



## Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints> ID : 5079

**To cite this version :**

Resseguier, Pierre. *Contribution à l'étude du repas sanguin de culex pipiens pipiens* Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2011, 80 p.

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: [staff-oatao@inp-toulouse.fr](mailto:staff-oatao@inp-toulouse.fr).

# CONTRIBUTION A L'ETUDE DU REPAS SANGUIN DE *CULEX PIPIENS PIPIENS*

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**RESSEGUIER Pierre**  
Né le 26 mai 1986 à ALBI (81)

---

**Directeur de thèse : M. Michel FRANC**

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Jean-François MAGNAVAL**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESSEURS :

**M. Michel FRANC**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**M. Philippe JACQUIET**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE







# CONTRIBUTION A L'ETUDE DU REPAS SANGUIN DE *CULEX PIFIENS PIFIENS*

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**RESSEGUIER Pierre**  
Né le 26 mai 1986 à ALBI (81)

---

**Directeur de thèse : M. Michel FRANC**

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Jean-François MAGNAVAL**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**M. Michel FRANC**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**M. Philippe JACQUIET**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



**Ministère de l'Agriculture et de la Pêche  
ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE**

**Directeur** : M. A. MILON

**Directeurs honoraires** M. G. VAN HAVERBEKE.  
M. P. DESNOYERS

**Professeurs honoraires** :

M. L. FALIU	M. J. CHANTAL	M. BODIN ROZAT DE MENDRES NEGRE
M. C. LABIE	M. JF. GUELFY	M. DORCHIES
M. C. PAVAU	M. EECKHOUTTE	
M. F. LESCURE	M. D.GRIESS	
M. A. RICO	M. CABANIE	
M. A. CAZIEUX	M. DARRE	
Mme V. BURGAT	M. HENROTEAUX	

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

M. **AUTEFAGE** André, *Pathologie chirurgicale*  
M. **BRAUN** Jean-Pierre, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
M. **EUZEBY** Jean, *Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie*  
M. **FRANC** Michel, *Parasitologie et Maladies parasitaires*  
M. **MARTINEAU** Guy, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*  
M. **PETIT** Claude, *Pharmacie et Toxicologie*  
M. **TOUTAIN** Pierre-Louis, *Physiologie et Thérapeutique*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

M. **BERTHELOT** Xavier, *Pathologie de la Reproduction*  
Mme **CLAUW** Martine, *Pharmacie-Toxicologie*  
M. **CONCORDET** Didier, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*  
M. **CORPET** Denis, *Science de l'Aliment et Technologies dans les Industries agro-alimentaires*  
M. **DELVERDIER** Maxence, *Anatomie Pathologique*  
M. **ENJALBERT** Francis, *Alimentation*  
M. **REGNIER** Alain, *Physiopathologie oculaire*  
M. **SAUTET** Jean, *Anatomie*  
M. **SCHELCHER** François, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**PROFESSEURS 2° CLASSE**

Mme **BENARD** Geneviève, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
M. **BOUSQUET-MELOU** Alain, *Physiologie et Thérapeutique*  
Mme **CHASTANT-MAILLARD** Sylvie, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **DUCOS** Alain, *Zootchnie*  
M. **DUCOS DE LAHITTE** Jacques, *Parasitologie et Maladies parasitaires*  
M. **FOUCRAS** Gilles, *Pathologie des ruminants*  
Mme **GAYRARD-TROY** Véronique, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*  
M. **GUERRE** Philippe, *Pharmacie et Toxicologie*  
Mme **HAGEN-PICARD** Nicole, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **JACQUIET** Philippe, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*  
M. **LEFEBVRE** Hervé, *Physiologie et Thérapeutique*  
M. **LIGNEREUX** Yves, *Anatomie*

- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*

#### PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

#### MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

#### MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- Mlle **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- Mlle **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
- M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- Mlle **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Elevage et Santé avicoles et cunicoles*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mlle **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*
- M. **MAGNE Laurent**, *Urgences soins-intensifs*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants.*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mlle **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
- Mme **TROEGELER-MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie (disponibilité à cpt du 01/09/10)*
- M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

#### MAITRES DE CONFERENCES et AGENTS CONTRACTUELS

- M. **SOUBIES Sébastien**, *Microbiologie et infectiologie*

#### ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- Mlle **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophtalmologie*
- Mlle **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- Mlle **PASTOR Mélanie**, *Médecine Interne*
- M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales*
- Mlle **TREVENNEC Karen**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
- M **VERSET Michaël**, *Chirurgie des animaux de compagnie*

A notre président de thèse,

Monsieur le **Professeur Jean-François Magnaval**  
Professeur des Universités  
Praticien Hospitalier  
Chef de service hospitalier  
Parasitologie-Mycologie

Pour nous avoir fait l'honneur de présider notre jury de thèse,  
Hommages respectueux.

A notre directeur de thèse,

Monsieur le **Professeur Michel Franc**  
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Parasitologie et Maladies Parasitaires

Pour nous avoir guidés tout au long de ce travail, qui fut long et parfois incertain,  
Pour votre disponibilité et vos conseils,  
Pour les réconfortantes pauses café après nos essais,  
Sincères remerciements.

A notre assesseur de thèse,

Monsieur le **Professeur Philippe Jacquet**  
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Parasitologie et Maladies Parasitaires

Pour avoir accepté de participer à notre jury de thèse,  
Sincère reconnaissance.



**A mes parents**, pour m'avoir soutenu, aidé et encouragé depuis le moment où j'ai décidé de devenir vétérinaire et qui remonte à loin maintenant. Je sais que je peux compter sur vous et que vous répondrez toujours présent en cas de besoin. Pour avoir accepté Cid, ses poils, ses balles et ses croquettes. Pour toute l'organisation au cours de ma scolarité : le planning très serré des machines à laver de fin de semaine, les bons petits plats pour manger cinq fruits et légumes par jour. Pour tout le reste également. Un grand merci.

**A mes grands parents**, qui ne sont malheureusement plus tous là, mais que je n'oublie pas. J'espère que vous apprécierez mon travail, fruit de ces longues années d'études que vous avez suivies avec moi, quel que soit le lieu où vous trouvez.

**A Anne, Jacques et Christine**, pour m'avoir aidé chacun à votre façon tout au long de mon parcours. Merci de la part de votre plus jeune cousin (et filleul pour certains).

**A toute ma famille**, les « roulons buvons », pour toutes les réunions festives et les bons moments passés et à venir.

**A toute la bande du huit-un**, Nicolas Dévé, François, Soheil, Romain, Alexandre, Florent, Floriane, Emilie, Céline, Cécile&Nico, Marie-Liesse, Pauline, Laure... Que nous nous soyons rencontrés au primaire, au collège ou au lycée, je tiens à vous remercier pour avoir été présents depuis tout ce temps. A notre amitié qui je le sais sera très longue.

**A Thibault**, mon acolyte de ces cinq années d'ENVT, pour m'avoir fait découvrir le Cantal, la moutarde hollandaise, le gouda et d'excellents chanteurs comme Dave. Pour tes talents de vaccinateur et de conseiller en croquettes Friskies, et pour avoir résisté face à ma rapidité légendaire à table pendant quelques voyages à l'étranger mémorables. Merci de m'avoir suivi (ou entraîné)... en fait un peu partout.

**A Aline, Manon et Morgane**, les trois Lévriers Afghans, pour tous vos muffins, cakes, fondants, macarons, tartes, quiches... qui étaient, je vous le confirme aujourd'hui, « affreusement ratés ». Pour toutes vos discussions politiques à propos des attentats à la mode et des pauvres étudiants qui portent encore des cartables, et pour toutes les promenades animées de nos canidés respectifs (« Bounty, NON », « Betty, lâche ce pied », « Kikiiii »).

**A Diane et Golden**, pour avoir apporté de la classe et du glamour dans ce monde de brutes qu'est la canine, pour tous les fous rires à des moments plus ou moins (surtout moins) opportuns, pour les 2 brebis portant vos noms et qui sont passées à la postérité aujourd'hui, et pour toutes les expressions cultes que la bienséance m'empêche de mentionner.

**A Audrey**, pour tes très nombreuses photos souvenirs toujours très bien cadrées, pour ton Smecta ND et ton Imodium ND, pour tes précieux conseils en matière de ménage et ton sens inné de l'organisation, et pour être toujours « laaaaaaaaarge » quelle que soit la situation.

**A Julie et Christie**, les rescapées de Fermat, pour la fameuse soirée de Noël de première année qui restera inoubliable (au moins pour ce dont on se souvient), et pour la réunion annuelle de la Saint Privat avec son lot de traditions incontournables.

**A tous ceux que je n'ai pas mentionnés** par peur d'oublier quelqu'un (eh oui vous êtes trop nombreux), j'espère que vous vous reconnaîtrez dans ces quelques mots. Sachez que je pense à vous.

**A Hélène**, pour avoir le même jury, quasiment le même sujet, pour passer ta soutenance le même jour, et pour l'entraide bien agréable au cours de ces longs mois d'essais et de rédaction.

**A Emilie Bouhsira**, pour ta disponibilité, ton aide précieuse, ta gentillesse et ta patience qui m'ont permis de mener ce travail à terme. Merci également pour la pièce de théâtre qui nous a bien divertis en ce vendredi soir de juin dernier.

**A Martine, Solange et Sonia**, un grand merci pour votre bonne humeur et toute l'aide apportée au cours de mes essais.

# TABLE DES MATIERES

Introduction.....	Page 17
<b><u>PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</u></b> .....	Page 19
<b><u>I. Biologie de <i>Culex pipiens pipiens</i></u></b> .....	Page 19
<u>I.1. Biotopes</u> .....	Page 19
<u>I.2. Cycle</u> .....	Page 19
I.2.1. L'œuf.....	Page 20
I.2.2. La larve.....	Page 20
I.2.3. La nymphe.....	Page 21
I.2.4. L'adulte.....	Page 21
<u>I.3. Périodes d'activité</u> .....	Page 23
<u>I.4. Facteurs de développement</u> .....	Page 24
<b><u>II. Caractéristiques du repas sanguin de <i>Culex pipiens pipiens</i></u></b> .....	Page 25
<u>II.1. Eléments de classification</u> .....	Page 25
<u>II.2. Morphologie des pièces buccales</u> .....	Page 26
<u>II.3. Espèces cibles</u> .....	Page 27
<u>II.4. Déroulement du repas</u> .....	Page 28
<u>II.5. Facteurs de variation</u> .....	Page 30
<b><u>III. Intérêts de la lutte contre <i>Culex pipiens pipiens</i></u></b> .....	Page 31
<u>III.1. Les principales nuisances causées par <i>Culex pipiens pipiens</i></u> .....	Page 31
<u>III.2. Moyens de lutte</u> .....	Page 32
III.2.1. Lutte contre les larves.....	Page 32
III.2.2. Lutte contre les adultes.....	Page 33
<u>III.2.2.1. Les répulsifs</u> .....	Page 34
<u>III.2.2.2. Les insecticides</u> .....	Page 34
<u>III.2.2.3. Méthodes non chimiques</u> .....	Page 35
<b><u>DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES</u></b> .....	Page 37
<b><u>I. Les animaux</u></b> .....	Page 37
<u>I.1. Les <i>Culex</i></u> .....	Page 37
I.1.1. Souche.....	Page 37
I.1.2. Local d'élevage.....	Page 37
I.1.3. Méthode d'élevage.....	Page 37
<u>I.2. Les lapins</u> .....	Page 38
<u>I.3. Les chiens</u> .....	Page 38
<b><u>II. Influence de la température sur temps de gorgement</u></b> .....	Page 39
<u>II.1. But des essais</u> .....	Page 39
<u>II.2. Liste du matériel utilisé</u> .....	Page 39
<u>II.3. Local d'essai</u> .....	Page 39

<u>II.4. Déroulement d'un essai</u> .....	Page 40
<b><u>III. Influence de la ventilation sur le taux de gorgement</u></b> .....	Page 42
<u>III.1. But des essais</u> .....	Page 42
<u>III.2. Liste du matériel utilisé</u> .....	Page 42
<u>III.3. Protocole anesthésique des chiens</u> .....	Page 44
<u>III.4. Local d'essai</u> .....	Page 45
<u>III.5. Déroulement d'un essai</u> .....	Page 45
<b><u>TROISIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESULTATS ET ANALYSE</u></b> ..	Page 47
<b><u>I. Observation du comportement alimentaire</u></b> .....	Page 47
<b><u>II. Influence de la température sur le temps de gorgement</u></b> .....	Page 50
<u>II.1. Résultats</u> .....	Page 50
<u>II.2. Analyse descriptive</u> .....	Page 50
<u>II.3. Analyse statistique</u> .....	Page 51
<b><u>III. Influence de la ventilation sur le taux de gorgement</u></b> .....	Page 52
<u>III.1. Résultats</u> .....	Page 52
<u>III.2. Analyse descriptive</u> .....	Page 54
<u>III.3. Analyse statistique</u> .....	Page 55
<b><u>IV. Discussion</u></b> .....	Page 56
Conclusion.....	Page 61
<b><u>ANNEXE 1</u></b> .....	Page 65
<b><u>ANNEXE 2</u></b> .....	Page 67
<b><u>ANNEXE 3</u></b> .....	Page 70
<b><u>ANNEXE 4</u></b> .....	Page 73
Sources bibliographiques.....	Page 77

# LISTE DES ILLUSTRATIONS

## Figures :

<u>Figure 1</u> : Œufs de <i>Culex</i> .....	Page 20
<u>Figure 2</u> : Larve de <i>Culex</i> .....	Page 20
<u>Figure 3</u> : Nymphe de <i>Culex</i> .....	Page 21
<u>Figure 4</u> : <i>Culex</i> adulte ou imago.....	Page 22
<u>Figure 5</u> : Cycle de <i>Culex pipiens pipiens</i> .....	Page 23
<u>Figure 6</u> : Pièce buccales d'un moustique.....	Page 26
<u>Figure 7</u> : Coupe transversale des pièces buccales d'un moustique.....	Page 27
<u>Figure 8</u> : Tête de moustique mâle à gauche et femelle à droite.....	Page 27
<u>Figure 9</u> : Insertion des pièces buccales dans un capillaire et repli du labium à la surface du tégument.....	Page 29
<u>Figure 10</u> : Zones de piqûres préférentielles de <i>Culex pipiens pipiens</i> (vue de profil)	Page 48
<u>Figure 11</u> : Zones de piqûres préférentielles de <i>Culex pipiens pipiens</i> (vue ventrale)	Page 49

## Photographies (source : P. RESSEGUIER) :

<u>Photo 1</u> : Œufs de <i>Culex</i> .....	Page 20
<u>Photo 2</u> : Larve de <i>Culex</i> .....	Page 20
<u>Photo 3</u> : Nymphe de <i>Culex</i> .....	Page 21
<u>Photo 4</u> : <i>Culex</i> adulte femelle.....	Page 22
<u>Photo 5</u> : <i>Culex</i> adulte mâle.....	Page 22
<u>Photo 6</u> : Cages d'élevage des <i>Culex</i> .....	Page 37
<u>Photo 7</u> : Dispositif utilisé pour étudier l'influence de la température sur le temps de gorgement.....	Page 41
<u>Photo 8</u> : Petit ventilateur relié au variateur.....	Page 42
<u>Photo 9</u> : Grand ventilateur relié au variateur.....	Page 42
<u>Photo 10</u> : Anémomètre fixé sur son support.....	Page 43
<u>Photo 11</u> : Tube d'aspiration relié à une pompe.....	Page 43
<u>Photo 12</u> : Dispositif utilisé pour étudier l'influence de la ventilation.....	Page 46
<u>Photo 13</u> : <i>Culex</i> en train de se gorger au niveau du museau d'un chien. Leurs abdomens sont remplis de sang.....	Page 48

## Tableaux :

<u>Tableau 1</u> : Classement des méthodes de lutte contre les moustiques en fonction de leur efficacité.....	Page 33
<u>Tableau 2</u> : Durées moyennes du repas sanguin de <i>Culex pipiens pipiens</i> effectué sur oreilles de lapin en fonction de la température.....	Page 50
<u>Tableau 3</u> : Moyenne des temps de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> sur oreilles de lapin entre 25 et 30°C.....	Page 50
<u>Tableau 4</u> : Effet anti-gorgement en fonction du chien et de la vitesse.....	Page 53

<u>Tableau 5</u> :	Temps de gorgement sur oreilles de lapin obtenus en faisant varier la température.....	Page 65
<u>Tableau 6</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien HO6 032.....	Page 70
<u>Tableau 7</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien H1F 091.....	Page 71
<u>Tableau 8</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien HOI 121.....	Page 71
<u>Tableau 9</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien H1G 005.....	Page 71
<u>Tableau 10</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien H1G 010.....	Page 72
<u>Tableau 11</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien H1G 012.....	Page 72

## **Graphiques :**

<u>Graphe 1</u> :	Valeurs moyennes des temps de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> sur oreilles de lapin en fonction de la température. Pas de différence significative.....	Page 51
<u>Graphe 2</u> :	Pourcentages moyens de <i>Culex</i> gorgés en fonction de la vitesse de ventilation ( $p=2,2*10^{-16}$ ). Pas de différence significative entre b et c, entre c et d, entre d et e, entre e et f.....	Page 52
<u>Graphe 3</u> :	Effet anti-gorgement en fonction de la ventilation. Pas de différence significative.....	Page 53
<u>Graphe 4</u> :	Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=25°C).....	Page 67
<u>Graphe 5</u> :	Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=26°C).....	Page 67
<u>Graphe 6</u> :	Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=27°C).....	Page 67
<u>Graphes 7</u> :	Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=28°C).....	Page 68
<u>Graphes 8</u> :	Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=29°C).....	Page 68
<u>Graphes 9</u> :	Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=30°C).....	Page 68
<u>Graphes 10</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la ventilation pour le chien HO6 032.....	Page 73
<u>Graphes 11</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la ventilation pour le chien H1F 091.....	Page 73
<u>Graphes 12</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la ventilation pour le chien HOI 121.....	Page 73
<u>Graphes 13</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la ventilation pour le chien H1G 005.....	Page 74
<u>Graphes 14</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la ventilation pour le chien H1G 010.....	Page 74
<u>Graphes 15</u> :	Pourcentage moyen de gorgement de <i>Culex pipiens pipiens</i> en fonction de la ventilation pour le chien H1G 012.....	Page 74

## Introduction :

*Culex pipiens pipiens* est le moustique le plus fréquemment rencontré dans notre pays. Membre de la famille des Culicidés, il se développe sur tous les continents excepté l'Antarctique, et cause de nombreuses nuisances. En plus des piqûres et de la spoliation sanguine, il est responsable de la transmission du virus West Nile, qui affecte les oiseaux et occasionnellement l'homme, de la dirofilariose, qui atteint principalement le chien et dans une moindre mesure l'homme, et enfin de la fièvre de la Vallée du Rift dont l'agent responsable est un *Bunyaviridae*.

L'originalité de ce travail réside dans l'étude des modalités du repas sanguin de *Culex pipiens pipiens* chez le chien et le lapin, et de l'influence de la ventilation sur le taux de gorgement.

La première partie bibliographique concerne tout d'abord la biologie de *Culex pipiens pipiens* : ses biotopes, son cycle, ses périodes d'activité ainsi que les facteurs qui vont favoriser son développement. Ensuite, nous étudions son repas sanguin : la morphologie des pièces buccales, ses espèces cibles, les différentes étapes de ce repas, ainsi que les facteurs influant sur son comportement alimentaire. Enfin, nous envisageons les nuisances causées par *Culex pipiens pipiens* et les moyens de lutte actuels contre cet insecte piqueur.

La deuxième partie détaille le matériel nécessaire et les protocoles mis en œuvre pour l'étude expérimentale des modalités du repas sanguin.

La troisième partie présente les résultats obtenus, leur analyse et leur discussion.



# PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## I. Biologie de *Culex pipiens pipiens*

### I.1. Biotopes

Parmi les 800 espèces de *Culex* [17, 29], *Culex pipiens pipiens* est capable de se développer dans toutes les régions du globe, excepté celles où il règne un froid trop important comme l'Antarctique [6].

Ces moustiques sont dulçaquicoles, c'est-à-dire que les gîtes préimaginaux sont en eaux douces et saumâtres : ce sont de petits gîtes naturels (fossés, mares, flaques d'eau) ou artificiels (bassins, réservoirs, récipients, vieux pneus remplis d'eau de pluie, situés en général à proximité des habitations).

Les adultes sont dits casaniers, c'est-à-dire qu'ils s'éloignent peu des gîtes larvaires. En moyenne, ils peuvent parcourir de 500 à 1000 mètres, avec une vitesse de vol de 500 à 800 mètres à l'heure [20].

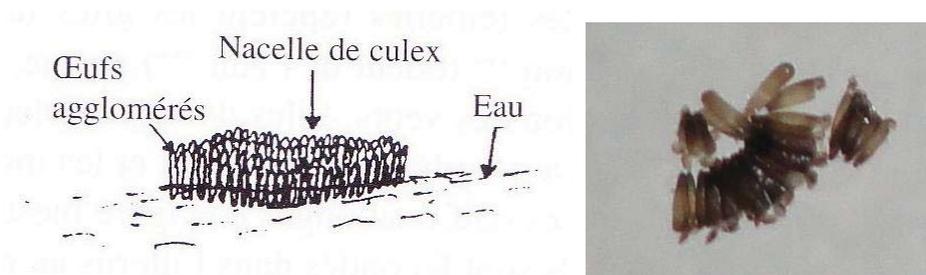
On ne trouve en règle générale qu'une seule espèce de *Culex* par biotope, mais il peut arriver que plusieurs espèces cohabitent : *Culex pipiens pipiens* est fréquemment rencontré avec *Culiseta annulata* et *Culiseta longiareolata* [24].

### I.2. Cycle

Le cycle de *Culex pipiens pipiens* comporte, comme celui de tous les insectes, 4 stades : l'œuf, la larve, la nymphe et l'imago ou adulte. Il se décompose en deux phases : une phase aquatique pour les trois premiers stades, et une phase aérienne pour le dernier stade. Dans les conditions optimales, le cycle dure de 10 à 14 jours [24].

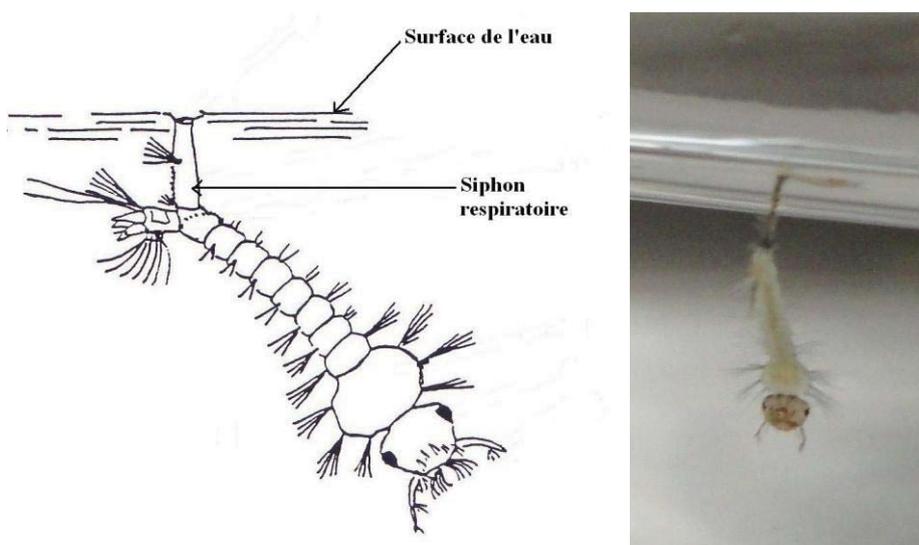
### I.2.1. L'œuf

Les lieux de ponte de la femelle sont variés : ce sont les petites collections d'eau proches des habitations comme les bassins, les citernes, les pots de fleurs, les vieux pneus, ou encore les boîtes de conserve. La femelle dépose les œufs, qui ont un diamètre inférieur à 1 mm [2], perpendiculairement à la surface de l'eau en amas groupés. Une femelle peut pondre jusqu'à 300 œufs [28, 29], qui éclosent en 24 à 48 heures lorsque la température de l'eau est suffisante [24].



### I.2.2. La larve

La larve sort de l'œuf. Elle est disposée obliquement par rapport à la surface de l'eau [12, 23] et se déplace par mouvements saccadés [2]. Son régime saprophyte est constitué de plancton et de particules organiques ingérés grâce à ses pièces buccales de type broyeur. Elle respire par un siphon. La larve évolue ainsi selon quatre stades pendant 8 à 12 jours, avant d'atteindre le stade nymphal [3, 24, 28, 29].



### I.2.3. La nymphe

La nymphe a une forme de point d'interrogation [12] et respire par des trompettes respiratoires situées sur le céphalothorax. Elle n'ingère par contre aucune nourriture. Elle est extrêmement sensible et plonge dans l'eau au moindre mouvement perçu [3, 28, 29]. *Culex pipiens pipiens* reste sous cette forme pendant 2 à 4 jours. A la fin de cette période, la nymphe donne un adulte, mâle ou femelle. Cette étape a généralement lieu le matin [24].

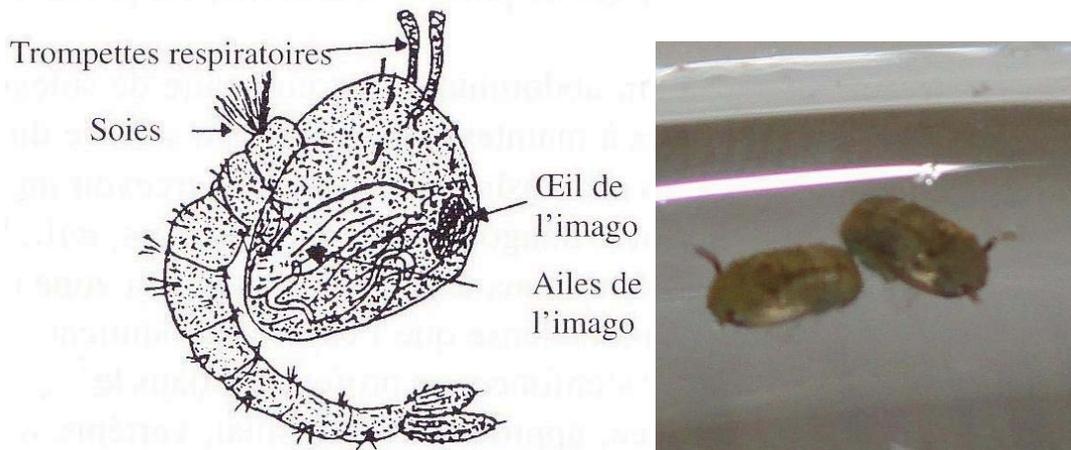


Figure 3 [20] et photo 3 : Nymphe de *Culex*

### I.2.4. L'adulte

Le mâle se nourrit exclusivement de suc et de nectar extrait de plantes, et meurt après la copulation.

La femelle peut vivre de 3 semaines à 3 mois selon la température et la qualité du gîte. Elle se nourrit du suc des plantes et est en plus hématophage, ce qui est indispensable à la formation des œufs [23].

Les adultes s'éloignent peu des gîtes larvaires après l'éclosion. Ils ne dépassent pas 3 km de distance, sauf lors de vent violent qui pousse les *Culex* beaucoup plus loin.

L'accouplement se produit dans les 48 heures suivant l'émergence des femelles et avant le premier repas sanguin. La femelle s'accouple en général une seule fois au cours du vol, dans un large espace : c'est une espèce dite eurygame [12, 20]. Le mâle est attiré par les fréquences sonores ainsi que par des phéromones émises par la femelle. Après l'accouplement, la femelle part à la recherche d'un hôte pour se nourrir de sang nécessaire à la maturation des ovules. La ponte a lieu environ 5 jours après le dernier repas [2, 20]. *Culex pipiens pipiens* est de plus

une espèce autogène, c'est-à-dire que la femelle est capable de pondre des œufs sans repas sanguin préalable [11, 20].

En automne, lorsque les journées commencent à raccourcir et que les températures baissent, les femelles cherchent un gîte de repos et y passent plusieurs mois sans se nourrir : c'est la diapause. Elles sont capables de survivre grâce aux réserves lipidiques accumulées à partir des sucres végétaux. Elles sortiront et recommenceront leurs repas sanguins à partir du printemps [20, 24, 25].

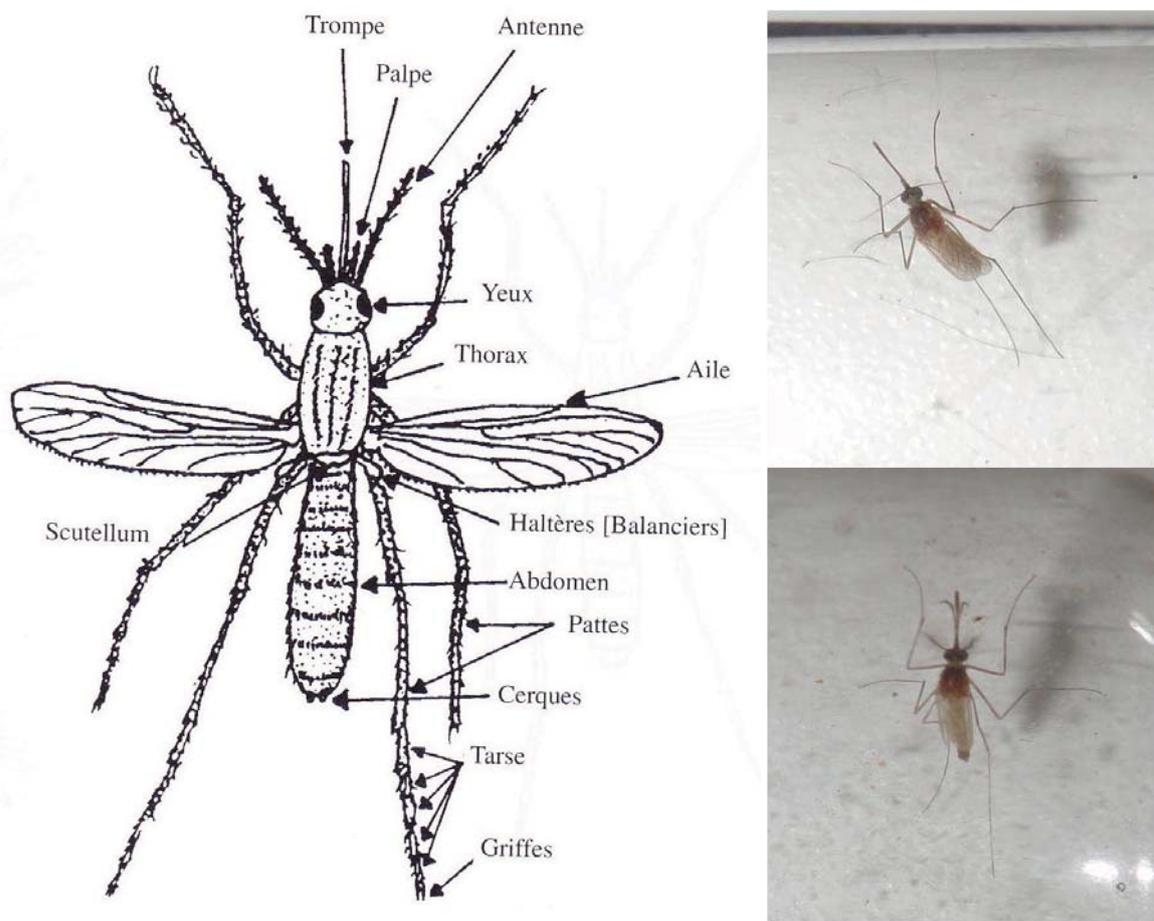


Figure 4 [20], photos 4 et 5 : *Culex* adulte ou imago (femelle en haut à droite, mâle en bas à droite)

Le schéma ci-dessous résume le cycle du *Culex* :

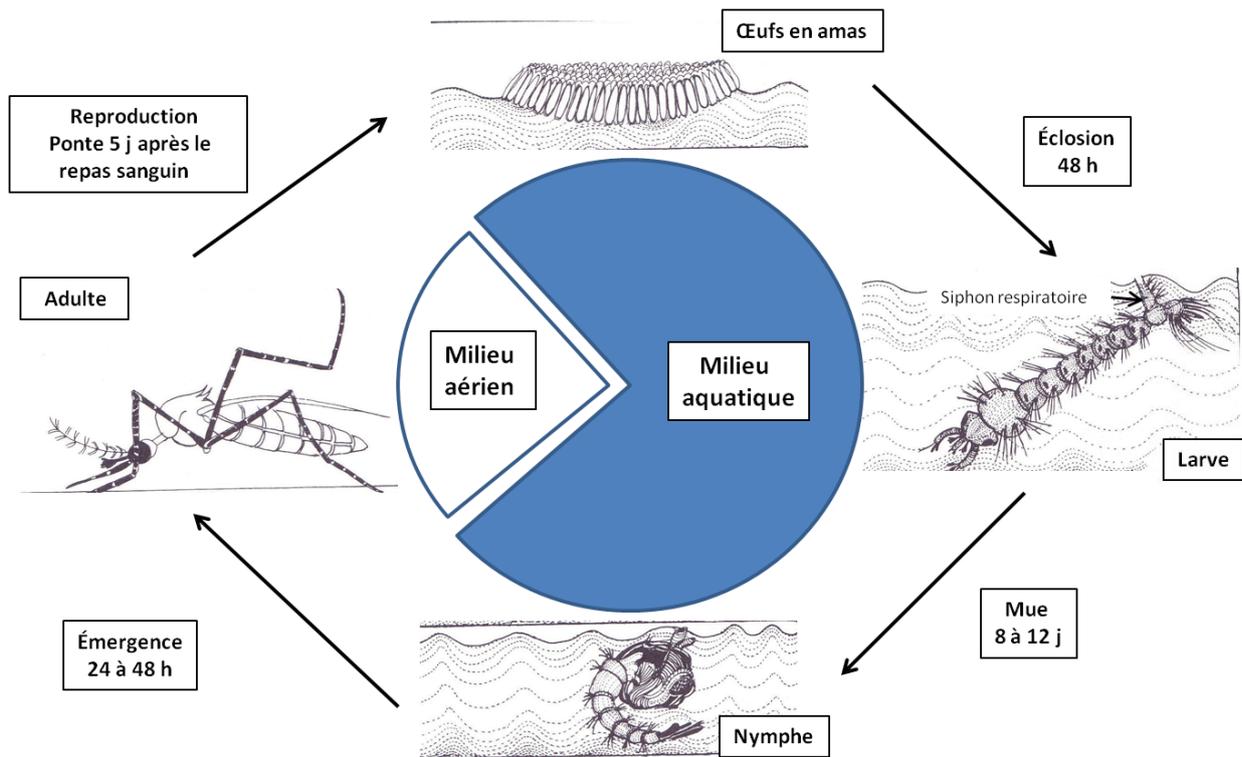


Figure 5 : Cycle de *Culex pipiens pipiens* [modifié d'après 28]

### I.3. Périodes d'activité

Le développement des *Culex* dépend essentiellement de la température et de la pluviométrie. Ils vont donc préférentiellement se développer dans les pays chauds où ils pourront être présents quel que soit le moment de l'année. Leur développement sera favorisé lors de fortes températures associées à des taux d'humidité élevés. Sous nos climats, la période de l'année correspondante est l'été, mais aussi l'automne dans une plus faible mesure [26].

Notre climat tempéré est beaucoup moins stable que les climats équatoriaux et tropicaux, où les saisons sèches suivent les saisons humides. Le nombre de *Culex* n'est donc pas constant d'une année sur l'autre, ainsi qu'au cours d'une même saison. On distingue de plus au sein du climat tempéré des différences de température et de pluviométrie entre les climats océaniques, méditerranéens et continentaux [24]. En France, on trouvera préférentiellement des *Culex* dans les régions méditerranéennes [26], lors de fortes températures associées à un degré d'humidité élevé.

La période d'activité des *Culex*, comme tous les moustiques, démarre au crépuscule et dure jusqu'à la fin de la nuit [28, 29].

#### I.4. Facteurs de développement

Différents facteurs vont influencer sur le degré d'humidité, et ainsi jouer un rôle dans le développement des *Culex*. On trouve :

- Les facteurs naturels : la fréquence des précipitations ainsi que leur quantité [21], les orages dont les dégâts peuvent causer des crues, la résurgence des nappes phréatiques [24]. Ce type de facteurs dépend essentiellement de la région et il est difficile pour l'homme de les contrôler.
- Les facteurs artificiels : les systèmes d'irrigation par gravité tels que les rizières, les zones d'élevage piscicoles et d'aquaculture, les stations d'épuration, les barrages, les lacs artificiels [24]. Ces facteurs sont plus facilement contrôlables car créés par l'homme.

Pour ce qui est du rôle de la température, de fortes chaleurs, notamment en début d'été, favoriseront le développement de *Culex pipiens pipiens* [21].

## II. Caractéristiques du repas sanguin de *Culex pipiens pipiens*

### II.1. Eléments de classification

*Culex pipiens pipiens* est un insecte diptère nématocère culicidé culiciné culicini :

- **Diptère** : ordre d'insectes caractérisé par une paire d'ailes bien développées, holométaboles, c'est-à-dire dont la métamorphose est complète. Les larves sont apodes et segmentées.
- **Nématocère** : sous-ordre d'insectes diptères ayant une morphologie de type moustique, des antennes longues, filiformes et constituées de plus de 6 articles. Les pièces buccales sont groupées en une trompe. Les mâles sont suceurs de nectars et non parasites, les femelles sont hématophages. La nymphe est mobile et possède un tégument mince.
- **Culicidé** : famille de nématocères avec un corps grêle et allongé, des pattes fines, une trompe plus longue que la tête, des antennes constituées de 15 (mâles) ou 16 articles (femelles), très poilues chez le mâle. Les ailes sont longues, à apex arrondi, peu poilues mais couvertes d'écailles fines. L'abdomen est constitué de 10 segments et se termine en pointe chez les femelles.
- **Culiciné** : sous-famille de culicidés possédant un abdomen recouvert d'écailles et des glandes salivaires à trois lobes. Au repos, l'abdomen est quasiment parallèle au support et forme un angle avec l'ensemble tête-thorax. La larve possède un siphon respiratoire situé sur l'avant dernier segment abdominal, et est disposée obliquement par rapport à la surface de l'eau.
- **Culicini** : tribu de la sous-famille des culicinés ayant une coloration brun clair, des ailes non tachées, et des œufs fusiformes [12].

## II.2.Morphologie des pièces buccales

Les pièces buccales de la femelle sont de type piqueur-suceur et se composent de :

- Un labre formant l'épipharynx et circonscrivant le canal alimentaire par lequel le sang est aspiré
- Deux stylets mandibulaires (ou mandibules)
- Deux stylets maxillaires denticulés (ou maxilles)
- Un hypopharynx qui abrite le canal salivaire
- Un labium terminé par des labelles et riche en sensilles thermoréceptrices. Il est creusé en une gouttière qui engaine et protège les stylets perforateurs (labre, maxillaires, mandibules et hypopharynx) en dehors du repas.

Les pièces buccales sont au final réunies en une trompe, ou proboscis, au moins quatre fois plus longue que la tête [20].

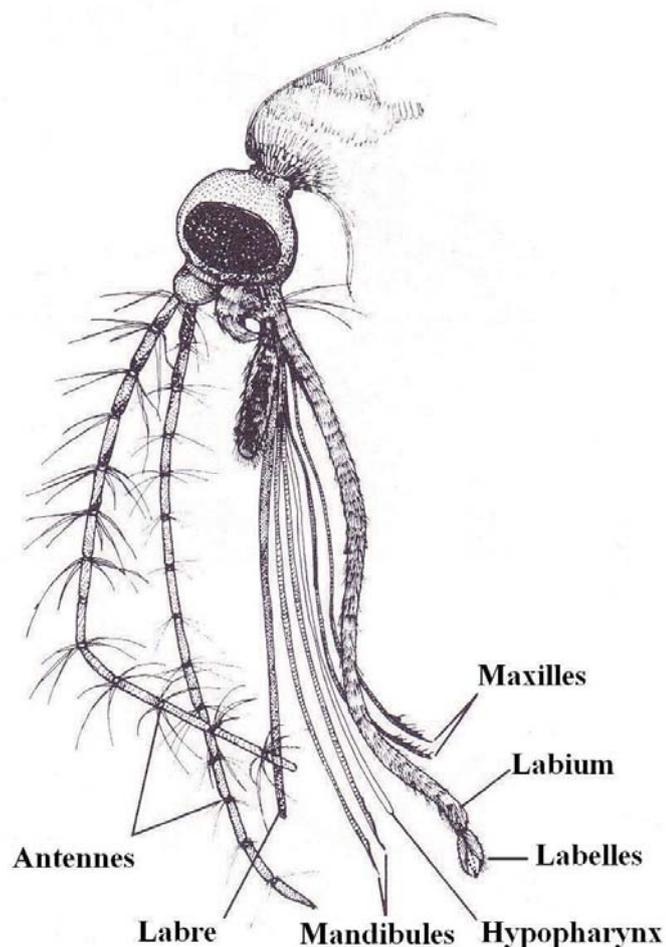


Figure 6 : Pièces buccales d'un moustique [modifié d'après 28]

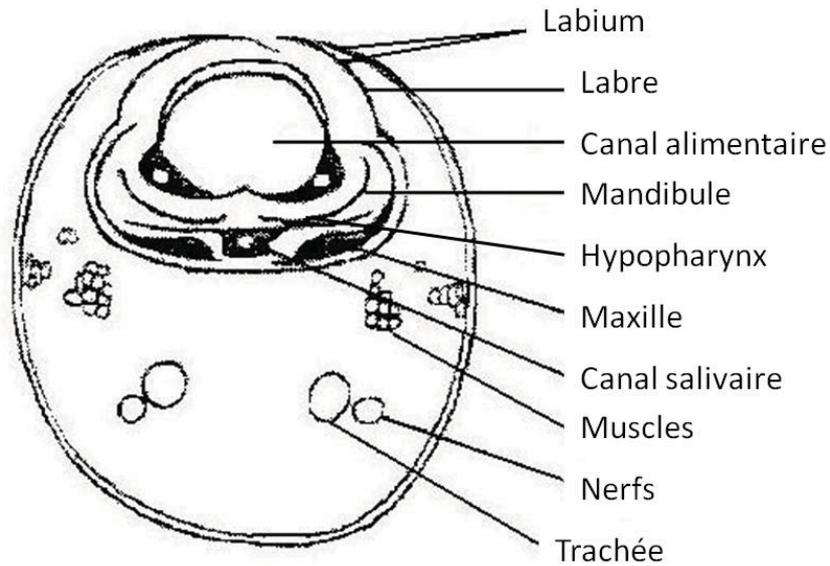


Figure 7 : Coupe transversale des pièces buccales d'un moustique [modifié d'après 26]

Chez la femelle les palpes maxillaires sont très courts et effilés. Chez le mâle ils sont au contraire plus longs que la trompe, et les antennes sont plus développées et très poilues. Ces 2 éléments permettent de distinguer le mâle de la femelle à l'œil nu [12, 26, 28].

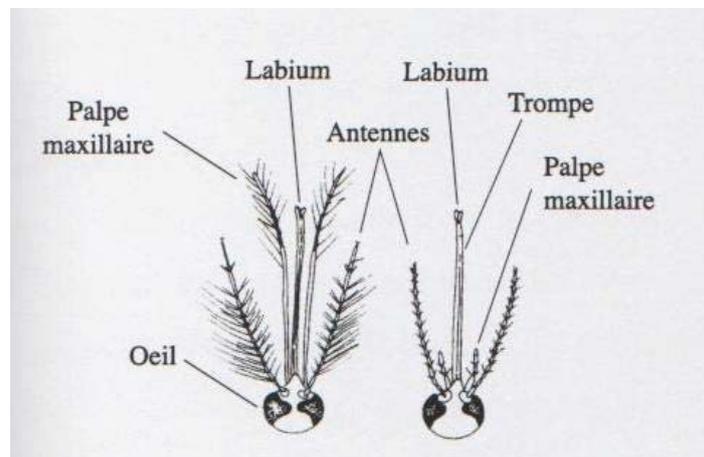


Figure 8 : Tête de moustique mâle à gauche et femelle à droite [2]

### II.3. Espèces cibles

On distingue deux types d'espèces cibles : les hommes et les animaux.

Les espèces essentiellement zoophiles comme *Culex pipiens pipiens* vont s'attaquer en priorité à des animaux, en l'occurrence des oiseaux car ce moustique est ornithophile.

Cependant, s'il se retrouve dans une zone habitée par des hommes ou bien des mammifères, ce *Culex* est capable de prendre son repas sanguin sur ces nouveaux hôtes. Il est donc accessoirement anthropophile [12, 13, 16, 24].

#### II.4. Déroulement du repas

L'heure à laquelle piquent les femelles débute à la tombée du jour et dure jusqu'à l'aube [28, 29].

Le choix de l'hôte se fait grâce aux fonctions sensorielles du *Culex* :

- L'olfaction : les antennes leur permettent de percevoir des émissions odoriférantes, telles qu'acide lactique, acétone ou composés phénoliques, et ce jusqu'à plusieurs kilomètres. La variation, et non la quantité, de gaz carboniques expirés joue également un rôle.
- La vision : la lumière attire les moustiques vers les habitations humaines. Lorsque l'hôte est proche, les couleurs foncées (bleu sombre, noir) exercent un pouvoir attractif, de même que sa forme [1, 20, 26].

Lorsque la femelle veut se nourrir, elle vient se placer sur l'hôte choisi, en général sur des zones à peau fine. Elle se sert de ses palpes maxillaires et surtout de ses labelles pour le repérage thermique d'un capillaire sanguin. Le labium se replie à la surface de la peau et les stylets pénètrent dans le tégument afin de cathétériser le vaisseau. La salive est ensuite injectée à plusieurs reprises. Ses rôles sont divers :

- Lubrification des pièces buccales
- Adhésion des stylets entre eux au moment de la piqûre
- Apport de substances anticoagulantes qui évitent l'obstruction de la trompe par un caillot
- Action antihistaminique qui inhibe la vasoconstriction capillaire
- Action enzymatique digestive peu marquée
- Action anesthésiante pour limiter la réaction de l'hôte [20, 26].

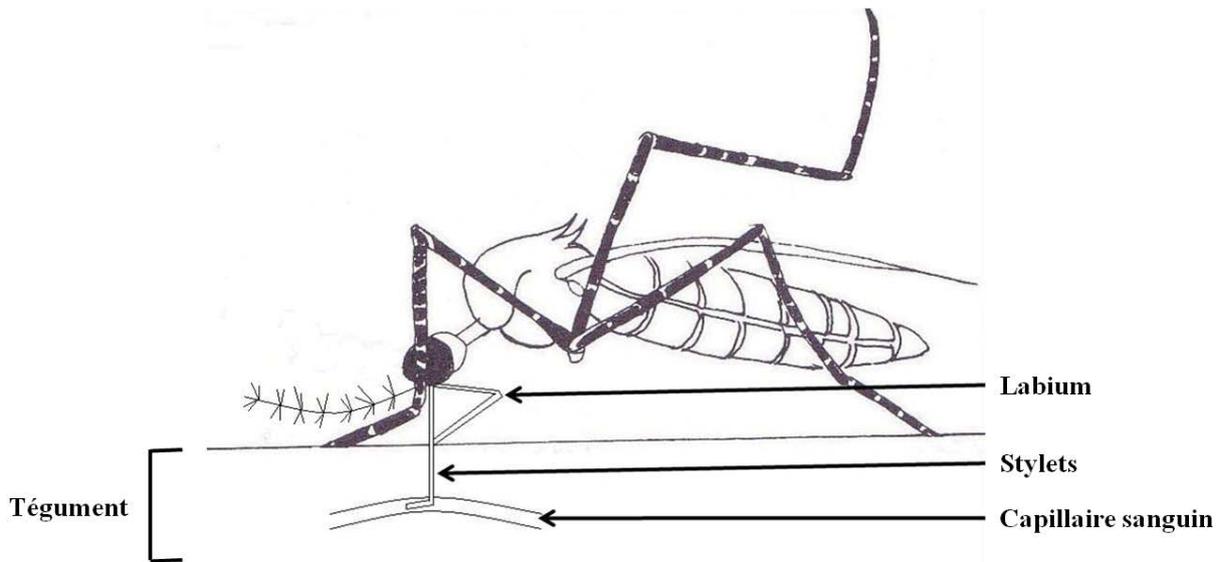


Figure 9 : Insertion des pièces buccales dans un capillaire et repli du labium à la surface du tégument  
[modifié d'après 28]

Si le *Culex* était infecté par un agent pathogène, il se peut qu'il le transmette au cours du repas sanguin [10, 18].

Au bout d'un temps moyen de 2 à 5 minutes (maximum de 20 minutes), la femelle peut ingérer de 2 à 4 fois son poids en sang par le canal alimentaire, ce qui représente jusqu'à 10,2 mm<sup>3</sup> [2, 17, 20]. L'aspiration est permise par un système de pressions-dépressions déclenché par les muscles céphaliques, thoraciques et le pharynx. Si le *Culex* était infecté par un agent pathogène, il le transmet à l'hôte à ce moment précis [13]. Une fois le repas terminé, la femelle utilise son labium comme levier pour retirer ses stylets du tégument [26].

Ce repas sanguin est utilisé grâce à des enzymes capables de digérer le sang, la trypsine et la chymotrypsine-like, codées par des gènes qui sont surexprimés. Quelques semaines avant l'entrée en diapause, la femelle *Culex* change de nourriture et ingère des sucres végétaux. Les gènes codant pour ces deux enzymes sont alors moins exprimés, et ceux codant pour la « fatty acid synthase », enzyme permettant l'accumulation de réserves lipidiques, sont alors surexprimés. Ce sont ces lipides qui permettront à la femelle de survivre durant l'hiver. Il est important de noter que ce phénomène est sous contrôle de la photopériode, et non de la température. Ce n'est que vers la fin de la diapause que ces deux mécanismes vont s'inverser [25].

## II.5. Facteurs de variation

La majorité des études effectuées sur les facteurs influençant le repas sanguin de *Culex pipiens pipiens* portent sur la transmission du virus West Nile. Ce dernier étant transmis à l'hôte au cours du repas, ces paramètres sont indirectement reliés à notre étude.

La température de l'environnement joue un rôle primordial [21]. En effet, plus la température d'incubation est élevée, plus le *Culex* a de chances de transmettre l'infection. A 30°C, 90% des moustiques transmettent le virus au cours du repas suivant la piqûre contaminante, alors qu'à 18°C seulement 30% des *Culex* le transmettent. Une des explications est que la réplication virale s'intensifie lors de températures élevées. Parmi les autres raisons, une des hypothèses avancées est que la chaleur amplifierait le comportement alimentaire de ces vecteurs. La densité de la population de moustiques, et la virulence du virus augmenteraient aussi avec la température. Il semblerait qu'une variation de quelques degrés Celsius ait un effet non négligeable sur la transmission du virus [10, 18].

### III. Intérêts de la lutte contre *Culex pipiens pipiens*

#### III.1. Les principales nuisances causées par *Culex pipiens pipiens*

On distingue deux types de nuisances causées par *Culex pipiens pipiens*.

La première est causée par la piqûre de la femelle [28] qui va entraîner, chez l'homme comme chez l'animal, une lésion ronde érythémateuse de quelques mm à 2 cm de diamètre. Il est à noter que la piqûre ne provoque aucune douleur immédiate grâce à un anesthésique local contenu dans la salive [2]. Les lésions sont très souvent suivies d'une réaction allergique due aux allergènes présents dans la salive de *Culex pipiens pipiens* injectée durant le repas sanguin. Cela entraîne généralement un fort prurit [26].

La deuxième nuisance est liée à la transmission de maladies. Le moustique se contamine au cours du repas sanguin sur un hôte infecté. L'agent pathogène va alors subir un cycle de maturation et sera transmis au cours du repas suivant sanguin [5].

On distingue 2 types d'agents pathogènes transmis par les *Culex* :

- Des virus :
  - De la famille des *Bunyaviridae* genre *Phlebovirus*, comme le virus de la Fièvre de la Vallée du Rift, zoonose dont l'espèce cible principale est le bétail [22].
  - De la famille des *Flaviviridae* genre *Flavivirus* :
    - Le West Nile atteint les oiseaux mais peut aussi toucher l'homme [13, 16].
    - L'encéphalite de Saint Louis atteint également l'oiseau et l'homme.
    - L'encéphalite japonaise humaine a pour réservoirs le porc et les oiseaux sauvages.
    - Le virus de la dengue atteint exclusivement l'homme.
    - La fièvre jaune peut se transmettre aux singes et à l'homme [2].
- Des parasites :
  - *Dirofilaria immitis*, responsable de la dirofilariose cardio-pulmonaire du chien.

Ce parasite vit essentiellement dans le cœur droit et l'artère pulmonaire. Il entraîne des troubles cardiaques décomposés en 2 phases. Lors de la première,

dite phase de compensation, le chien souffre de toux chronique, de dyspnée, de tachycardie, d'anémie et éventuellement d'hémoptysie. Un souffle cardiaque est audible. La fonction cardiocirculatoire se dégrade petit à petit, et le chien entre alors dans la deuxième phase, celle de décompensation : il souffre d'insuffisance cardiaque droite avec hépatomégalie, ascite, œdèmes sous-cutanés et insuffisance rénale. Le pronostic varie selon l'avancée des signes cliniques et la précocité du traitement.

Plus rarement, l'animal peut développer un syndrome veine cave, caractérisé par un choc cardiogénique avec tachycardie, arythmie, tachypnée, dyspnée. La survie n'est que de quelques heures [4, 12, 14].

D'autres espèces peuvent néanmoins être atteintes : le chat, les canidés sauvages et même l'homme [26].

- *Dirofilaria repens*, agent de la filariose sous-cutanée chez le chien, mais aussi chez le chat et l'homme.

L'adulte se développe dans le tissu conjonctif sous-cutané. Cliniquement, des nodules de quelques millimètres à quelques centimètres de diamètre apparaissent. Ils sont indolores, prurigineux et localisés préférentiellement en région postérieure du corps [12, 26].

- *Wuchereria bancrofti*, responsable de la filariose lymphatique de l'homme [2, 26].

Le nombre d'agents transmis, le nombre d'espèces atteintes dont l'Homme justifie les campagnes de lutte contre les moustiques.

## III.2. Moyens de lutte

Les moyens de lutte visent les larves, les adultes ou les deux.

### III.2.1. Lutte contre les larves

Certaines méthodes préconisent la réduction voire l'éradication des gîtes larvaires, notamment grâce au drainage et en facilitant l'écoulement des eaux, ce qui empêche le développement des *Culex*. Bien qu'extrêmement efficaces car définitives, elles ne sont cependant pas toujours

réalisables, ni même économiques. A plus petite échelle, chacun peut se débarrasser des boîtes de conserve, vieux pneus... dans lesquelles se développent les larves.

L'introduction de prédateurs aquatiques est envisageable lorsque les *Culex* se développent dans des collections d'eau suffisamment vastes, comme des étangs ou des mares

Une autre méthode consiste à introduire des pathogènes comme la bactérie *Bacillus thuringiensis* [12, 28].

### **III.2.2. Lutte contre les adultes**

L'INVS (Institut de Veille Sanitaire) a classé les différents moyens de protection des humains en fonction de leur efficacité :

<b>Méthode</b>	<b>Efficacité</b>
Moustiquaire imprégnée d'insecticide	++++
Pulvérisation intradomiciliaire d'insecticide rémanent	+++
Diffuseur électrique d'insecticide	++
Grillage anti-moustique aux portes et aux fenêtres	++
Répulsifs cutanés	++
Vêtements imprégnés d'insecticide	++
Climatisation	+
Ventilation	+
Fumigènes	+

Tableau 1 : Classement des méthodes de lutte contre les moustiques en fonction de leur efficacité [19]

A l'intérieur, le meilleur moyen de protection reste aujourd'hui une moustiquaire imprégnée d'insecticide, notamment des pyréthroïdes.

Les produits qui jouent sur la rémanence sont distribués dans l'environnement du vecteur en vue de le neutraliser. On utilise des insecticides ou des huiles minérales. Mais qu'ils soient intradomiciliaires ou extradomiciliaires, ces produits se révèlent efficaces à court terme mais pas à long terme car l'application nécessite d'être maintenue en permanence [9, 28]. De plus, utilisés à grande échelle, ils pourraient polluer l'environnement et accélérer le développement de résistances [28]. C'est pourquoi il faut respecter la réglementation en vigueur.

### III.2.2.1. Les répulsifs

Un répulsif est une substance naturelle ou de synthèse qui présente une propriété répulsive vis-à-vis des arthropodes hématophages. Il existe un grand nombre de molécules sur le marché avec des propriétés répulsives. Pour l'instant, seules 4 ont une efficacité reconnue par l'AFSSAPS (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé). Ce sont :

- Le DEET (N,N-diethyl-m-toluamide) : efficace pour une concentration de 30 à 50%
- L'IR3535 (N-acétyl-N-butyl-β-alaninate d'éthyle) : 20 à 35%
- Le KBR3023, également appelé picaridine (carboxylate de sec-butyl-2-(2-hydroxyéthyl) piperidine-icaridine) : 20 à 30%
- Le citriodiol (mélange de cis et trans-para-menthane-3,8-diol) : 20 à 30%

Ces molécules sont formulées sous forme de sprays ou de lotion et vont diffuser dans l'air ambiant afin d'éloigner les moustiques. Cependant leur effet répulsif n'est valable que quelques heures [19].

### III.2.2.2. Les insecticides

Les insecticides les plus utilisés sont les pyréthroïdes sous forme de sprays à pulvériser dans l'air ambiant, sur des murs ou des moustiquaires [28]. Ces molécules se révèlent efficaces jusqu'à plusieurs semaines si elles sont pulvérisées sur une moustiquaire.

Concernant leur mode d'action, ils vont tout d'abord stimuler puis inhiber le système nerveux du *Culex*, pour finalement causer une paralysie musculaire généralisée. Comme l'effet est très rapide, on dit qu'ils ont un effet « knock down » ou effet choc. Très toxiques pour les poissons, ils le sont peu pour les mammifères même si ils entraînent parfois des démangeaisons [7, 15].

Leur utilisation doit tout de même rester raisonnée pour éviter le développement de résistances comme c'est déjà le cas dans certaines régions du globe comme la Chine : sur 6 échantillons de 100 *Culex* chacun exposés à de la deltaméthrine à la dose de 0,05%, les 6 se sont révélés résistants avec un taux de mortalité allant de 20 à 80% [7].

Parmi les formulations vétérinaires à base de pyréthroïdes possédant une AMM pour la protection des chiens contre les Culicidés, on trouve la perméthrine en spot on (ADVANTIX<sup>®</sup>) ou encore la deltaméthrine en collier (SCALIBOR<sup>®</sup>) [22].

Les carbamates et les organophosphorés ne sont plus utilisables sur les animaux domestiques et sur les humains [15].

### II.2.2.3. Méthodes non chimiques

Ces méthodes sont considérées comme les moins efficaces. Actuellement, on distingue le grillage anti-moustique, la climatisation et la ventilation, dont nous présenterons l'étude dans la partie expérimentale.

Le fait pour un individu, qu'il soit humain ou animal, d'être placé dans le rayon de projection d'un ventilateur ou d'une climatisation a-t-il une influence sur le comportement des *Culex* ? Une vitesse de ventilation élevée peut-elle protéger contre leurs piqûres ? L'influence de ce paramètre n'a jamais été réellement étudiée, et n'a pas fait l'objet de publication. C'est pourquoi nous allons nous y intéresser. Le risque de résistance, nul avec la ventilation, est un atout supplémentaire.

Si les résultats de notre étude se révèlent significatifs, cela ajouterait un moyen de lutte supplémentaire et durable, notamment dans les pays tropicaux où la densité de moustiques est très importante. Cela reste utilisable à condition que les déplacements d'air et le bruit du ventilateur soient compatibles avec le sommeil.



# **DEUXIEME PARTIE : MATERIEL ET METHODES**

## **I. Les animaux**

### **I.1. Les *Culex***

#### **I.1.1. Souche**

La souche de *Culex pipiens pipiens* utilisée pour l'ensemble de nos essais est entretenue à l'animalerie du service de parasitologie de l'E.N.V.T. dans des conditions de laboratoire. Le cycle est développé depuis 2001 à partir d'une souche fournie par l'EID (Entente Interdépartementale pour la Démoustication) basée à Montpellier.

#### **I.1.2. Local d'élevage**

Les *Culex* sont élevés dans une pièce où l'alternance jour/nuit est réglée (12h/12h). Les paramètres influant sur l'élevage (température et humidité) sont fixés.

#### **I.1.3. Méthode d'élevage**

Les *Culex* adultes sont placés dans des cages en fonction de leur âge. Mâles et femelles sont mélangés afin que la fécondation puisse avoir lieu. Ils ont à disposition une solution nutritive sucrée distribuée à volonté.

Les *Culex* ont accès à un repas sanguin une fois par semaine pour que la ponte puisse avoir lieu et pour permettre au cycle de se poursuivre.



Photo 6 : Cages d'élevage des *Culex*.

## I.2. Les lapins

L'animalerie dispose de lapins albinos qui vivent dans des clapiers. Ils sont alimentés avec des granulés et du foin.

Ils ont été utilisés pour les essais portant sur l'influence de la température sur le temps de gorgement.

## I.3. Les chiens

Pour la deuxième partie des essais, 6 chiens de race Beagle ont été utilisés : 3 mâles et 3 femelles. Chacun est identifié par un tatouage et une puce électronique. Ils sont nourris avec 200g de croquettes par jour, et sortis régulièrement dans des parcs d'exercice.

Du fait des limites de la production de moustiques et de la durée importante des essais, nous avons réparti les chiens en 3 paires :

- HO6 032 (mâle) et H1F 091 (femelle)
- H1G 005 (femelle) et HOI 121 (femelle)
- H1G 010 (mâle) et H1 G 012 (mâle)

## **II. Influence de la température sur le temps de gorgement**

### **II.1. But des essais**

La première partie de nos essais consiste à étudier l'influence de la température sur la durée du repas sanguin des *Culex*. Pour cela, nous faisons gorger des femelles sur lapin à différentes températures. A chaque fois, la durée du repas sanguin est chronométrée.

### **II.2. Liste du matériel utilisé**

Peu de matériel est nécessaire pour réaliser cette série d'essais. Nous utilisons :

- Une cage à contention pour le lapin
- Une cage transparente à l'intérieur de laquelle se trouvent les *Culex*
- Une petite lampe, dont l'intensité est assez faible pour ne pas inhiber les *Culex*, mais suffisante pour observer précisément leur piquê
- Un chronomètre

En ce qui concerne les animaux, nous utilisons des femelles *Culex* âgées de 15 à 20 jours. Leur nombre est variable à chaque essai car cela dépend des disponibilités de l'élevage en moustiques suffisamment âgés pour le gorgement. Le nombre minimum de 10 *Culex* testés par température est tout de même fixé.

L'animal sur lequel les moustiques vont se gorger est un lapin. Nous avons successivement utilisé 5 lapins, afin d'éviter un phénomène d'agacement qui incite l'animal à secouer la tête, rendant les mesures impossibles.

### **II.3. Local d'essai**

Nous avons utilisé une salle d'expérimentation dont la température, l'humidité et la luminosité peuvent être réglées avec précision. Afin de focaliser notre étude sur le rôle de la température, les 2 paramètres restant sont maintenus approximativement identiques afin d'obtenir des conditions optimales pour le gorgement des *Culex*. L'humidité varie ainsi de 50

à 60%, et les lumières de la salle sont éteintes afin d'obtenir une obscurité maximale : les conditions d'une nuit d'été, période propice pour la piqûre du moustique, sont de ce fait reproduites.

#### II.4. Déroulement d'un essai

Des femelles sont tout d'abord collectées puis placées dans une cage d'élevage. Le but de cette manœuvre est d'obtenir un nombre réduit de moustiques et faciliter ainsi leur observation. Afin de les inciter à prendre leur repas sanguin, nous les mettons à jeun en retirant la solution nutritive 2 jours avant chaque essai.

Le lapin est placé dans une cage à contention maintenant le corps mais laissant la tête libre. Les *Culex* préférant piquer les zones à peau fine et glabres, les oreilles du lapin sont préalablement tondues. La tête de ce dernier est ensuite introduite à l'intérieur de la cage des moustiques.

Au cours des premiers essais, nous aspirions les femelles une par une pour les placer directement dans la cage où était située la tête du lapin, afin d'avoir une précision maximale. Cependant, la manœuvre perturbait leur comportement et elles refusaient de piquer. Nous n'obtenions donc que peu de résultats. Par la suite, nous avons décidé de placer 30 *Culex* dans les cages 2 jours avant l'essai. Cette méthode s'est révélée plus efficace, les moustiques se gorgeant correctement, même si tous ne pouvaient être chronométrés simultanément.

La température est paramétrée au début de chaque essai et reste fixe pour toute sa durée. Nous l'avons faite varier de 25 à 30°C.

Pour chronométrer le temps de gorgement, il faut attendre qu'un *Culex* se pose sur le lapin et surveiller le moment où il introduit ses pièces buccales dans le tégument. A cet instant, nous lançons le chronomètre qui reste enclenché jusqu'à ce que la femelle retire sa trompe de la peau. Il est possible de suivre plusieurs *Culex* en parallèle.

Pour chaque température testée, les résultats des temps de gorgement sont collectés, classés par ordre croissant, puis analysés. Seuls sont pris en compte les résultats des *Culex* entièrement gorgés. N'ont pas été relevés : ceux des femelles interrompues au cours de leur repas (par un autre moustique, par les mouvements de tête du lapin) et ceux des femelles qui ne sont pas totalement gorgées. Pour cela, nous décidons qu'une femelle est gorgée lorsque

son abdomen est rempli de sang (visible par transparence à l'œil nu) et que son volume a au moins doublé.

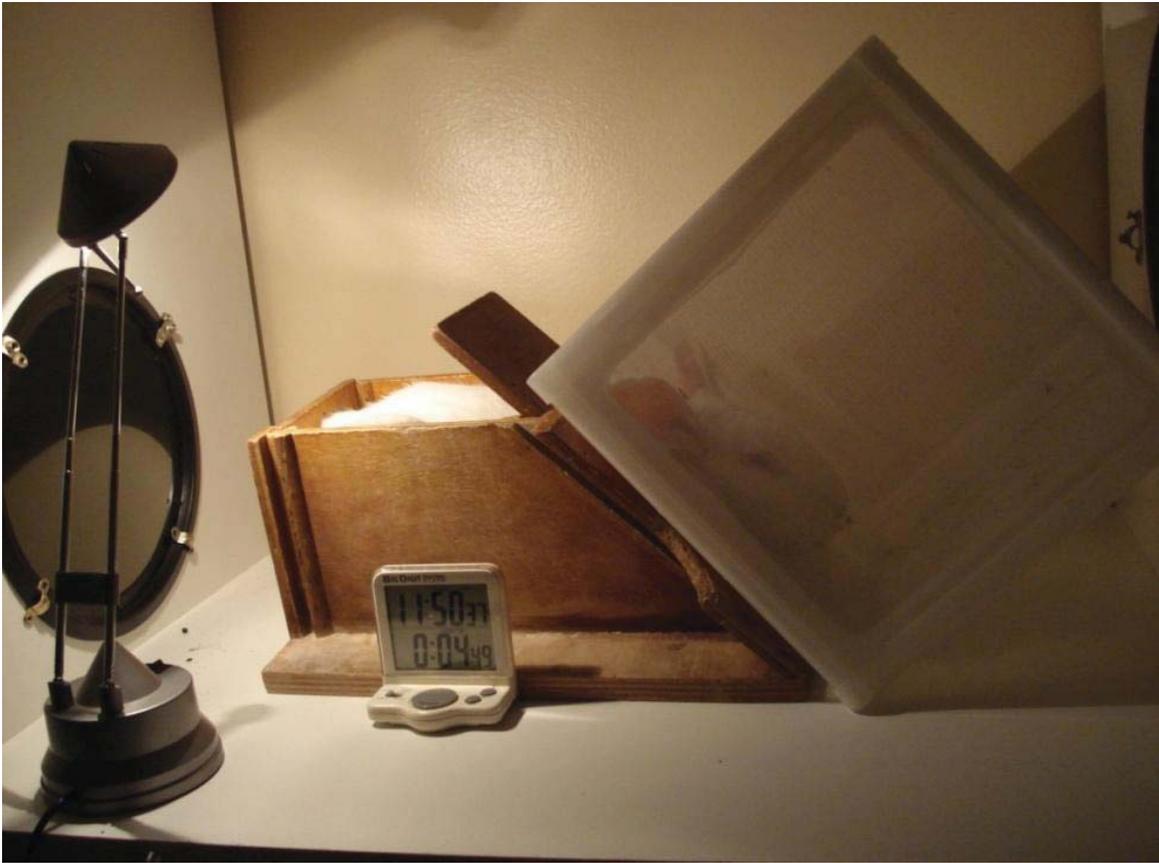


Photo 7 : Dispositif utilisé pour étudier l'influence de la température sur le temps de gorgement

### **III. Influence de la ventilation sur le taux de gorgement**

#### **III.1. But des essais**

La deuxième partie de nos essais consiste à observer l'influence d'une ventilation sur le gorgement des *Culex*. Nous faisons piquer 100 femelles sur un chien anesthésié pendant une durée d'une heure et les soumettons à un ventilateur, dont la vitesse est fixée et mesurée à l'aide d'un anémomètre. Nous faisons ainsi varier la température de 0 à 2,5 m/s. Le nombre de moustiques gorgés est relevé et comparé à celui d'un témoin non soumis à une ventilation.

#### **III.2. Liste du matériel utilisé**

Pour cette série d'essais, nous utilisons :

- Une cage d'infestation à 2 niveaux.
- Deux moustiquaires, une pour chaque niveau de la cage d'infestation.
- Un ventilateur branché sur un variateur afin de moduler sa vitesse. Il est placé face à un des deux niveaux afin de n'envoyer de l'air que sur celui-ci. Nous utilisons deux modèles : un petit ventilateur pour des vitesses jusqu'à 2 m/s, et un grand ventilateur, plus puissant mais beaucoup moins constant, pour les vitesses au-delà de 2 m/s.



Photos 8 et 9 : Les deux modèles de ventilateur utilisés reliés au variateur : le petit à gauche, le grand à droite.

- Un anémomètre à l'intérieur de la moustiquaire face au ventilateur. Il mesure la vitesse de l'air.



Photo 10 : Anémomètre fixé sur son support

- Des produits anesthésiques : le protocole est détaillé ci-dessous.
- Un tube d'aspiration relié à une pompe : cela permet de collecter les *Culex* à la fin de chaque essai et de comptabiliser le nombre de gorgés.



Photo 11 : Tube d'aspiration relié à une pompe

Concernant les animaux, nous utilisons toujours des femelles *Culex*. Nous en disposons 100 par niveau, soit 200 *Culex* par essai.

Cette fois-ci, ce sont des chiens qui sont utilisés pour les faire gorger. Nous plaçons un chien préalablement anesthésié par niveau, soit un total de 2 chiens par essai. Le premier est soumis à la ventilation, et le deuxième sert de témoin. Nos 6 chiens sont répartis en 3 couples, chaque animal étant tantôt témoin, tantôt testé avec la ventilation.

### III.3. Protocole anesthésique des chiens

Les 2 chiens participant à un essai doivent être anesthésiés afin de faciliter son déroulement : le but est d'obtenir une immobilisation des chiens pendant 1 heure afin d'éviter de perturber les *Culex* pendant leur repas sanguin, et que les chiens ne prennent peur et déchirent les moustiquaires. Il s'agit évidemment de conditions optimales car dans la nature, le repas sanguin des *Culex* est probablement perturbé par le mouvement des chiens. Cependant, étant donné que les moustiques piquent en général au crépuscule, les animaux sont souvent allongés ou au repos.

Le protocole employé est le même quel que soit l'animal, seules les doses varient et sont adaptées au poids :

- Pour la prémédication : nous utilisons de la dexmédétomidine DEXDOMITOR<sup>®</sup> à la dose de 20 µg/kg en IM.
- Pour l'induction : nous utilisons de la kétamine CLORKETAM<sup>®</sup> 1000 à la dose de 5 mg/kg en IM.
- Pour faciliter la myorelaxation, nous ajoutons aussi du diazepam VALIUM<sup>®</sup> ROCHE 10 mg/2 mL à la dose de 0,5 mg/kg en IM quelques minutes après l'injection de kétamine. Cette étape est importante pour éviter que les chiens ne déchirent les filets.

Afin de maintenir une anesthésie constante au cours de l'essai, les chiens montrant des signes de réveil reçoivent une injection supplémentaire de dexmédétomidine (10 µg/kg) mélangée à de la kétamine à la dose 2,5 mg/kg en IM.

### III.4. Local d'essai

Nous utilisons la même salle d'expérimentation que précédemment.

Cette fois-ci, tous les paramètres sont fixés. La température oscille entre 26 et 31°C, l'humidité entre 40 et 75% et la pièce est plongée dans l'obscurité grâce à l'extinction des lumières.

### III.5. Déroulement d'un essai

Deux jours avant un essai, 200 femelles *Culex* sont collectées : 100 sont placées dans une des deux moustiquaires, et les 100 restantes dans l'autre. Nous les mettons à jeun 48h avant l'exposition des insectes aux chiens.

Avant de démarrer, il est nécessaire de régler le ventilateur à l'aide du variateur et de choisir la vitesse désirée dont nous avons la valeur grâce à l'anémomètre.

La préparation terminée, les 2 chiens sont anesthésiés à l'aide du protocole décrit ci-dessus, puis introduits successivement dans les moustiquaires. Il est à noter que pour la vitesse de 2,5 m/s, nous avons placé les chiens dans 2 cages d'infestation distinctes et éloignées l'une de l'autre, afin que l'importante quantité d'air produite par le grand ventilateur n'inhibe pas les *Culex* témoins.

L'un des chiens est placé dans le rayon de projection du ventilateur, l'anémomètre étant contre l'animal afin de vérifier exactement la vitesse d'air qu'il reçoit. Cette vitesse n'étant pas constante au cours du temps, les valeurs lues sur l'anémomètre sont relevées toutes les 5 minutes afin d'établir une moyenne. L'autre chien sert de témoin et est placé sur l'autre niveau de la cage d'infestation, à l'abri du ventilateur. L'anesthésie des chiens est surveillée pendant tout l'essai.

Au bout de 60 minutes +/- 5 minutes, les 2 chiens sont sortis des moustiquaires et placés dans une salle de réveil. Les *Culex* sont aspirés à l'aide du tube collecteur relié à la pompe. Nous notons le nombre exact de moustiques gorgés par moustiquaire, et les résultats sont comparés

au nombre de moustiques gorgés chez le chien témoin, afin de voir si les différences que nous obtenons sont significatives ou non.



Photo 12 : Dispositif utilisé pour étudier l'influence de la ventilation

# **TROISIEME PARTIE : PRESENTATION DES**

## **RESULTATS ET ANALYSE**

### **I. Observation du comportement alimentaire**

Le chronométrage du temps de gorgement des *Culex* sur oreilles de lapin a permis l'observation de leur comportement alimentaire. Les essais sur l'influence de la ventilation ont eux contribué à l'étude des zones de piqûre sur chiens.

La première étape consiste à n'utiliser que des femelles âgées d'au moins 2 semaines, le jeune imago étant trop immature pour se gorger correctement. Au cours des essais nous avons confirmé ce qui avait déjà été observé par les techniciennes de l'animalerie du service de parasitologie : le comportement d'insecte piqueur hématophage augmente avec l'âge.

Afin de les inciter à piquer, il est nécessaire de les mettre à jeun 2 jours avant la présentation de l'animal sur lequel ils pourront se gorger. Dans le cas contraire, seul un nombre réduit de femelles se gorgera.

Si ces consignes sont bien respectées, les *Culex* se précipitent en quelques minutes sur l'hôte dès qu'ils sont mis en contact. Par contre, il leur faut généralement plusieurs tentatives de piqûre pour trouver la zone qui leur convient le mieux. Ce phénomène est plus ou moins rapide selon l'individu et peut prendre quelques secondes à plusieurs minutes.

Concernant les zones de piqûre, nous avons remarqué que les *Culex* se gorgeaient préférentiellement sur des zones glabres ou à poils courts, et à peau fine : la face intérieure des oreilles, le contour des yeux, les babines, l'abdomen, et à un degré moindre les parties distales des membres.

Une fois le repas sanguin terminé, les femelles adoptent 2 types de comportement : soit elles quittent directement la zone de piqûre en s'envolant, soit elles restent sur place et ne s'en vont qu'après un stimulus (autre *Culex* qui s'approche, mouvement de la part de l'hôte).



Photo 13 : *Culex* en train de se gorger au niveau du museau d'un chien. Leurs abdomens sont remplis de sang.

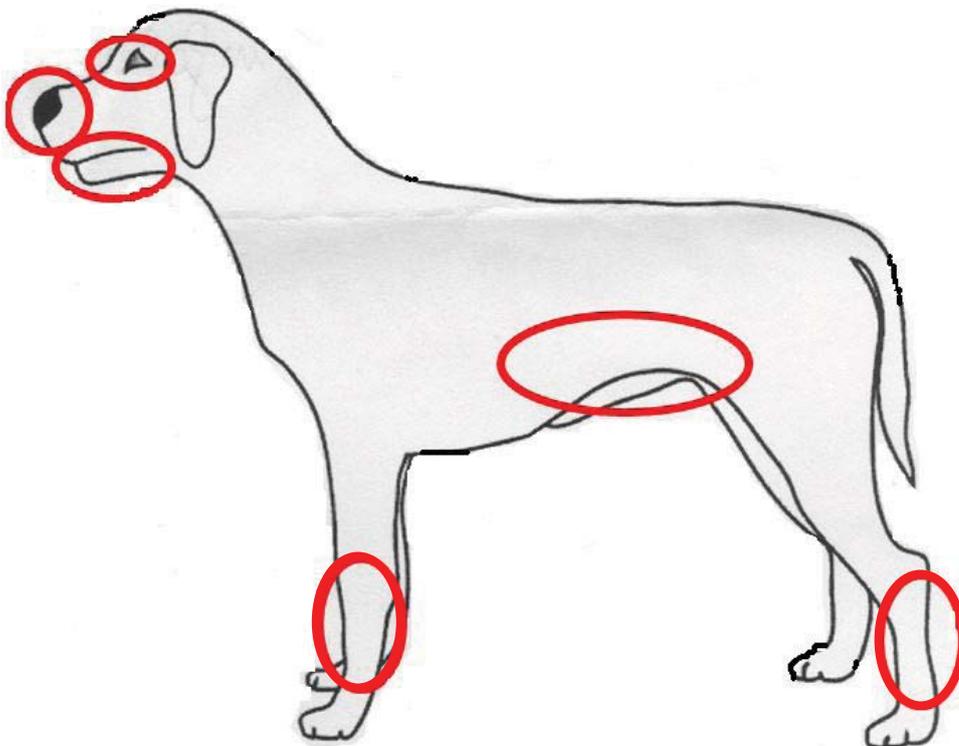


Figure 10 : Zones de piqûres préférentielles de *Culex pipiens pipiens* (vue de profil)

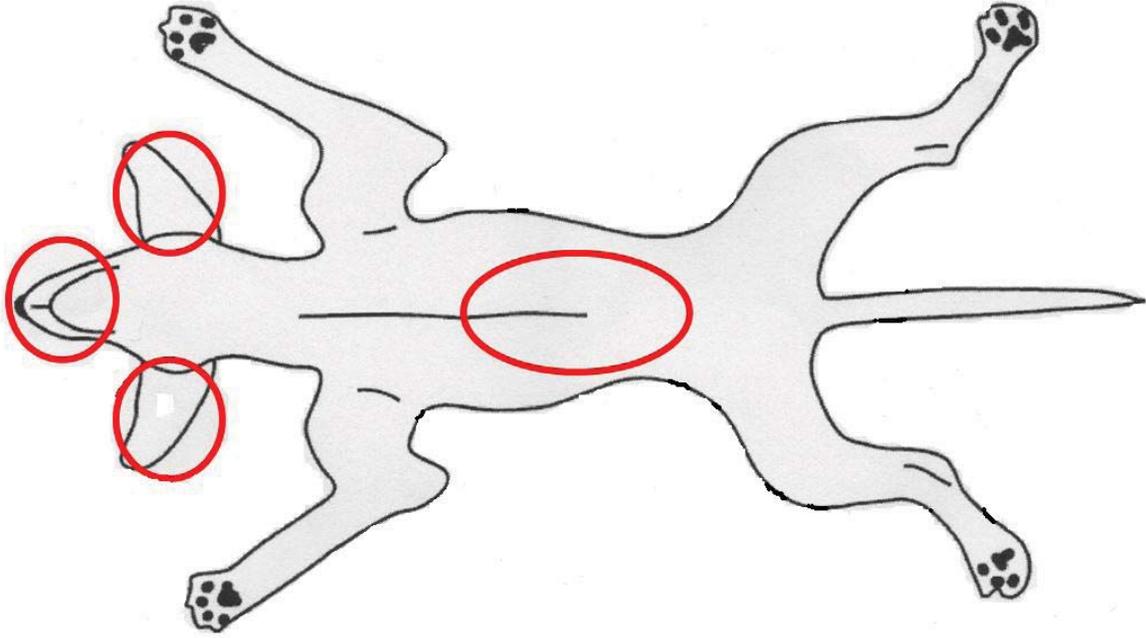


Figure 11 : Zones de piqûres préférentielles de *Culex pipiens pipiens* (vue ventrale)

## II. Influence de la température sur le temps de gorgement

### II.1. Résultats

Dans le premier tableau ci-dessous sont présentés les moyennes et les écarts-types des valeurs relevées au cours de notre première série d'essais. Les valeurs individuelles des résultats sont présentées dans l'annexe 1.

Paramètre	T=25°C	T=26°C	T=27°C	T=28°C	T=29°C	T=30°C
Moyenne	05'26'' (39 valeurs)	06'00'' (10 valeurs)	05'54'' (21 valeurs)	06'31'' (17 valeurs)	06'07'' (13 valeurs)	04'13'' (12 valeurs)
Ecart-type	01'45''	02'40''	03'45''	03'06''	02'50''	02'06''

Tableau 2 : Durées moyennes du repas sanguin de *Culex pipiens pipiens* effectué sur oreilles de lapin en fonction de la température

Moyenne totale	Ecart-type moyen
05'42''	02'42''

Tableau 3 : Moyenne des temps de gorgement de *Culex pipiens pipiens* sur oreilles de lapin entre 25 et 30°C

Si nous faisons la moyenne de tous les temps de gorgement obtenus, quelle que soit la température, nous obtenons une durée de 05 min 42 s, et un écart-type moyen de 02 min 42 s.

### II.2. Analyse descriptive

Si l'on s'intéresse aux moyennes, on remarque qu'elles sont sensiblement identiques et comprises entre 5'30'' et 6'30'' pour des températures de 25 à 29°C. Seule la moyenne à 30°C est plus faible que les autres avec une valeur de 04'13''.

On pourrait à priori penser que la température n'a pas d'influence sur le repas sanguin, sauf à partir de 30°C où elle induirait une accélération de ce repas.

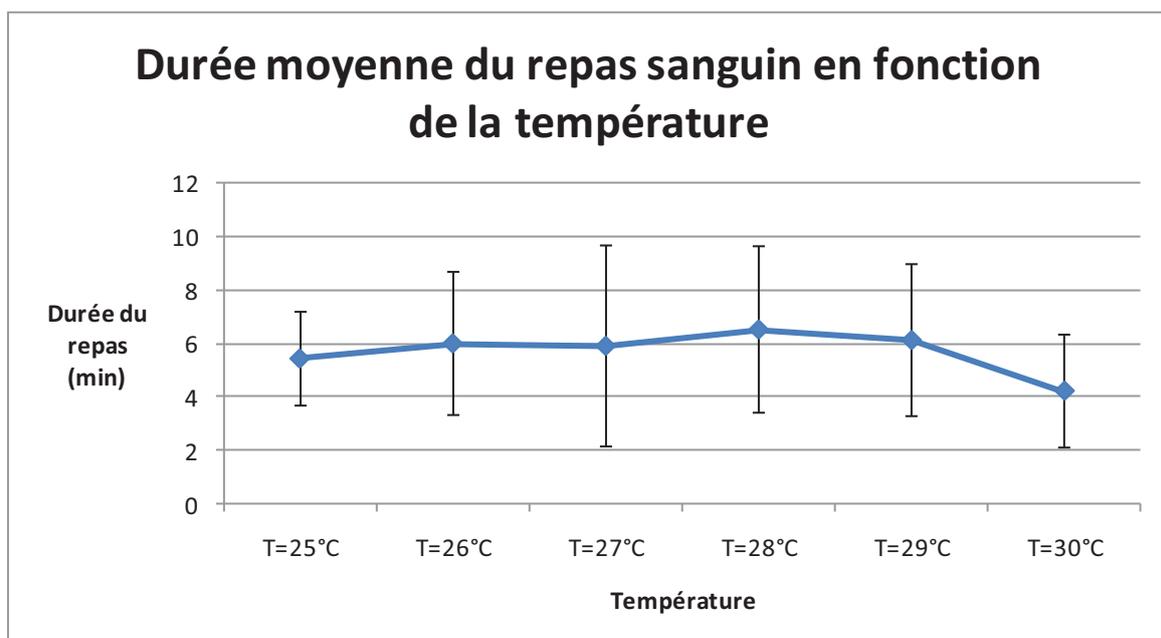
En ce qui concerne les écarts-types, on remarque immédiatement qu'ils sont assez hétérogènes. Le fait qu'ils soient élevés quelle que soit la température montre tout de même que les temps de gorgement ne sont pas toujours homogènes et se répartissent sur des durées assez importantes.

### II.3. Analyse statistique

Afin de déterminer l'existence ou non d'une différence significative entre les différentes moyennes observées, nous avons utilisé le logiciel de statistiques R<sup>®</sup> (<http://www.r-project.org/>).

Une table d'Anova à un facteur a révélé un p supérieur à 5%, ce qui nous permet de conclure de manière certaine que la température n'a pas d'influence sur les temps de gorgement. Ce résultat s'explique en partie par les trop grands écarts-types relevés, et par le fait que nous utilisons des moustiques différents à chaque valeur relevée. Il est cependant impossible d'utiliser un même moustique pour la totalité des essais.

A partir de tous les éléments précédemment cités, nous avons réalisé le graphe suivant, qui résume les résultats de notre première série d'essais :

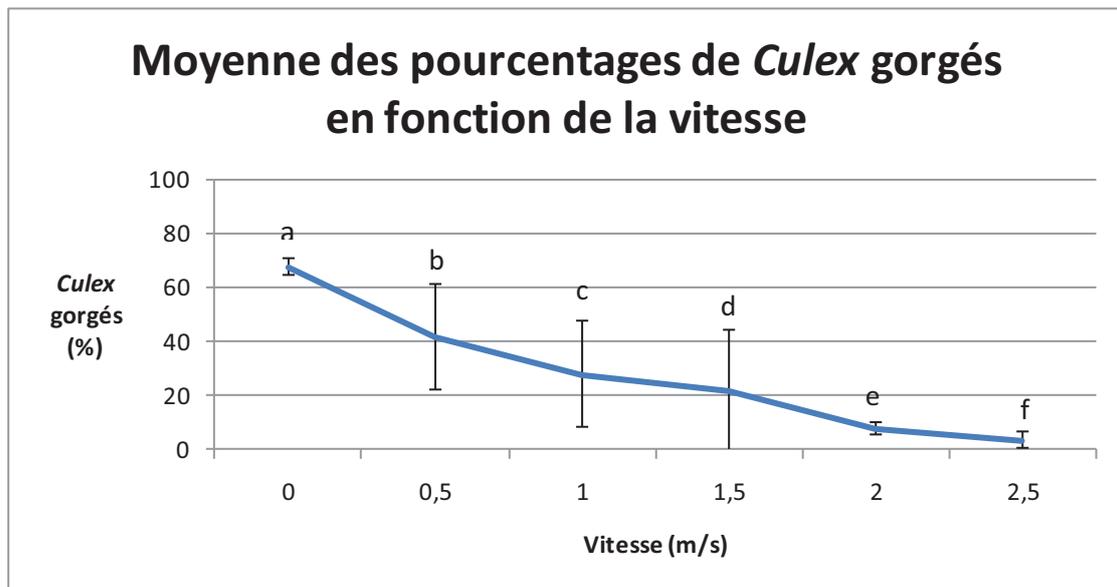


Graph 1 : Valeurs moyennes des temps de gorgement de *Culex pipiens pipiens* sur oreilles de lapin en fonction de la température. Pas de différence significative.

### III. Influence de la ventilation sur le taux de gorgement

#### III.1. Résultats

Afin de comparer les valeurs relevées au cours de notre deuxième série d'essais (mentionnées dans l'annexe 3), nous avons réalisé un graphe représentant le pourcentage de *Culex* gorgés en fonction de la vitesse de ventilation.



Graph 2 : Pourcentages moyens de *Culex* gorgés en fonction de la vitesse de ventilation ( $p = 2,2 * 10^{-16}$ ).

Pas de différence significative entre b et c, entre c et d, entre d et e, entre e et f.

Ce graphe a été établi à partir des moyennes des résultats obtenus pour les 6 chiens. Il montre une relation quasi-linéaire décroissante entre le pourcentage de *Culex* gorgés et la vitesse de ventilation. Cependant, les écarts-types restent très élevés, notamment à 0,5 m/s, à 1 m/s et à 1,5 m/s où ils valent environ 20 %. Ils sont par contre très faibles pour 0 m/s, pour 2 m/s et pour 2,5 m/s.

Les *Culex* réagissent donc de la même manière lorsqu'ils ne sont soumis à aucune ventilation ou à des vitesses élevées (écarts-types très faibles), alors que leur réaction est très différente pour des vitesses intermédiaires (écarts-types de +/- 20%).

Nous avons également calculé pour chaque essai l'effet anti-gorgement. C'est un pourcentage qui permet d'objectiver et de quantifier l'effet de la ventilation sur le gorgement des *Culex*. Il est calculé de la manière suivante :

$$\text{Effet anti-gorgement} = [(Te - Tr)/Te]*100$$

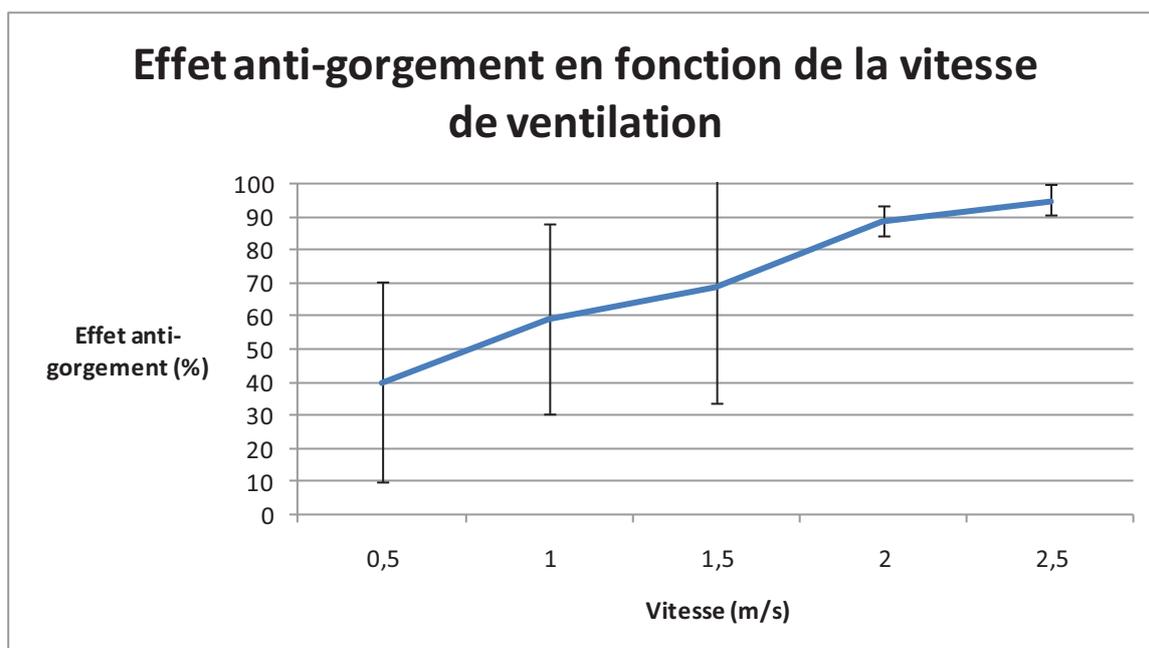
Avec Te : Pourcentage de *Culex* gorgés chez le témoin

Tr : Pourcentage de *Culex* gorgés chez le chien soumis à la ventilation

Chien	Vitesse				
	0,5 m/s	1 m/s	1,5 m/s	2 m/s	2,5 m/s
HO6 032	0%	13,3%	0 %	88,4%	89,3%
H1F 091	19,2%	91,6%	92,4%	80,0%	90,3%
HOI 121	89,1%	81,6%	89,0%	88,9%	98,4%
H1G 005	50,5%	43,6%	83,7%	92,9%	98,1%
H1G 010	38,4%	71,5%	83,3%	91,8%	100%
H1G 012	41,3%	51,0%	62,4%	88,3%	92,6%

Tableau 4 : Effet anti-gorgement en fonction du chien et de la vitesse

A partir des données du tableau 4, nous avons établi un graphe présentant les variations de l'effet anti-gorgement selon la vitesse de ventilation. La relation observée est de type linéaire croissante. Les écarts-types sont très importants pour des vitesses faibles (de 0,5 à 1,5 m/s) et faibles pour des vitesses élevées (à partir de 2 m/s).



Graphe 3 : Effet anti-gorgement en fonction de la ventilation. Pas de différence significative.

### III.2. Analyse descriptive

Les valeurs négatives de l'effet anti-gorgement sont considérées comme nulles, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de différence de gorgement entre le chien recevant la ventilation et le témoin.

Le premier élément que l'on remarque est la disparité des valeurs obtenues. Les *Culex* réagissent différemment selon le chien présenté et l'effet anti-gorgement peut ainsi varier d'un facteur 90 pour une même vitesse, alors que les conditions réunies sont pourtant semblables.

Si nous analysons le tableau en fonction de la vitesse, nous remarquons que :

- A 0,5 m/s, les valeurs sont hétérogènes. L'effet anti-gorgement est de 40 et 50% pour 3 chiens. Il est aux alentours de 20% pour un chien, alors qu'il est de quasiment 90% pour un autre chien. Pour le dernier chien, l'effet anti-gorgement est nul.
- A 1 m/s, les valeurs sont encore plus hétérogènes, et s'étendent de 40 à 90% pour 5 chiens. Pour le dernier, l'effet anti-gorgement reste très faible (13%).
- A 1,5 m/s, les valeurs commencent à s'harmoniser : 4 sont comprises entre 80 et 90%, une est à 60%, et la dernière est nulle.
- A 2 m/s, les valeurs sont toutes homogènes et proches de 90%.
- A 2,5 m/s, elles restent homogènes et élevées, et nous avons même obtenu un effet anti-gorgement de 100%, ce qui signifie qu'aucun *Culex* ne s'est gorgé.

On peut noter que l'effet anti-gorgement est maximal vers 90-100%. Nous n'avons d'ailleurs obtenu qu'une seule valeur de 100%, ce qui montre que très souvent quelques *Culex* arrivent à se gorger malgré une ventilation très forte.

Si nous analysons maintenant ce tableau selon les chiens, nous constatons que l'inhibition de la piqûre apparaît à des vitesses plus ou moins fortes :

- Elle est maximale dès 0,5 m/s pour le chien HOI 121.
- Elle augmente progressivement avec la vitesse de ventilation pour les chiens H1 G 005, H1 G 010 et H1 G 012.
- Elle passe d'une valeur faible à une très forte pour H1 F 091 dès 1 m/s.
- Elle est très faible à nulle jusqu'à 2 m/s pour HO6 032, puis devient maximale au-delà.

Nous obtenons ainsi 4 profils de réponse. Il est intéressant de constater que le sexe de l'animal n'a pas d'incidence sur les résultats.

### III.3. Analyse statistique

Comme dans la partie II.3, nous avons réalisé une table d'Anova à un facteur à l'aide du logiciel R<sup>®</sup>, et avons comparé un à un les pourcentages de *Culex* gorgés pour chaque valeur de ventilation. Nous avons obtenu un  $p = 2,2 \cdot 10^{-16}$ . Nous pouvons donc conclure qu'il existe bel et bien une différence significative.

Afin de la préciser, nous avons réalisé un test de comparaison multiple, qui explique si les différents résultats entre 2 valeurs de ventilation sont significatifs. Il en ressort qu'il n'existe pas de différence significative pour les résultats :

- Entre 0,5 et 1 m/s.
- Entre 1 et 1,5 m/s.
- Entre 1,5 et 2 m/s.
- Entre 2 et 2,5 m/s.

Nous ne pouvons donc pas conclure sur une différence de gorgement des *Culex* entre 2 valeurs de ventilation trop proches (écart inférieur à 0,5 m/s). Par contre cette différence est réelle pour un écart d'au moins 1 m/s, et la ventilation a bien une influence sur le repas sanguin du *Culex*.

De la même manière, le logiciel R<sup>®</sup> a montré qu'il n'existe pas de différence significative entre les différents résultats d'effet anti-gorgement ( $p > 0,05$ ). Cela est d'autant plus étrange que l'effet anti-gorgement a été calculé à partir des pourcentages de gorgement entre lesquels il existe une différence significative. Ce phénomène s'explique par l'existence de 2 valeurs nulles qui causent des écarts-types trop importants.

Si nous excluons ces 2 valeurs pour les calculs, nous obtenons un  $p = 0,008614$ . Le test de comparaison multiple montre alors qu'il existe une différence significative entre :

- L'effet anti-gorgement à 0,5 et à 2 m/s.
- L'effet anti-gorgement à 0,5 et à 2,5 m/s.

## IV. Discussion

De nombreuses études ont été consacrées à *Culex pipiens pipiens*, mais la plupart portaient sur la transmission d'agents pathogènes. Très peu traitaient de sa biologie, et notamment de son repas sanguin. Cette étude nous a permis de caractériser plus précisément cette étape indispensable et très importante de son cycle.

Nous avons mesuré la durée du repas sanguin, qui est de 5 min 42 +/- 2 min 42, dans une gamme de température comprise entre 25 et 30°C. Les données bibliographiques mentionnaient une durée de 2 à 5 minutes, avec un maximum de 20 minutes, mais les températures auxquelles ont été relevées ces valeurs ne sont pas mentionnées.

Durant nos essais, les *Culex* ont été maintenus en cage d'élevage de forme cubique de 30 cm de côté. Les données bibliographiques rapportent qu'ils ne peuvent s'accoupler que dans de larges espaces au cours du vol. Nous avons constaté qu'ils peuvent également se reproduire dans de petits espaces.

Entre 25 et 30°C, la température n'a pas d'incidence sur la durée du repas sanguin. Bien que nous ayons observé une durée plus réduite à 30°C, nous n'avons pas démontré de différence significative avec les autres résultats. Il serait intéressant de réaliser les mêmes essais à des températures plus faibles et plus élevées.

En ce qui concerne l'influence de la ventilation sur le taux de gorgement, les *Culex* réagissent très différemment en dessous de 2 m/s selon le chien. L'effet anti-gorgement est plus ou moins fort et plus ou moins précoce. Il est de 80 à 90% à de 2 m/s, et atteint 89 à 100% à 2,5 m/s. Il est très difficile d'atteindre de manière systématique une valeur de 100%, car quelques *Culex* arrivent presque toujours à se gorger malgré la ventilation. En effet, sur un chien couché il y a toujours des zones abritées.

Cette dernière information peut revêtir un réel intérêt dans la lutte contre les moustiques, aussi bien dans les pays tropicaux où ils sont très nombreux, que dans nos pays tempérés. La ventilation représente une méthode non chimique, peu chère et qui plus est non soumise au développement de résistances comme on en trouve de plus en plus.

Nous avons établi qu'une vitesse de 2 m/s était suffisante pour se protéger presque entièrement des piqûres de *Culex pipiens pipiens*. Cependant, un ventilateur à pleine puissance placé à proximité, même s'il prévient les piqûres de moustiques, peut se révéler très dérangeant, et il faut également que sa puissance soit suffisante : par exemple, un climatiseur DAIKIN FTXS50G2V1B ne peut produire qu'une vitesse de 0,72 m/s [8]. A contrario, un climatiseur TOSHIBA RAV-SM1404UT-E peut aller jusqu'à 2,18 m/s (vitesses calculées à partir des données constructeurs) [27]. Ces valeurs sont relevées directement à la sortie du climatiseur, elles sont donc plus faibles lorsqu'on s'en éloigne.

De plus, il ne faut pas oublier que pour que la protection soit efficace, il faut que le corps entier de la personne soit soumis au rayon de projection du ventilateur, ce qui se révèle plus problématique.

En ce qui concerne les points faibles de notre étude, le nombre très différent de valeurs relevées au cours des essais sur l'influence de la température peut sembler dérangeant. Comme nous l'avons expliqué dans les paragraphes précédents, les *Culex* refusaient de piquer si nous les mettions un par un dans la cage en présence du lapin. Nous avons cependant constaté un effet de masse, c'est-à-dire que les *Culex* se gorgeaient plus facilement en étant nombreux dans la cage, et avons donc décidé de placer une trentaine de femelles par cage 48h avant chaque essai. Malgré tout, relever un nombre égal de valeur à chaque température est très difficile car les *Culex* se précipitent sur le lapin aussitôt qu'ils sont mis en contact. Nous n'avons cependant pas trouvé de meilleur protocole. Les graphes tracés sont donc à analyser avec précaution car plus le nombre de valeurs relevées est faible, moins le graphe sera le reflet de la réalité.

Le second point concerne le nombre de chiens utilisés pour l'étude de la ventilation. Nous en avons choisi 6. Cela peut sembler peu, mais il aurait été difficile d'en inclure plus dans notre étude car cette série d'essais a duré 12 mois. Plusieurs éléments l'expliquent :

- Il n'est pas concevable d'anesthésier les chiens trop régulièrement, car une anesthésie reste un acte à entreprendre avec précaution. De plus, au sein de chaque couple, les chiens ont tantôt été utilisés comme témoins, tantôt été soumis à la ventilation. Il était donc nécessaire de ne pas les anesthésier trop fréquemment.

- La durée de l'élevage des *Culex* (1 mois minimum pour obtenir un adulte apte à se gorger) est aussi à prendre en compte.
- De plus, nous n'avons jamais utilisé des *Culex* ayant déjà participé à un essai, même ceux qui ne s'étaient pas gorgés. Cela diminue considérablement le nombre de moustiques disponibles.

Ces 6 chiens ont présenté 4 profils de réponse différents. Peut être en aurions-nous obtenus plus si leur nombre avait été supérieur.

La variabilité des résultats lors des essais sur l'influence de la ventilation est un autre point à souligner. Il nous est fréquemment arrivé de devoir recommencer certains essais car les valeurs des témoins ne pouvaient être conservées : une valeur témoin est d'au moins 50% de *Culex* gorgés sur 100 femelles étudiées. Nous avons ainsi observé que le pourcentage de femelles gorgées pouvait varier de plus ou moins 5%. Lorsque nous lisons un résultat, il faut garder à l'esprit que ce n'est qu'une unique valeur, et non une moyenne. La reproductibilité des résultats dépend notamment de paramètres sur lesquels nous n'avons aucune influence, à savoir la pression atmosphérique et la taille des adultes. Il aurait été intéressant de répéter les essais afin d'obtenir des moyennes et des écarts-types pour toutes les vitesses et pas seulement pour  $V_0$ , mais pour les raisons invoquées précédemment, cela aurait été trop long.

Enfin, nous pouvons nous interroger sur le rôle de l'humidité. Nous avons essayé de la maintenir constante mais elle a oscillé entre 50 et 70%. Cela reste dans une gamme favorisant la piqûre des *Culex*, c'est pourquoi nous avons négligé son influence. Mais nous pouvons nous demander si, même au sein de cette gamme, elle joue un rôle sur le comportement de piqûre. Il en va de même pour la température au cours des essais sur l'influence de la ventilation. Il faut aussi mentionner le fait que les cages d'infestation sont situées l'une sur l'autre et qu'il existe une différence de température de 1 à 2°C entre les 2 niveaux.

Pour conclure cette discussion, nous tenions à aborder plusieurs idées qui nous ont marqué au cours de cette étude.

La durée d'un cycle de développement de *Culex pipiens pipiens* est un facteur limitant de notre étude. Une fois les femelles gorgées, il faut environ 2 semaines pour qu'un cycle complet se déroule. Il faut cependant attendre 2 semaines supplémentaires pour que le comportement de piqûre soit bien assimilé, les jeunes *Culex* refusant parfois de piquer. Les

possibilités de production sont donc limitées, et une fois toutes les femelles utilisées, il faut attendre le cycle suivant 1 mois plus tard pour continuer les essais.

Le réglage des ventilateurs a été le deuxième point problématique de notre étude. Ces appareils ne projettent pas une quantité de vent fixe au cours du temps, d'où le relevé régulier toutes les 5 minutes des valeurs de l'anémomètre. Il est de plus assez difficile de fixer leur vitesse : un mouvement de quelques millimètres suffit à modifier la valeur détectée. Le ventilateur et l'anémomètre étaient systématiquement placés dans la même position et seul le variateur de puissance était utilisé afin d'obtenir les vitesses les plus stables possibles.



## Conclusion :

La lutte contre les moustiques revêt actuellement une réelle importance, aussi bien dans les pays tempérés que dans les pays tropicaux. Elle concerne notamment *Culex pipiens pipiens*, très fréquemment rencontré.

Notre étude, centrée autour du repas sanguin du *Culex*, a permis dans un premier temps de déterminer que sa durée moyenne de gorgement est de 5 min 42 +/- 2 min 42 pour des températures comprises entre 25 et 30°C, et qu'une variation au sein de cette gamme de température n'a pas d'influence significative sur sa durée.

Dans un deuxième temps, nous avons étudié l'influence d'une ventilation sur le repas sanguin, et sommes arrivés à la conclusion qu'une vitesse d'au moins 2,5 m/s entraîne un effet anti-gorgement compris entre 90 et 100%. Il est tout de même fréquent que quelques *Culex* arrivent malgré tout à se gorger.

Ainsi, une ventilation de 2,5 m/s peut protéger quasi intégralement des piqûres de moustiques. Cependant, le corps doit être placé dans son intégralité dans le rayon de projection du ventilateur. En pratique, lors de journées de fortes chaleurs, il est possible de tolérer un ventilateur à pleine puissance, sous réserve qu'elle soit suffisante, et d'obtenir une protection efficace, même si elle ne sera pas totale. Par contre, il semble peu envisageable d'utiliser cette méthode de protection au cours du sommeil à cause du brassage très important de l'air et du bruit qui l'accompagne.

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

**En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire**

Je soussigné, **Michel FRANC**, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Pierre RESSEGUIER** intitulée « *Contribution à l'étude du repas sanguin de Culex pipiens pipiens* » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

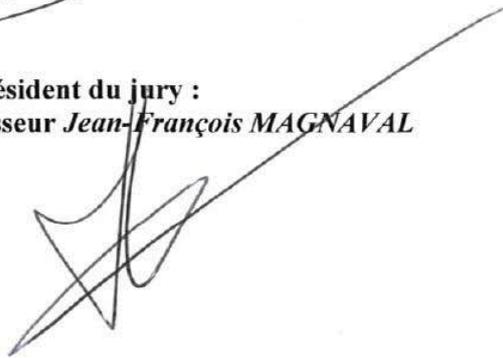
Fait à Toulouse, le 6 juillet 2011  
Professeur **Michel FRANC**  
Enseignant chercheur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Vu :  
Le Directeur de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
Professeur **Alain MILON**



Vu :  
Le Président du jury :  
Professeur **Jean-François MAGNAVAL**

Vu et autorisation de l'impression :  
Le Président de l'Université  
**Paul Sabatier** 11 JUL. 2011  
Professeur **Gilles FOURTANIER**



Conformément à l'Arrêté du 20 avril 2007, article 6, la soutenance de la thèse ne peut être autorisée qu'après validation de l'année d'approfondissement.

# **ANNEXES**



## ANNEXE 1 :

Tableau 5 : Temps de gorgement sur oreilles de lapin obtenus en faisant varier la température

T=25°C	T=26°C	T=27°C	T=28°C	T=29°C	T=30°C
02'05''	03'02''	01'27''	02'39''	03'25''	01'56''
03'12''	03'10''	01'39''	03'17''	03'28''	02'05''
03'15''	03'27''	02'31''	03'27''	04'28''	02'48''
03'20''	04'49''	03'05''	03'39''	04'39''	02'51''
03'23''	05'01''	03'42''	04'08''	04'40''	03'23''
03'50''	06'18''	03'51''	04'50''	04'47''	03'25''
04'00''	07'11''	03'56''	05'13''	05'01''	03'51''
04'03''	07'34''	04'00''	05'30''	05'20''	04'25''
04'10''	07'52''	04'10''	05'46''	05'47''	04'30''
04'10''	11'34''	04'14''	06'15''	06'30''	05'02''
04'13''		04'15''	06'39''	07'50''	07'25''
04'21''		04'25''	07'30''	10'35''	08'58''
04'30''		04'30''	08'00''	13'05''	
04'44''		04'50''	08'30''		
04'44''		05'32''	09'20''		
04'53''		08'14''	09'57''		
05'00''		09'10''	15'10''		
05'01''		09'27''			
05'02''		12'58''			
05'04''		13'04''			
05'15''		14'00''			
05'15''					
05'24''					
05'34''					
05'37''					
05'42''					
05'54''					
06'15''					
06'24''					
06'35''					
06'44''					
06'45''					
06'49''					
07'37''					
07'40''					
08'20''					
08'22''					
09'27''					
09'54''					

Dans le tableau ci dessus, sont présentés les résultats obtenus au cours de notre série d'essais sur l'influence de la température. Les temps relevés sont classés par ordre croissant pour la

température testée. Les taux d'humidité ne sont pas mentionnés mais sont toujours compris entre 50 et 60%.

Seules deux valeurs ne sont pas inscrites dans le tableau, car les deux *Culex* correspondant se sont gorgés en plusieurs fois et ont donc été exclus du calcul :

- A 25°C, une femelle a mis 19'45'' en 4 fois successives.
- A 28°C, une autre a mis 34'10'' en 6 fois.

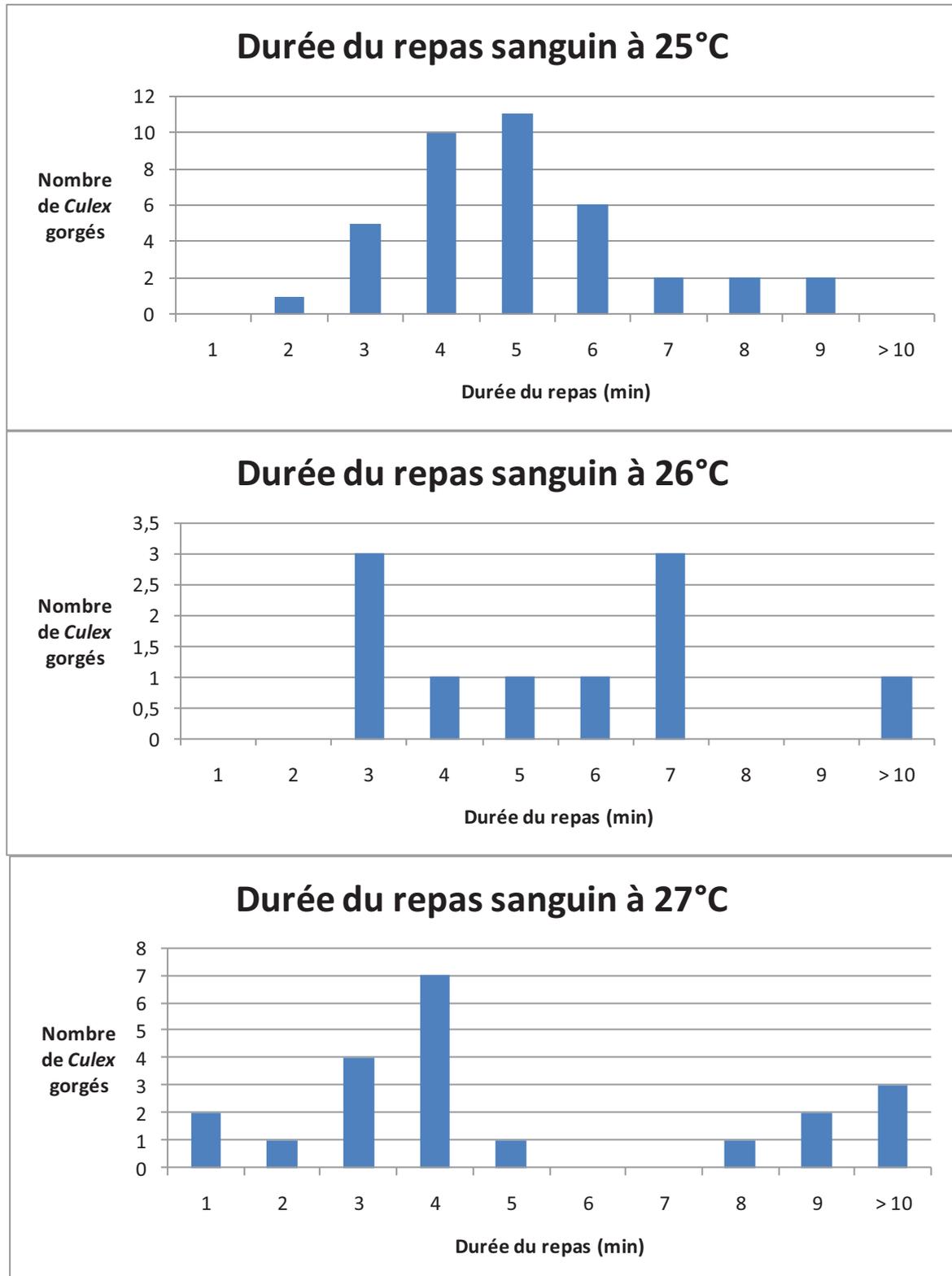
Nous avons préféré ne pas utiliser ces temps afin de ne pas obtenir des moyennes et des écarts-types aberrants. De plus, divisés par le nombre de repas sanguins pris par le *Culex*, nous retrouvons sensiblement les valeurs moyennes obtenues avec le reste des résultats.

Le premier élément que l'on remarque est que selon la température, le nombre de temps de gorgement relevés est très différent.

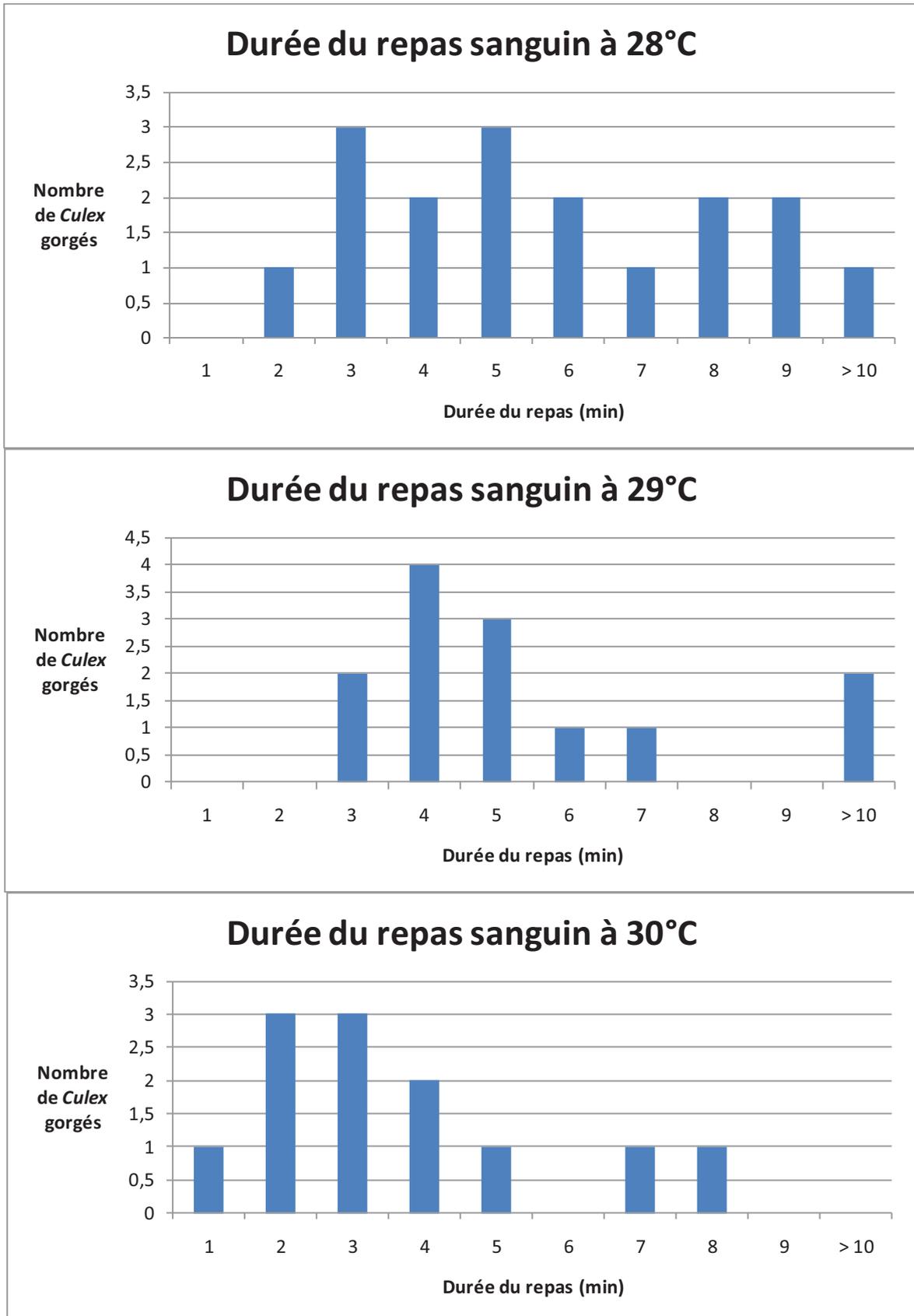
Au début de cette série d'essais, nous introduisons les *Culex* un par un dans la cage, ce qui s'est rapidement révélé impossible car les femelles refusaient de se gorger. C'est pour cela que nous avons peu de résultats à T=26°C. Lorsque nous avons changé de méthode et que nous avons mis les *Culex* en cage 2 jours à l'avance, nous avons obtenu de meilleurs résultats. L'observation des 30 moustiques en simultané étant cependant impossible, nous n'avons jamais obtenu un nombre égal de valeurs.

## ANNEXE 2 :

Graphes 4, 5 et 6 : Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=25°C, 26°C et 27°C)



Graphes 7, 8 et 9 : Durée moyenne du repas sanguin calculé sur oreilles de lapin en fonction de la température (T=28°C, 29°C et 30°C)



Les durées de repas sont très hétérogènes, c'est pourquoi nous avons souhaité les analyser sous forme d'histogrammes pour voir si leur répartition suit une courbe de Gauss.

La plupart des valeurs sont centrées autour de la moyenne, et on en trouve de moins en moins au fur et à mesure que l'on s'en éloigne. Cela est vrai pour les températures de 27°C, 28°C, 29°C et 30°C, et plus particulièrement à 25°C. L'allure des histogrammes se rapproche donc bien d'une courbe de Gauss.

On note tout de même qu'après la diminution autour de la moyenne, il existe un phénomène rebond situé après 8 minutes, plus ou moins marqué selon les graphes.

L'histogramme le plus représentatif et le plus proche de la réalité est certainement celui à 25°C : nous avons en effet utilisé 39 valeurs pour le réaliser, c'est l'échantillon le plus large que nous ayons obtenu. Pour ce qui est de l'histogramme à 26°C, l'allure ne rappelle en revanche pas celle d'une courbe de Gauss. Nous pouvons expliquer cela par le phénomène inverse, c'est-à-dire un faible nombre de valeurs obtenues à cette température (seulement 10). On remarque en effet que plus le nombre de valeurs récoltées est élevé, plus les courbes tracées sont proches de la courbe de Gauss.

### ANNEXE 3 : Résultats des essais de l'influence de la ventilation sur le taux de gorgement

Les résultats obtenus au cours de notre série d'essais sur l'influence de la ventilation sont répartis en 6 tableaux, chacun correspondant à un chien. Ce dernier est identifié dans la ligne « animal ». Les résultats du témoin, nommé sous la ligne « animal », sont mentionnés afin de comparer les pourcentages de *Culex* gorgés avec et sans ventilation. La température et l'humidité sont également retranscrites.

Chaque colonne correspond à un essai réalisé à une vitesse théorique fixée : V 0 correspond à une vitesse nulle, V 0,5 à une vitesse de 0,5 m/s, et ainsi de suite. Le ventilateur ne projetant pas une quantité de vent fixe au cours du temps, nous citons la vitesse réelle, moyenne des valeurs relevées au cours de l'essai, ainsi que les écarts-types.

Le pourcentage moyen de *Culex* gorgés pour une vitesse nulle a été calculé à partir des valeurs recueillies lorsque le chien est utilisé comme témoin. Nous remarquons qu'au sein d'un même couple, ces deux valeurs moyennes sont quasiment identiques, de même que les écarts-types. Cela montre que les 2 chiens attirent d'une façon semblable les *Culex*, et que nous pouvons comparer les résultats obtenus à ceux du témoin sans biais.

Tableau 6 : Pourcentage moyen de gorgement de *Culex pipiens pipiens* en fonction de la vitesse de ventilation pour le chien HO6 032

**Animal : HO6 032 (mâle)**

Témoin : H1F 091 (femelle)

Paramètre	Moyenne V 0	V 0,5	V 1	V 1,5	V 2	V 2,5
Vitesse réelle (m/s)	63,3 +/- 6,2	0,52 +/- 0,27	1,05 +/- 0,10	1,55 +/- 0,07	1,94 +/- 0,14	2,56 +/- 0,37
% de <i>Culex</i> gorgés		66,0	58,7	64,6	8,0	7,0
% de <i>Culex</i> gorgés (témoin)		61,0	67,7	58,6	69,0	65,3
Température (°C)		28	28	31	28	28
Humidité (%)		52	57	43	45	56

Tableaux 7, 8 et 9 : Pourcentage moyen de gorgement de *Culex pipiens pipiens* en fonction de la vitesse de ventilation pour les chiens H1F 091, HOI 121 et H1G 005

**Animal : H1F 091 (femelle)**

Témoin : HO6 032 (mâle)

Paramètre	Moyenne V 0	V 0,5	V 1	V 1,5	V 2	V 2,5
Vitesse réelle (m/s)	64,3 +/- 4,4	0,50 +/- 0,07	1,04 +/- 0,08	1,52 +/- 0,08	1,95 +/- 0,07	2,53 +/- 0,34
% de <i>Culex</i> gorgés		50,0	6,0	4,3	11,8	6,5
% de <i>Culex</i> gorgés (témoin)		61,9	71,6	56,5	59,0	67,3
Température (°C)		28	28	29	31	29
Humidité (%)		46	41	62	45	60

**Animal : HOI 121 (femelle)**

Témoin : H1G 005 (femelle)

Paramètre	Moyenne V 0	V 0,5	V 1	V 1,5	V 2	V 2,5
Vitesse réelle (m/s)	69,6 +/- 10,2	0,47 +/- 0,06	1,02 +/- 0,08	1,42 +/- 0,07	1,88 +/- 0,07	2,52 +/- 0,46
% de <i>Culex</i> gorgés		8,8	12,0	8,9	6,9	1,1
% de <i>Culex</i> gorgés (témoin)		81,0	65,3	80,8	62,0	67,4
Température (°C)		29	27	26	29	25
Humidité (%)		50	51	63	60	68

**Animal : H1G 005 (femelle)**

Témoin : HOI 121 (femelle)

Paramètre	Moyenne V 0	V 0,5	V 1	V 1,5	V 2	V 2,5
Vitesse réelle (m/s)	71,3 +/- 9,0	0,57 +/- 0,07	0,93 +/- 0,08	1,47 +/- 0,08	1,93 +/- 0,06	2,53 +/- 0,29
% de <i>Culex</i> gorgés		30,8	40,6	11,3	6,1	1,1
% de <i>Culex</i> gorgés (témoin)		62,2	72,0	69,3	85,4	59,2
Température (°C)		30	27	30	26	27
Humidité (%)		52	74	67	74	54

Tableaux 10 et 11 : Pourcentage moyen de gorgement de *Culex pipiens pipiens* en fonction de la vitesse de ventilation pour les chiens H1G 010 et H1G 012

**Animal : H1G 010 (mâle)**

Témoin : H1G 012 (mâle)

Paramètre	Moyenne V 0	V 0,5	V 1	V 1,5	V 2	V 2,5
Vitesse réelle (m/s)	68,3 +/- 9,1	0,54 +/- 0,08	1,03 +/- 0,06	1,45 +/- 0,06	1,97 +/- 0,07	2,57 +/- 0,27
% de <i>Culex</i> gorgés		45,9	18,7	10,9	5,3	0
% de <i>Culex</i> gorgés (témoin)		74,5	65,6	65,1	64,5	71,3
Température (°C)		29	27	27	27	25
Humidité (%)		55	64	45	57	58

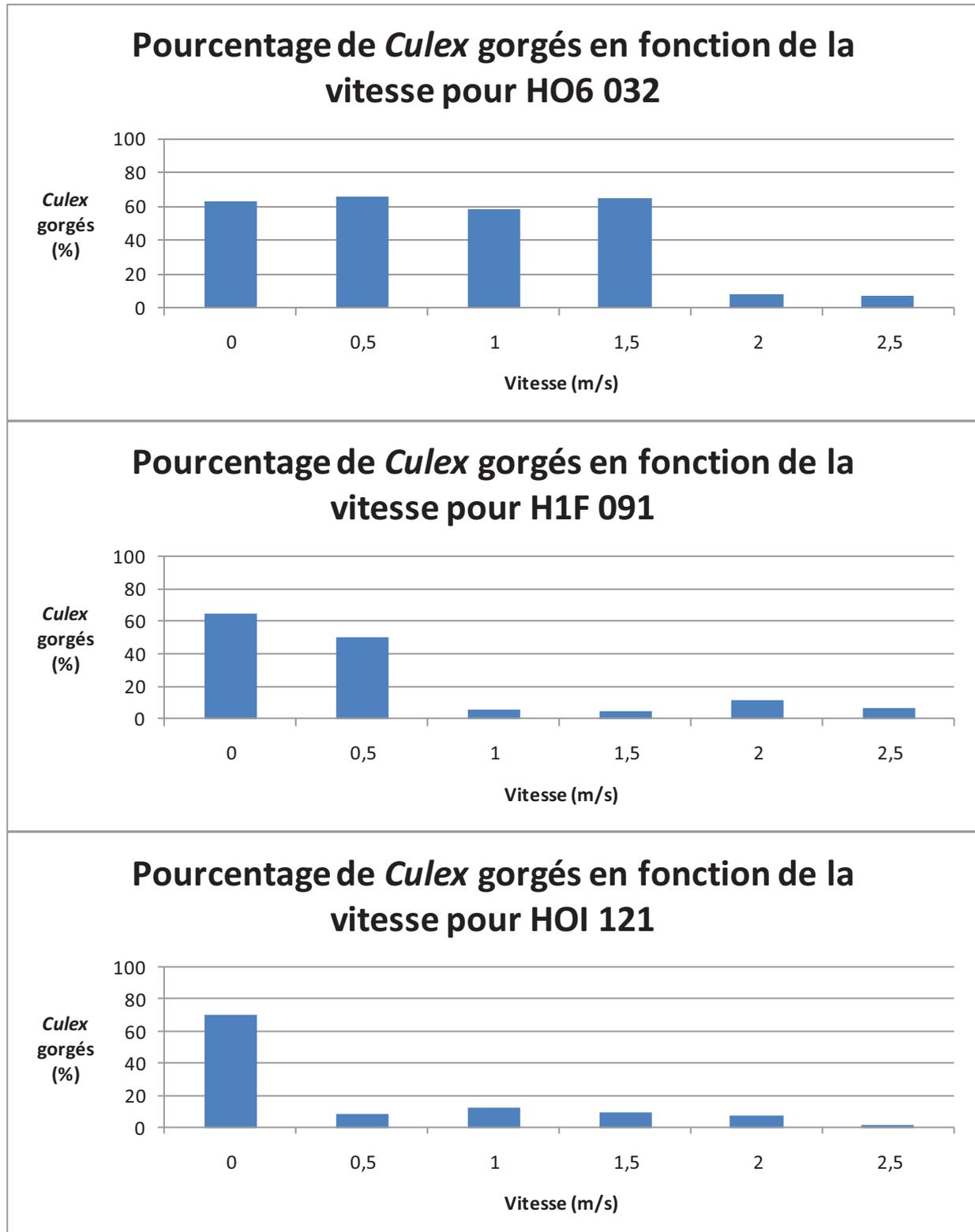
**Animal : H1G 012 (mâle)**

Témoin : H1G 010 (mâle)

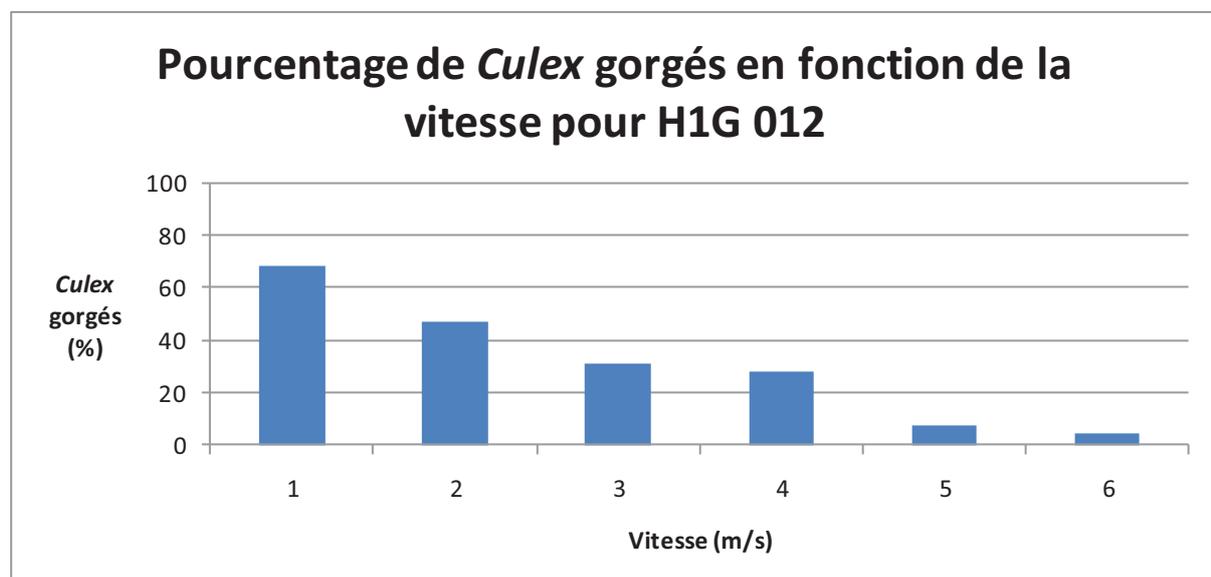
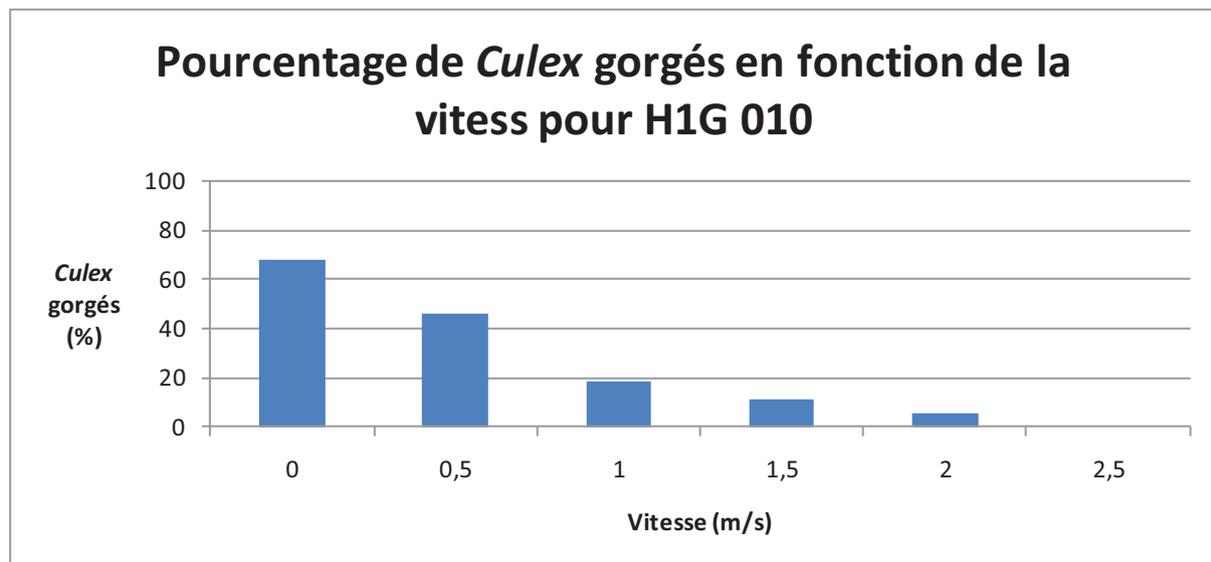
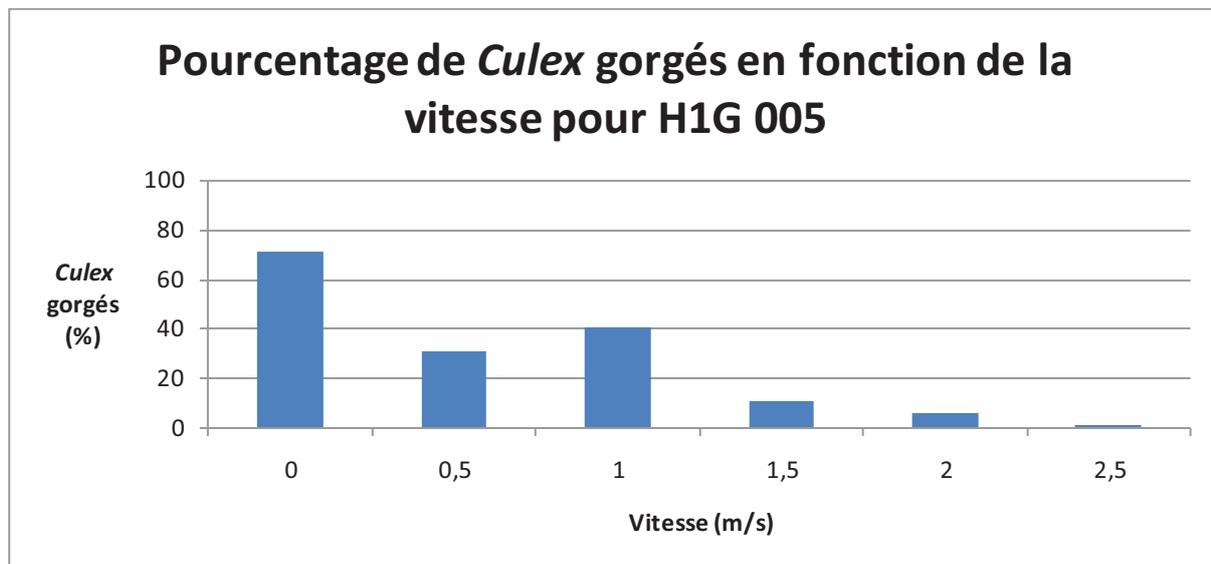
Paramètre	Moyenne V 0	V 0,5	V 1	V 1,5	V 2	V 2,5
Vitesse réelle (m/s)	68,2 +/- 4,5	0,55 +/- 0,06	1,01 +/- 0,09	1,50 +/- 0,08	1,91 +/- 0,08	2,48 +/- 0,23
% de <i>Culex</i> gorgés		47,4	30,7	28,3	7,3	4,5
% de <i>Culex</i> gorgés (témoin)		80,8	62,6	75,2	62,4	60,6
Température (°C)		26	27	26	30	26
Humidité (%)		52	55	74	59	61

## ANNEXE 4 :

Graphes 10, 11 et 12 : Pourcentage moyen de gorgement de *Culex pipiens pipiens* en fonction de la ventilation pour les chiens HO6 032, H1F 091 et HOI 121



Graphes 13, 14 et 15 : Pourcentage moyen de gorgement de *Culex pipiens pipiens* en fonction de la ventilation pour les chiens H1G 005, H1G 010 et H1G 012



Ces 6 graphes ont été établis pour chaque chien utilisé. Ils illustrent les observations effectuées dans le paragraphe III.2 de la troisième partie. Nous retrouvons bien les 4 profils de réponse :

- Pour H06 032, les *Culex* ne sont inhibés qu'à partir de 2 m/s.
- Pour H1F 091, l'inhibition est très faible avant 1 m/s et maximale au delà.
- Pour H0I 121, l'inhibition est nulle avant 0,5 m/s et maximale ensuite.
- Pour les H1G 005, H1G 010 et H1G 012, l'inhibition apparaît progressivement, de manière quasi-linéaire, pour devenir maximale à partir de 2 m/s.



## SOURCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] ANDERSON S. L., RICHARDS S. L., SMARTT C. T. (Page consultée le 16/09/2010). EDIS, University of Florida IFAS extension, [en ligne]. Adresse URL : <http://edis.ifas.ufl.edu/in811>

[2] ANDREO S.  
L'effet anti-gorgement sur chien d'un shampoing à 0,07% de deltaméthrine sur un moustique du complexe *Culex pipiens*.  
Th. : Med.Vet. : Toulouse, 2003 ; 128. 63 pp.

[3] CACHAREUL A.-I.  
Les moustiques : cycle de développement, aspects anatomo-physiologiques et régulation du cycle ovarien.  
Th. : Med.Vet. : Nantes, 1997 ; 024. 131 pp.

[4] CASTRIC C.  
Mise au point sur le diagnostic et le traitement de la dirofilariose cardiopulmonaire et de l'angiostrongylose canines.  
Th. : Med.Vet. : Alfort, 2002 ; 084. 81 pp.

[5] Centre canadien d'hygiène et de sécurité du travail. (Page consultée le 06/11/2009). CCHST, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.cchst.ca/oshanswers/diseases/westnile.html>

[6] Chemical and Biological Warfare Agents. (Page consultée le 09/11/2009). The CBWInfo, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.cbwinfo.com/Biological/Vectors/Culex.html>

[7] CHEN L., ZHONG D., ZHANG D., SHI L., ZHOU G., GONG M., ZHOU H., SUN Y., MA L., HE J., HONG S., ZHOU D., XIONG C., CHEN C., ZOU P., ZHU C., YAN G.  
Molecular ecology of pyrethroid knockdown resistance in *Culex pipiens pallens* mosquitoes. PLoS One [en ligne]. Juillet 2010 [cité le 16/09/2010]. Adresse URL : <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0011681>

[8] Daikin. (Page consultée le 06/06/2011). Daikin, le confort pour longtemps, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.daikin.fr/>

[9] Division de la Biologie des Vecteurs et de la Lutte antivectorielle de l'Organisation mondiale de la Santé.

Méthodes chimiques de lutte contre les arthropodes vecteurs et nuisibles importants en santé publique. Genève, 1988. 119 pp.

[10] DOHM D. J., O'GUINN M. L., TURELL M. J.

Effect of environmental temperature on the ability of *Culex pipiens* (Diptera : Culicidae) to transmit West Nile virus.

Journal of Medical Entomology, janvier 2002, 39, 221-225.

[11] Entente Interdépartementale pour la Démoustication du littoral méditerranéen. (Page consultée le 13/10/2010). EID Méditerranée, [en ligne].

Adresse URL : <http://www.eid-med.org/fr/moustique/moustiqbiologiecentre.htm>

[12] EUZEBY J.

Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire. Paris : Editions Tec&Doc, 2008. 818 pp.

[13] FARAJ C., ELKHOLI M., LYAGOUBI M.

Cycle gonotrophique de *Culex pipiens* (Diptera, Culicidae), vecteur potentiel du virus West Nile, au Maroc : estimation de la durée en laboratoire.

Bulletin de la Société de Pathologie Exotique, 2006, 99, 119-121.

[14] FREMONT F.

Les vecteurs de la dirofilariose canine dans le Var, étude bibliographique.

Th. : Med.Vet. : Toulouse, 1996 ; 003. 63pp.

[15] GEORGI J. R., GEORGI M. E., THEODORIDES V. J.

Parasitology for veterinarians. 5<sup>th</sup> edition. Philadelphie : W. B. Saunders Company, 1990. 412 pp.

[16] HAMER G. L., KITRON U. D., BRAUN J. D., LOSS S. R., RUIZ M. O., T. L. GOLDBERG, WALKER E. D.

*Culex pipiens* (Diptera : Culicidae) : a bridge vector of West Nile virus to humans.

Journal of Medical Entomology, janvier 2008, 45, 125-128.

[17] KETTLE D.S.

Medical and veterinary entomology, 2e edition. Wallingford : CAB International, 1995. 725 pp.

[18] MARM KILPATRICK A., MEOLA M. A., MOUDY R. M., KRAMER L. D.  
Temperature, viral genetics and the transmission of West Nile virus by *Culex pipiens* mosquitoes.

PLoS Pathogens [en ligne]. Juin 2008 [cité le 17/09/2010]. Adresse URL :

<http://www.plospathogens.org/article/info:doi%2F10.1371%2Fjournal.ppat.1000092>

[19] Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports. (Page consultée le 12/09/2010). Site du Ministère de la Santé, de la Jeunesse et des Sports, [en ligne]. Adresse URL :

<http://www.sante-sports.gouv.fr/en-pratique-comment-se-proteger-des-piqures-d-insectes-et-autres-arthropodes.html>

[20] MOULINIER C.

Parasitologie et mycologie médicales, éléments de morphologie et de biologie. Cachan : EM inter, 2003. 796 pp.

[21] PAZ S., ALBERSHEIM I.

Influence of warming tendency on *Culex pipiens* population abundance and on the probability of West Nile fever outbreaks.

EcoHealth, mars 2008, 5, 40-48.

[22] PETIT S., GOGNY M., MARTEL J-L., PELLERIN J-L., PINAULT L., POULIQUEN H., PUYT J-D., VANDAELE E.

Dictionnaire des Médicaments Vétérinaires 2009. 15<sup>ème</sup> édition.

Rueil-Malmaison : Editions du Point Vétérinaire, 2009. 1808 pp.

[23] RIPERT C.

Epidémiologie des maladies parasitaires, tome 2, helminthoses. Cachan : EM inter, 1998. 580 pp.

[24] RIPERT C.

Epidémiologie des maladies parasitaires, tome 4, affections provoquées ou transmises par les arthropodes. Cachan : EM inter, 2007. 581 pp.

[25] ROBICH R. M., DENLINGER D. L.

Diapause in the mosquito *Culex pipiens* evokes a metabolic switch from blood feeding to sugar glutony.

Proceedings of the National Academy of Sciences, novembre 2005, 102, 15 912-15 917.

[26] TORAL Y CARO M.

Evaluation in vitro de l'efficacité du fipronil sur *Culex pipiens pipiens*.

Th. : Med.Vet. : Toulouse, 2005 ; 099. 53 pp.

[27] Toshiba. (Page consultée le 06/06/2011). Toshiba climatisation, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.toshibaclim.com/>

[28] URQUHART G. M., ARMOUR J., DUNCAN J. L., DUNN A. M., JENNINGS F. W. Veterinary parasitology. 2<sup>nd</sup> edition. Oxford : Blackwell science, 1996. 307 pp.

[29] WALL R., SHEARER D. Veterinary entomology. London : Chapman & Hall, 1997. 439 pp.



Toulouse, 2011

NOM: RESSEGUIER

Prénom: Pierre

TITRE: Contribution à l'étude du repas sanguin de *Culex pipiens pipiens*.

RESUME: Responsables de nuisances comme les piqûres et la transmission de nombreuses maladies, la lutte contre les moustiques revêt actuellement une réelle importance.

Le but de notre travail est de mieux comprendre les modalités du repas sanguin de *Culex pipiens pipiens*, moustique le plus fréquent en France, afin d'établir des moyens de lutte adaptés.

Nous avons pour cela observé le temps de gorgement sur oreilles de lapin de *Culex pipiens pipiens* et avons établi que son repas dure en moyenne 5 min 42 +/- 2 min 42 pour des températures comprises entre 25 et 30°C. Nous avons également prouvé qu'une température comprise dans cette même gamme n'a pas d'influence sur la durée du repas.

Enfin, nos essais ont démontré qu'une ventilation de 2,5 m/s est suffisante pour protéger des chiens des piqûres de ce moustique.

MOTS-CLES: Ectoparasites, moustiques, *Culex pipiens pipiens*, repas sanguin, température, ventilation

---

ENGLISH TITLE: Contribution to the study of *Culex pipiens pipiens* blood meal

ABSTRACT: Responsible for troubles like bites and diseases transmission, the struggle against mosquitoes is at the moment really important.

The goal of our work is to understand the modalities of the common mosquito *Culex pipiens pipiens* blood meal in order to develop adapted ways of struggle.

We have observed the blood meal duration of *Culex pipiens pipiens* on rabbit ears and established that it lasts 5 min 42 +/- 2 min 42, for temperatures between 25 and 30°C. We have also proved that a temperature in this range of values did not have any influence on blood meal duration.

Then, our trials demonstrated that a ventilation of at least 2.5 m/s was enough to protect dogs against *Culex pipiens pipiens* bites.

KEYWORDS: Ectoparasites, mosquitoes, *Culex pipiens pipiens*, blood meal, temperature, ventilation