	28	0	23	0	14	0
<i>Culex theileri</i>	0	3	0	5	0	7	31	15	42	28	52	46	36	26	26	16	5	9	0	8	0	5	0	4
<i>Aedes caspius</i>	0	0	0	10	0	23	5	23	2	37	15	37	13	15	0	10	0	16	0	0	0	0	0	0
<i>Culex modestus</i>	0	0	0	0	4	30	4	31	0	29	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culex perexiguus</i>	0	0	0	0	0	0	0	24	0	28	0	14	0	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Culex univittatus</i>	0	8	0	11	0	14	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culex torrentium</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	3	8	5	2	0	0	0	0	0	0
<i>Culex deserticola</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8	0	3	0	2	0	2	0	0	0	0	0
<i>Aedes vexans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culex laticinctus</i>	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culiseta annulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	28	89	47	115	108	196	215	447	296	505	345	515	315	201	195	81	116	51	67	19	51	15	38	11

(Nienie et al., 2017), rainfall, or leachate draining, could have contributed to the differences in water pH levels between these areas (Van Ha et al., 2011).

The role of water temperature is pivotal in regulating various abiotic factors and the functioning of aquatic ecosystems. It profoundly impacts the growth, reproduction, and immune responses of aquatic organisms (Hutchinson, 1957; Kataria et al., 1995). Macan (1985) noted the close relationship between atmospheric and water temperatures. In our study, it appears that atmospheric temperature influenced water temperature from March to August, as both increased in tandem. However, during autumn and winter, despite a decrease in air temperature, the water temperature remained relatively stable within a range of 2°C. This observation suggests that the soil's capacity to retain heat potentially stored energy from the summer and facilitates its transfer to the water reservoir, thereby maintaining a relatively higher water temperature (Selker and Or, 2019).

The impact of the interaction between sites (rural–urban), pH, and water temperature on mosquito abundance is validated. These findings align with the data put forth by Gaertner et al. (2017), suggesting that urban settings such as parks, roadside green areas, built surfaces, or refuse heaps might evolve into focal points for invasive species in urban environments. On the contrary, for most species, the abundance and diversity of species are generally lower in urban sites compared with rural ones. This discrepancy is largely attributed to anthropogenic activities that generate significant ecological disruptions capable of affecting animal life (McKinney, 2008).

Robert et al. (2019) reported ~83 mosquito species in North Africa, encompassing 59 Culicinae and 24 Anophelinae. Among these, 26 species were identified as potential vectors for transmitting pathogens to both humans and animals. In Algeria, the same study cataloged 61 mosquito species, including 18 considered as potential pathogen vectors (such as *Aedes albopictus*, *Ae. caspius*, *Aedes detritus*, *Ae. vexans*, *Cx. pipiens*, *Culex antennatus*, *Culex perexiguus*, *Cx. theileri*, *Culex univittatus*, *Culex modestus*, *Culex pusillus*, *Culiseta annulata*, *Anopheles labranchiae*, *Anopheles algeriensis*, *Anopheles claviger*, *Anopheles multicolor*, *Anopheles coluzzi* [uncertain], and *Anopheles sergentii*). Our systematic investigation revealed the presence of 12 mosquito species from 3 genera: *Culex*, *Culiseta*, and *Aedes*. The *Culex* genus included eight species, with *Cx. pipiens* being the most abundant in both urban and rural regions, followed by *Cx. theileri* in lower abundance. Other species had smaller populations: *Culex laticinctus*, *Cx. perexiguus*, *Culex univittatus* in rural sites, and *Cx. modestus*, *Culex torrentium*, and *Culex deserticola* in urban sites.

In the *Aedes* genus, two species were recorded, primarily *Ae. caspius*, followed by *Ae. vexans* in both areas. The *Aedes* genus encompasses some of the most concerning vectors responsible for transmitting arboviruses such as yellow fever, dengue, chikungunya, Zika, Rift Valley Fever, and West Nile (Becker et al., 2010). In North Africa, 23 *Aedes* species have been reported, with 5 of them recognized as carriers of viral and parasitic diseases. These include *Ae. (Stegomyia) albopictus*, *Ae. (Stegomyia) aegypti*, *Ae. (Ochlerotatus) caspius*, *Ae. (Ochlerotatus) detritus*, and *Ae. (Aedimorphus) vexans*. Recent reports from Saudi Arabia, Iran, and the Middle East region of Emirate have well documented

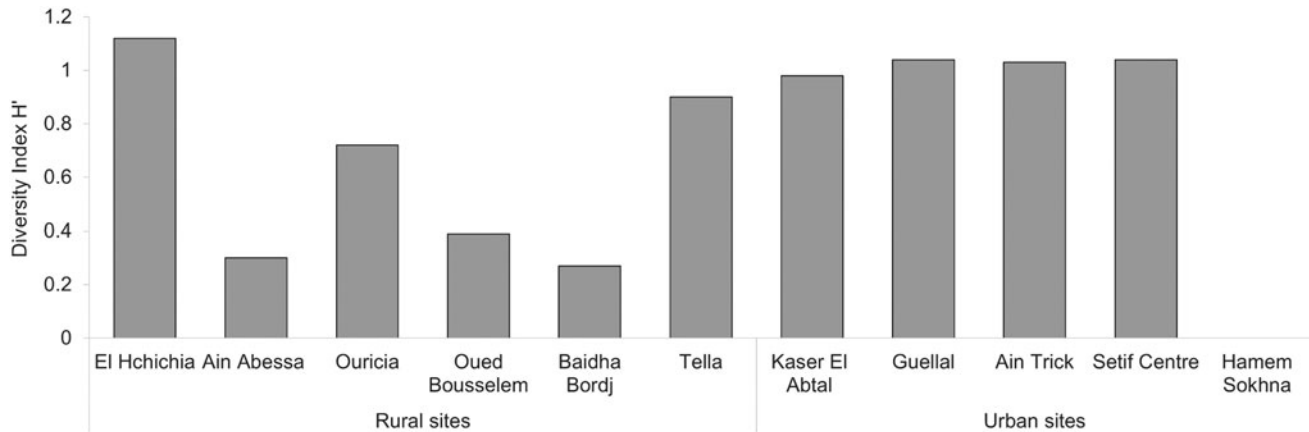


FIG. 4. Diversity index ( $H'$ ) of mosquito species in the study areas.

the presence of *Ae. caspius* (Camp et al., 2019). In addition, the *Culiseta* genus is represented by two species, namely *Cs. longiareolata* in both areas, and *Cs. annulata* found solely in the rural site.

Eight species identified in our study are recognized as potential vectors according to Robert et al. (2019), whereas *Cx. laticinctus*, *Cx. torrentium*, *Cx. deserticola*, and *Cs. longiareolata* were not listed in this classification. The species *Cx. pipiens*, *Cx. theileri*, *Cs. longiareolata*, and *Ae. caspius* reported in our study were also identified by Nabti and Bounechada (2019) in the same region. However, the authors additionally registered five species *Culex hortensis*, *Culex simpsoni*, and *Coquillettidia richiardii* that were not observed in our study. These species are considered to have no known human health importance. Two of the collected *Anopheles* species (in low density), *An. labranchiae* and *Anopheles cinereus hispaniola*, are known to be a malaria vector in Algeria (Boubidi et al., 2010; Snow, 2012; WHO, 2014), and in Eritrea, only *An. cinereus hispaniola* (Shililu et al., 2003). The absence of these species in our collection data could be explained by certain methodological differences.

While our study involved larval collection over 12 months, Nabti and Bounechada's (2019) study spanned a broader time frame from 2016 to 2019, encompassing both larvae and adult mosquitoes. Their methodology employed a standard dipper (1L) for larvae sampling and simple CDC miniature light traps (handmade: yellow light lamp and fan "12VDC") for adult sampling in 20 sites, while our study used smaller standard dippers (500 mL) and did not involve adult collection. As a partial conclusion, our traditional taxonomic study, although not detecting all the species identified in a more comprehensive and expensive study conducted by Nabti and Bounechada (2019) (combining traditional and molecular taxonomy), successfully identified the most abundant species with fewer sampling efforts and reduced financial costs.

In this way, similar findings were observed in the Bou-saada region of Algeria, where *Cx. pipiens* and *Cs. longiareolata* were documented in both rural and urban areas (Benhissen et al., 2018). The authors noted a notable correlation between the environmental site type and the abundance of mosquito larvae. Our species richness analysis indicated that rural areas exhibited higher diversity

compared with urban areas, aligning with the findings of Dahchar et al. (2017) and Camp et al. (2019), who also highlighted greater species diversity in natural rural environments.

Moreover, our study reveals that the most prevalent species, *Cx. pipiens*, thrives in diverse breeding sites, regardless of pollution levels. This aligns with the observations of Hutchinson (1957) and Patil and Shivakumar (2021), who noted that *Cx. pipiens* is more abundant in heavily contaminated water sources, including those tainted by domestic and industrial sewage. While our investigation did not specifically measure chemical pollution in the breeding sites, it is plausible that rural areas such as Guellal and Kaser El Abtal and the urban site such as Oued Bousselem may have been affected by waste materials, plastic bags, and polluted water.

We observed the highest abundance of *Cx. pipiens* in the rural area, potentially influenced by the degree of urbanization, as suggested by Gangoso et al. (2020). Their study indicates that highly urbanized regions negatively impact the distribution and abundance of *Cx. pipiens*, whereas less urbanized areas are more conducive to this species. However, distribution patterns within urban ecosystems, particularly in developing regions, can vary significantly (Abella-Medrano et al., 2018; Abella-Medrano et al., 2015).

The mosquito fauna observed in the urban and rural areas of the Setif district exhibited notable variations in species diversity, as indicated by the Shannon–Weaver index ( $H'$ ) and equitability ( $E$ ), which displayed relatively high values in both environments. This suggests an environment conducive to species coexistence (Aissaoui and Boudjelida, 2017). Dahchar et al. (2017) and Arroussi et al. (2021) also affirmed the differences in species diversity between urban and rural sites. Specifically, the absence of diversity (as indicated by a null  $H'$  value) in the Hammem Sokhna breeding site was characterized by the presence of a single species, *Ae. caspius*, typically found in stagnant water with clear characteristics, reduced dimensions, and surrounding vegetation (Brunhes et al., 1999).

A distinctive fluctuation in  $H'$  was observed, particularly in rural areas, indicating a coexistence of species in these sites. Previous research in the Setif region established a significant correlation between the presence of *Cx. theileri* and the malaria vector *An. labranchiae*. This suggests that *Cx. theileri* can potentially act as an indicator species for

predicting the presence of *An. labranchiae* in the environment (Nabti and Bounechada, 2019). This underscores the importance of monitoring *Cx. theileri*, serving as a potential indicator of *An. labranchiae* in both rural and urban areas, although further research is required to confirm this relationship. Aaroussi et al. (2021) identified several mosquito species, including *Cx. theileri*, *Cx. modestus*, *An. labranchiae*, and *An. claviger*, predominantly in peri-urban environments near streams with diverse water qualities and sunlight exposure.

In these peri-urban habitats, the predominance of *Cx. perexiguus* was evident (Camp et al., 2019). The level of urbanization within our sites significantly impacted the diversity and distribution of culicid mosquitoes, with *Cx. pipiens* being the most abundant species and serving as a prime example. Our findings align with other observations that species diversity diminishes with increased urbanization and anthropization (Ferraguti et al., 2016; Martínez-de la Puente et al., 2016).

Equitability index shows that the abundances of mosquito species were heterogeneous, indicating that some species were more abundant than others. The rural areas were slightly more heterogeneous than urban areas. A study conducted in the same region (Collo in the North-East Algeria) showed similar results, with a balance between populations in urban sites, whereas rural sites were characterized by an unbalanced population (Dahchar et al., 2017).

## Conclusions

This study is an actualization of the Culicidae list in the Setif district. Now, the region counts with 12 mosquito species, 8 of them susceptible to transmit MBD to the human population. Even though *Ae. albopictus* was not detected in our study, it has been introduced in Algeria and detected in Alger (Benallal et al., 2019) and Annaba (Arroussi et al., 2021) the last few years, representing a risk in the emergence of autochthonous cases of chikungunya and Zika fever in important urban zones of the country (Failloux et al., 2017). The possibility of presence of the genus *Anopheles* is also a preoccupation for its role as malaria vector (Nabti and Bounechada, 2019). The suppression of these vectors must be carried out with success to protect the human population.

Our study showed that even though the months are not a single factor, they help to predict the larvae mosquito abundances in the district. Then, it is recommendable to realize prevention measures campaigns, such as environmental education of the population and elimination of disposable breeding sites, from December to April, when the mosquito abundances are low. It will help to cut the life cycle of the mosquitoes and to decrease the subsequent abundances. Massive elimination measures, through insecticides nebulization of the adults, are more effective when abundances are high. Assuming that the larvae abundance is a proxy of the adult abundance, the better period to apply these control measures should be from July to October.

## Acknowledgment

Thanks to Mr. Javier Francisco Valle Mora (El Colegio de la Frontera Sur—Unidad Tapachula, Chiapas, Mexico) who contributed to the statistical analysis.

## Author Disclosure Statement

No conflicting financial interests exist.

## Funding Information

This work was supported by the National Fund for Scientific Research and the Ministry of High Education and Scientific Research of Algeria (PRFU: D01N01UN190 120220001 Project to Pr. Lynda Aissaoui).

## Supplementary Material

Supplementary Data S1  
Supplementary Data S2  
Supplementary Data S3

## References

- Abdullah MA, Merdan AI. Distribution and ecology of the mosquito fauna in the southwestern Saudi Arabia. *J Egypt Soc Parasitol* 1995;25(8):815–837.
- Abella-Medrano CA, Ibáñez-Bernal S, Carbó-Ramírez P. Blood-meal preferences and avian malaria detection in mosquitoes (Diptera: Culicidae) captured at different land use types within a neotropical montane cloud forest matrix. *Parasitol Int* 2018;67:313–320; doi: 10.1016/j.parint.2018.01.006.
- Abella-Medrano CA, Ibáñez-Bernal S, MacGregor-Fors I et al. Spatiotemporal variation of mosquito diversity (Diptera: Culicidae) at places with different land-use types within a neotropical montane cloud forest matrix. *Parasit Vectors* 2015;8:487; doi: 10.1186/s13071-015-1086-9.
- Addad D, Kribaa M, Ababsa N, et al. Impact of earthworm activity on the chemical fertility of irrigated soil with urban effluents. *J Fundam Appl Sci* 2017;9(3):1320–1341; doi: 10.4314/jfas.v9i3.5
- Aissaoui L, Bouaziz A, Boudjelida H. Toxic effect of a certain medicinal plant extracts against larvae of mosquito species *Culiseta longiareolata* (Maquart, 1838). *Uttar Pradesh J Zool* 2022;43(6):19–25; doi: 10.56557/upjz/2022/v43i62974
- Aissaoui L, Boudjelida H. Diversity and distribution of culicid fauna in Tebessa district (North-East of Algeria). *Inter J Mosq Res* 2017;4(1):7–12.
- Alahmed AM. Mosquitoes fauna (Diptera: Culicidae) of the eastern region of Saudi Arabia and their seasonal abundance. *J King Saud Univ Sci* 2012;24:55–62; doi: 10.1016/j.jksus.2010.12.001
- Alberti M. *Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems*. Springer: New York, USA; 2008.
- Amusan AAS, Mafiana CF, Idowu AB, et al. Sampling mosquitoes with CDC light trap in rice field and plantation communities in Ogun State, Nigeria. *Tanzan Health Res Bull* 2005;7:111–116; doi: 10.4314/thrb.v7i3.14247
- Arroussi DER, Bouaziz A, Boudjelida H. Mosquito survey reveals the first record of *Aedes* (Diptera: Culicidae) species in urban area, Annaba district, Northeastern Algeria. *Pol J Entomol* 2021;90:14–26; doi: 10.5604/01.3001.0014.8065
- Ayhan N, Hachid A, Thirion L, et al. Detection and isolation of Sindbis virus from field collected mosquitoes in Timimoun, Algeria. *Viruses* 2022;14(5):894; doi: 10.3390/v14050894
- Becker N, Petric D, Zgomba M, et al. *Mosquitoes Identification, Ecology and Control*. Springer Nature: Switzerland AG; 2020.

- Benallal K, Garni R, Bouiba L, et al. First detection of *Aedes* (Stegomyia) *albopictus* (Diptera: Culicidae) in Algiers, the capital city of Algeria. *J Arthro Borne Dis* 2019;13(4):420–425.
- Benhissen S, Habbachi W, Rebbas K et al. Entomological and typological studies of mosquito larvae (Diptera: Culicidae) in the Bousaada region (Algeria) [In French]. *Bull Soc Roy Sci Liege* 2018;87:112–120.
- Berchi S, Aouati A, Louadi K. Typology of habitats conducive to the larval development of *Culex pipiens* L [In French]. 1758 (Diptera-Culicidae), source de nuisance à Constantine (Algérie). *Ecol Mediterr* 2013;38(2):5–16.
- Boubidi SC, Gassen I, Khechache Y, et al. *Plasmodium falciparum* malaria, Southern Algeria, 2007. *Emerg Infect Dis* 2010;16(2):301–303; doi: 10.3201/eid1602.090914.
- Brunhes J, Rhaim A, Geoffroy B, et al. Culicidae of Mediterranean Africa, an Identification Software and Training Programme 2001, I.R.D. Edition: France; 1999.
- Brunhes J, Schaffner F, Angel G, et al. The mosquitoes of Europe. An Identification and Training Programme 2001, IRD Edition et EID Méditerranée: France; 2001.
- Camp JV, Karuvantevida N, Chouhna H, et al. Mosquito biodiversity and mosquito-borne viruses in the United Arab Emirates. *Parasit Vectors* 2019;12:153; doi: 10.1186/s13071-019-3417-8
- Carpenter J, Walter J. Mosquitoes North America. John B. Goetz: Berkeley and Los Angeles; 1955.
- Daget P. The mathematical models in ecology [In French]. La terre et la vie: Masson, Paris; 1976.
- Dahchar Z, Bendali-Saoudi F, Soltani N. Inventory of Culicidae of the wetland (of the West region of Annaba). *Entomol Zool Stud* 2017;5(2):430–436.
- El Ouali Lalami A, El Hilali O, Benlamlah M, et al. Entomological, physicochemical and bacteriological study of larval deposits of localities with potential risk for malaria in the city of Fés [In French]. *Bull Ins Sci* 2010;32(2):119–127.
- Failloux AB, Bouattour A, Faraj C, et al. Surveillance of arthropod-borne viruses and their vectors in the Mediterranean and Black Sea Regions within the Medi Lab Secure Network. *Curr Trop Med Rep* 2017;4:27–39; doi: 10.1007/s40475-017-0101-y.
- Ferraguti M, La Martínez-de la Puente J, Roiz D, et al. Effects of landscape anthropization on mosquito community composition and abundance. *Sci Rep* 2016;6:29002; doi: 10.1038/srep29002.
- Flores Ruiz S, Cabrera Romo S, Castillo Vera A, et al. Effect of the rural and urban microclimate on mosquito richness and abundance in Yucatan State, Mexico. *Vector Borne Zoonotic Dis* 2022;22(5):281–288; doi: 10.1089/vbz. 2021.0105.
- Franklinos LHV, Jones KE, Redding DW, et al. The effect of global change on mosquito-borne disease. *Lancet Infect Dis* 2019;19:302–312; doi: 10.1016/S1473-3099(19)30161-6.
- Gaertner M, Wilson JR, Cadotte MW, et al. Non-native species in urban environments: Patterns, processes, impacts and challenges. *Biol Invasions* 2017;19:3461–3469; doi:10.1007/s10530-017-1598-7
- Gangoso L, Martínez-de la Puente J, Lucientes J, et al. Determinants of the current and future distribution of the West Nile Virus mosquitoes vector *Culex pipiens* in Spain. *Environ Res* 2020;188:109–837; doi: 10.1016/j.envres.2020.109837
- Hapugoda MD, Ranathunge RMTB, Kannangara DN, et al. Occurrence of major and potential malaria vector immature stages in different breeding habitats and associated biotic and abiotic characters in the district of Trincomalee Sri Lanka. *J Vector Borne Dis* 2020;57:85–95; doi: 10.4103/0972-9062.308806
- Himmi O, Dakki M, Trari B, et al. The Culicidae of Morocco: Identification keys with biological and ecological data [In French]. *Trav Inst Sci* 1995;44:50–58.
- Hutchinson GE. A Treatise on Limnology, Geography, Physics, Chemistry, John Wiley and Sons. *Hydrobiologia* 1957;33(1): 145–160.
- Kataria HC, Iqbal SA, Sandilya AK. Limno-chemical studies of Tawa Reservoir. *Int J Environ Pollut* 1995;16(11):841–846.
- Macan TT. Ponds and Lakes. Georges-Allen & Unwin Ltd.: London; 1985.
- Martínez-de la Puente J, Ferraguti M, Ruiz S, et al. *Culex pipiens* forms and urbanization: effects on blood feeding sources and transmission of avian *Plasmodium*. *Malar J* 2016; 15:589; doi: 10.1186/s12936-016-1643-5
- McDonnell MJ, Pickett STA. Ecosystem structure and function along urban-rural gradients: unexploited opportunity for ecology. *Ecology* 1990;71:1232–1233; doi: 10.2307/1938259.
- McKinney ML. Effects of urbanization on species richness: A review of plants and animals. *Urb Ecos* 2008;11:161–176; doi: 10.1007/s11252-007-0045-4
- McKinney ML. Urbanisation, biodiversity, and conservation: The impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *BioScience* 2002;52:883–890; doi: 10.1641/0006-3568
- Medeiros-Sousa AR, De Oliveira-Christe R, Camargo AA, et al. The influence of the pH and salinity of water in breeding sites on the occurrence and community composition of immature mosquitoes in the Green Belt of the City of São Paulo, Brazil. *Insects* 2021;12(9):797; doi: 10.3390/insects12090797
- Nabti I, Bounecheda M. Mosquito biodiversity in Setif region (Algerian High Plains), density and species distribution across climate zones. *Faunistic Entomol* 2019;37(1):14.
- Nienie AB, Sivalingam P, Laffite A, et al. Seasonal variability of water quality by physicochemical indexes and traceable metals in suburban area in Kikwit, Democratic Republic of the Congo. *Int Soil Water Conserv Res* 2017;5:158–165; doi: 10.1016/j.iswcr.2017.04.004
- Nkumama IN, O'Meara WP, Osier FH. Changes in Malaria epidemiology in Africa and new challenges for elimination. *Trends Parasitol* 2017;33(2):128–140; doi: 10.1016/j.pt.2016.11.006
- Oyewole IO, Momoh OO, Anyasor GN, et al. Physicochemical characteristics of *Anopheles* breeding sites: Impact on fecundity and progeny development. *Afr J Environ Sci Technol* 2009;3(12):447–452.
- Paksa A, Sedaghat MM, Vatandoost H, et al. Biodiversity of mosquitoes (Diptera: Culicidae) with emphasis on potential Arbovirus vectors in East Azerbaijan Province. Northwestern Iran. *J Arthropod Borne Dis* 2019;13:62–75.
- Patil SC, Shivakumar K. Assessment of physicochemical parameters and water quality (Rotifera diversity) of Bhima River at Katti Sanghavi Bridge (Karnataka, India). *Uttar Pradesh J Zool* 2021;42(23):20–28.
- Patricia NO, Popoola KOK, Olayemi MA, et al. Species composition and temporal distribution of mosquito populations in Ibadan, Southwest Nigeria. *J Entomol Zool Stud* 2014;2(4): 164–169.

- Pelizza SA, López Lastra CC, Becnel JJ, et al. Effects of temperature, pH and salinity on the infection of *Leptolegnia chapmanii* Seymour (Peronosporomycetes) in mosquito larvae. *J Invertebr Pathol* 2007;96(2):133–137; doi: 10.1016/j.jip.2007.04.005
- Pfeffer M, Dobler, G. Emergence of zoonotic Arboviruses by animal trade and migration. *Parasit Vectors* 2010;3:35; doi: 10.1186/1756-3305-3-35
- Reno E, Quan NG, Franco-Paredes C, et al. Prevention of yellow fever in travellers: An update. *Lancet Infect Dis* 2020; 20:129–137; doi: 10.1016/S1473-3099(20)30170-5
- Robert V, Günay F, Le Goff G, et al. Distribution chart for Euro-Mediterranean mosquitoes (Western Palaearctic Region). *J Eur Mosq Control Assoc* 2019;37:1–28.
- Schaffner F, Weigand A, Ries C. Atlas and Catalogue of the Mosquitoes (Diptera, Culicidae) of Luxembourg. Ferrantia, Musée national d'histoire naturelle: Luxembourg; 2023.
- Selker J, Or D. Heat Flow and Thermal Effects in Soil Hydrology and Biophysics. Oregon State University: Corvallis, OR; 2019.
- Sevarkodiyone SP, Wilson J. Spatial and temporal distribution of mosquitoes (Culicidae) in Virudhunagar district, Tamil Nadu, South India. *Inter J Mosq Res* 2014;1(3):4–9.
- Shililu J, Ghebremeskel T, Mengistu S, et al. Distribution of Anopheline mosquitoes in Eritrea. *Am J Trop Med Hyg* 2003; 69(3):295–302.
- Shochat E, Lemran SB, Anderies JM, et al. Invasion, competition, and biodiversity loss in urban ecosystems. *BioScience* 2010;60:199–208; doi: 10.1525/bio.2010.60.3.6
- Silver JB. Mosquito Ecology: Field Sampling Methods. Springer: New-York; 2008.
- Snow RW. The changing limits and incidence of malaria in Africa: 1939–2009. *Adv Parasitol* 2012;78:169–262; doi: 10.1016/B978-0-12-394303-3.00010-4
- Van Ha NT, Takizawa S, Oguma K, et al. Sources and leaching of manganese and iron in the Saigon River Basin, Vietnam. *Water Sci Technol* 2011;63(10):2231–2237; doi: 10.2166/wst.2011.460
- Wang T, Fan zw Ji Y, Chen JJ, et al. Mapping the distributions of mosquitoes and mosquito-borne Arboviruses in China. *Viruses* 2020;14(4):691; doi: 10.3390/v14040691
- WHO. World Health Organization-Algeria. World Malaria Report 2014. World Health Organization: Algeria; 2014.
- Zerroug K. Elaboration of a Geographical Information System (Flora) in the Wilaya de Sétif. Mémoire Magister. Ferhat Abbas Sétif University: Algeria; 2012.

Address correspondence to:

Lynda Aissaoui  
 Research Laboratory of Improvement  
 and Development of Animal and Plant Production  
 Department of Biology and Animal Physiology  
 University Ferhat Abbas of Setif  
 Setif 19000  
 Algeria

E-mail: linda.ask12@gmail.com

## ملخص

تكشف الدراسة المنهجية للبعوض في منطقة سطيف عن وجود 12 نوعًا موزعة داخل فصيلة فرعية واحدة Culicinae، والتي تنتمي إلى 3 أجناس: *Culex*، *Culiseta* و *Aedes*. يضم جنس *Culex* الأنواع التالية: *Culex perexiguus*، *Culex pipiens*، *Culex theileri*، *Culex deserticola*، *Culex*، بينما يتكون جنس *Aedes* من *Aedes caspius* و *Aedes vexans*. من بين هؤلاء الأنواع يعد *Culex pipiens* و *Culiseta longiareolata* أكثر الأنواع وفرة في المناطق الحضرية (48.82% و 36.19% على التوالي) في حين تهيمن *Culex pipiens* على المناطق الريفية (69.77%). تُعد المواقع الحضرية El Hchichia و Kaser El Abtal و Guellal و Ain Trick أعلى تنوع، حيث يتراوح مؤشر (H') بين 0.03 و 0.04 bits. في المقابل، يبرز موقع El Hchichia الريفي باعتباره الأكثر تنوعًا بقيمة H' 1.12 bits مقارنة بالمواقع الريفية الأخرى. تشير النتيجة إلى أن وفرة البعوض تتأثر بشكل مباشر بالأشهر ( $p < 0.001$ ). بالإضافة إلى ذلك، فإن التفاعل بين نوع موقع التكاثر (الحضري أو الريفي)، درجة الحموضة المائية، ودرجة الحرارة يؤثر بشكل كبير على وفرة البعوض ( $p = 0.01$ ). علاوة على ذلك، كشف التحليل الكيميائي الضوئي للزيت العطري *Mentha spicata* عن وجود 43 مكونًا، مع المركبات السائدة نذكر: الكريسانثينون (33.96%)، الكافور (19.78%)، 1.8 سينول (8.24%). يُظهر الزيت العطري *Mentha spicata* فعالية ضد اليرقات L3 *Culex pipiens* مع قيم LC50 تبلغ  $63 \mu\text{l}$ ،  $41 \mu\text{l}$ ، و  $30 \mu\text{l}$  بعد 24، 48، و 72 ساعة على التوالي. كما أنه يعمل ضد يرقات L4 من نفس النوع بقيم LC50 تبلغ  $73 \mu\text{l}$ ،  $60 \mu\text{l}$ ، و  $30 \mu\text{l}$  بعد 24، 48، و 72 ساعة على التوالي. تسلط هذه النتائج الضوء على إمكانات *M. spicata* كعامل طبيعي وفعال للتحكم في يرقات بعوض *Culex pipiens*. تأثير تركيزات LC50 القاتلة لزيوت *M. spicata* العطري على *Cx. pipiens* تتسبب التراكيز في زيادة كبيرة في مستويات البروتين والكربوهيدرات ( $p = 0.006$ )، وانخفاض كبير في مستويات الدهون ( $p = 0.01$ ).

الكلمات المفتاحية: جرد، وفرة، سطيف، *Culex pipien*، *Mentha spicata*، خصائص البيئية، سمية.

## Résumé

L'étude systématique des moustiques dans le district de Sétif révèle la présence de 12 espèces réparties dans une seule sous-famille, les Culicinae, appartenant à 3 genres : *Culex*, *Culiseta* et *Aedes*. Le genre *Culex* est représenté par 8 espèces. Le genre *Culiseta* comprend 2 espèces, tandis que le genre *Aedes* comprend 2 espèces. De point de vue abondance, *Culex pipiens* et *Culiseta longeariolata* sont les espèces les plus abondantes dans les zones urbaines (48,82 % et 36,19 % respectivement), mais seulement *Culex pipiens* domine dans les zones rurales (69,77 %). Les sites urbains : Kaser El Abtal, Guellal et Ain Trick présentent la plus grande diversité, avec un indice (H') variant entre 0,03 et 0,04 bits. En revanche, le site rural, El Hchichia, se distingue comme le plus diversifié avec une valeur H' de 1,12 bits par rapport aux autres sites ruraux. Les résultats indiquent que l'abondance des moustiques est directement influencée par les mois ( $p < 0,001$ ). De plus, l'interaction entre le type de milieu de reproduction (urbain ou rural), le pH de l'eau et la température affecte significativement l'abondance des moustiques ( $p = 0,01$ ). En outre, une analyse photochimique de l'huile essentielle de *Mentha spicata* a révélé la présence de 43 composants, les composés prédominants étant le chrysanthène (33,96 %), le camphre (19,78 %) et le 1,8 cinéole (8,24 %). L'huile essentielle de *Mentha spicata* présente une efficacité larvicide contre les larves L3 de *Culex pipiens* avec des valeurs de CL50 de  $63 \mu\text{l}$ ,  $41 \mu\text{l}$ , et  $30 \mu\text{l}$  après 24, 48 et 72 heures respectivement. Elle agit également contre les larves L4 de la même espèce avec des valeurs de CL50 de  $73 \mu\text{l}$ ,  $60 \mu\text{l}$ , et  $30 \mu\text{l}$  après 24, 48 et 72 heures respectivement. Ces résultats soulignent le potentiel de *M. spicata* comme agent naturel et efficace pour le contrôle des larves de moustiques *Culex pipiens*. L'effet des concentrations CL50 létales de l'huile essentielle de *M. spicata* sur *Cx. pipiens* provoque une augmentation significative des niveaux de protéines et de glucides ( $p = 0,006$ ), et une diminution significative des niveaux de lipides ( $p = 0,01$ ).

**Mots clés :** Inventaire ; Abondance ; Sétif ; Paramètres environnementaux ; Toxicité ; *Culex pipiens* ; *Mentha spicata*.

## Abstract

The systematic study of mosquitoes in the district of Setif reveals the presence of 12 species distributed within a single subfamily, the Culicinae, which belong to 3 genera. The genus *Culiseta* includes 2 species, while the genus *Aedes* comprises *Aedes caspius* and *Aedes vexans*. Among these, *Culex pipiens* and *Culiseta longeariolata* are the most abundant species in urban areas (48.82% and 36.19%, respectively), whereas *Culex pipiens* dominates in rural zones (69.77%). The urban sites Kaser El Abtal, Guellal, and Ain Trick exhibit the highest diversity, with an index (H') ranging between 0.03 and 0.04 bits. In contrast, a rural site El Hchichia, stands out as the most diverse with an H' value of 1.12 bits compared to other rural sites. The finding indicate that the abundance of mosquitoes is directly influenced by the months ( $p < 0.001$ ). Additionally, the interaction between the type of breeding habitat (urban or rural), water pH, and temperature significantly affects mosquito abundance ( $p = 0.01$ ). Furthermore, a photochemical analysis of *Mentha spicata* essential oil revealed the presence of 43 components, with the following predominant compounds: chrysanthenone (33.96%), camphor (19.78%), and 1.8 cineole (8.24%). The essential oil of *Mentha spicata* shows larvicidal effectiveness against L3 larvae of *Culex pipiens* with LC50 values of  $63 \mu\text{l}$ ,  $41 \mu\text{l}$ , and  $30 \mu\text{l}$  after 24, 48, and 72 hours, respectively. It also acts against L4 larvae of the same species with LC50 values of  $73 \mu\text{l}$ ,  $60 \mu\text{l}$ , and  $30 \mu\text{l}$  after 24, 48, and 72 hours, respectively. These results highlight the potential of *M. spicata* as a natural and effective agent for controlling *Culex pipiens* mosquito larvae. The effect of lethal LC50 concentrations of *M. spicata* essential oil on *Cx. pipiens* cause a significant increase in protein and carbohydrate levels ( $p=0.006$ ), and a significant decrease in lipid levels ( $p=0.01$ ).

**Keywords:** Inventory; Setif; Abundance; Environmental parameters; Toxicity; *Culex pipiens*; *Mentha spicata*.