



## 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 : 17296

**To cite this version :**

Badelon, Judith. *Piégeage des taons et des stomoxes : efficacité comparée des pièges h-trap et vavoua*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 93 p.

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

# PIÉGEAGE DES TAONS ET DES STOMOXES : EFFICACITÉ COMPARÉE DES PIÈGES H-TRAP ET VAVOUA

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**BADELON Judith**

Née, le 13 Décembre 1990 à Villefranche-de-Rouergue (12)

---

**Directeur de thèse : M. Philippe JACQUIET**

---

## JURY

PRESIDENT :  
**M. Alexis VALENTIN**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :  
**M. Philippe JACQUIET**  
**Mme Emilie BOUHSIRA**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE  
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :  
**M. Gérard DUVALLET**

Professeur à l'Université Montpellier III

*Répartition des Enseignants-Chercheurs par Département.*

Mise à jour : 06/09/2016

**DIRECTRICE : ISABELLE CHMITELIN**

| ELEVAGE ET PRODUITS/SANTÉ<br>PUBLIQUE VÉTÉRINAIRE   | SCIENCES BIOLOGIQUES ET<br>FONCTIONNELLES   | SCIENCES CLINIQUES DES ANIMAUX<br>DE COMPAGNIE, DE SPORT ET DE<br>LOISIRS  |
|---|---|--|
| <p><b>Responsable : M. SANS</b></p> <p><u>ALIMENTATION ANIMALE :</u><br/>M. ENJALBERT Francis, PR<br/>Mme PRIYMENKO Nathalie, MC<br/>Mme MEYNADIER Annabelle, MC</p> <p><u>EPIDEMIOLOGIE :</u><br/>Mathilde PAUL, MC</p> <p><u>MALADIES REGLEMENTEES-ZOONOSES-<br/>MEDECINE PREVENTIVE DES<br/>CARNIVORES DOMESTIQUES-DROIT<br/>VETERINAIRE :</u><br/>M. PICAUVET Dominique, PR</p> <p><u>PARASITOLOGIE-ZOOLOGIE :</u><br/>M. FRANC Michel, PR<br/>M. JACQUIET Philippe, PR<br/>M. LIENARD Emmanuel, MC<br/>Mme BOUHSIRA Emilie, MC</p> <p><u>HYGIENE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS :</u><br/>M. BRUGERE Hubert, PR<br/>M. BAILLY Jean-Denis, PR<br/>Mme BIBBAL Delphine, MC<br/>Mme COSTES Laura, AERC<br/>Mme DAVID Laure, MCC</p> <p><u>PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION :</u><br/>M. BERTHELOT Xavier, PR<br/>M. BERGONIER Dominique, MC<br/>Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, PR<br/>Mme HAGEN-PICARD Nicole, PR<br/>M. NOUVEL Laurent-Xavier, MC<br/>Mme MILA Hanna, MC</p> <p><u>PATHOLOGIE DES RUMINANTS :</u><br/>M. SCHELCHER François, PR<br/>M. FOUCRAS Gilles, PR<br/>M. CORBIERE Fabien, MC<br/>M. MAILLARD Renaud, MC<br/>M. MEYER Gilles, PR</p> <p><u>PRODUCTION ET PATHOLOGIE AVIAIRE<br/>ET PORCINE :</u><br/>Mme WARET-SZKUTA Agnès, MC<br/>M. JOUGLAR Jean-Yves, MC<br/>M. GUERIN Jean-Luc, PR<br/>M. LE LOC'H Guillaume, MC</p> <p><u>PRODUCTIONS ANIMALES<br/>AMELIORATION GENETIQUE ECONOMIE :</u><br/>M. DUCOS Alain, PR<br/>M. SANS Pierre, PR<br/>M. RABOISSON Didier, MC</p> | <p><b>Responsable : Mme GAYRARD</b></p> <p><u>ANATOMIE :</u><br/>M. MOGICATO Giovanni, MC<br/>M. LIGNEREUX Yves, PR<br/>Mme DEVIERS Alexandra, MC</p> <p><u>ANATOMIE PATHOLOGIQUE - HISTOLOGIE :</u><br/>M. DELVERDIER Maxence, PR<br/>Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, MC<br/>Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, PR<br/>Mme LACROUX Caroline, PR</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE :</u><br/>Mme BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle, MC</p> <p><u>MICROBIOLOGIE – IMMUNOLOGIE -<br/>MALADIES INFECTIEUSES :</u><br/>M. MILON Alain, PR<br/>M. BERTAGNOLI Stéphane, PR<br/>M. VOLMER Romain, MC<br/>Mme BOULLIER Séverine, MC<br/>Mme DANIELS Héléne, MC</p> <p><u>BIOSTATISTIQUES :</u><br/>M. CONCORDET Didier, PR<br/>M. LYAZRHI Faouzi, MC</p> <p><u>PHARMACIE-TOXICOLOGIE :</u><br/>M. PETIT Claude, PR<br/>Mme CLAUW Martine, PR<br/>M. GUERRE Philippe, PR<br/>M. JAEG Philippe, MC</p> <p><u>PHYSIOLOGIE –PHARMACOLOGIE<br/>THERAPEUTIQUE :</u><br/>M. BOUSQUET-MELOU Alain, PR<br/>Mme GAYRARD-TROY Véronique, PR<br/>Mme FERRAN Aude, MC<br/>M. LEFEBVRE Hervé, PR</p> <p><u>BIOCHIMIE :</u><br/>Mme BENNIS-BRET Lydie, MC</p> <p><u>ANGLAIS :</u><br/>M. SEVERAC Benoît, PLPA<br/>Mme MICHAUD Françoise, PCEA</p> | <p><b>Responsable : Mme CADIERGUES</b></p> <p><u>ANESTHESIOLOGIE</u><br/>M. VERWAERDE Patrick, MC</p> <p><u>CHIRURGIE :</u><br/>M. AUTEFAGE André, PR<br/>M. ASIMUS Erik, MC<br/>M. MATHON Didier, MC<br/>Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, MC<br/>Mme PALIERNE Sophie, MC</p> <p><u>MEDECINE INTERNE :</u><br/>Mme DIQUELOU Armelle, MC<br/>M. DOSSIN Olivier, MC<br/>Mme LAVOUE Rachel, MC<br/>Mme GAILLARD-THOMAS Elodie, MCC</p> <p><u>OPHTALMOLOGIE :</u><br/>M. DOUET Jean-Yves, MC</p> <p><u>DERMATOLOGIE :</u><br/>Mme CADIERGUES Marie-Christine, PR</p> <p><u>IMAGERIE MEDICALE</u><br/>M. CONCHOU Fabrice, MC</p> <p><u>BIOLOGIE MOLECULAIRE. :</u><br/>Mme TRUMEL Catherine, PR</p> <p><u>PATHOLOGIE DES EQUIDES :</u><br/>M. CUEVAS RAMOS Gabriel, MC<br/>Mme PRADIER Sophie, MC<br/>Mme LALLEMAND Elodie, AERC</p> |

## Remerciements

A notre président de jury,

**Monsieur le Professeur Alexis Valentin**

Professeur des Universités en zoologie et parasitologie à la Faculté de pharmacie de  
Toulouse UPS, praticien hospitalier,

Qui nous fait l'honneur d'accepter la présidence du jury de thèse.

Hommages respectueux.

A notre directeur de thèse,

**Monsieur le Professeur Philippe Jacquet,**

Professeur de parasitologie et maladies parasitaires à l'ENVT,

Pour m'avoir fait l'honneur d'être mon directeur de thèse.

Pour votre disponibilité, votre bonne humeur et votre gentillesse.

Sincères remerciements.

A notre assesseur de thèse,

**Madame la Docteur Emilie Bouhsira,**

Maître de conférences en parasitologie et maladies parasitaires à l'ENVT,

Pour avoir accepté de prendre part à ce jury de thèse.

Sincères remerciements.

**A Monsieur le Professeur Gérard Duvallet,**

Professeur à l'Université Montpellier III,

Pour le partage de sa passion pour l'entomologie et les conseils apportés dans mon travail.

Pour avoir accepté de prendre part à ce jury de thèse.

Sincères remerciements.

**A toutes les personnes ayant contribué à la réalisation de cette thèse,**

Monsieur le Docteur **Emmanuel Liénard**, pour son aide au sein du laboratoire de parasitologie.

Monsieur **Faouzi Liazhri** pour son aide précieuse en statistique.

A l'équipe **des animaliers de l'ENVT**, pour leur soutien pratique, un grand merci.

A la société **ABIOTEC**, pour le financement et la fourniture des pièges H-Trap.

## Table des matières

|   |    |
|---|----|
| Remerciements.....                              | 1  |
| Table des matières.....                         | 2  |
| Table des illustrations.....                    | 5  |
| Introduction.....                               | 7  |
| Synthèse bibliographique.....                   | 10 |
| 1. Stomoxes.....                                | 11 |
| a. Systématique et répartition.....             | 11 |
| b. Morphologie de l'adulte.....                 | 12 |
| c. Biologie de <i>Stomoxys calcitrans</i> ..... | 17 |
| d. Comportement trophique.....                  | 18 |
| e. Dynamique des populations.....               | 20 |
| 2. Tabanidae.....                               | 22 |
| a. Systématique et répartition.....             | 22 |
| b. Morphologie de l'adulte.....                 | 23 |
| c. Biologie des Tabanidae.....                  | 26 |
| d. Comportement trophique.....                  | 27 |
| e. Dynamique des populations.....               | 28 |
| 3. Simuliidae.....                              | 29 |
| a. Systématique et répartition.....             | 29 |
| b. Morphologie de l'adulte.....                 | 30 |
| c. Biologie des Simulies.....                   | 32 |
| d. Comportement trophique.....                  | 32 |
| e. Dynamique des populations.....               | 33 |
| 4. Effets pathogènes.....                       | 34 |
| a. Effets pathogènes directs.....               | 34 |
| b. Effets pathogènes indirects.....             | 37 |

|  |    |
|--|----|
| 5. Moyens de lutte .....   | 42 |
| Lutte environnementale .....   | 42 |
| Lutte biologique .....   | 42 |
| Lutte mécanique .....  | 44 |
| Lutte chimique .....   | 48 |
| Matériels et méthodes .....  | 55 |
| 1. Choix des pièges .....  | 56 |
| 2. Sites de captures .....   | 58 |
| 3. Protocole expérimental .....  | 59 |
| 4. Analyse des résultats.....  | 60 |
| Résultats.....   | 61 |
| 1. Comparaison de l'efficacité des quatre pièges pour <i>Stomoxys calcitrans</i> .....                                     | 62 |
| Effet piège.....   | 64 |
| Effet emplacement.....   | 64 |
| 2. Comparaison de l'efficacité des quatre pièges pour les Tabanidae .....  | 65 |
| 3. Comparaison de l'efficacité des quatre pièges pour les Simuliidae .....   | 67 |
| Effet piège.....   | 68 |
| Effet emplacement.....   | 68 |
| 4. Comparaison de la spécificité des différents pièges vis-à-vis des insectes cibles<br>(stomoxes, taons et simulies)..... | 70 |
| Effet piège.....   | 70 |
| Effet emplacement.....   | 71 |
| Discussion .....   | 72 |
| Problématique.....   | 73 |
| Conditions climatiques.....  | 74 |
| Vavoua et piégeage des taons.....  | 75 |
| Emplacement n°2 .....  | 75 |
| Impact sur l'entomofaune.....  | 76 |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| Un piège unique .....               | 77 |
| Efficacité du système de lutte..... | 78 |
| Conclusion .....                    | 80 |
| Annexes .....                       | 83 |
| Bibliographie.....                  | 84 |

## Table des illustrations

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1. Principales caractéristiques des diptères étudiés.....   | 33 |
| Tableau 2. Principaux agents pathogènes vectorisés par les taons, les stomoxes et les Simuliidae.....   | 39 |
| Tableau 3. Disposition des pièges au cours d'une session de seize jours de piégeage.....  | 59 |
| Tableau 4. Comparaison des deux périodes de piégeages pour les stomoxes.....  | 63 |
| Tableau 5. Comparaison des deux périodes de piégeage pour les simulies.....   | 68 |
| Tableau 6. Classification des pièges en fonction de leur efficacité.....  | 74 |
| Tableau 7. Jours de piégeage.....   | 83 |
| <br>  |    |
| Figure 1. Classification simplifiée des Stomoxyini.....   | 11 |
| Figure 2. Imago <i>Stomoxys calcitrans</i> et <i>Musca domestica</i> .....  | 12 |
| Figure 3. Proboscis de type piqueur de <i>S. calcitrans</i> (A) et de type lécheur de <i>M. domestica</i> (B).....  | 12 |
| Figure 4. Détail des pièces buccales de <i>Stomoxys calcitrans</i> vue de profil à gauche, coupe transversale à droite.....   | 13 |
| Figure 5. Têtes de Stomoxyini, (A) <i>Stomoxys calcitrans</i> , (B) <i>Haematobosca stimulans</i> et (C) <i>Haematobia irritans</i> .....   | 14 |
| Figure 6. Tête de <i>Stomoxys calcitrans</i> femelle (A) et mâle (B).....   | 14 |
| Figure 7. Schéma des mesures pour le calcul de l'index frontal.....   | 15 |
| Figure 8. (A) abdomen de la femelle en vue ventrale, (B) détail de l'oviscapte.....   | 16 |
| Figure 9. Genitalia de <i>Stomoxys calcitrans</i> femelle (A) et mâle (B).....  | 16 |
| Figure 10. Cycle de développement de <i>Stomoxys calcitrans</i> .....   | 18 |
| Figure 11. Nombre de stomoxes ( <i>Stomoxys calcitrans</i> ) capturés dans six pièges Vavoua au cours d'une année et évolutions des températures maximale, minimale et moyenne..... | 21 |
| Figure 12. Classification simplifiée des Tabanidae.....   | 23 |
| Figure 13. Tête de Tabanidae femelle : <i>Haematopota pluvialis</i> .....   | 24 |
| Figure 14. Antenne de Tabanidae : <i>Haematopota pluvialis</i> .....  | 24 |
| Figure 15. Détail des pièces buccales de Tabanidae.....   | 25 |
| Figure 16. Cycle de développement des Tabanidae.....  | 26 |
| Figure 17. Sites de piqûre des Tabanidae.....   | 28 |
| Figure 18. Classification des diptères nématocères d'intérêt vétérinaire.....   | 29 |
| Figure 19. <i>Simulium equinum</i> .....  | 30 |
| Figure 20. Détail des pièces buccales d'un <i>Simulium</i> .....  | 31 |
| Figure 21. Cycle de développement des <i>Simulium</i> spp. ....   | 32 |



|  |    |
|--|----|
| Figure 22. Évolution du GMQ des bovins et de l'abondance relative des tabanides au cours de l'année.....   | 37 |
| Figure 23. Cycle d' <i>Habronema microstoma</i> .....  | 40 |
| Figure 24. Cycle d' <i>Onchocerca volvulus</i> .....   | 41 |
| Figure 25. Piège Vavoua.....   | 45 |
| Figure 26. Piège Nzi : de gauche à droite, les différentes étapes de construction .....  | 45 |
| Figure 27. Piège H-Trap .....  | 46 |
| Figure 28. Cinétique de distribution de la Fluméthrine (Bayticol® 1% Pour-On).....   | 51 |
| Figure 29. Rémanence du Butox® 50‰ sur des bovins en intérieur .....   | 51 |
| Figure 30. Aspirateur à mouches.....   | 54 |
| Figure 31. Dimensions du piège H-Trap et HTM .....   | 56 |
| Figure 32. Pièges testés.....  | 57 |
| Figure 33. Emplacement des pièges sur le site de l'école vétérinaire.....  | 58 |
| Figure 34. Détail des emplacements des pièges.....   | 58 |
| Figure 35. Nombre total de <i>Stomoxys calcitrans</i> (mâles et femelles) capturés et températures enregistrées lors des 32 journées de piégeage ..... | 62 |
| Figure 36. Nombre de stomoxes mâles et femelles capturés par piège (deux sessions confondues).....   | 63 |
| Figure 37. Pourcentage de stomoxes capturés par piège .....  | 64 |
| Figure 38. Nombre de stomoxes mâles et femelles capturés par emplacement.....  | 64 |
| Figure 39. Nombre total de Tabanidae capturés et températures enregistrées pendant la première session de captures.....                                | 65 |
| Figure 40. Nombre et pourcentage de Tabanidae capturés par piège.....  | 66 |
| Figure 41. Nombre et pourcentage de Tabanidae par emplacement .....  | 66 |
| Figure 42. Nombre total de Simuliidae capturées et températures enregistrées durant les 32 jours de piégeage .....                                     | 67 |
| Figure 43. Nombre et pourcentage de Simuliidae capturés par piège .....  | 68 |
| Figure 44. Nombre et pourcentage de Simuliidae capturés par emplacement.....   | 69 |
| Figure 45. Nombre total d'insectes pollinisateurs capturés et températures enregistrées durant les 32 jours de piégeage .....                          | 70 |
| Figure 46. Nombre et pourcentage de pollinisateurs capturés par piège.....   | 71 |
| Figure 47. Nombre et pourcentage de pollinisateurs capturés par emplacement.....   | 71 |
| Figure 48. Spécificité des différents pièges .....   | 77 |
| Figure 49. Le piège combiné H-Trap/Vavoua .....  | 78 |

# **Introduction**

L'ordre des diptères comprend un nombre important de familles d'insectes hématophages ayant un impact économique et sanitaire considérable (Culicidae, Ceratopogonidae, Simuliidae, Tabanidae et Muscidae). Certains de ces insectes nuisibles sont notamment des parasites du bétail : on retrouve les **stomoxes** (parmi lesquels l'espèce *Stomoxys calcitrans*) et les familles des **Tabanidae** et des **Simuliidae**. Même s'ils ont des morphologies et des biologies bien différentes, ces insectes présentent un point commun, celui d'être une véritable nuisance pour les animaux ainsi que pour les humains. Des populations denses de ces insectes présentent d'une part une importance **économique** et d'autre part une importance **médicale**.

Les **spoliations sanguines** répétées, les **piqûres douloureuses**, le temps passé à chasser ces insectes et le **stress** qui en découle sont responsables de pertes de poids et de baisse de production lactée relativement importantes. Aux États-Unis, l'impact seul de *S. calcitrans* est estimé à plus de 400 millions de dollars par an pour la filière viande bovine (Kunz *et al.*, 1991) et à 500 milliards pour la filière lait (Taylor *et al.*, 2012).

Ces insectes sont d'autant plus néfastes qu'ils transmettent des **agents pathogènes** de maladies humaines et animales. Cette transmission peut se faire mécaniquement ou biologiquement, c'est-à-dire avec évolution de l'agent pathogène au sein de l'insecte vecteur.

Pour contrôler ces populations d'insectes, les **insecticides** chimiques sont largement utilisés mais posent différents problèmes. D'une part, l'**efficacité** de ces traitements est remise en cause car l'émergence de populations **résistantes aux insecticides** est observée et aucun traitement de **rémanence** supérieure à deux semaines n'est présent sur le marché. D'autre part, l'usage des insecticides est discutable d'un point de vue **environnemental** (Giroux & Fortin, 2010 ; Köhler & Triebkorn, 2013 ; van Lexmond *et al.*, 2015 ; Bonmatin *et al.*, 2014).

Le contrôle des populations de ces insectes nuisibles est donc compliqué. Les **pièges**, plus souvent utilisés pour la surveillance des populations d'insectes, peuvent être utilisés pour le contrôle de ces populations. Les pièges sont conçus pour attirer les insectes par des facteurs visuels (forme, couleur) et/ou olfactifs (dioxyde de carbone, phénols...), la combinaison la plus attractive de ces facteurs variant d'une famille à une autre. Actuellement le piège Vavoua (Laveissière & Grébaut, 1990) et le piège Nzi (Mihok, 2002), basés sur des alternances de tissus bleus et noirs, sont des pièges efficaces pour les stomoxes et les Tabanidae respectivement.

Le but de cette étude est de comparer l'efficacité de quatre pièges pour la capture des Simuliidae, Tabanidae et de *Stomoxys calcitrans*. Le piège Malaise, qui est un piège d'interception, sans pouvoir attractif particulier, a été utilisé dans ce travail pour évaluer l'entomofaune et la circulation d'insectes volants de la zone d'étude. Il doit apporter un niveau basal de captures. Trois pièges attractifs ont été utilisés : le piège **Vavoua**, très efficace dans le piégeage des stomoxes, le piège **H-Trap**, plus récent et conçu principalement pour capturer des taons et enfin, un piège hybride entre le H-Trap et le Vavoua, mis au point au cours de ce travail afin d'attirer conjointement stomoxes et taons.

# **Synthèse**

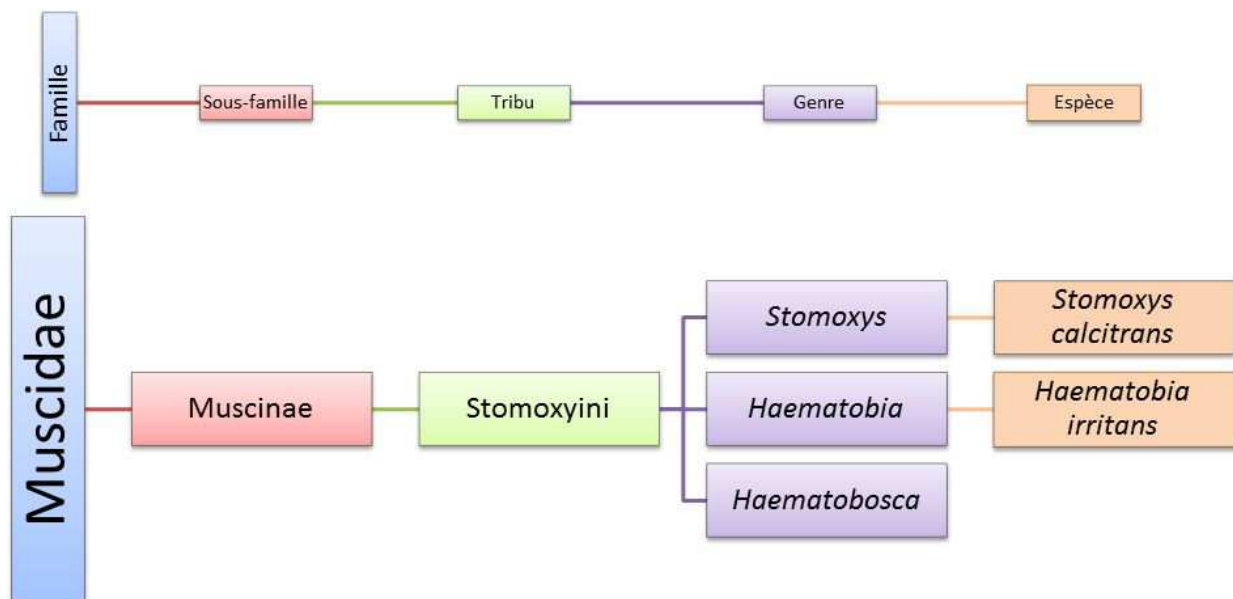
# **bibliographique**

# 1. Stomoxes

## a. Systématique et répartition

### Position taxonomique

|                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| Règne              | Animalia                |
| Embranchement      | Arthropoda              |
| Sous-embranchement | Hexapoda/Mandibulata    |
| Classe             | Insecta                 |
| Sous-classe        | Pterygota               |
| Ordre              | Diptera                 |
| Sous-ordre         | Brachycera              |
| Famille            | Muscidae (cyclopraphes) |



**Figure 1.** Classification simplifiée des Stomoxyini

Les stomoxes sont des arthropodes, insectes, diptères appartenant à la famille des Muscidae, sous-famille des Muscinae et à la tribu des Stomoxyini. On compte dix genres dans cette tribu, dont les plus importants sont *Stomoxys*, *Haematobia* et *Haematobosca* (Zumpt, 1973) (Figure 1).

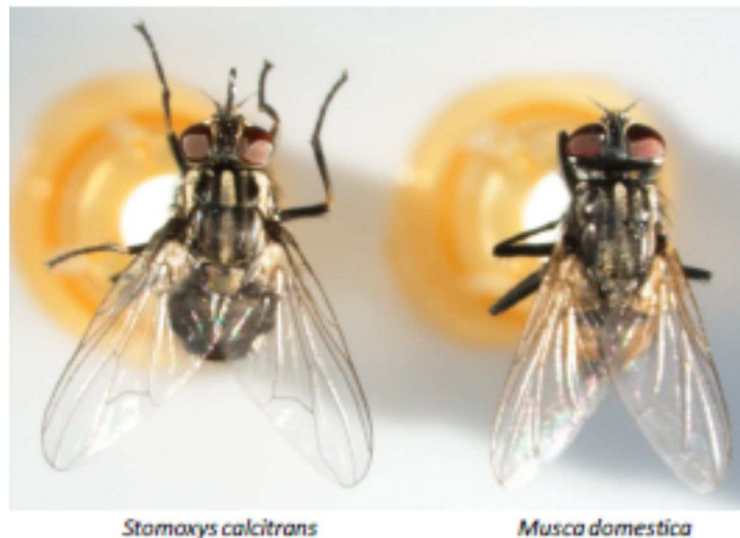
Le genre *Stomoxys* compte 18 espèces (Zumpt, 1973). On retrouve douze de ces espèces uniquement en Afrique, quatre sont présentes uniquement en Asie et une espèce est trouvée sur ces deux continents. Une seule de ces 18 espèces est anthropophile et

cosmopolite : *Stomoxys calcitrans*. C'est donc la seule espèce que nous pouvons capturer en France métropolitaine.

*Stomoxys calcitrans* est plus connue sous le nom de mouches des étables (« stable fly ») ou encore mouche charbonneuse.

## b. Morphologie de l'adulte

### i. Morphologie générale



**Figure 2.** Imago *Stomoxys calcitrans* et *Musca domestica* (d'après A.Salem, 2012)



**Figure 3.** Proboscis de type piqueur de *S. calcitrans* (A) et de type lécheur de *M. domestica* (B) (d'après A.Salem, 2012)

L'imago de *Stomoxys calcitrans* mesure entre 4 et 7 mm de long et ressemble beaucoup à la mouche domestique (*Musca domestica*) (Figure 2). À la différence de cette dernière, le stomoxe présente une trompe piqueuse, le proboscis (Figure 3), ainsi qu'un thorax plus large qui présente quatre bandes grises caractéristiques.

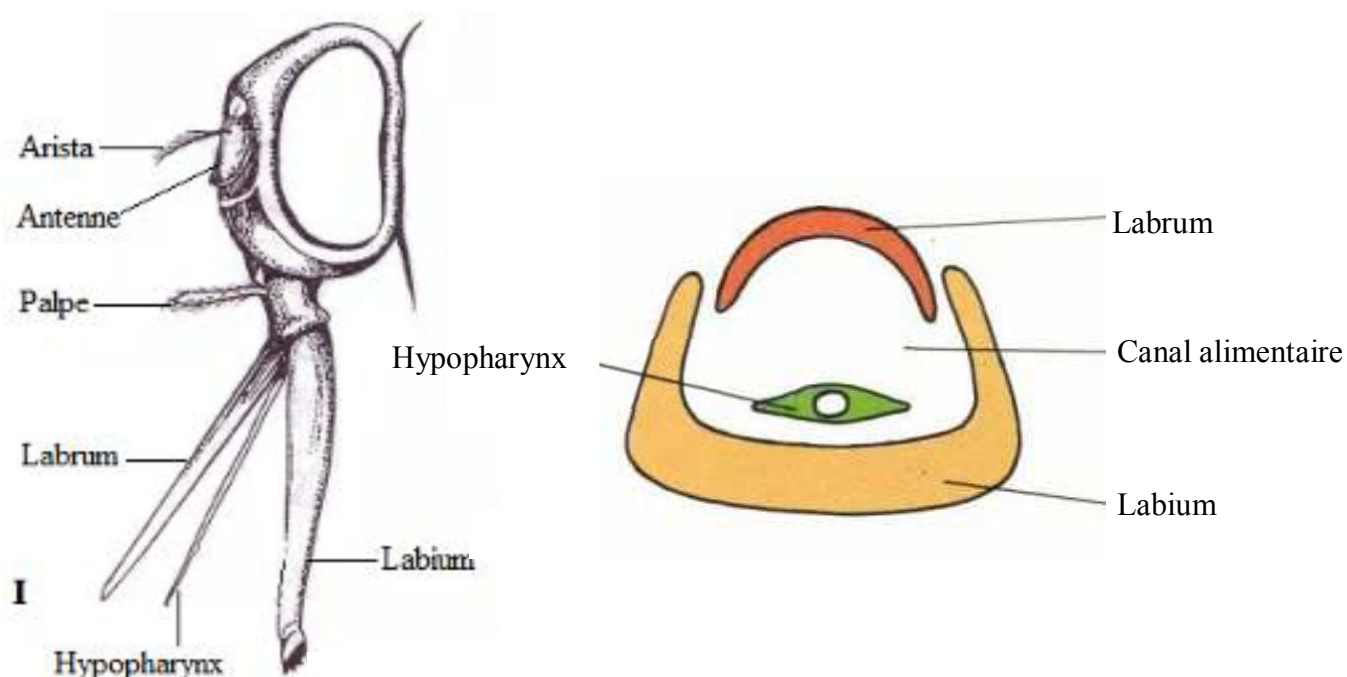
## ii. Tête

L'appareil buccal, adapté à la **piqûre**, est porté horizontalement vers l'avant dans l'axe du corps et est de couleur noire. Il est composé de trois longues pièces fortement sclérifiées, non rétractiles formant deux tubes (Figure 4) :

- Un labium ou lèvre inférieure terminé par de courts labelles porteurs de dents
- Un labrum : lèvre supérieure
- Un hypopharynx en forme de gouttière qui contient le canal salivaire.

L'hypopharynx, par coaptation avec la partie inférieure du labrum, constitue le canal alimentaire par lequel est aspiré le sang. Les stomoxes se nourrissent directement dans les capillaires sanguins. Ce mode d'alimentation s'appelle la **solénophagie**.

Lors d'un repas, un stomoxe absorbe de **11 à 15 µL** de sang (Schowalter & Klowden 1979). La durée d'un repas sanguin complet en conditions expérimentales, à 25°C, sur nourrisseur artificiel, est de 2 à 3 minutes (A. Salem *et al.*, 2012). Cette durée est comparable à celle obtenue en condition naturelle : 2 à 5 minutes (Dougherty *et al.*, 1995).

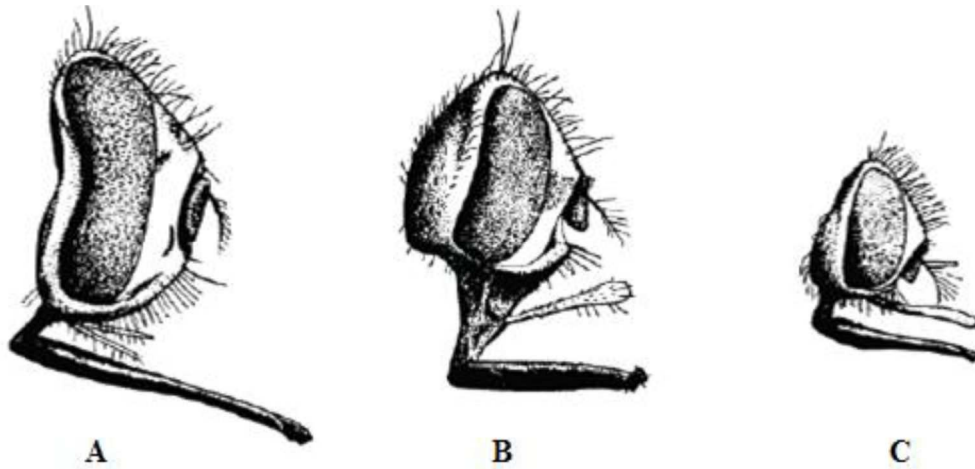


**Figure 4.** Détail des pièces buccales de *Stomoxys calcitrans* vue de profil à gauche (d'après Zumpt, 1973), coupe transversale à droite (d'après La Grande Encyclopédie Larousse, 1971-1976)

Les palpes maxillaires mesurent environ un tiers de la longueur du proboscis et ne le recouvrent donc pas à la différence des autres espèces de Stomoxyini comme *Haematobia*

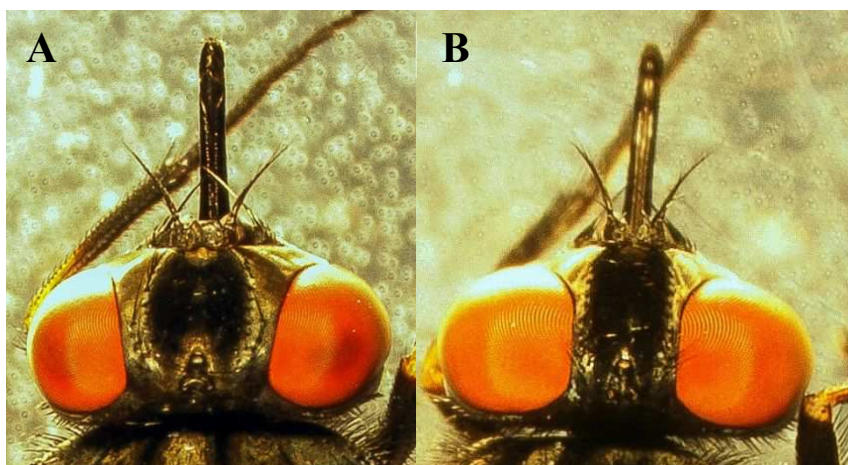


*irritans* ou *Haematobosca stimulans* pour qui ces palpes sont de longueur égale à la trompe (Figure 5).

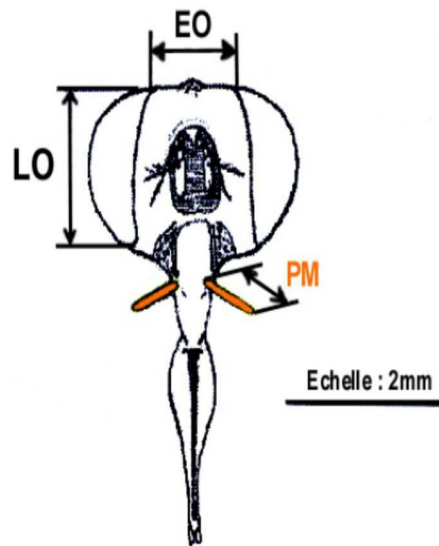


**Figure 5.** Têtes de Stomoxyini, (A) *Stomoxys calcitrans*, (B) *Haematobosca stimulans* et (C) *Haematobia irritans*, (d'après Zumpt, 1973)

*S. calcitrans* possède à la fois deux grands yeux composés et trois ocelles sur le sommet du front. On retrouve dans cette espèce un dimorphisme sexuel relatif aux yeux composés : en effet chez la femelle, les yeux sont nettement plus écartés que chez le mâle (Zumpt, 1973) (Figure 6). On peut d'ailleurs réaliser le sexage d'un individu à partir de l'index frontal (Figure 7). Cet index correspond au rapport entre EO : la largeur de l'espace interoculaire au vertex (sommet du front) et LO : la plus grande longueur de l'œil. Les valeurs d'index frontal retrouvées dans la littérature sont de 0,37 à 0,4 pour les mâles et 0,5 à 0,6 pour les femelles (Zumpt, 1973). En pratique lors de l'identification des espèces capturées, l'index frontal n'est pas calculé, mais on se base sur l'espacement des yeux pour déterminer le sexe de l'insecte (Figure 6).



**Figure 6.** Tête de *Stomoxys calcitrans* femelle (A) et mâle (B) (photographies originales)



**Figure 7.** Schéma des mesures pour le calcul de l'index frontal (index frontal =  $EO/LO$  avec  $EO$  = largeur de l'espace interoculaire au vertex,  $LO$  = plus grande longueur de l'œil,  $PM$  = longueur du palpe maxillaire, (d'après Gilles, 2005)

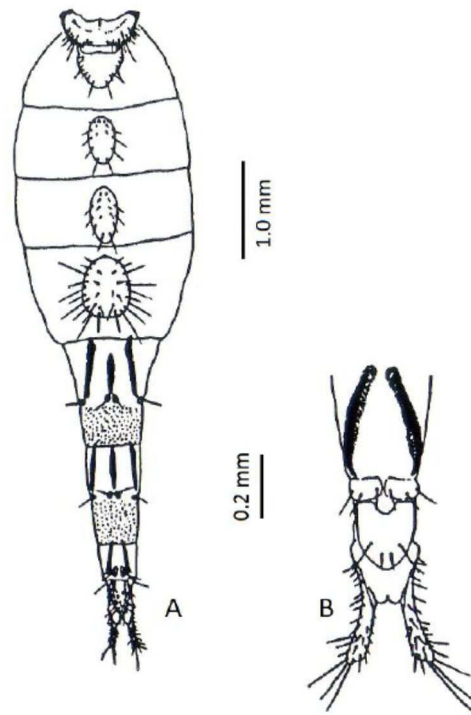
### *iii. Thorax*

Il est composé de trois segments portant chacun une paire de pattes. Les pattes sont de couleur sombre. Le second segment porte la première paire d'ailes membraneuses et le troisième segment porte la deuxième paire d'ailes qui est réduite à des balanciers ou haltères.

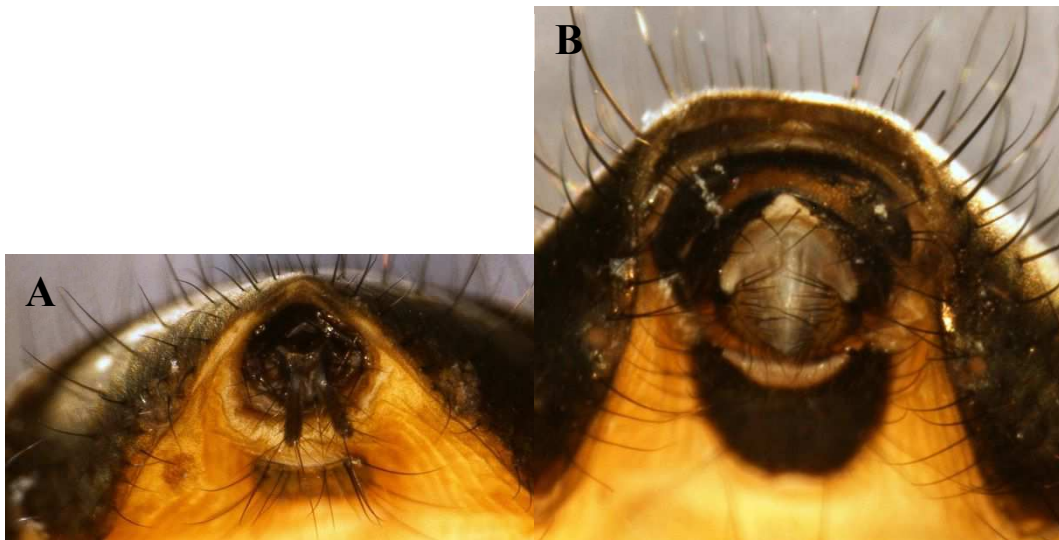
Les ailes sont hyalines comme celle des autres Muscidae et sont disposées, au repos, en V majuscule inversé au-dessus de l'abdomen.

### *iv. Abdomen*

L'abdomen est divisé en deux parties : le pré-abdomen et le post abdomen constitué de segments transformés en un appareil reproducteur. Après observation de l'écartement des yeux, si un doute persiste sur le sexage des stomoxes, il peut se faire avec certitude au niveau des genitalia (organes reproducteurs externes) qui se situent sur le dernier segment abdominal. L'extrémité distale de l'abdomen de la femelle est relativement pointue. Au repos, on n'observe que la partie distale de l'oviscapte tubulaire télescopique, c'est-à-dire deux petits cerques (Figure 8 et Figure 9). Le mâle, quant à lui, a l'abdomen plus arrondi avec des genitalia d'aspect circulaire correspondant à l'organe d'intromission, qui au repos est partiellement enfoncé dans la poche génitale (Figure 9).



**Figure 8.** (A) abdomen de la femelle en vue ventrale, (B) détail de l'ovisapte, (d'après Zumpt, 1973)



**Figure 9.** Genitalia de *Stomoxys calcitrans* femelle (A) et mâle (B) (photographies originales)

### c. Biologie de *Stomoxys calcitrans*

Le cycle de développement des stomoxes comprend 6 stades : l'œuf, trois stades larvaires, la puppe et l'adulte (Figure 10). Le passage d'un stade à l'autre dépend de la température et de l'humidité (Lysyk, 1998). Les différents stades de développement ont une durée de vie optimale pour une température comprise entre 20 et 30°C (Sutherland, 1979). Chez *S. calcitrans*, la durée moyenne du cycle de l'œuf à l'adulte est inversement proportionnelle à la température : il faut plus de 60 jours à 15°C et moins de **12 jours à 30°C** (Lysyk, 1998). Il semblerait par ailleurs que *S. calcitrans* puisse passer l'hiver à tous les stades de développement (Sømme, 1961). Par contre une température de plus de 45°C semble létale pour les œufs (Sutherland, 1979)

La femelle adulte commence à pondre à partir de 4-5 jours après l'accouplement (Foil & Hosgette, 1994). Le choix des lieux de ponte repose sur des facteurs olfactifs et correspond aux milieux appropriés pour le développement larvaire, à savoir un site avec un taux d'humidité élevé, une température comprise entre 15 et 30°C et il doit être suffisamment friable pour que la larve puisse y évoluer. Les stomoxes sont attirés par le dioxyde de carbone libéré lors de la dégradation microbienne des glucides, lipides et protéines contenus dans les matières fécales (Mihok et al., 1996; Vale, 1980). Les **sites de pontes et de développement larvaires sont donc relativement variés**, la matière organique végétale en décomposition éventuellement mélangée à des déjections animales (fumier, végétaux coupés, refus d'aliment du bétail en décomposition) et les balles de foin stockées directement au contact du sol dans les champs sont des sites de ponte favorables (Zumt, 1973; Lysyk, 1998).

La femelle va pondre des grappes de 25 à 50 œufs. Au cours de sa vie, d'une durée de 2 à 4 semaines, la femelle va pondre 10 à 11 fois (Schoof, 1964). Les œufs mesurent 1 mm de long et mettent entre 19 et 120 h à 28°C (Zumt, 1973) pour donner une larve L1 qui va subir deux mues successives (L2 et L3).

Les larves mesurent entre 4 et 12 mm de long, elles ont un appareil buccal qui leur permet de broyer les aliments. À la fin du stade L3, la larve s'immobilise sous la matière organique en décomposition, dans le sol humide. Le tégument se durcit jusqu'à former une puppe renfermant la nymphe. Au bout de quelques jours l'imago émerge de cette puppe. La puppe mesure environ 6 mm de long (Skidmore, 1985).

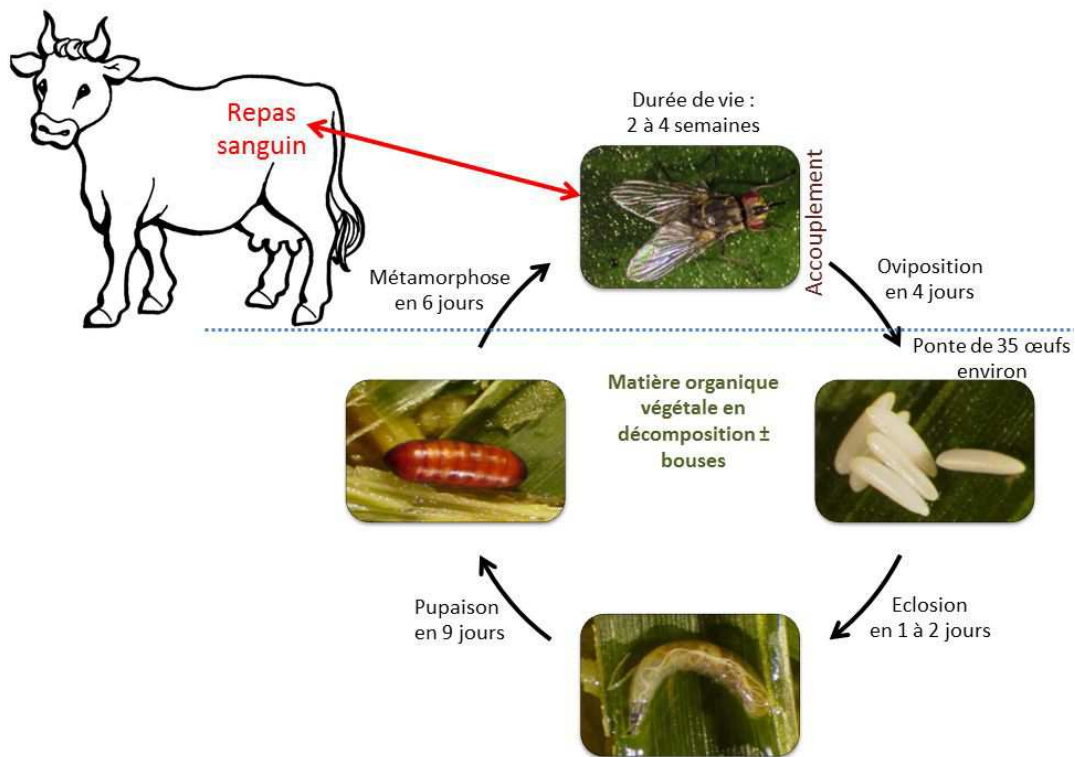


Figure 10. Cycle de développement de *Stomoxys calcitrans* (durées à 25°C d'après Gilles, 2005)

#### d. Comportement trophique

##### i. *Activité*

Les stomoxes ont une activité **diurne**, ils passent la majeure partie de leur temps posés sur des supports : murs, fils électriques, poteaux des bâtiments, arbres... Ils ne parasitent les animaux et éventuellement l'homme que le temps du repas. Un stomoxe peut prendre un ou plusieurs repas de sang par jour (Hafez & Gamal-Eddin, 1959; Harris *et al.*, 1974; Berry & Campbell, 1985; Carn, 1996). Pour rappel, **mâles et femelles sont hématophages**. Les stomoxes peuvent vivre en se nourrissant seulement de nectar mais le sang est nécessaire à leur activité de reproduction et améliore également la longévité des adultes (Moobola & Cupp, 1978).

En pays tempéré, l'activité journalière est unimodale avec un seul pic d'activité en début d'après-midi (Hafez & Gamal-Eddin, 1959; Harley, 1965; Berry & Campbell, 1985). Alors que dans les régions tropicales et dans certaines conditions en milieu tempéré (températures trop élevées, pluviométrie importante) l'activité est plutôt bimodale avec un pic d'activité tôt le matin et un autre en fin d'après-midi (Hafez & Gamal-Eddin, 1959; Harley, 1965; Mihok & Clausen, 1996).

De nouveau, la température est un paramètre important puisqu'elle contrôle l'activité de nourrissage chez les stomoxes. En effet, c'est entre 30 et 32°C (Hafez & Gamal-Eddin, 1959; Berry & Campbell, 1985) que le plus grand nombre de stomoxes se nourrissent. En dessous de 14°C, les stomoxes arrêtent de se nourrir et ils diminuent leur activité au-delà de 34°C. Lysyk (1995) a estimé que la température minimale autorisant le vol est de 10,7°C.

Il semblerait par ailleurs que les stomoxes puissent parcourir jusqu'à 3 km afin de se nourrir et de migrer vers des conditions plus favorables (Bailey *et al.*, 1973)

## *ii. Choix de l'hôte*

Les stomoxes ont un **sens visuel** et un **thermotropisme** excellent ainsi qu'un **sens olfactif** affiné par des chémorécepteurs de contact (Leclercq, 1971). Le choix de l'hôte est fonction de la couleur, de l'épaisseur du pelage, de la température cutanée, de la taille, des mouvements et des odeurs (transpiration, CO<sub>2</sub>, odeurs particulières liées à la rumination : acétone, 1-octen-3-ol, méthylphénol et différents alcools) (Warnes & Finlayson, 1985 ; Holloway & Phelps, 1991; Schofield *et al.*, 1995; Schofield & Brady, 1997; Jeanbourquin & Guerin, 2007). Les hôtes préférentiels sont les **gros mammifères** comme les bovidés et les équidés. Dans certaines situations, les hommes peuvent également être attaqués comme cela a été signalé sur des plages de Floride (Hogsette, *et al.*, 1981). *S. calcitrans* se nourrit préférentiellement sur les **parties inférieures des membres et le ventre** chez les chevaux et les bovins et en particulier sur les membres antérieurs car à cet endroit la peau y est plus fine et les vaisseaux sanguins sont plus proches de la surface de la peau.

Il est probable que la vision ne soit pas utilisée seule dans la recherche de l'hôte, mais soit utilisée en combinaison avec d'autres sens. Il semblerait que l'insecte soit d'abord attiré par l'odeur de l'hôte et utilise l'odorat pour suivre l'hôte à distance. Lorsqu'il se rapproche de l'hôte, le contact visuel est fait et l'information visuelle est ensuite utilisée dans les étapes finales de l'orientation (Sutcliffe *et al.*, 1995). Ce qui explique que les pièges à appâts olfactifs pour la mouche Tsé-Tsé, diptère proche du stomoxe, soient cinq à sept fois plus efficaces que les mêmes pièges reposant seulement sur l'attrait visuel (Politzar & Mérot, 1984).

## **Vision**

Les longueurs d'ondes, auxquelles les stomoxes sont sensibles, ont été enregistrées en laboratoire par la technique d'électrorétinographie. C'est-à-dire que l'activité électrique des

yeux composés a été enregistrée suite à leur stimulation par différentes longueurs d'ondes. (Agee & Patterson, 1983 ; Lehane, 2005 ; Zhu *et al.*, 2015). Les stomoxes présentent trois pics de sensibilité spectrale :

- Un pic important dans les bleus entre 450 et 550 nm.
- Un pic secondaire dans les ultraviolets à 360 nm.
- Et un plateau de plus faible sensibilité visuelle dans les rouges-orangés à 625 nm.

Les glossines présentent les mêmes sensibilités spectrales que les stomoxes (Green & Cosens, 1983). Des études menées sur les glossines (Green, 1989) ont montré que les pièges associant les couleurs **noire et bleue** permettent de capturer plus de glossines que la couleur bleue toute seule. Il semblerait que la base de cet effet synergique repose sur l'effet attractif important du bleu alors que le noir induit l'atterrissage de l'insecte et permet ainsi sa capture dans le piège.

De plus Parr (1962) a montré qu'on retrouvait plus de stomoxes sur les bovins de couleur foncée ainsi que sur les zones plus foncées du pelage des bovins.

### **e. Dynamique des populations**

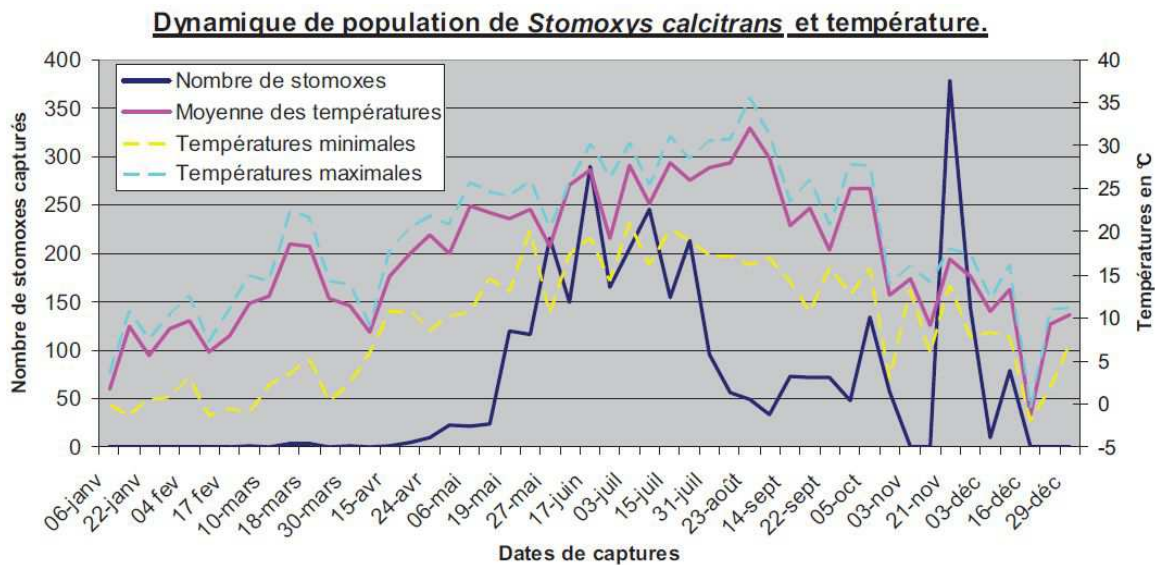
La capture des stomoxes est un moyen d'évaluer la dynamique des populations au cours du temps. Une fois de plus la **température** est le facteur principal qui influence le nombre de stomoxes capturés. Sous nos latitudes, la hausse des températures est associée à une baisse de l'humidité relative. Lorsque la température augmente au printemps, la population de stomoxes qui était en vie ralentie en hiver, voit son activité augmenter rapidement pour atteindre un pic estival. Comme on l'a vu précédemment la température influence la durée des différents stades du développement ainsi que la survie des adultes (Clero, 2004; Berry & Kunz, 1977).

Une étude de la dynamique des populations de stomoxes a été menée en 2009 sur le campus de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (Rouet, 2011). Cette étude a montré (Figure 11) qu'aucune activité dans les pièges n'a pu être enregistrée avant le mois d'avril. Les premières captures sont observées à la suite d'une hausse des températures ( $12^{\circ}\text{C} < \text{Tmoyenne} < 20^{\circ}\text{C}$ ). Une augmentation significative des captures de *S. calcitrans* a lieu avec des températures plus élevées au mois de mai (autour de  $25^{\circ}\text{C}$ ). C'est au mois de juin et juillet que les stomoxes sont les plus nombreux dans les pièges. Puis l'augmentation de la température au cœur de l'été (supérieure à  $28^{\circ}\text{C}$ ) entraîne une forte chute de l'activité apparente des stomoxes. À l'automne, l'activité des stomoxes est plus fluctuante mais des



pics de captures très importants peuvent être présents suite à une augmentation des températures. Enfin, à partir de la mi-décembre, lors de l'enregistrement des premières températures négatives, plus aucun stomoxe n'est capturé. Cette dynamique bi-modale avec un pic d'activité fin printemps/ début été et un deuxième pic à l'automne a également été observée en Amérique du Nord lors d'une étude sur quatre ans et demi (Taylor *et al.*, 2007).

Ces données nous permettent de savoir à quel moment de l'année il est le plus judicieux de poser les pièges pour capturer les stomoxes.



**Figure 11.** Nombre de stomoxes (*Stomoxys calcitrans*) capturés dans six pièges Vavoua au cours d'une année et évolutions des températures maximale, minimale et moyenne) (d'après Rouet, 2011)



## 2. Tabanidae

### a. Systématique et répartition

#### Position taxonomique

|                    |                          |
|--------------------|--------------------------|
| Règne              | Animalia                 |
| Embranchement      | Arthropoda               |
| Sous-embranchement | Hexapoda/Mandibulata     |
| Classe             | Insecta                  |
| Sous-classe        | Pterygota                |
| Ordre              | Diptera                  |
| Sous-ordre         | Brachycera               |
| Famille            | Tabanidae (orthorraphes) |

Les Tabanidae sont une famille de Diptères plutôt de grande taille (5 à 25 mm de longueur). Cette famille comprend environ 4400 espèces différentes réparties en 4 sous-familles, elles-mêmes subdivisées en tribus (Figure 12). La plupart des taons d'importance économique font parties de deux sous-familles : les Chrysopsinae, notamment avec le genre *Chrysops*, et les Tabaninae. En anglais, pour désigner les différentes espèces de Taons, on distingue les « Deer flies » qui correspondent aux au genre *Chrysops*, les « Horse flies » qui font référence aux Tabaninae exception faite de la tribu des Haematopini et pour finir les « Clegs » qui désignent les différentes espèces d'*Haematopota*. Les Deer flies ainsi que les Clegs sont des Tabanidae de petite taille alors que les Horse flies sont de taille plus importante (Chvála *et al.*, 1972).

Les Tabanidae sont de répartition mondiale mais on compte seulement 83 espèces en France.

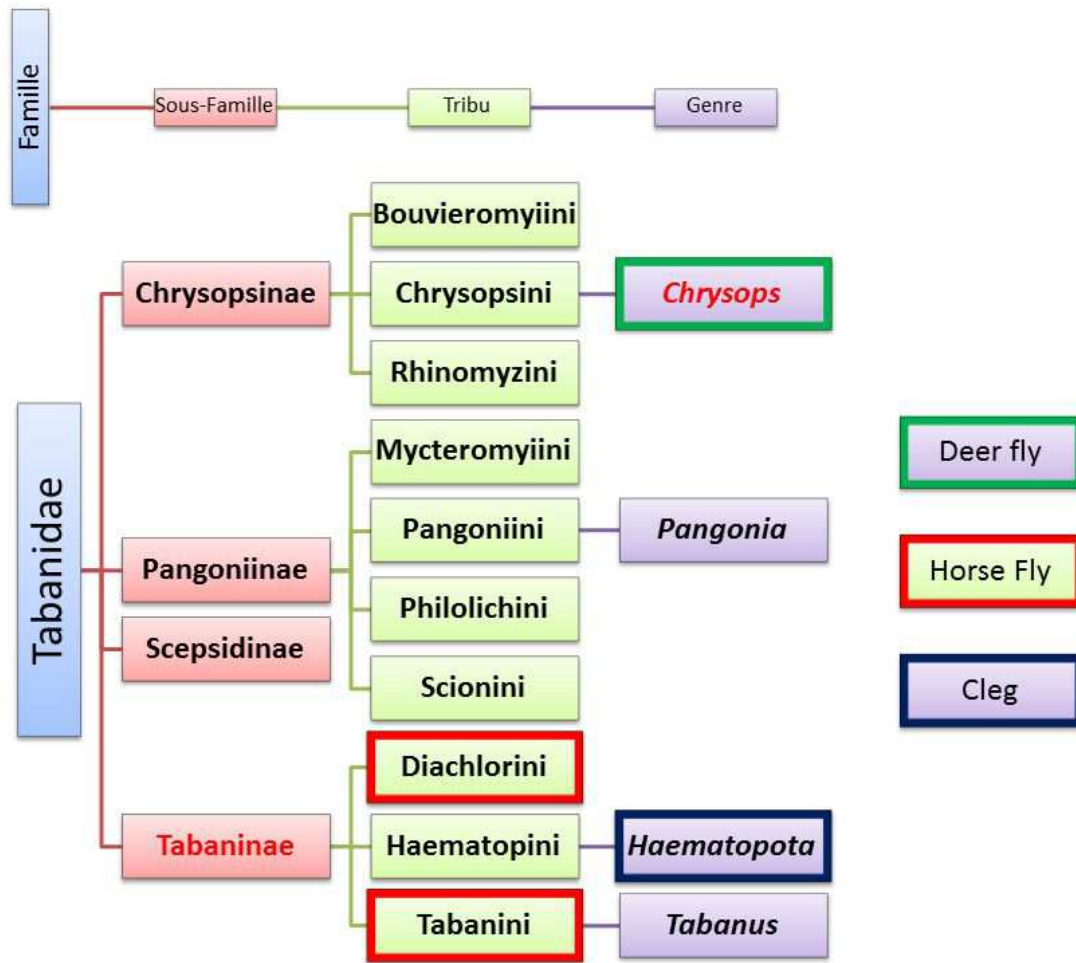


Figure 12. Classification simplifiée des Tabanidae

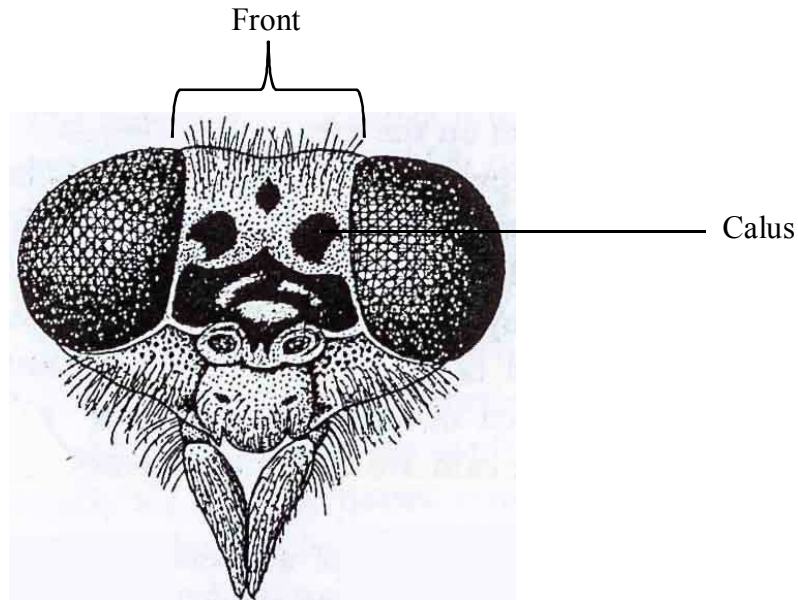
## b. Morphologie de l'adulte

### *Tête*

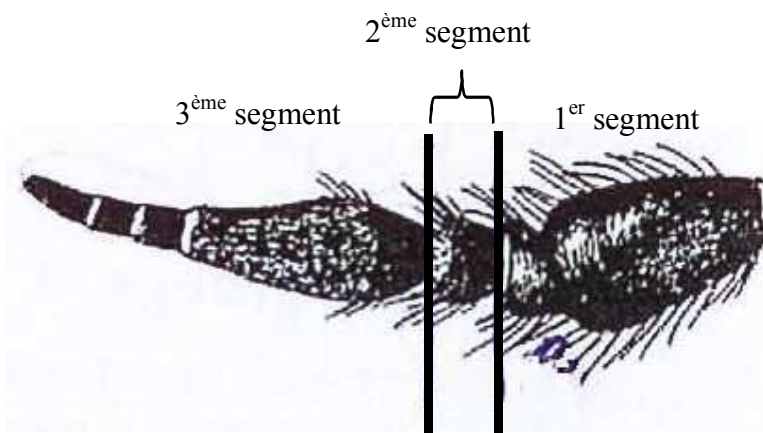
Leur tête est presque entièrement occupée par deux **gros yeux colorés** et brillants qui permettent de différencier les mâles des femelles. En effet, chez les mâles les yeux sont contigus alors qu'ils sont séparés par un front chez les femelles. Le front porte un ou plusieurs calli frontaux nus et brillants (Figure 13). Les antennes présentent trois segments, le dernier segment est parfois lui-même subdivisé en plusieurs sous-segments. Les **antennes** ont une importance majeure pour la classification au sein de cette famille (Figure 14). Les antennes jouent un rôle important dans la perception de signaux chimiques pour la localisation des hôtes par les femelles Tabanidae.

Les taons sont des espèces principalement diurnes qui présentent un polarotactisme positif (Horváth *et al.*, 2008). En effet, comme d'autres espèces dont les larves ont un développement aquatique, les taons sont sensibles et attirés par des sources de lumière polarisée, c'est-à-dire de la lumière réfléchiée sur une surface. C'est ainsi que les insectes vont

détecter l'eau car la surface de l'eau réfléchit la lumière naturelle et est donc une source de lumière polarisée (Kriská *et al.*, 2009). La détection de l'hôte est également en partie gouvernée par le degré de polarisation de la lumière réfléchiée par l'hôte (Horvath *et al.*, 2010).



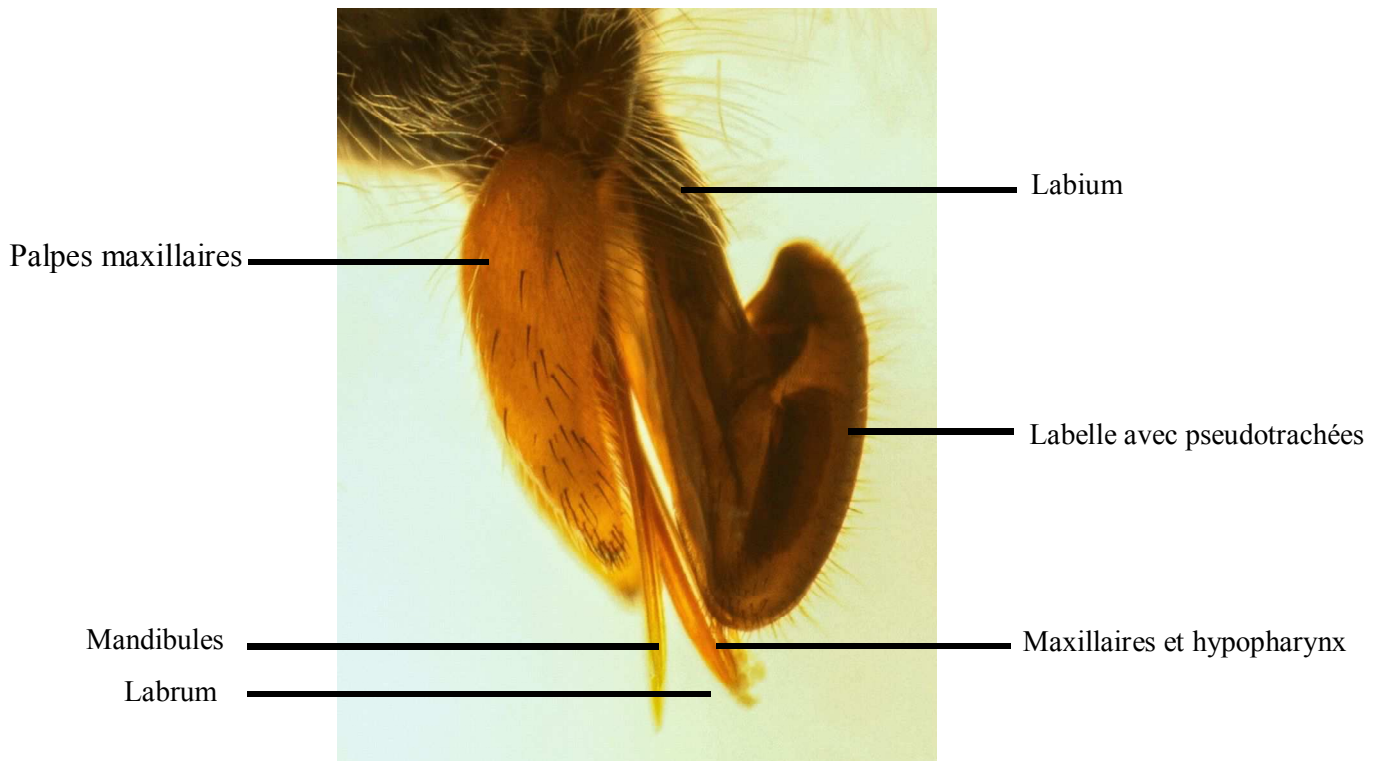
**Figure 13.** Tête de Tabanidae femelle : *Haematopota pluvialis* (d'après Chvala, 1972)



**Figure 14.** Antenne de Tabanidae : *Haematopota pluvialis* (d'après Chvala, 1972)

A la différence des stomoxes, seules **les femelles Tabanidae sont hémato-phages**. Le proboscis des femelles est donc vulnérant et bien plus développé que celui des mâles. Les mandibules et les maxillaires, autrement appelés stylets, sont adaptés pour percer la peau. L'hypopharynx comprend un canal salivaire (Figure 15). Lors de la prise d'un repas de sang les stylets sont poussés dans la peau et agissent comme des ciseaux, créant ainsi des micro-hématomes. La salive est introduite dans la plaie via le canal salivaire. Le labelle, flexible, se replie et permet ainsi à l'insecte d'aspirer le sang de la plaie. Ce mode d'alimentation s'appelle la **telmophagie**.

Lors d'un repas de sang, en fonction de l'espèce, **20 à 600 µL** de sang sont aspirés en environ 3 minutes (Hollander & Wright, 1980).

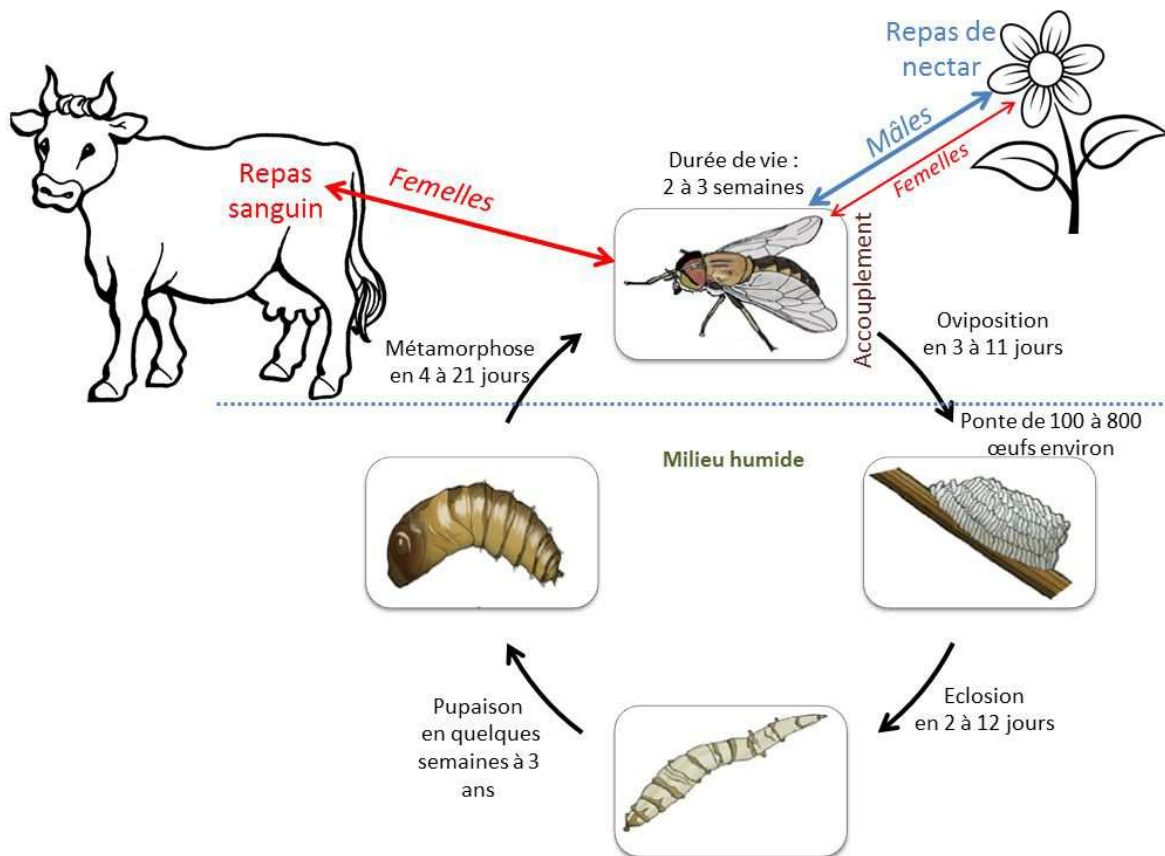


**Figure 15.** Détail des pièces buccales de Tabanidae :  
 haut : vue de profil (photographie originale)  
 bas : coupe transversale (d'après La Grande encyclopédie Larousse, 1971-1976)

## Thorax

Le thorax est toujours bien développé, il porte souvent dorsalement des ornements extrêmement utiles pour différencier les différentes espèces. Une puissante paire d'ailes est portée sur le thorax et permet aux Tabanidae d'être des insectes volants rapides qui peuvent parcourir quotidiennement 1 à 2 km (Cooksey & Wright, 1987). Les zones de colorations plus ou moins brunes des ailes fournissent également des caractéristiques utiles pour l'identification. De la même manière, la couleur des pattes ainsi que la présence d'épines sur les pattes aident à la diagnose d'espèce.

### c. Biologie des Tabanidae



**Figure 16.** Cycle de développement des Tabanidae (d'après Baldacchino *et al.*, 2014)

Il faut quelques mois à 3 ans pour obtenir un adulte à partir d'un œuf (Figure 16). Le taon adulte vit deux à trois semaines. Les femelles déposent 100 à 800 œufs par ponte au niveau des gîtes larvaires. Ces œufs mettent une à trois semaines pour devenir des larves, qui se développent dans des milieux relativement variés mais très humides : boue, végétaux en décomposition, humus, sols détremés, abords de points d'eau. Les larves se nourrissent de substances en décomposition d'origine animale ou végétale mais sont également des prédatrices car elles se nourrissent de vers et de larves d'autres diptères. Il y a au minimum

six stades larvaires avant l'obtention d'une puppe et on peut avoir jusqu'à treize stades larvaires successifs chez certaines espèces. Lorsque les conditions extérieures sont défavorables, les larves peuvent rentrer en diapause et ont alors la capacité de pouvoir survivre longtemps sans se nourrir.

Le dernier stade larvaire (juste avant l'entrée en pupaison) va se déplacer vers des lieux un peu plus secs et la puppe va donner un adulte en 4 à 21 jours. Pour une ponte à la même date, les mâles émergent avant les femelles.

#### **d. Comportement trophique**

Comme évoqué précédemment, les Tabanidae mâles et femelles ont une vision polarisée qui les rend sensibles à toute lumière réfléchi qui est polarisée horizontalement. Ce type de polarisation correspond notamment à la lumière réfléchi par une étendue d'eau, ce qui a plusieurs utilités :

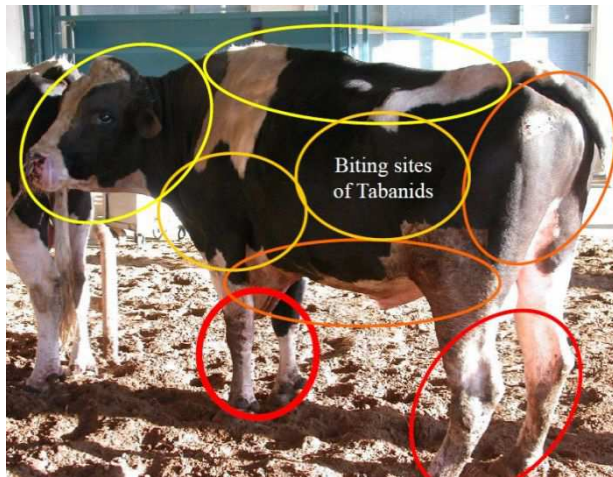
- La recherche d'hôtes, souvent proches des points d'eau pour s'abreuver
- L'abreuvement du taon
- Le repérage d'un gîte larvaire favorable : les larves se développent en milieu humide

Les femelles possèdent en plus une sensibilité au degré de polarisation de la lumière réfléchi. Ainsi plus une surface réfléchit une lumière hautement polarisée plus la femelle va être attirée par cette surface. C'est pourquoi un animal de robe sombre et uniforme, surface hautement polarisante, attire plus qu'un animal blanc ou qu'un animal avec des tâches ou des zébrures, surface peu polarisante. De la même manière, certaines surfaces artificielles (asphalte, marbre poli, bâches en plastique) sont polarisantes et la lumière polarisée ainsi réfléchi est confondue par les insectes avec la polarisation produite lors de la réflexion de la lumière sur l'eau (Kriská *et al.*, 1998). Des chercheurs hongrois (Egri *et al.*, 2013) ont mis en évidence, qu'en ajoutant une plaque couverte d'eau sous les pièges, le nombre d'insectes capturés augmentait considérablement (2 à 8 fois plus que le même piège sans la plaque). La connaissance de cette vision polarisée permet donc de développer des pièges plus attractifs.

Les mâles et les femelles se nourrissent de sucS végétaux ; seules les femelles sont hématophages. Les repas sanguins sont volumineux et presque toujours effectués en plusieurs fois à cause des mouvements de défense des hôtes. Généralement les taons ne rentrent pas dans les habitations ou les étables.



Les taons se nourrissent essentiellement sur des mammifères (chevaux, bovins, homme...), rarement sur les oiseaux. Sur les animaux, les Tabanidae piquent de préférence sur les **zones de peau fine** et poil court : les membre antérieurs, les postérieurs ainsi que le ventre (Phelps & Holloway, 1990). Sur la Figure 17, plus le contour du cercle est épais et rouge, plus la zone encerclée est un site de piqûre privilégié par les taons.



**Figure 17.** Sites de piqûre des Tabanidae (d'après Marc Desquesnes, CIRAD)

### e. Dynamique des populations

Les adultes sont actifs uniquement à la **belle saison**, de début juin à début septembre. La plupart des espèces sont **diurnes**, piquant souvent tôt le matin ou tard dans l'après-midi. On les retrouve souvent près de l'eau ou bien dans les bois et pâturages. Le cycle d'activité varie selon l'état physiologique de l'insecte et les conditions climatiques : vitesse du vent (une faible vitesse du vent est favorable à l'activité), précipitations, évaporation, température (activité maximale à 25°C) et pression atmosphérique.

### 3. Simuliidae

#### a. Systématique et répartition

##### Position taxonomique

|                    |                      |
|--------------------|----------------------|
| Règne              | Animalia             |
| Embranchement      | Arthropoda           |
| Sous-embranchement | Hexapoda/Mandibulata |
| Classe             | Insecta              |
| Sous-classe        | Pterygota            |
| Ordre              | Diptera              |
| Sous-ordre         | Nematocera           |
| Famille            | Simuliidae           |

Les simulies sont de petits diptères nématocères appartenant à la famille des Simuliidae. Un grand nombre de diptères nématocères présentent un rôle pathogène en médecine vétérinaire (Figure 18). On connaît environ 1300 espèces de simulies dans le monde, appelées « black-flies » en anglais. On dénombre environ une soixantaine d'espèces en France (*Fauna Europaea, 2013*)

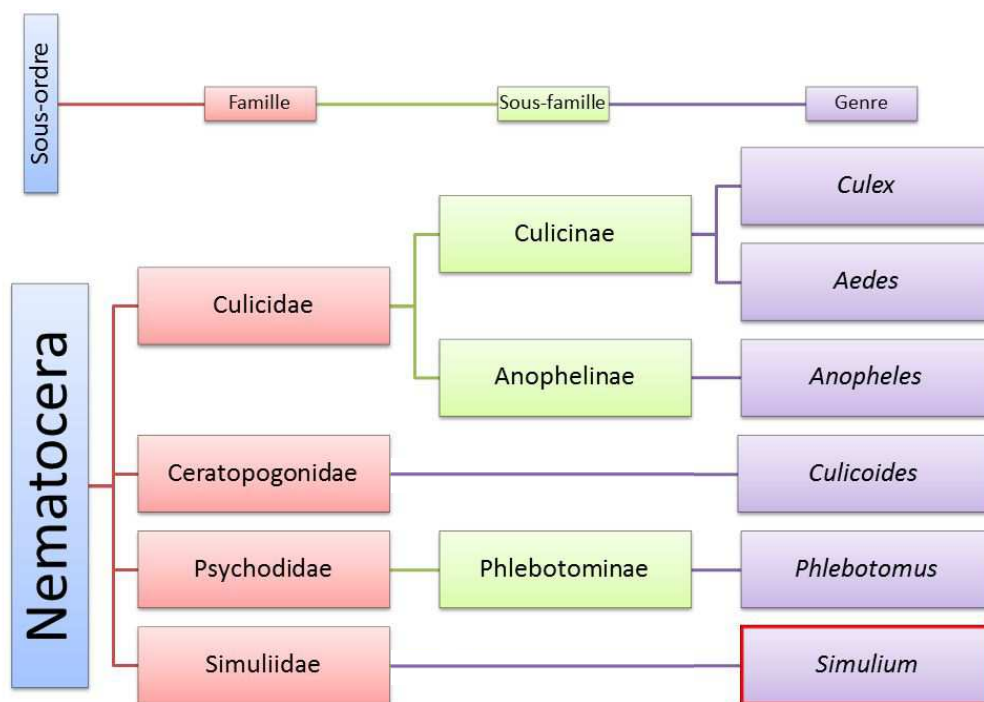


Figure 18. Classification des diptères nématocères d'intérêt vétérinaire



## b. Morphologie de l'adulte

Les simulies sont des petits insectes trapus à l'allure bossue, de 1 à 6 mm de longueur (Figure 19). Ils ont la particularité d'avoir des antennes glabres plus courtes que la tête.



**Figure 19.** *Simulium equinum* (photographie originale)

Les simulies possèdent une paire de longs palpes maxillaires, dont le troisième segment possède des structures chémosensibles capables de détecter le dioxyde de carbone par exemple. Comme pour les taons, **seules les femelles sont hématophages**. Elles possèdent des mandibules et des maxilles dentelées. Le labium souple recouvre l'ensemble des pièces buccales (Figure 20).

La femelle commence par étirer la peau de l'hôte : les dents présentes sur l'hypopharynx, orientées vers l'arrière, s'ancrent dans la peau tandis que les dents situées sur le labrum la tirent en sens inverse. Les mandibules dentelées lacèrent alors, à la manière de ciseaux, la peau tendue et les capillaires sous-jacents par des mouvements de va-et-vient et créent ainsi une petite mare de sang entre les tissus (telmophagie). Le passage des pièces buccales est alors permis. Les dents situées sur les mandibules réalisent ensuite leur ancrage dans la peau de l'hôte. La femelle injecte de la salive dans la plaie ; le sang est alors collecté et aspiré par le canal alimentaire (formé par le labrum) grâce à la pompe pharyngienne (Sutcliffe & Deepan, 1988).

Le repas sanguin est réalisé en 4 à 5 minutes (Wenk, 1981) et une quantité de sang équivalente au poids de la simulie est aspirée, soit **2,5 µL** environ (Takaoka, 1987).



**Figure 20.** Détail des pièces buccales d'un *Simulium*

En haut : vue de face : les pièces perçantes (Ma : Mandibule ; Lc : Lacinia ou Maxille) sont cachées par le labrum (Lr), le labelle (Lb) qui a une structure en éponge (d'après Krenn & Aspöck, 2012)

En bas : Coupe transversale (d'après La Grande encyclopédie Larousse, 1971-1976)

### c. Biologie des Simulies

La femelle pond 150 à 500 œufs sur des supports partiellement immergés ; ils peuvent également être pondus à la **surface de l'eau**. Les larves sont abondantes dans les courants d'eaux rapides bien oxygénés (Figure 21). Les œufs et les formes larvaires aquatiques (6 à 9 stades) peuvent assurer la survie en hiver pendant plusieurs mois (Kettle, 1995).

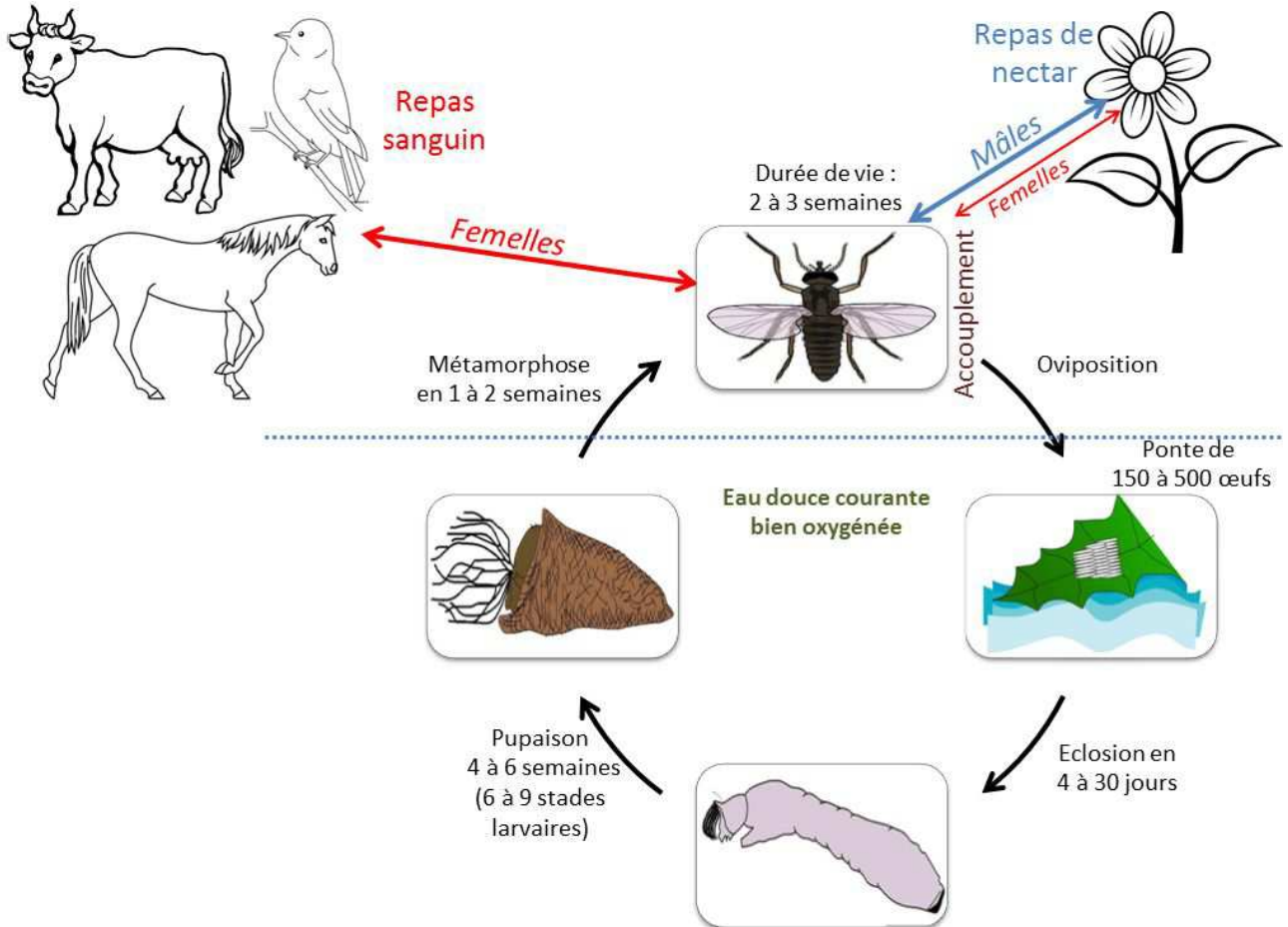


Figure 21. Cycle de développement des *Simulium* spp. d'après McAlpine 1981

### d. Comportement trophique

Les femelles de 90% des espèces de simulies ont besoin d'un repas de sang pour le développement des œufs et l'oviposition. La plupart des espèces se nourrissent sur les **mammifères domestiques et sauvages**, humains inclus, ainsi que sur les **oiseaux**. Certaines espèces ont une spécificité d'hôte très élevée alors que d'autres se nourrissent sur plus de 30 espèces d'hôtes différents.

Les simulies se répartissent le plus souvent le long des rivières (gîtes larvaires). Ces insectes peuvent cependant s'éloigner de plusieurs dizaines de kilomètres de ces gîtes larvaires (Le Berre *et al.*, 1964). Ce sont des insectes qui restent habituellement hors des bâtiments.

Les femelles adultes sont attirées en premier lieu par leur hôte grâce à des **indices visuels** comme la **couleur sombre**. Ensuite ce sont les indices chimiques qui orientent l'insecte : production de **dioxyde de carbone**. La **chaleur** de l'hôte semble également attirer les simulies. Elles vont préférer piquer les **zones à peau fine comme le fourreau, la région de l'aine, les mamelles, le scrotum ainsi que l'intérieur des oreilles**.

### e. Dynamique des populations

Les femelles se nourrissent pendant la journée. L'activité des simulies dépend des conditions météorologiques, en effet elles sont actives lors de journées ensoleillées et préfèrent un vent faible.

Les simulies survivent à l'état de larves lorsque les températures sont trop basses pour maintenir une activité normale : ces larves entrent en hypobiose lorsque la température descend en-dessous de 4°C. Dans les climats présentant une saison sèche, les œufs peuvent rester dormants pendant plusieurs mois (Wenk, 1981 ; Adler, 2004 ; Sutcliffe *et al.*, 1995).

Le Tableau 1 récapitule et permet de comparer certaines caractéristiques importantes des insectes évoqués dans l'étude bibliographique ci-dessus.

| Insecte                    | Hématophage       | Mode d'alimentation | Lieu de vie           | Repas sanguin |                 | Durée cycle    | Gîtes larvaires/ponte |
|----------------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------------|
|                            |                   |                     |                       | Taille (µL)   | Durée (minutes) |                |                       |
| <i>Stomoxys calcitrans</i> | Mâles et femelles | Solénophagie        | Exophile et endophile | 11-15         | 7 à 15          | 15 jours       | Variés                |
| <b>Tabanidae</b>           | Femelles          | Telmophagie         | Exophile              | 20-600        | 4               | 2 mois à 3 ans | Variés                |
| <b>Simuliidae</b>          | Femelles          | Telmophagie         | Exophile              | 2,5           | 4-5             | 2 mois         | Limités               |

**Tableau 1.** Principales caractéristiques des diptères étudiés

## 4. Effets pathogènes

En se nourrissant de sang, les diptères étudiés ici sont des insectes nuisibles, vecteurs potentiels de maladies. On peut classer les effets pathogènes des insectes piqueurs en deux grandes catégories :

- Les **effets pathogènes directs**, dus au harcèlement de l'insecte ou à la quantité de sang prélevée à chaque piqûre par exemple
- Les **effets pathogènes indirects**, dus aux agents pathogènes possiblement vectorisés par les insectes.

Les stomoxes, les tabanides et les simulies sont tous trois responsables d'effets directs et indirects.

### a. Effets pathogènes directs

Les principes de ces effets pathogènes sont les mêmes pour les trois groupes d'insectes étudiés dans ce travail :

- Stress dû à la nuisance sonore et à la piqûre douloureuse
- Spoliation sanguine
- Pertes de production laitière et diminution de la croissance des jeunes animaux
- Dermatitis et réactions allergiques aux piqûres

Toutefois, l'importance relative de ces différents effets pathogènes directs varie selon le groupe d'insectes considéré.

#### ***Stress***

La salive de *S. calcitrans* ne contient pas de molécules anesthésiantes (Cortinas & Jones, 2006). La piqûre est donc **douloureuse** et perturbe les animaux. Le mode d'alimentation des taons et des simulies, la **telmophagie**, qui consiste à lacérer la peau pour créer un hématome, rend aussi la piqûre douloureuse.

Les Tabanidae, avec leur vol bruyant et leurs attaques répétées, se révèlent être une sérieuse source de **harcèlement visuel et sonore** pour les humains ainsi que pour les animaux (Foil & Hosgette, 1994).

Les simulies sont également à l'origine de **nuisances** importantes dues à leurs assauts groupés et leurs piqûres sur les humains et les animaux domestiques et sauvages.

## ***Spoliation sanguine***

Les quantités de sang prélevées lors d'un repas de sang sont :

- de **11 à 15 µL** de sang pour *S. calcitrans* (Schowalter & Klowden 1979). Barré (1981) a estimé que la perte de sang par jour et par bovin pouvait varier de 0,5 à 1 litre dans les élevages les plus atteints de La Réunion.
- de **20 et 600 µL** de sang pour les taons (en fonction de la taille de l'espèce) (Hollander & Wright, 1980).
- de **2,5 µL** pour les simulies (Takaoka, 1987).

La salive des taons, des simulies et des stomoxes ayant des propriétés anticoagulantes, les endroits piqués par ces insectes vont continuer à saigner après la fin du repas sanguin, ce qui accroît la spoliation sanguine, et va attirer d'autres diptères qui ne sont pas capables de ponctionner la peau pour se nourrir. Ce phénomène a également pour conséquence de faciliter l'apparition de **surinfections**.

## ***Dermatite***

Les **stomoxes** peuvent provoquer des **lésions cutanées** allant de simples plages œdémateuses à des lésions nécrotiques aussi bien sur les chevaux, les bovins et les chiens (Yeruham & Braverman, 1995).

Lors de la piqûre, le **taon** injecte de la salive qui a des propriétés anticoagulantes mais aussi **irritantes** ce qui va provoquer une réaction inflammatoire importante autour de la plaie de piqûre et peut même être à l'origine de réactions allergiques.

La **dermatite allergique récidivante** des chevaux (gale estivale récidivante) est due à une réaction d'hypersensibilité aux substances contenues dans la salive de différents insectes, dont les **Simuliidae**. La salive est venimeuse : on y retrouve des anticoagulants et des vasodilatateurs qui modifient la perméabilité capillaire et entraînent des œdèmes et des hémorragies. Chez certains individus, ces substances sont responsables d'un choc toxique, appelé « simulotoxicosis » en anglais. Ces véritables envenimations peuvent avoir lieu notamment au printemps quand il y a éclosion simultanée d'un grand nombre de simulies, lors de conditions météorologiques particulièrement favorables.

On décrit également des **otites** dues aux piqûres de **simulies**. Les lésions observées sont en forme de tâches de bougie, non douloureuses et peuvent persister toute la vie de l'animal.

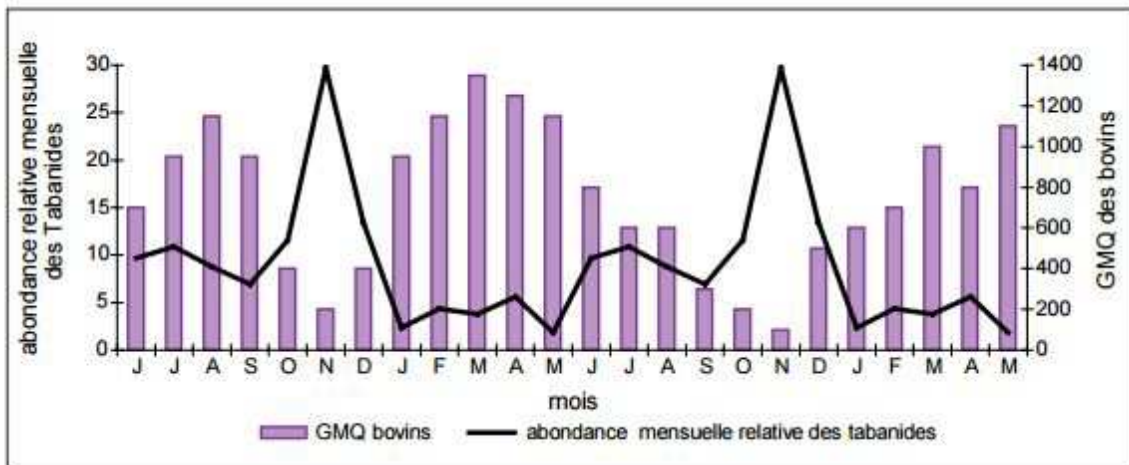
## ***Pertes de production***

Les baisses de production observées en élevages (laitier, viande, volaille) sont entre autres expliquées par une **diminution de la prise alimentaire** des animaux car ils passent une grande partie de leur temps à essayer de chasser ces insectes avec des coups de tête, de queue, de pattes ou des frémissements de la peau (Barré & Bouillot, 1981). En Camargue, une étude de l'impact des **taons** sur les chevaux (Boy & Duncan, 1979) a établi que les chevaux passaient jusqu'à 60% de leur temps à chasser les insectes pendant la saison d'activité des taons, ce qui fait passer le temps consacré à l'alimentation de 80 à 40 %. Un cercle vicieux se met alors en place. En effet, les animaux mangent moins et dépensent une partie de leur énergie à chasser les insectes nuisibles, ils perdent alors du poids et voient donc leur différentes productions baisser.

Certaines études (Bruce & Decker, 1958) ont démontré l'impact à la fois quantitatif et qualitatif des **stomoxes** sur la **production laitière**. En effet, une diminution moyenne de 0,7% de production de lait et de 0,65 % du taux butyreux par stomoxe et par vache a été calculée. Cette baisse s'observe pendant la période d'activité des stomoxes mais subsiste pendant des semaines après la fin de cette période.

Les **stomoxes** semblent avoir également un impact négatif sur la **production de viande**. Des génisses exposées pendant 100 jours à des infestations de stomoxes de 50 mouches par animal et nourries avec une ration de croissance ont eu un gain moyen quotidien (GMQ) de poids inférieur de 13,2% par rapport aux témoins non infestés. En passant à 100 mouches par vache le GMQ baisse de 20% par rapport au lot témoin (Campbell *et al.*, 1987).

Les **taons** ont également un impact sur le **GMQ** et la **production laitière**. En effet, dans des élevages de Guyane française, où l'alimentation et l'anaplasmosé sont maîtrisées, la superposition de la moyenne mensuelle des GMQ et de l'abondance mensuelle relative des taons (Figure 22) suggère une relation négative entre ces deux paramètres (Desquenes & de La Rocque, 1993 ; Raymond, 1988)



**Figure 22.** Évolution du GMQ des bovins et de l'abondance relative des tabanides au cours de l'année

Au Canada, en 1971, il a été décrit une **perte de poids** sur des bovins pouvant aller jusqu'à 45 kg par animal à cause d'une seule vague d'attaque de **simulies** (Canadian Endangered Species Conservation Council).

### **b. Effets pathogènes indirects**

En plus d'être une nuisance directe, ces insectes sont vecteurs d'un nombre important d'agents pathogènes. Soit l'agent pathogène évolue et/ou se multiplie dans l'insecte, on parle alors de **vecteur biologique**. Soit l'agent pathogène n'évolue pas et ne se multiplie pas à l'intérieur de l'insecte, c'est alors un **vecteur mécanique** où l'insecte joue le même rôle qu'une aiguille souillée qui va inoculer un agent pathogène à partir d'un animal malade vers un animal sain.

#### *Vecteurs mécaniques*

La transmission mécanique d'agents pathogènes provient d'une succession d'évènements : un premier insecte va réaliser son repas de sang sur un hôte infecté, le repas va être interrompu par les mécanismes de défense de l'hôte, l'insecte va alors chercher un nouvel hôte pour finir son repas. L'insecte va alors être en mesure :

- de transférer les agents pathogènes contenus dans le sang résiduel des pièces buccales par l'intermédiaire de la salive injectée avant le repas
- de régurgiter une quantité plus ou moins importante de son repas précédent avant d'entamer le nouveau repas.

La principale différence dans la vectorisation entre les stomoxes et les taons vient de la **quantité de sang qui peut être contenue dans les pièces buccales**. En effet pour les



stomoxes elle est de l'ordre de **0,4 nL** alors qu'elle est au moins 10 fois plus importante pour les taons : **6 nL** pour les taons les plus petits (deer flies) et **10 nL** pour les plus grands (horse flie) (Scoles *et al.*, 2005, 2008). Ce constat fait des **tabanides des vecteurs mécaniques plus efficaces**.

La nature des agents pathogènes transmis mécaniquement par les stomoxes et les taons est identique à quelques exceptions près (Tableau 2).

Les **Simuliidae** sont des vecteurs **mécaniques** du **virus** de la **stomatite vésiculeuse**, affection vésiculeuse confinée au continent américain, des chevaux et des bovins notamment (Mead *et al.*, 2000)

Le Tableau 2 recense les principaux agents pathogènes mécaniques et biologiques dont la transmission a été démontrée.

|                    | Nom de la maladie                               | Nom de l'agent pathogène            | <b>Vecteur</b><br>S : Stomoxe<br>T : Taons<br>Simu : Simulies |
|--------------------|---|-------------------------------------|---|
| <b>Virus</b>       | Anémie infectieuse des équidés                  | <i>Lentivirus</i>                   | T-S   |
|                    | Peste porcine africaine                         | <i>Asfvirus</i>                     | T-S   |
|                    | Fièvre de West Nile                             | <i>Flavivirus</i>                   | S   |
|                    | Fièvre de la vallée du Rift                     | <i>Phlebovirus</i>                  | S   |
|                    | Lumpy Skin Disease                              | <i>Capripoxvirus</i>                | S   |
|                    | Herpèsvirose bovine                             | <i>Herpesvirus</i>                  | S   |
|                    | Leucose bovine enzootique                       | <i>Lentivirus</i>                   | S-T   |
|                    | Stomatite vésiculeuse                           | <i>Vesiculovirus</i>                | S-T-Simu  |
|                    | Diarrhée virale bovine                          | <i>Pestivirus</i>                   | S-T   |
| <b>Bactéries</b>   | Anthrax   | <i>Bacillus anthracis</i>           | S-T   |
|                    | Pasteurellose                                   | <i>Pasteurella multocida</i>        | S-T   |
|                    | Rouget  | <i>Erysipelothrix rhusiopathiae</i> | S-T   |
|                    | Tularémie                                       | <i>Francisella thularensis</i>      | S-T   |
|                    | Méningite, entérocolite nécrosantes, septicémie | <i>Enterobacter sakazakii</i>       | S (biologique et mécanique)                                   |
|                    | Dermatophilose                                  | <i>Dermatophilus congolensis</i>    | S   |
| <b>Rickettsies</b> | Anaplasmose bovine                              | <i>Anaplasma marginale</i>          | S-T   |

|                     |  |   |                   |
|---------------------|--|---|-------------------|
| <b>Protozoaires</b> | Trypanosomose animale<br>(Nagana)              | <i>Trypanosoma vivax</i> ;<br><i>T. congolense</i><br><i>T. brucei brucei</i> | S-T               |
|                     | Surra  | <i>T. evansi</i>  | S-T               |
|                     | Trypanosomose bénigne des<br>bovins            | <i>T. theileri</i>  | T (biologique)    |
|                     | Besnoitiose                                    | <i>Besnoitia besnoiti</i>   | S-T               |
| <b>Nématodes</b>    | Loase  | <i>Loa loa</i>  | T (biologique)    |
|                     | Habronémose                                    | <i>Habronema<br/>microstoma</i>   | S (biologique)    |
|                     | Onchocercose humaine<br>ou cécité des rivières | <i>Onchocerca volvulus</i>  | Simu (biologique) |

**Tableau 2.** Principaux agents pathogènes vectorisés par les taons (Baldacchino et al., 2014), les stomoxes (Baldacchino et al. 2013) et les Simuliidae (Adler, 2004)

### ***Vecteurs biologiques***

#### *Stomoxes*

Les stomoxes sont les **vecteurs biologiques**, d'*Habronema microstoma* (Nematoda : Spirurida) (Figure 23). Ce nématode, au stade adulte, est responsable d'habronémose gastrique par infestation de la muqueuse et de la sous-muqueuse du cul-de-sac droit de l'estomac. C'est un parasite des pays tropicaux et des régions méridionales des pays tempérés. Ces vers vont alors être responsables d'inflammation de la muqueuse, de gastrite chronique voire d'ulcères. Les femelles d'*Habronema microstoma* sont vivipares et émettent des larves L1, qui sont éliminées dans le crottin de cheval où elles sont alors ingérées par les larves de stomoxes. Il y a évolution de la larve de nématode en larve L2 et L3. La larve 3 est présente dans la cavité générale ainsi qu'au niveau du labium du stomoxe adulte. Lorsque le stomoxe se pose sur les lèvres d'un cheval, les L3 migrent activement hors du labium et envahissent les lèvres puis la cavité buccale du cheval. Ensuite à la faveur d'une déglutition les L3 se retrouvent dans l'estomac du cheval et évoluent en adulte.

Lorsque le stomoxe se pose au niveau d'une solution de continuité cutanée, même minime, et d'origine variée (plaie de harnachement, morsure de tique...) la larve L3 migre activement du labium du stomoxe vers la plaie. La présence et l'action phlogogène de cette larve sont à l'origine d'une dermatose appelée habronémose cutanée. L'atteinte est

caractérisée par des lésions bourgeonnantes, granuleuses, prurigineuses, extensives et récidivantes (Euzéby, 2008).

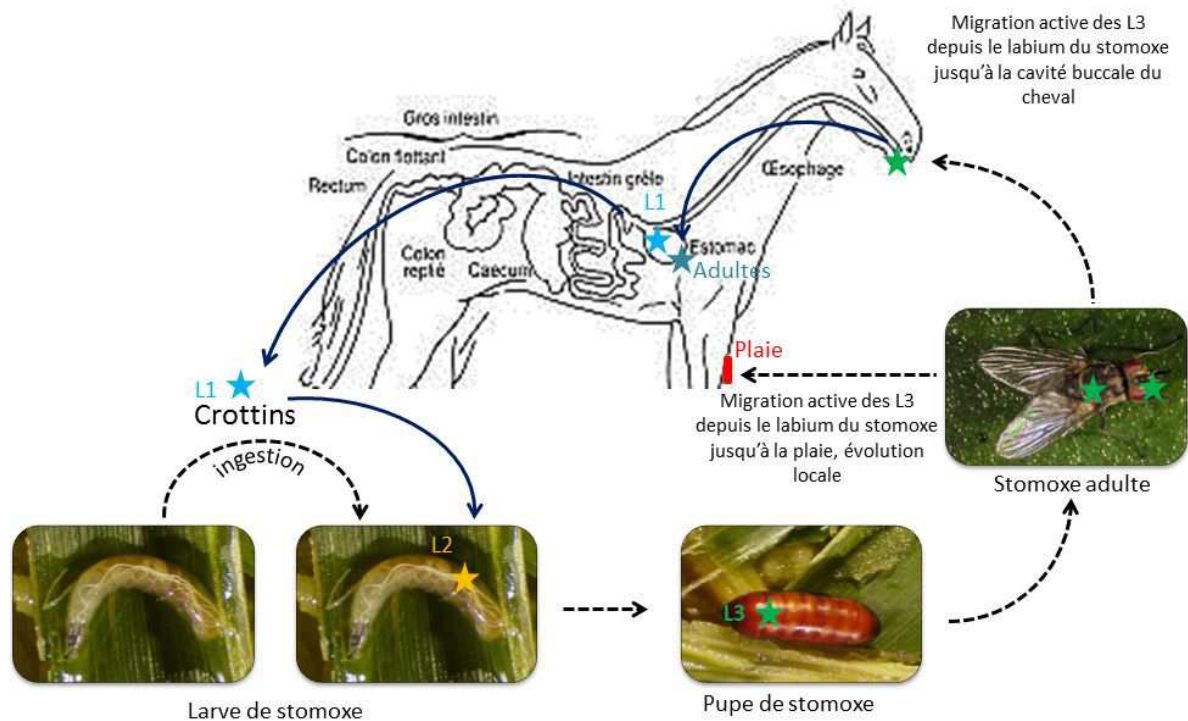


Figure 23. Cycle d'*Habronema microstoma*

### Tabanidae

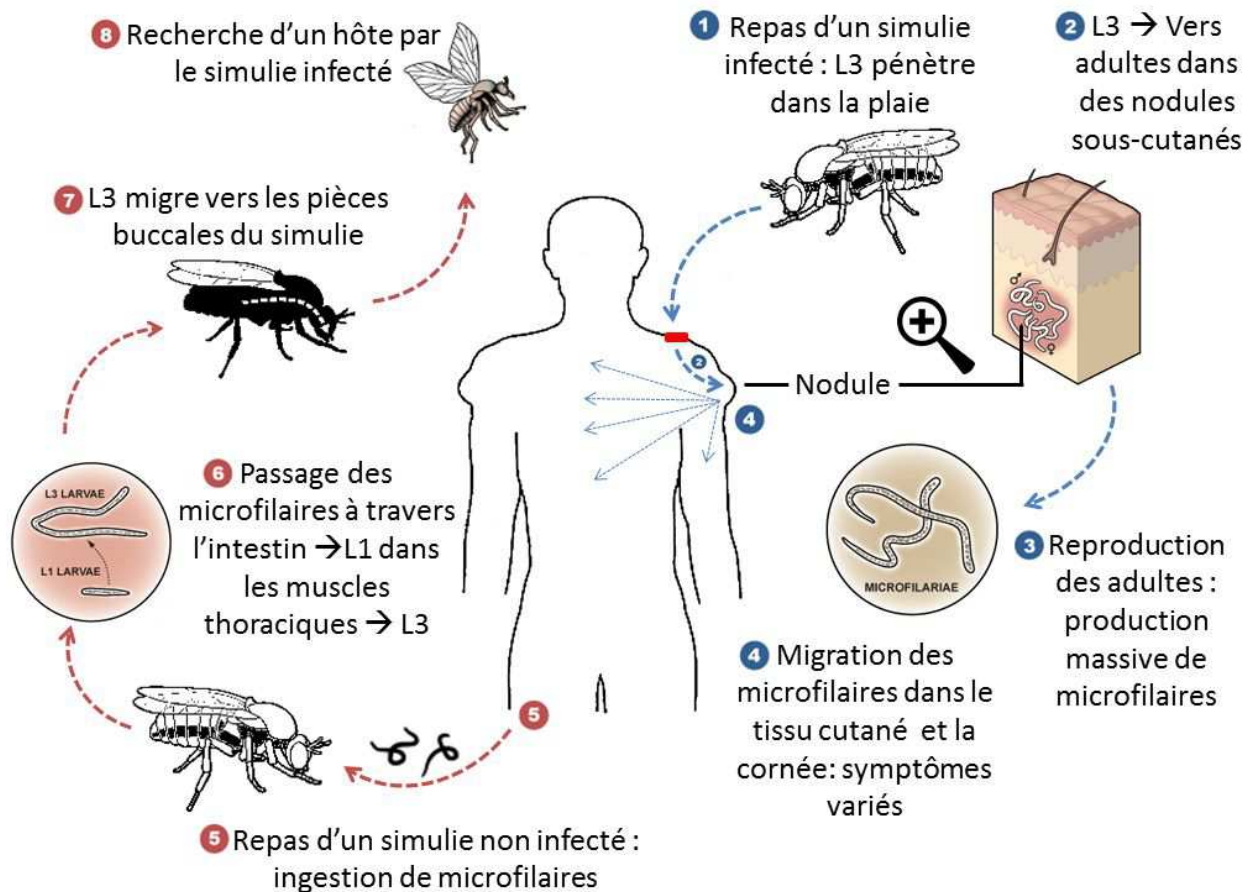
Les tabanides sont les **vecteurs biologiques** de quelques filaires, dont la principale est *Loa loa*, agent de la loase humaine dans les forêts tropicales d'Afrique.

*Trypanosoma theileri* est décrit comme un parasite cosmopolite du bétail transmis **mécaniquement** et **biologiquement** par les **tabanides**. Il provoque une lymphocytose sans symptômes cliniques associés (Cross *et al.*, 1971; Böse *et al.* 1987).

### Simuliidae

On estime qu'au moins 15 espèces de protozoaires et 12 espèces de filaires sont transmises par les simulies.

Parmi les **filaires** transmises, la plus connue est *Onchocerca volvulus* dont le **vecteur biologique** est *Simulium damnosum*. Cette filaire est une cause majeure de cécité humaine dans beaucoup de pays africains, avec près de 300 000 personnes devenues aveugles des suites de la maladie (chiffres WHO).



**Figure 24.** Cycle d'*Onchocerca volvulus* (dessins d'après Al Grandberg)

La Figure 24 illustre le cycle de développement de cette filaire. Lors d'un repas sanguin infectant (1) la simulie introduit une larve de troisième stade larvaire (L3) au niveau de la plaie. Dans le tissu sous-cutané, les larves 3 se transforment en adultes (2) qui vont former des nodules sous-cutanés. Les adultes vont se reproduire et les femelles vont produire des microfilaries qui sont présentes essentiellement dans la peau et dans les vaisseaux lymphatiques du tissu conjonctif (4). Une simulie non infectée va ingérer des microfilaries lors de son repas de sang (5). Ces microfilaries vont franchir la barrière digestive pour aller se loger dans les muscles thoraciques de la simulie où il vont se transformer en larve de deuxième stade jusqu'à obtenir une L3 (6). La larve 3 vient se loger au niveau des pièces buccales de l'insecte et peut ainsi infecter un autre humain lors du prochain repas sanguin.

Les **protozoaires** transmis aux oiseaux domestiques et sauvages appartiennent aux genres *Leucocytozoon* et *Trypanosoma*. La leucocytozoonose est vectorisée **biologiquement** par les simulies. Le mode de transmission des trypanosomoses aviaires par les « mouches noires » est mal connu.

## 5. Moyens de lutte

Après recensement du nombre important d'agents pathogènes pouvant être transmis par les stomoxes, les taons et les simulies il apparaît nécessaire de mener une lutte vectorielle contre ces insectes. Pour mettre en œuvre cette lutte, nous disposons de différents moyens.

### Lutte environnementale

Cette lutte passe tout d'abord par le contrôle des lieux de ponte et de vie des stomoxes, des taons et des simulies.

#### Stomoxes

Les stomoxes pondent dans des lieux contenant de la matière organique en décomposition. Le rôle de l'éleveur est ici primordial car il est nécessaire d'avoir une bonne **gestion des effluents**. Il est donc indispensable d'éliminer les refus de nourriture (foin, paille) et d'optimiser la gestion du tas de fumier. L'empilement régulier du tas de fumier associé à sa couverture par une bâche en polyéthylène noir crée des conditions thermiques et d'anaérobie défavorables au développement et à la survie des formes larvaires (Hogsette et al., 1987).

#### Tabanidae

En connaissant mieux les sites de prédilection des tabanides, on pourrait essayer d'aménager l'espace (débroussaillage, drainage..) pour éviter la présence de taons, mais pour des raisons diverses, et notamment de sauvegarde de la biodiversité, on ne peut pas agir sur les paysages pour diminuer efficacement la présence des taons.

#### Simuliidae

Les larves de simulies sont aquatiques et les adultes peuvent s'éloigner jusqu'à 20 km des rivières donc il apparaît difficile de contrôler les simulies par une modification de l'environnement.

### Lutte biologique

#### Stomoxes

Skovgard et Jespersen (1999), ont identifié, au Danemark, dix espèces parasites des pupes de Stomoxes en récoltant des pupes dans des élevages. Les parasites sont

essentiellement des hyménoptères mais une espèce de coléoptère a également été retrouvée. Différentes études menées aux États-Unis et au Danemark montrent que 12 à 20% des pupes récoltées dans la nature sont parasitées (Meyer & Petersen, 1982 ; Greene *et al.*, 1989; Skovgard & Jespersen, 1999 ; Olbrich & King 2003 ; Foil & Hosgette, 1994)

À la Réunion, un programme d'éradication des hémoparasitoses des bovins (essentiellement babésiose et anaplasmose transmises par les tiques et les stomoxes) a été mis en place en 1994 : le programme POSEIDOM (Programme d'Options Spécifiques à l'Éloignement et à l'Insularité des Départements français d'Outre-Mer). Ce programme comprenait une lutte contre les stomoxes par des lâchers massifs bimensuels d'un micro-hyménoptère : *Spalangia nigroaenea*, parasitoïde des Muscidae. Ce parasitoïde pond dans la pupa du stomoxe et y devient un adulte. La pupa n'est alors plus viable. Toutefois, ce programme, très lourd à mettre en place et à maintenir dans le temps, a été abandonné il y a maintenant plusieurs années.

Pour pouvoir appliquer à grande échelle une lutte biologique avec les hyménoptères parasitoïdes, il faudrait pouvoir les produire en masse et de façon continue, ce qui est la principale difficulté de la lutte biologique. Dans le cas du programme POSEIDOM, une étude préalable d'identification et de dynamique des populations de mouches et de parasitoïdes n'avait également pas été réalisée.

### Tabanidae

Les méthodes de contrôle biologique des taons ont été peu étudiées (guêpes bembicines) et ne permettent pas un contrôle suffisant de la population de tabanides (Roberts & Wilson, 1967).

### Simuliidae

Les larves de simulies étant aquatiques, il est donc inenvisageable, d'un point de vue écologique, d'utiliser des insecticides chimiques dans l'eau des rivières pour éradiquer les simulies.

Ces moyens de lutte chimique ont donc été remplacés par un contrôle biologique à l'aide d'une bactérie : *Bacillus thuringiensis var. israelensis* (Bti). Au cours de l'étape de sporulation, le Bti produit une protéine cristallisée qui devient toxique dans des conditions d'alcalinité importante que l'on retrouve dans le tube digestif de certains insectes dont les

simulies et les moustiques. Le Bti est donc pulvérisé dans l'eau, puis avalé par les larves de simulies. La mort des « mouches noires » survient en quelques jours.

Le Bti, initialement utilisé pour le contrôle des moustiques, combine un haut niveau de mortalité pour les moustiques et les simulies avec une sécurité environnementale élevée.

Ces qualités en ont fait un outil de contrôle de choix qui est actuellement utilisé en Afrique de l'Ouest dans le programme de contrôle contre l'Onchocercose (OCP) : plus de 18000 km de rivière sont traités régulièrement avec le Bti contre les larves de simulies. Ce contrôle des gîtes larvaires, associé à des traitements antiparasitaires systématiques à l'ivermectine des personnes vivant en bordure de rivière, a entraîné une diminution de la prévalence de l'onchocercose parmi les populations résidant sur la zone prise en charge par l'OCP (Becker, 2000).

## **Lutte mécanique**

Ce moyen de lutte consiste à attirer et intercepter les insectes adultes dans des **pièges**. Les pièges sont conçus pour attirer les insectes en utilisant leurs différents sens, soit avec une couleur, une odeur, des contrastes, du mouvement ou bien une polarisation lumineuse. Ces pièges ont été initialement utilisés pour étudier la dynamique des populations de vecteurs plus que pour contrôler ces populations.

### Stomoxes

En **intérieur**, les pièges électriques qui attirent les insectes par des lumières ultraviolettes et ensuite les électrocutent sont intéressants. Des recherches à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse sont en cours à ce sujet. D'autre part les « fils à colle » placés au-dessus des cornadis permettent de diminuer le nombre de stomoxes.

En extérieur, de nombreux pièges ont été utilisés pour le contrôle des stomoxes. Les pièges **Vavoua** (Figure 25) ou **Nzi** (Figure 26) ont été utilisés en Afrique pour lutter contre les mouches tsétsé (*Glossina spp.*) et sont également efficaces pour piéger les stomoxes (Gilles *et al.*, 2007; Mihok *et al.*, 2006). Ces deux pièges sont composés de panneaux de tissus rectangulaires bleu et noir qui créent le contraste attractif pour les stomoxes. La longueur d'onde du rayonnement réfléchi par les panneaux joue un rôle déterminant. Le bleu phtalogène est la couleur la plus attractive pour de nombreux insectes hématophages.

Nous allons détailler la composition du piège Vavoua puisque c'est un des pièges utilisés dans le protocole expérimental.

Le piège Vavoua (Figure 25) est composé de trois écrans cousus à  $120^\circ$ . Les écrans sont séparés en deux parties : une bande bleue phtalogène externe (75x30 cm) et une bande noire centrale (75x15 cm). Ces écrans sont maintenus en place par un cône en tulle de moustiquaire maintenu à sa base par un cercle en fil de fer de 80 cm de diamètre environ. Au sommet du dispositif, il y a un dispositif anti-retour ainsi qu'une boîte pour collecter les insectes piégés. Le piège peut être fixé au sol par un piquet avec la condition que le bas du piège ne soit pas à plus de 50 cm du sol (Laveissière & Penchenier, 2005) car les stomoxes volent entre 30 cm et 1 m du sol (Hansens, 1951). Le piège doit ensuite être placé au soleil pour que la réflectance de la couleur bleue soit optimale.

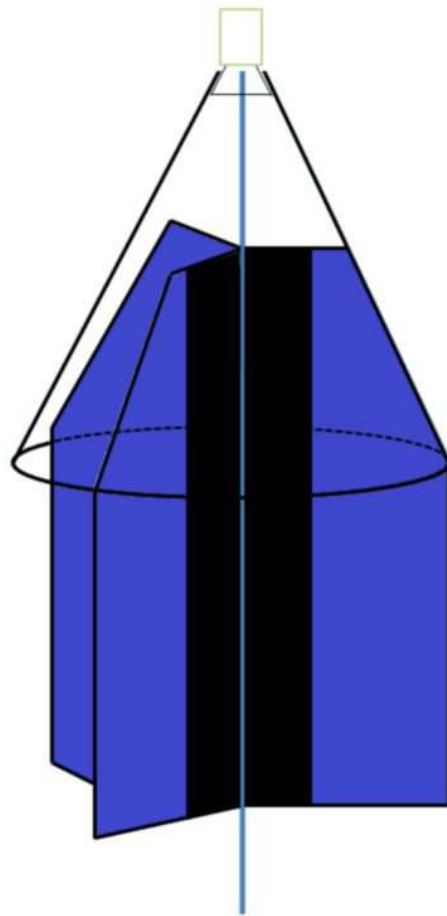


Figure 25. Piège Vavoua

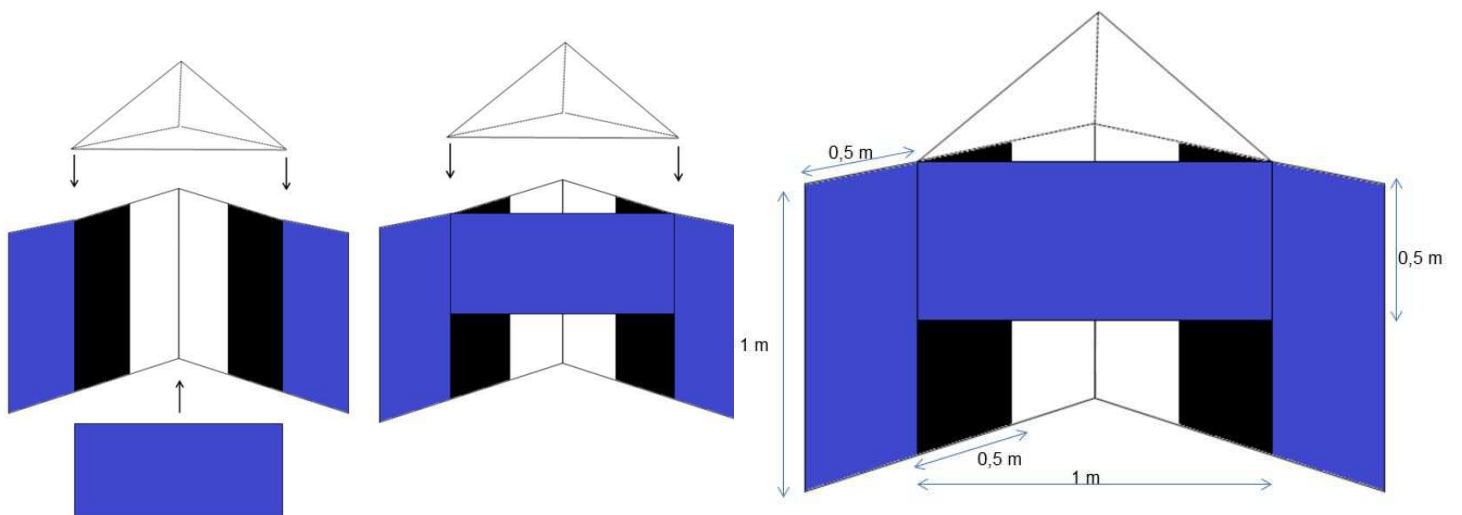


Figure 26. Piège Nzi : de gauche à droite, les différentes étapes de construction (dessin original)



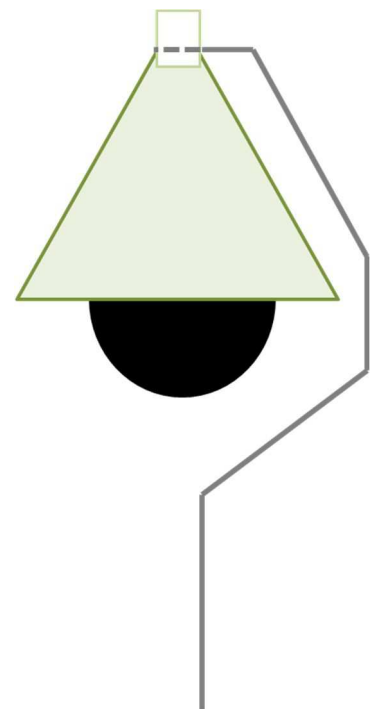
Toujours basés sur le contraste bleu/noir, des **écrans** peuvent être utilisés pour piéger des stomoxes. Soit l'écran est enduit de colle pour piéger les insectes, soit il est imprégné d'insecticide pour tuer les insectes au contact de l'écran. Dans ce dernier cas, on est dans une combinaison de lutte mécanique (attraction des insectes cibles par les couleurs et la forme du piège) et de lutte chimique (insecticide imprégné).

La couleur et la nature du tissu sont très importantes. En effet, différents tissus bleus peuvent avoir des capacités attractives très différentes, et, à longueur d'onde identique, les tissus synthétiques sont souvent plus attractifs que le coton ou des mélanges avec du coton, mais ils sont moins stables dans le temps car il se décolorent plus rapidement sous l'effet de la pluie ou du soleil (Laveissière *et al.*, 1987). Le choix du tissu est donc capital. Les exigences sur le tissu noir (zone d'atterrissage des insectes) sont moins strictes que celles portant sur le tissu bleu (pouvoir attractif du piège).

En 1973, Williams a développé des panneaux collants en fibres de verre translucides (Alsynite). L'attractivité de ce piège pour les stomoxes est liée à la réflectivité élevée dans le proche ultraviolet. La réflectance des panneaux d'Alsynite sous la lumière du soleil est compris entre 380 et 420 nm (Agee & Patterson, 1983 ; Zacks & Loew, 1989 ; Muirhead-Thompson, 2012).

### Tabanidae

En Afrique, on trouve des pièges bleus et noirs comme les pièges **Vavoua** ou **Nzi** pour piéger en premier lieu les glossines puis en second lieu d'autres diptères piqueurs comme les tabanides. Le piège Vavoua serait efficace pour piéger les *Chrysops* spp. Le piège Malaise, qui est un piège à interception, permettrait de piéger des *Haematopota* spp. et le piège Nzi serait un piège efficace pour un grand nombre d'espèces de tabanides et également pour les stomoxes. Le **piège Nzi** est le piège qui semble être le plus prometteur dans le piégeage des taons à travers le monde (Van Hennekeler *et al.*, 2008; Mihok *et al.*, 2006; F. Baldacchino *et al.*, 2013).



**Figure 27.** Piège H-Trap

Cependant, un nouveau piège est arrivé en 2011 sur le marché : le piège H-Trap produit par la société Abiotec (Figure 27). Il est constitué d'une sphère en plastique noir et brillant dont le but est d'attirer les femelles tabanides. En effet, les femelles sont intéressées par un haut degré de polarisation de la lumière réfléchi et c'est ce type de lumière qui est obtenu avec cette sphère (Egri *et al.*, 2012). Par ailleurs, la chaleur dégagée par la sphère noire au soleil, contribue également à attirer les tabanides. A raison de un à trois pièges par hectare, la société annonce une diminution de 90 à 95 % des taons présents sur un animal à proximité du piège. Néanmoins très peu d'études ont été publiées à ce sujet.

On connaît relativement précisément les longueurs d'ondes auxquelles sont sensibles les stomoxes mais ces connaissances ne sont pas disponibles pour les taons. Cette notion permettrait d'augmenter l'attractivité des pièges uniquement visuels.

Nous avons évoqué précédemment le fait que les stomoxes et les taons ont un sens de **l'odorat** développé qui leur permet de se diriger vers leur hôte. Il apparaît alors intéressant d'utiliser des **attractifs olfactifs** afin d'améliorer l'efficacité des pièges. Différents produits chimiques peuvent être utilisés :

- L'acétone : produit naturel se trouvant dans l'urine et le lait par exemple
- L'octénol : produit de l'auto-oxydation des acides gras non saturés se trouvant naturellement dans l'odeur des bovins
- Le crésol : produit se trouvant essentiellement dans l'urine des mammifères.

L'utilisation de pièges contenant du dioxyde de carbone, de l'octenol ou du phénol permet d'attirer plus de taons qu'un piège sans appât olfactif (Cilek & Olson, 2008).

L'**urine vieillie** de mammifère, qui contient cétones, alcools gras et phénol, semble également être un attractif efficace pour les taons (Baldacchino *et al.*, 2014).

### Simuliidae

Le piégeage des **simulies** n'apparaît pas dans la littérature comme un moyen de lutte efficace mais seulement comme un moyen d'évaluer les dynamiques saisonnières des populations. Les qualités requises pour piéger les simulies sont la taille de la surface attractive plus que la forme, la couleur sombre et les pièges à dioxyde de carbone sont également plus efficaces (Mason, 1986). Une étude faite sur trois espèces de simulies (Browne & Bennett, 1980) montre que chacune de ces espèces a une couleur de prédilection différente (noir, rouge

et bleu). Dans cette étude, la forme ne semble pas avoir d'influence sur l'attractivité des pièges.

## **Lutte chimique**

La lutte chimique contre les insectes peut se faire à la fois en traitant l'hôte et en traitant l'environnement de cet hôte (supports, lieux de pontes...).

On pourra utiliser les mêmes molécules pour lutter contre les stomoxes, les taons et les simulies. Différents principes actifs et formes galéniques sont disponibles avec des temps de rémanence variés sur l'hôte. Pour la plupart des formulations d'insecticides, la rémanence est permise par le sébum qui assure la fixation du produit sur la peau mais le cheval a une production très limitée de sébum. **Pour les chevaux, il n'existe donc aucun produit efficace rémanent.**

Les taons et les stomoxes, dont les gîtes larvaires sont variés et étendus, sont mobiles et ne restent sur leur hôte que le temps du repas. Leur contrôle est donc difficile. Seul le traitement des animaux avec des insecticides sera envisageable avec des produits en pulvérisation ou en pour-on.

### Principes actifs

Deux grandes catégories d'insecticides sont utilisées pour lutter contre les diptères parasites du bétail : les **insecticides neurotoxiques** et les **régulateurs de croissance**. Au sein des insecticides neurotoxiques, on utilise principalement trois familles :

- Les **pyréthroïdes** de synthèse (perméthrine, cyperméthrine, fenvalérate, deltaméthrine) qui agissent en bloquant les canaux sodiques présynaptiques en position ouverte, ce qui entraîne une paralysie tonique de l'insecte. Cette classe présente une **faible toxicité pour les mammifères** mais ils sont **très toxiques pour les poissons**. Ils sont également majoritairement éliminés par voie fécale, ce qui va présenter une **toxicité pour les insectes coprophages**. Les délais d'attente sont nuls ou très courts pour le lait ce qui permet de comprendre leur large utilisation dans les élevages laitiers. Ces molécules sont utilisées en **pulvérisation**, en **pour-on à effet de surface** ou encore en **plaquettes auriculaires**.
- Les **lactones macrocycliques** (avermectines/milbémycines) entraînent une paralysie flasque en se liant au récepteur glutamate des canaux chlore des cellules

nerveuses ou musculaires, ce qui est à l'origine d'un effet GABA-mimétique. Ces principes actifs, dits endectocides, ciblent à la fois des parasites internes et externes. Ils sont soit utilisés en **injection** soit en **pour-on mixte**. Dans la littérature on trouve des publications sur l'effet indirect des résidus d'ivermectines dans les fèces pour le contrôle du développement des larves de **stomoxes** (Floate et al., 2001) mais on ne trouve pas d'informations sur l'effet direct des ivermectines sur les stomoxes. Cependant une thèse vétérinaire expérimentale a été réalisée en 2005 par Claire Verdier, sur l'impact de la moxidectine sur deux espèces de glossines. Elle montre que l'utilisation de la moxidectine à des doses 2 à 4 fois supérieures à la dose habituelle augmente la mortalité des mouches (40%) et diminue les fonctions de reproduction (poids moyen des pupes, nombre moyen de puce par mouche). Des modifications comportementales (vol et digestion) ont également été observées en laboratoires et pourraient être un facteur supplémentaire de mortalité en conditions naturelles. Par analogie on peut penser que l'utilisation de lactones macrocycliques a un impact sur la mortalité des stomoxes et/ou des taons mais à des doses bien supérieures aux doses recommandées.

- Les **spinosynes** (spinosad) entraînent une paralysie en s'associant et en stimulant les récepteurs nicotiques à l'acétylcholine et secondairement par blocage du canal chlore du récepteur GABA. Les spinosynes agissent rapidement par contact ou par ingestion. Cet insecticide permet notamment d'agir sur l'environnement des animaux hôtes par le **traitement des surfaces** grâce à des peintures renfermant des spinosynes. Cet insecticide est peu toxique pour les mammifères mais **très toxique pour les abeilles**.

### Formes galéniques pour le traitement des bovins

Les **pulvérisations**, à base de pyréthroïdes, présente l'avantage de pouvoir **cibler une zone particulière du corps** de l'animal que l'on souhaite traiter. Cependant il est nécessaire de répéter très régulièrement les pulvérisations pour une protection optimale. La protection d'un animal par un insecticide est estimée par le pourcentage de diminution de la population de l'insecte contre lequel on lutte.

**Les boucles ou plaquettes auriculaires** à base de cyperméthrine (Flectron®) : le produit diffuse dans le film lipidique cutané par libération progressive du principe actif de la

trame de la boucle. Avec ce système, la tête et les épaules sont les parties du corps les plus imprégnées par la cyperméthrine. Or, les taons et les stomoxes préfèrent piquer le ventre et les membres, la protection conférée par les boucles auriculaires contre ces insectes est donc très limitée. En revanche, la **protection peut aller de 2 à 4 mois** pour les mouches de la face (*M. autumnalis* et *M. tempestiva*) ainsi que sur les mouches des cornes (*Haematobia irritans*) (Institut de l'élevage, 2008). Il est impératif de retirer les boucles en fin de saison pour éviter la sélection de mouche résistante mais ce n'est pas toujours fait dans la pratique.

Le **pour-on à effet de surface**, à base de pyréthroïdes, est facile à appliquer directement sur la ligne dorso-lombaire de l'animal. L'action de la molécule repose ici sur un effet surface par diffusion du pyréthroïde dans le film lipidique superficiel de la peau. Cette formulation est intéressante pour sa rémanence (4 à 8 semaines annoncées pour le Deltanil®). Le principal inconvénient des pour-on repose sur la faible diffusion du produit vers les membres et les parties déclives, zones de prédilection des taons et des stomoxes (Figure 28).

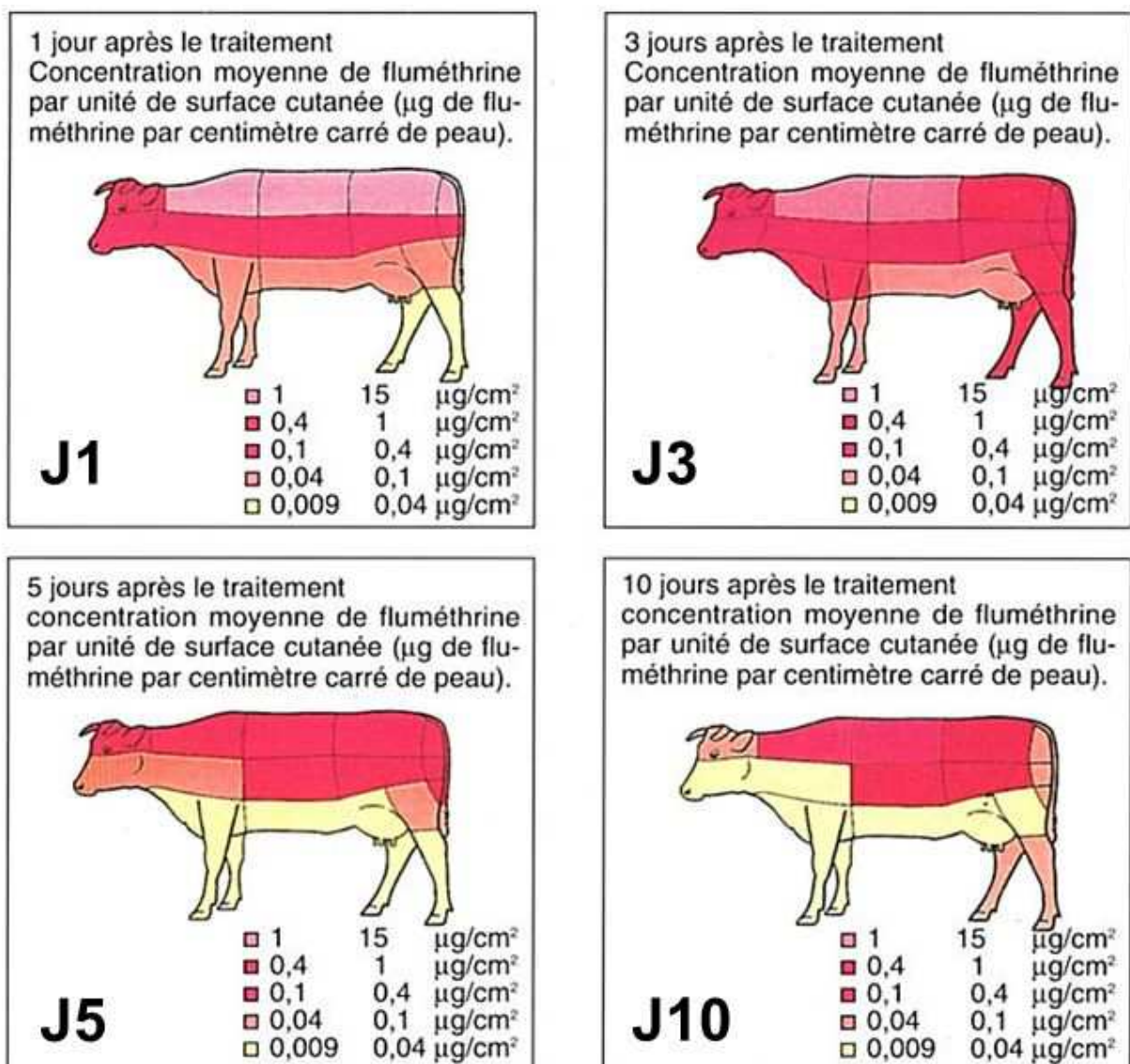
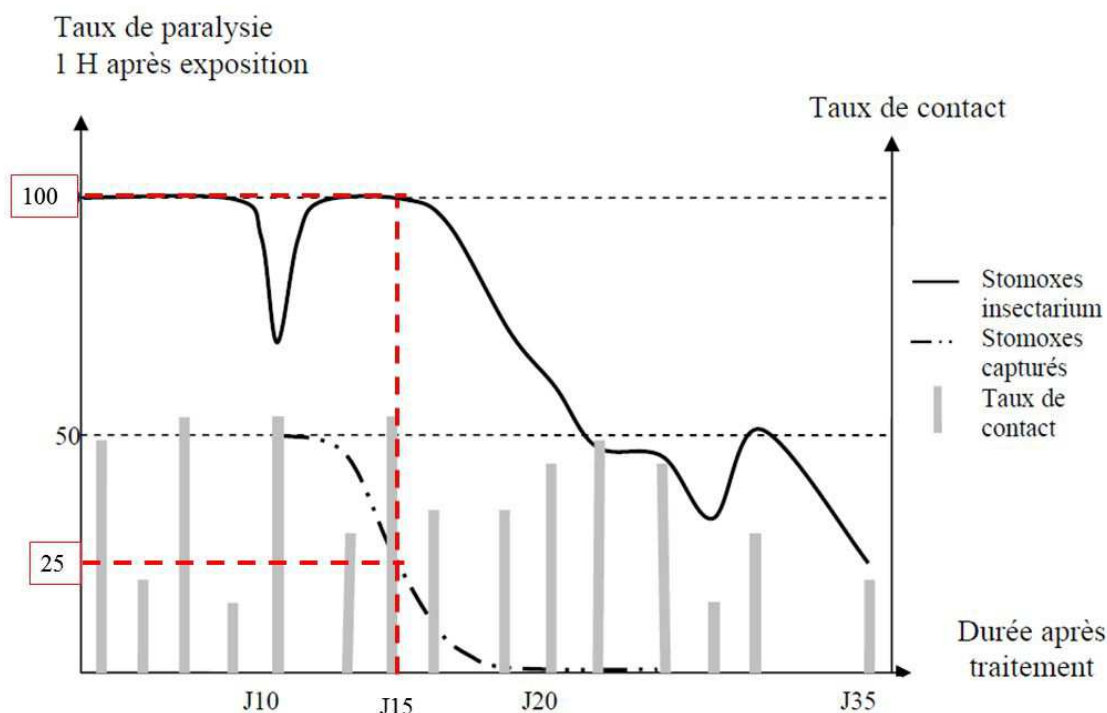


Figure 28. Cinétique de distribution de la Fluméthrine (Bayticol® 1% Pour-On)

Les **pour-on mixtes** sont à base d'ivermectines. On parle d'effet mixte car une partie du principe actif franchit la barrière cutanée et a une action systémique et l'autre partie reste dans le film lipidique cutané. Les avantages et inconvénients sont identiques à ceux du pour-on à effet de surface.

D'après les retours de certains éleveurs et vétérinaires, l'efficacité sur le terrain de ces différents traitements est limitée. Ainsi une thèse vétérinaire expérimentale sur les **stomoxes**, menée en 2006 par Nicolas Ehrhardt, a étudié l'efficacité et la rémanence du Butox® 50 % (deltaméthrine) sur les stomoxes des bovins. Dans un premier temps, l'**efficacité** du traitement sur des bovins a été étudiée dans des conditions idéales pour optimiser la rémanence du traitement (en intérieur). **Quinze jours** après le traitement, l'efficacité semble bonne (100% de stomoxes paralysés) pour les **stomoxes issus d'insectarium** alors que pour les **stomoxes capturés sur le terrain** l'efficacité est divisée par quatre (**25% de paralysie**) (Figure 29). L'autorisation de mise sur le marché (AMM) recommande d'effectuer des traitements tous les 15 jours, cette posologie ne convient pas pour le contrôle des stomoxes qui ont déjà été en contact avec des insecticides. Dans ces conditions idéales (en intérieur), la rémanence semble être bonne mais on voit ici une moindre sensibilité des stomoxes rencontrés sur le terrain qui ont certainement développé une résistance aux pyréthroïdes pour une certaine proportion d'entre eux.



**Figure 29.** Rémanence du Butox® 50% sur des bovins en intérieur (d'après Ehrhardt, 2006)

Dans des conditions moins maîtrisées (précipitations et soleil), avec des stomoxes issus d'insectarium, **l'efficacité diminue de moitié au bout de 9 jours** sur les membres antérieurs (9 à 17 jours sur le dos). Au regard de l'expérience précédente, on peut penser qu'avec une souche sauvage la rémanence du traitement serait encore plus faible.

Une autre étude, sur la résistance des **stomoxes** aux insecticides, menée en 2012 par Salem *et al.* a montré que des stomoxes provenant d'une zone où les insecticides sont largement utilisés (ENVT) **sont résistants aux pyréthroïdes** (cyperméthrine, deltaméthrine, fenvalérate). Des doses d'insecticides 7 à 22 fois supérieures aux doses recommandées par le fabricant sont nécessaires pour avoir un taux de létalité de 90% sur cette population. Dans la même étude, des stomoxes provenant d'un élevage en agriculture biologique, n'ayant plus utilisé d'insecticide chimique depuis quinze ans, présentaient une meilleure sensibilité aux pyréthroïdes avec des doses d'insecticides nécessaires égales ou inférieures aux doses recommandées pour atteindre 90% de létalité. Cette étude met en évidence pour la première fois en France métropolitaine une résistance de *S. calcitrans* aux pyréthroïdes.

Différents essais menés sur les **taons** de Guyane (Raymond & Favre, 1991a; Raymond & Favre, 1991b) avec des préparations de deltaméthrine en pour-on ou en pulvérisation montrent une activité insecticide de plus de 10 jours sur *Tabanus importunus*. Les auteurs recommandent donc une pulvérisation de BUTOX 50‰® (deltaméthrine) localisée sur les zones les plus attaquées par les taons : membres, têtes, ventre **tous les 10 jours**. Il semblerait qu'au bout de 3 ans de traitements rigoureux pendant la saison d'activité des taons, on observe une nette diminution de leur abondance. Ces traitements sont à la fois coûteux et contraignants pour l'éleveur.

En conclusion, l'usage de pulvérisations ou de pour-on à base de pyréthroïdes n'a pas de réel intérêt pour les chevaux et a un intérêt limité pour les bovins du fait de la **faible rémanence** et du développement important de **résistances**. À ces problèmes s'ajoute **l'impact écologique**, plus ou moins important, inhérent à tout usage d'insecticide.

Pour protéger les oreilles des chevaux contre les **simulies** on va pouvoir utiliser des filets plus ou moins imprégnés d'insecticides ou de l'huile de cade pour ses propriétés répulsive, antiseptique et apaisante pour la peau. Les pyréthroïdes semblent donner les meilleurs résultats pour prévenir les piqûres.

## Traitement des lieux de reproduction

On rappelle que le traitement chimique aux insecticides des eaux courantes, lieux de reproduction des **simulies**, est inenvisageable. Donc ces moyens chimiques, utilisés pour traiter les bovins et les gîtes de repos (barrière, murs, poteaux...), peuvent également être employés pour traiter les lieux de reproduction de certaines espèces de **taons** et des **stomoxes** (fumiers, bouse, végétaux en décomposition).

Les **régulateurs de croissance** sont essentiellement utilisés sur les milieux de reproduction. Parmi les régulateurs de croissance, deux principales catégories sont utilisées pour la lutte contre les stomoxes : les **analogues de l'hormone juvénile** (methoprène, pyriproxyfène et fenoxycarb) et les **inhibiteurs de la synthèse de chitine** (lufenoxuron, triflumuron, diflubenzuron, lufénuron et cyromazine). Les analogues de l'hormone juvénile peuvent être **ajoutés à la ration** des bovins et permettent une inhibition du développement des adultes par l'intermédiaire des bouses.

Nous avons déjà abordé précédemment certains aspects pratiques qui permettent d'optimiser la gestion des effluents pour diminuer la population de stomoxes. Ces points sont à privilégier par rapport à l'apport d'insecticide dans le fumier, qui ne doit être envisagé qu'en dernier recours car, malgré son efficacité (Taylor *et al.*, 2007 ; Wright *et al.*, 1975 ; Floate *et al.*, 2001), d'une part elle favorise **l'apparition rapide de populations résistantes** (Crespo *et al.*, 2002) et d'autre part d'un point de vue **environnemental** son usage est problématique car ces régulateurs de croissance sont non spécifiques des stomoxes.

Pour **traiter le fumier** il est possible d'appliquer des insecticides directement sur le tas de fumier ou d'en administrer aux animaux (additifs alimentaires, insecticides systémiques en pour-on ou en injectable) pour qu'ils se retrouvent dans les fèces. Cependant le recyclage de la matière organique est un processus complexe et long mettant en jeu des microorganismes et des insectes coprophages intervenant à la surface du sol. Si la faune invertébrée venait à être touchée par ces insecticides, cela aurait des conséquences néfastes sur tout un écosystème.

En dépit d'un arsenal thérapeutique diversifié, il existe de nombreux obstacles au contrôle des stomoxes, taons et simulies par les traitements insecticides sur les hôtes :



- La plupart des traitements externes se retrouvent en **concentrations insuffisantes** au niveau des zones de nourrissage des stomoxes et des taons (membres, parties déclives)
- La **rémanence** annoncée des différents traitements est bien plus **faible** sur le terrain.
- Le **temps de contact** entre les stomoxes ou les taons et l'insecticide est particulièrement court car ils ne sont sur leur hôte que le temps du repas de sang, soit deux ou trois fois par jour au maximum pour les stomoxes et tous les 4 ou 5 jours pour les taons.
- **L'impact environnemental** des insecticides est non négligeable
- Certaines études montrent l'apparition de **populations de stomoxes résistantes** à la plupart des insecticides utilisés pour le contrôle des mouches.
- Aucun insecticide ne peut empêcher le repas de sang d'un stomoxe ou d'un taon sur un bovin.

En pratique pour optimiser la lutte on peut **associer différentes techniques**, comme par exemple l'imprégnation de pièges attractifs par des insecticides.

Moyennant un budget plus élevé (7500\$), le laboratoire américain Spalding a mis au point un aspirateur à mouches (Figure 30) sur le parcours des vaches laitières pour aller à la salle de traite qui semble très efficace contre les mouches des cornes et qui permettrait de réduire les populations de stomoxes.



**Figure 30.** Aspirateur à mouches

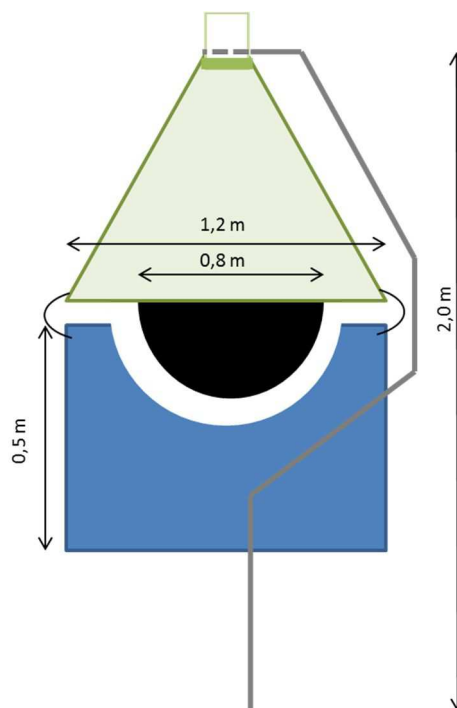
# **Matériels et méthodes**

L'étude s'est déroulée du 7 juillet 2015 au 14 octobre 2015 sur le campus de l'école nationale vétérinaire de Toulouse (ENVT). **Le but initial est de tester et de comparer l'efficacité du piège H-Trap et du piège H-Trap modifié pour les taons et les stomoxes.**

## 1. Choix des pièges

Quatre systèmes de piégeages ont été comparés (Figure 32) :

- Le piège **Vavoua** (Figure 25), noté V, est un piège qui a prouvé son efficacité pour le piégeage des stomoxes (Mihok *et al.*, 1995, Gilles *et al.*, 2007) et qui est classiquement utilisé pour le suivi des populations de stomoxes. Une boîte en plastique surplombe le piège et a été remplie par un mélange d'eau, de sel et de savon afin de faciliter la récupération des insectes piégés. Ce piège a été placé à environ 50 cm du sol.
- Le piège **Malaise**, noté M, est un piège non sélectif et non attractif, il s'agit d'un piège d'interception des insectes, habituellement utilisé pour la collecte d'insectes volants, marcheurs et sauteurs.
- Le piège **H-Trap** (Figure 27 et Figure 31), noté HT, est conçu pour piéger les taons. La sphère noire émet de la chaleur et une lumière polarisée quand elle est exposée au soleil, elle devient alors attractive pour les taons qui la confondent avec un animal de grande taille. Quand le taon s'envole pour repartir, il est piégé dans le système de récupération conique et est conduit dans une boîte en plastique remplie d'un mélange d'eau, de sel et de savon dans lequel il meurt.



**Figure 31.** Dimensions du piège H-Trap et HTM

- Le piège **H-Trap modifié** (Figure 31), noté HTM, comprend le piège H-Trap sous lequel on a ajouté un écran bleu dans le même tissu que celui utilisé pour le piège Vavoua dans le but de piéger des stomoxes en plus des taons. L'écran bleu est à environ 50 cm du sol.



Figure 32. Pièges testés

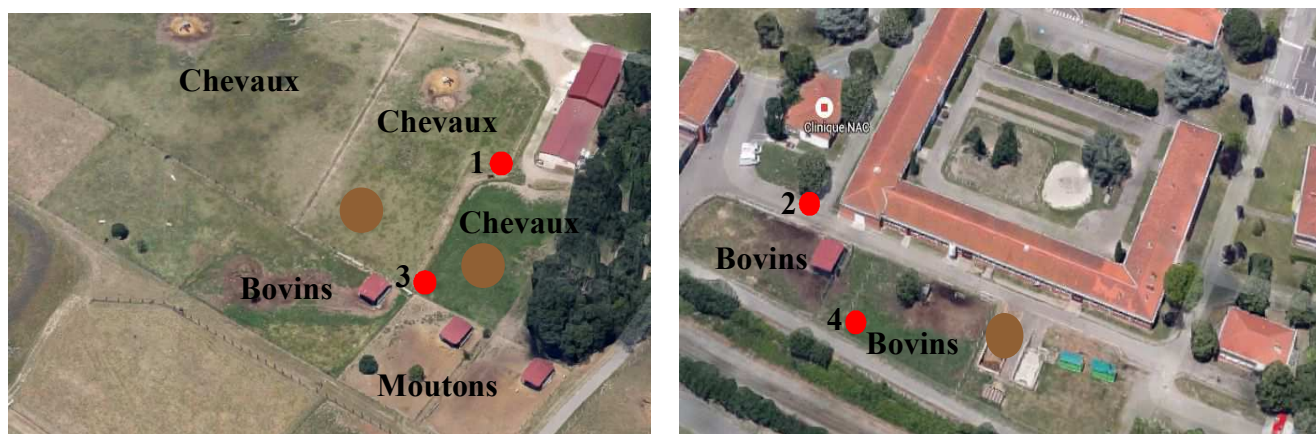


## 2. Sites de captures

Pour tester nos quatre pièges, il est nécessaire d'avoir quatre emplacements. Différentes expériences de piégeage ont été menées sur le campus de l'école vétérinaire (Rouet, 2011 ; Nicolas, 2014), permettant ainsi de connaître des emplacements favorables au piégeage des stomoxes. Cependant, suite à des modifications de l'agencement et de l'occupation de certains prés, seulement deux de ces emplacements ont pu être réutilisés dans cette étude (1 et 3). Les deux autres emplacements (2 et 4) ont été choisis en fonction de leur proximité avec des animaux, hôtes susceptibles des taons et des stomoxes, et la proximité des sites de pontes éventuels (tas de fumier, foin en décomposition...) (Figure 33 et Figure 34)



**Figure 33.** Emplacement des pièges sur le site de l'école vétérinaire



**Figure 34.** Détail des emplacements des pièges (en marron les tas de fumier)

### 3. Protocole expérimental

Une première session de quatre séries de quatre jours de captures a été réalisée du 7 juillet au 21 août 2015, mais devant le climat chaud et sec durant cette période, peu favorable pour la capture des stomoxes, une deuxième session de quatre séries de quatre jours a eu lieu du 8 septembre au 14 octobre 2015. Chaque série de quatre jours suit un dispositif en carré latin. Au cours de quatre jours, chaque piège passe un jour à chaque emplacement (Tableau 3). Au total, il y a eu 32 jours de piégeage. Les jours exacts de piégeage sont détaillés en annexe.

| Lieu \ Jour | 1   | 2   | 3   | 4   |
|-------------|-----|-----|-----|-----|
| 1           | HT  | HTM | V   | M   |
| 2           | M   | HT  | HTM | V   |
| 3           | V   | M   | HT  | HTM |
| 4           | HTM | V   | M   | HT  |
| 5           | M   | HT  | HTM | V   |
| 6           | V   | M   | HT  | HTM |
| 7           | HTM | V   | M   | HT  |
| 8           | HT  | HTM | V   | M   |
| 9           | V   | M   | HT  | HTM |
| 10          | HTM | V   | M   | HT  |
| 11          | HT  | HTM | V   | M   |
| 12          | M   | HT  | HTM | V   |
| 13          | HTM | V   | M   | HT  |
| 14          | HT  | HTM | V   | M   |
| 15          | M   | HT  | HTM | V   |
| 16          | V   | M   | HT  | HTM |

**Tableau 3.** Disposition des pièges au cours d'une session de seize jours de piégeage

Les jours de piégeage ont été choisis en fonction des conditions météorologiques : pas de précipitation, pas de vent ou vent très faible, températures relativement similaires sur une série de quatre jours.

Les pièges ont été mis en place chaque jour de capture entre 8h30 et 9h00 et ont été récupérés chaque soir entre 18h00 et 18h30.

À la fin d'une journée de capture, les insectes ont été collectés par piège, puis ils ont été stockés dans des pots (un pot par piège). Le contenu de chaque pot est ensuite observé à la loupe binoculaire au laboratoire de parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse pour la diagnose d'espèce. Les insectes ont été dénombrés et différenciés en 9 catégories : stomoxes (mâles/femelles), *Haematobia irritans*, Tabanidae, diptères syrphidés, Simuliidae, autres diptères, hyménoptères pollinisateurs (abeilles, guêpes), autres hyménoptères, autres insectes.

Les catégories diptères syrphidés et hyménoptères pollinisateurs correspondent aux insectes pollinisateurs dont on veut éviter un piégeage trop important.

Le choix de différencier les simulies des autres diptères s'est fait au cours de l'expérimentation en constatant que ces insectes étaient piégés en grand nombre, et du fait de leur caractéristique d'insecte nuisible.

Sur toute la période de l'étude, les données climatiques suivantes ont été récupérées à la station météorologique de Toulouse-Blagnac (à 2 km du site) :

- les températures minimale, maximale et moyenne (entre 9h et 18h)
- l'humidité relative
- la hauteur des précipitations
- la moyenne des vitesses du vent (m/s)

#### **4. Analyse des résultats**

L'analyse descriptive a été faite sur Excel et l'analyse statistique a été réalisée avec le logiciel R (Free Software Foundation's GNU). Des analyses de variance à multiples facteurs ont été effectuées afin de voir s'il y avait un effet piège, emplacement ou jour sur le nombre d'insectes capturés. Si un effet significatif ( $p < 0,05$ ) était trouvé, une comparaison multiple sur R a été faite pour trouver précisément à quel niveau se situent les différences significatives ( $p < 0,05$ ).

# Résultats

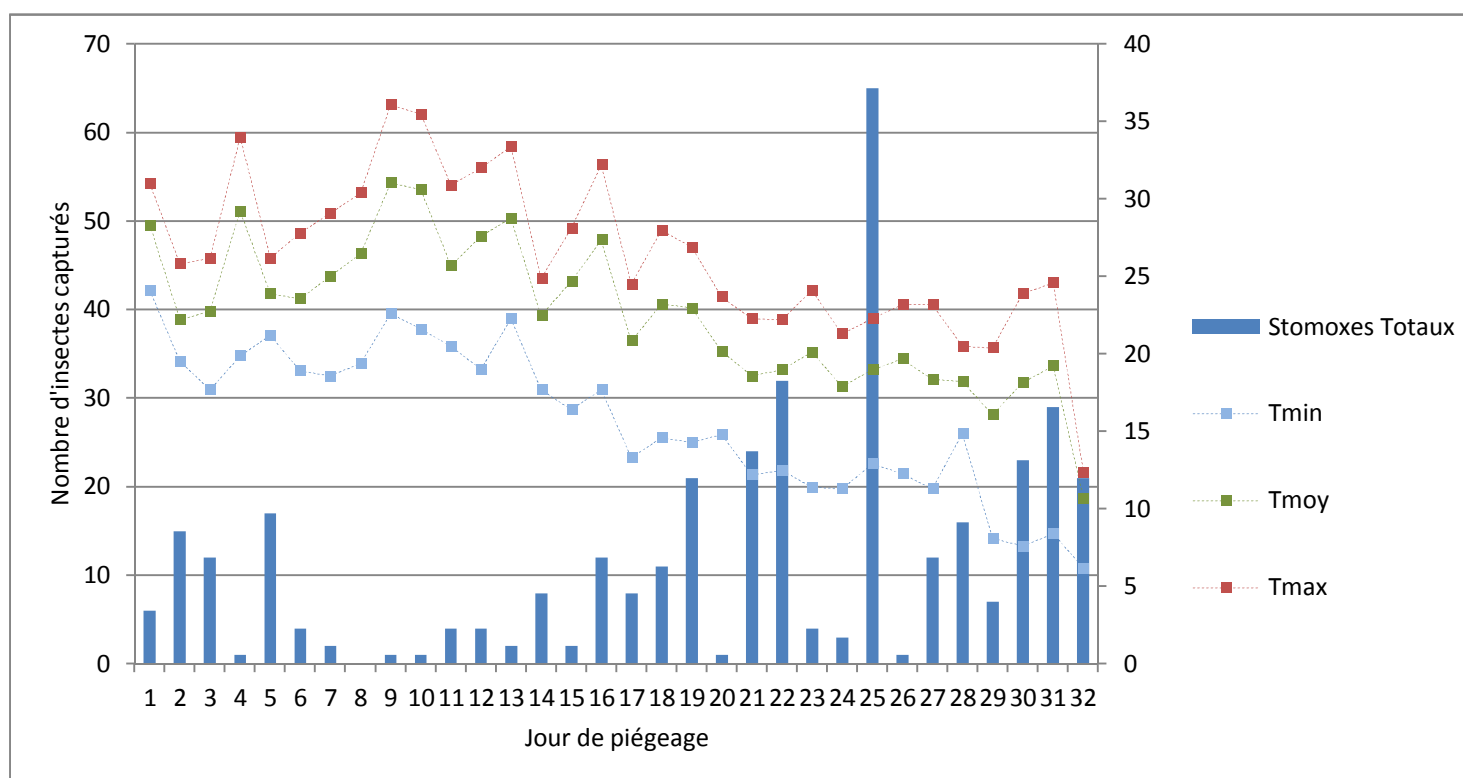


Quel que soit le type d'insecte capturé, le jour de piégeage n'a pas eu d'effet significatif sur le nombre d'insectes capturés.

### 1. Comparaison de l'efficacité des quatre pièges pour *Stomoxys calcitrans*

Les pièges ont été posés 32 jours en deux sessions de 16 jours parmi les deux périodes suivantes :

- du 7 juillet 2015 au 21 août 2015
- du 8 septembre 2015 au 14 octobre 2015



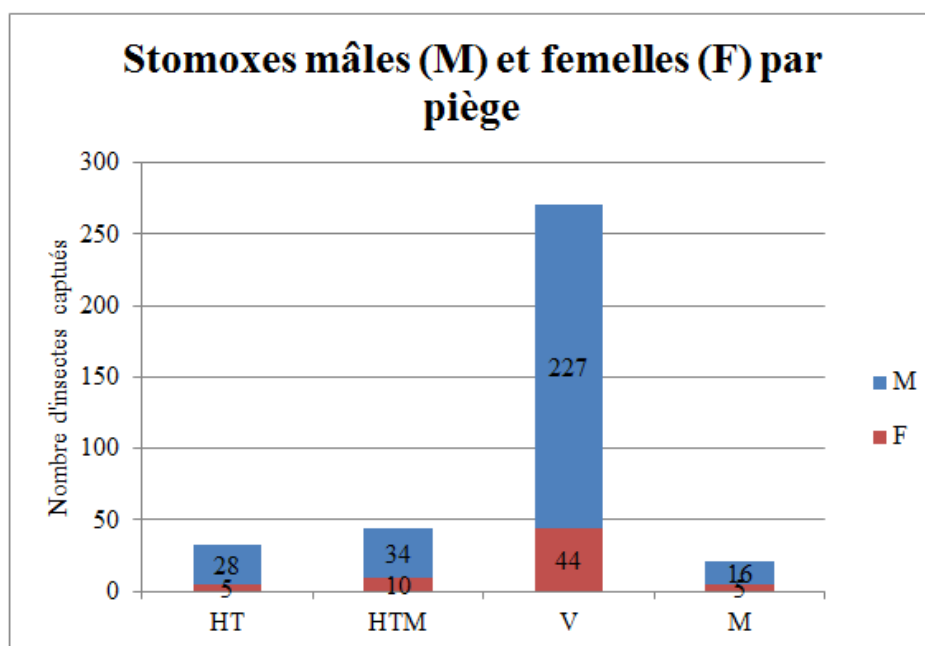
**Figure 35.** Nombre total de *Stomoxys calcitrans* (mâles et femelles) capturés et températures enregistrées lors des 32 journées de piégeage

Le premier constat qui peut être fait à partir de la Figure 35 est que la deuxième période de piégeage semble avoir été plus propice à la capture des stomoxes. Cette observation est confirmée par le Tableau 4. Il y a significativement ( $p=0,01$ ) plus de stomoxes qui ont été capturés sur la deuxième période. Cette deuxième période se caractérise essentiellement par des **températures plus basses**. Alors que la période où il n'y a plus du tout de stomoxes capturés sur la première session (J7-J10) coïncide avec un **pic de chaleur** ( $T_{moy} > 24^{\circ}\text{C}$ ).

|                                     | P1   | P2   |
|-------------------------------------|------|------|
| <b>Nombres de stomoxes capturés</b> | 91   | 278  |
| <b>T° min moy (°C)</b>              | 19,8 | 11,6 |
| <b>T° max moy (°C)</b>              | 30,2 | 22,7 |
| <b>T moy moy (°C)</b>               | 26,2 | 18,9 |
| <b>HR %</b>                         | 47   | 56   |
| <b>Vent (km/h)</b>                  | 13,6 | 11,2 |

**Tableau 4.** Comparaison des deux périodes de piégeages pour les stomoxes

L'analyse statistique permet de dire que les pièges et les emplacements ont un effet significatif sur le nombre de stomoxes capturés.



**Figure 36.** Nombre de stomoxes mâles et femelles capturés par piège (deux sessions confondues)

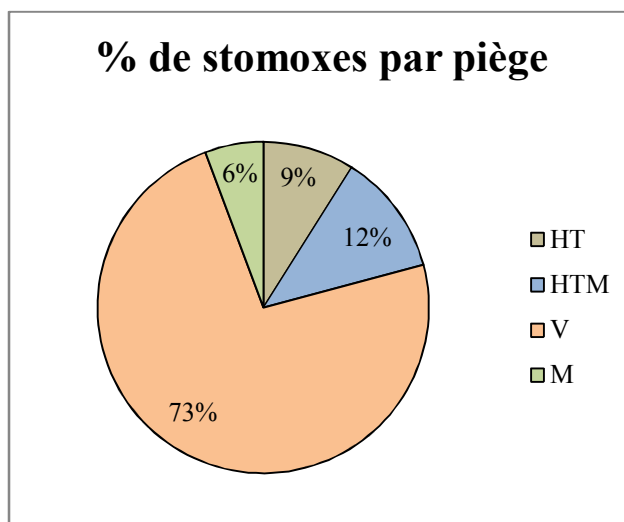
La Figure 36 permet deux principales observations :

- le piège Vavoua a capturé plus de stomoxes que tous les autres pièges réunis
- 83% des stomoxes capturés au cours de la période sont des mâles et ce sexe ratio est à peu près identique d'un piège à l'autre

## Effet piège

La Figure 37 permet de visualiser que le piège **Vavoua** a été significativement beaucoup **plus efficace pour la capture des stomoxes**, car il a capturé à lui tout seul presque les trois quarts de tous les stomoxes capturés sur la période.

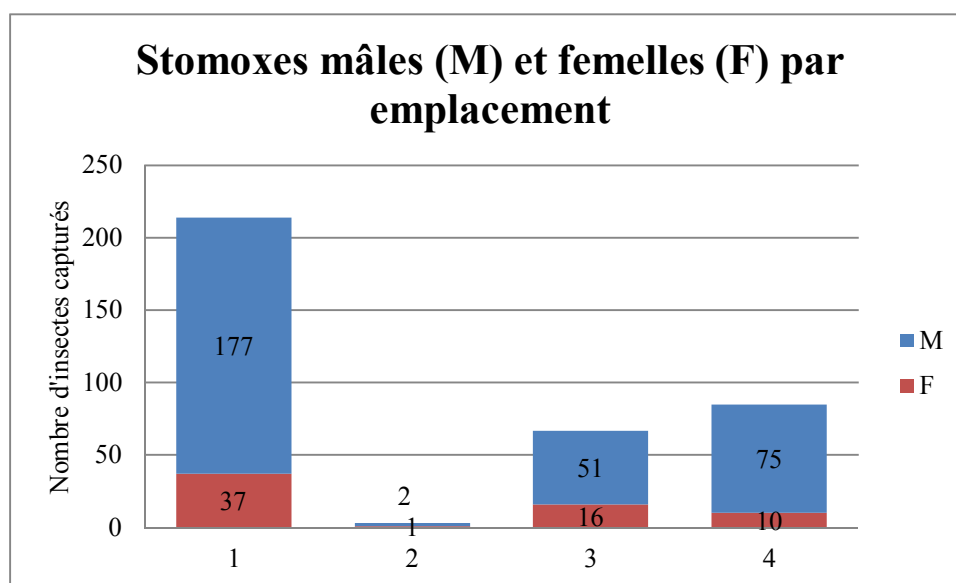
Le piège HT modifié a capturé 12% de stomoxes contre 9% pour le piège HT original.



**Figure 37.** Pourcentage de stomoxes capturés par piège

## Effet emplacement

La Figure 38 nous indique le nombre de stomoxes capturés ainsi que le sexe ratio par emplacement. On constate qu'on retrouve un **nombre de mâles capturés plus importants**. **L'emplacement 1** a été le lieu qui a permis la capture du **plus grand nombre de stomoxes** ( $p < 0,05$ ). L'emplacement 2 aura permis la capture de seulement 3 stomoxes sur toute la période de piégeage. L'emplacement 4 a été le siège d'un peu plus de capture de stomoxes que l'emplacement 3.

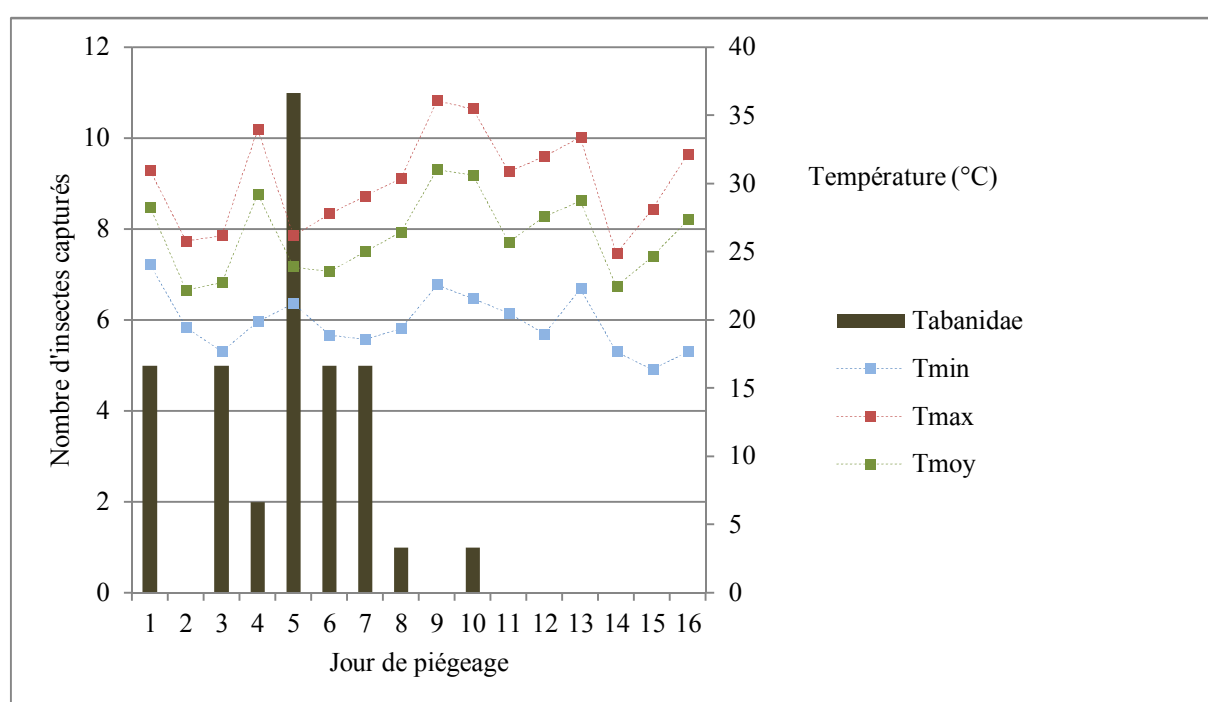


**Figure 38.** Nombre de stomoxes mâles et femelles capturés par emplacement

## 2. Comparaison de l'efficacité des quatre pièges pour les Tabanidae

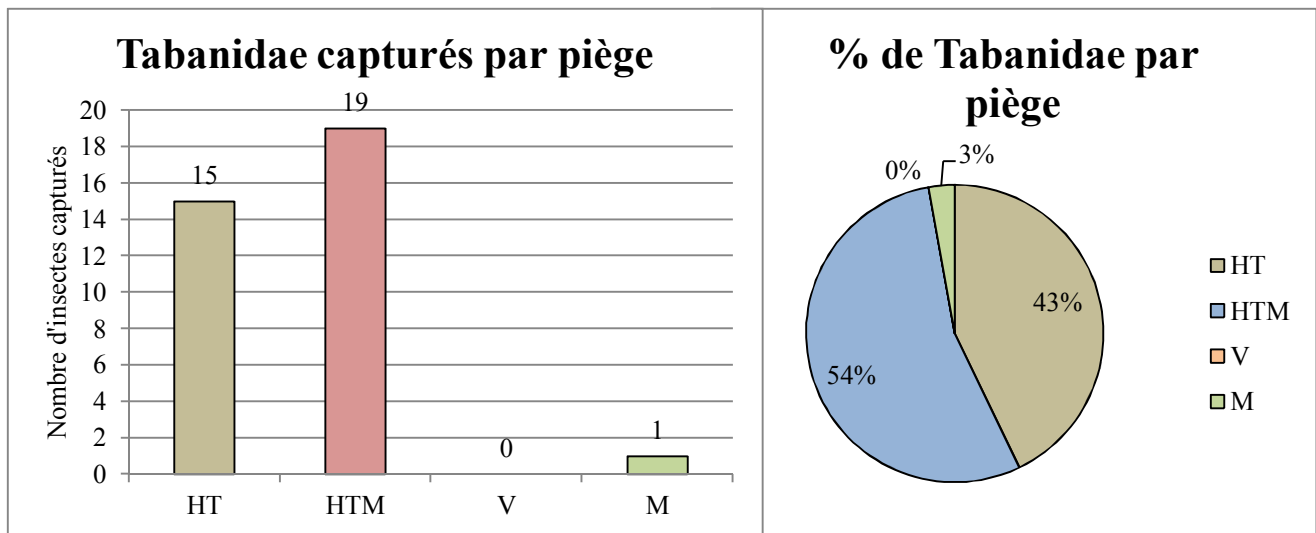
Deux espèces différentes de Tabanidae ont été piégées sur le campus de l'école vétérinaire : *Haematopota scutellata* et *Tabanus tinctus*. Un total de 35 taons a été piégé lors de la première période de captures et aucun pendant la seconde. L'analyse statistique n'a donc pas permis de dégager de résultat significatif.

La Figure 39 met en évidence qu'à partir du onzième jour de capture, plus aucun taon n'a été piégé. Il ne semble pas y avoir de corrélation entre la température et le nombre de taons capturés.



**Figure 39.** Nombre total de Tabanidae capturés et températures enregistrées pendant la première session de captures

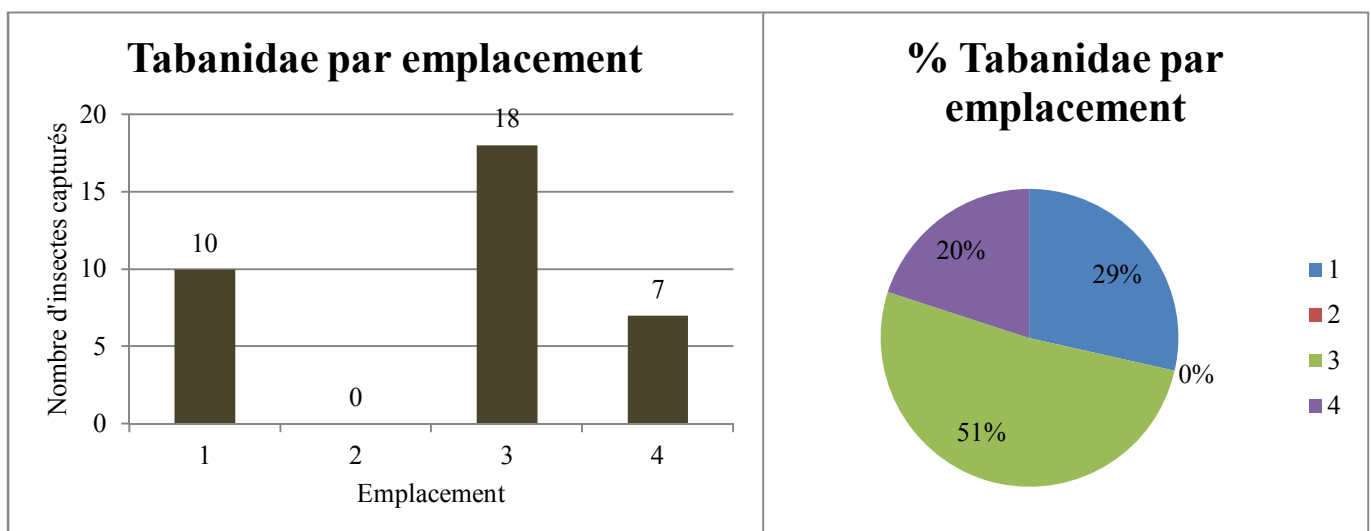
La Figure 40 montre qu'aucun taon n'a été capturé avec le piège Vavoua. Au cours de la période de piégeage, le piège H-Trap dans sa version modifiée a capturé légèrement plus de Tabanidae que le piège H-Trap normal.



**Figure 40.** Nombre et pourcentage de Tabanidae capturés par piège

La Figure 41 montre de légères différences dans le nombre de taons capturés en fonction de l'emplacement. C'est l'emplacement 3, à proximité des chevaux, des vaches et des moutons qui a montré le plus grand nombre de captures de taons.

Tout comme pour les stomoxes, l'emplacement numéro deux n'a permis la capture d'aucun taon.

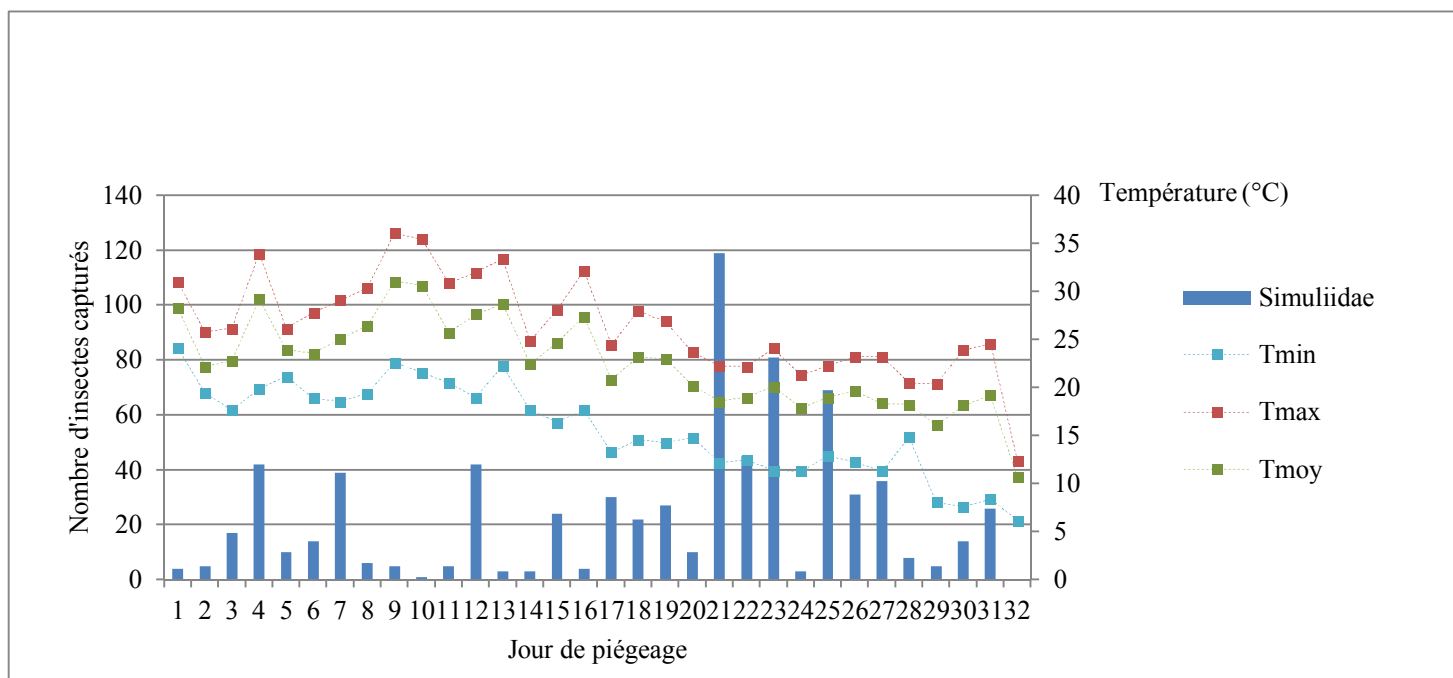


**Figure 41.** Nombre et pourcentage de Tabanidae par emplacement

### 3. Comparaison de l'efficacité des quatre pièges pour les Simuliidae

Dans le projet initial, les simulies étaient comptabilisées en tant qu' « autre diptères » mais un nombre important de simulies a été piégé au cours des 32 jours de capture. Étant donné le pouvoir pathogène non négligeable de ces insectes, il a été décidé de comparer également l'efficacité des pièges pour les simulies. Six spécimens de simulies, capturés en fin de deuxième période, ont été envoyés à une spécialiste, Dr Doreen Werner (Allemagne), pour identification. L'espèce capturée à Toulouse est *Simulium equinum*.

La Figure 42 semble indiquer qu'il y a eu plus de simulies capturées sur la deuxième période de piégeage. Le Tableau 5 confirme qu'il y a significativement ( $p=0,0453$ ) eu plus de captures sur la deuxième période (deux fois plus). Cette session étant caractérisée par l'absence de températures très élevées par rapport à la première période où les 30 degrés ont été dépassés 9 jours sur 12. Par ailleurs, l'activité des simulies semble être très variable d'un jour à l'autre.



**Figure 42.** Nombre total de Simuliidae capturées et températures enregistrées durant les 32 jours de piégeage

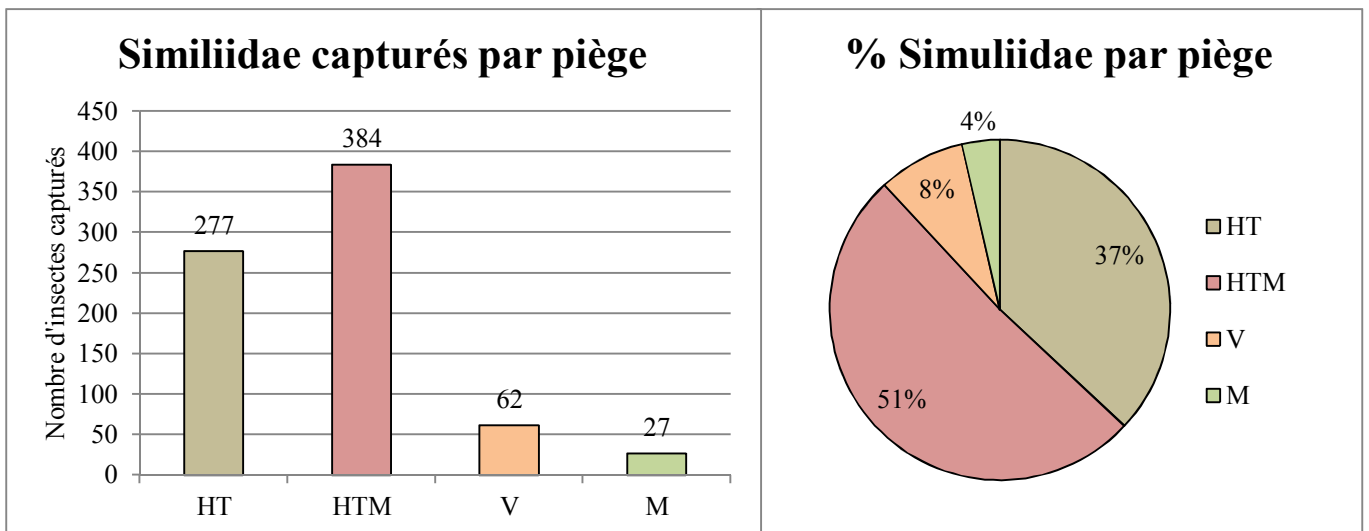
|                                      | P1   | P2   |
|--------------------------------------|------|------|
| <b>Nombre de Simuliidae capturés</b> | 224  | 526  |
| <b>T° min moy</b>                    | 19,8 | 11,6 |
| <b>T° max moy</b>                    | 30,2 | 22,7 |
| <b>T moy moy</b>                     | 26,2 | 18,9 |
| <b>HR</b>                            | 47%  | 55%  |
| Vent (km/h)                          | 13,6 | 11,2 |

**Tableau 5.** Comparaison des deux périodes de piégeage pour les simuliés

L'analyse statistique a permis de montrer que deux effets étaient significatifs sur le nombre de Simuliidae capturés : les **pièges** et les **emplacements**

### Effet piège

La Figure 43 indique que le piège H-Trap modifié a capturé significativement plus de Simuliidae que le piège Vavoua et le piège Malaise. Il a également capturé plus d'insectes que le piège H-Trap original mais sans que la différence soit significative ( $p=0,74$ ).



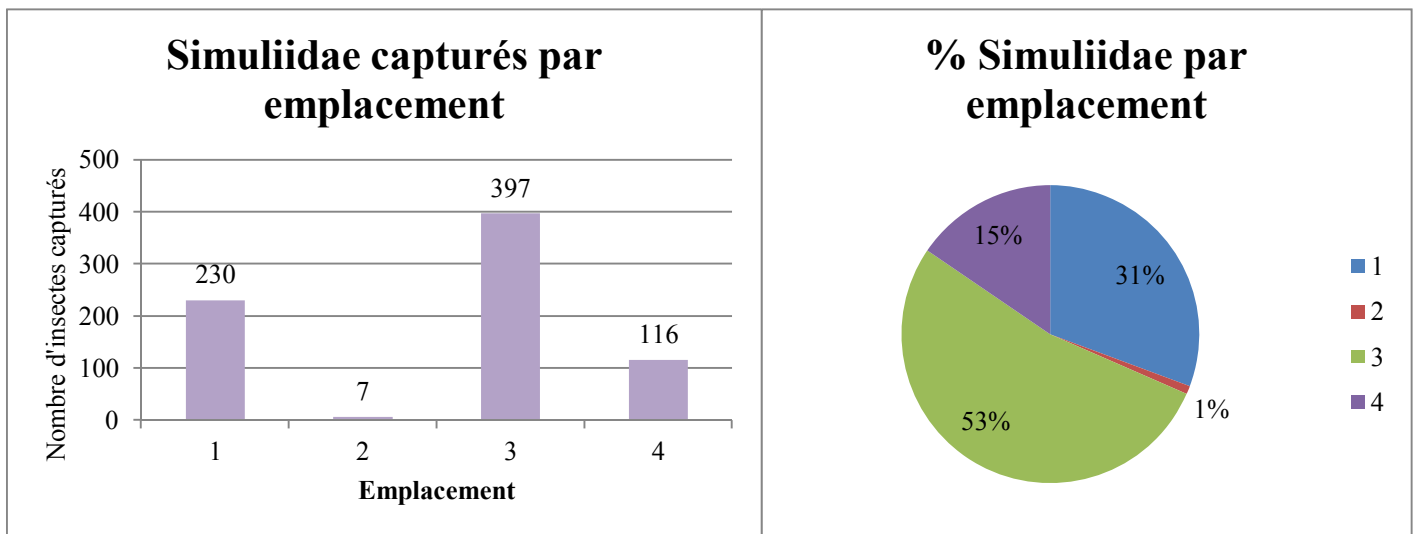
**Figure 43.** Nombre et pourcentage de Simuliidae capturés par piège

### Effet emplacement

La Figure 44 montre qu'on retrouve la même tendance que pour le piégeage des taons et des stomoxes :

- l'emplacement 2 n'a permis la capture que de très peu d'insectes

- l'emplacement 3 est celui qui a été le siège de plus de la moitié des captures de Simuliidae

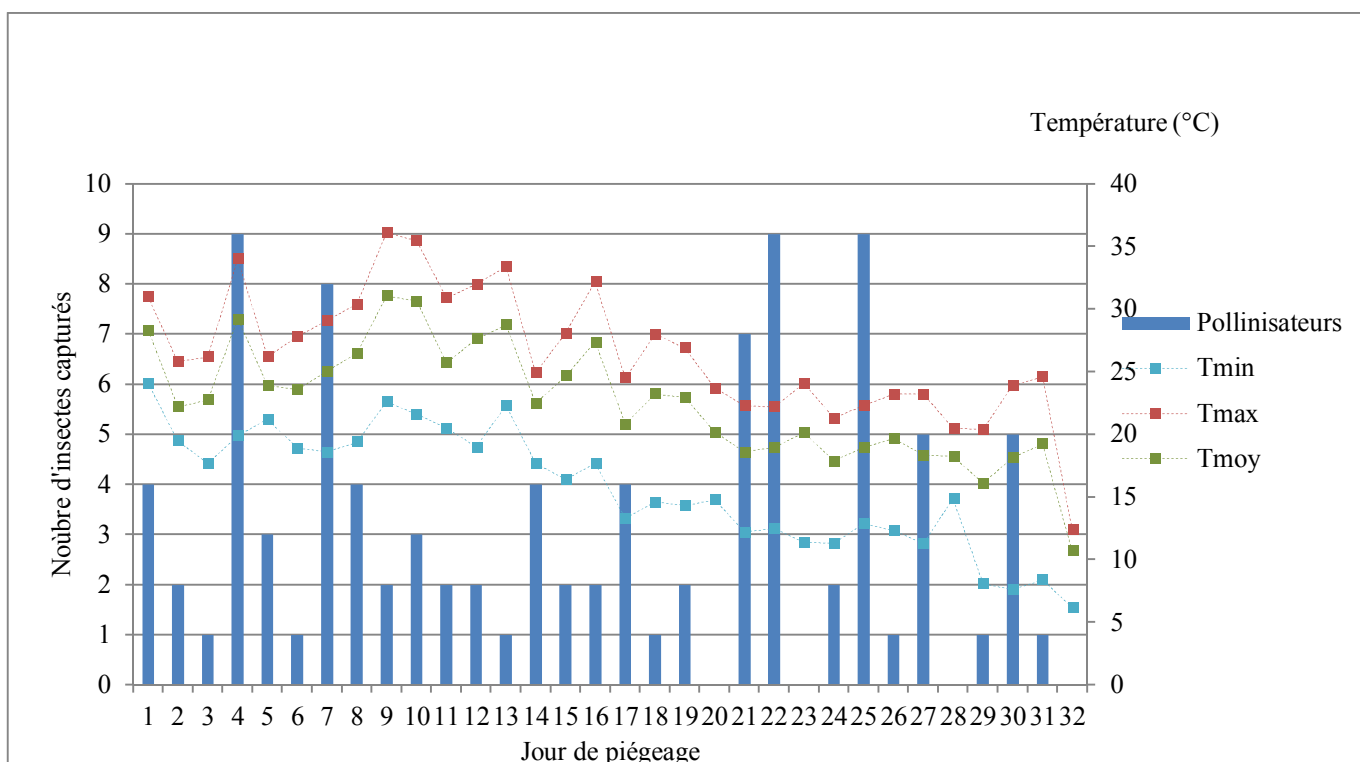


**Figure 44.** Nombre et pourcentage de Simuliidae capturés par emplacement



#### 4. Comparaison de la spécificité des différents pièges vis-à-vis des insectes cibles (stomoxes, taons et simulies)

La Figure 45 semble indiquer que le piégeage des insectes pollinisateurs a été constant au cours de la période de piégeage avec un nombre comparable entre les deux périodes de piégeage. En effet, 50 insectes ont été piégés lors de la première session et 47 lors de la deuxième session.

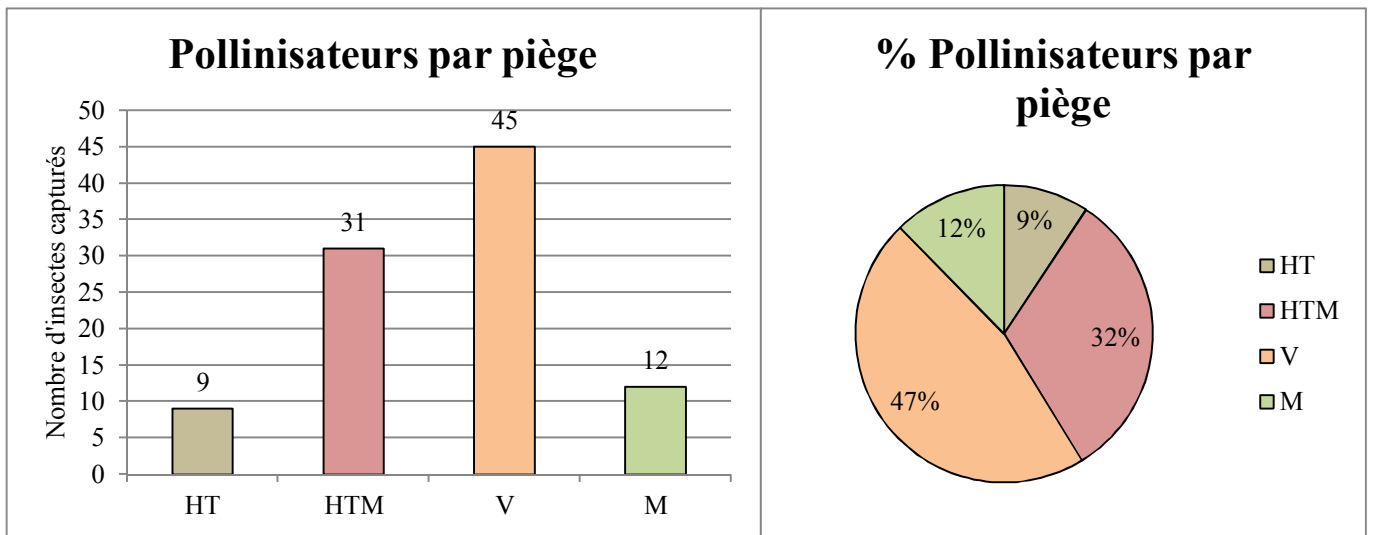


**Figure 45.** Nombre total d'insectes pollinisateurs capturés et températures enregistrées durant les 32 jours de piégeage

L'étude statistique a permis de mettre en évidence que la nature du piège ainsi que l'emplacement ont eu un effet significatif sur le nombre de pollinisateurs capturés chaque jour.

#### Effet piège

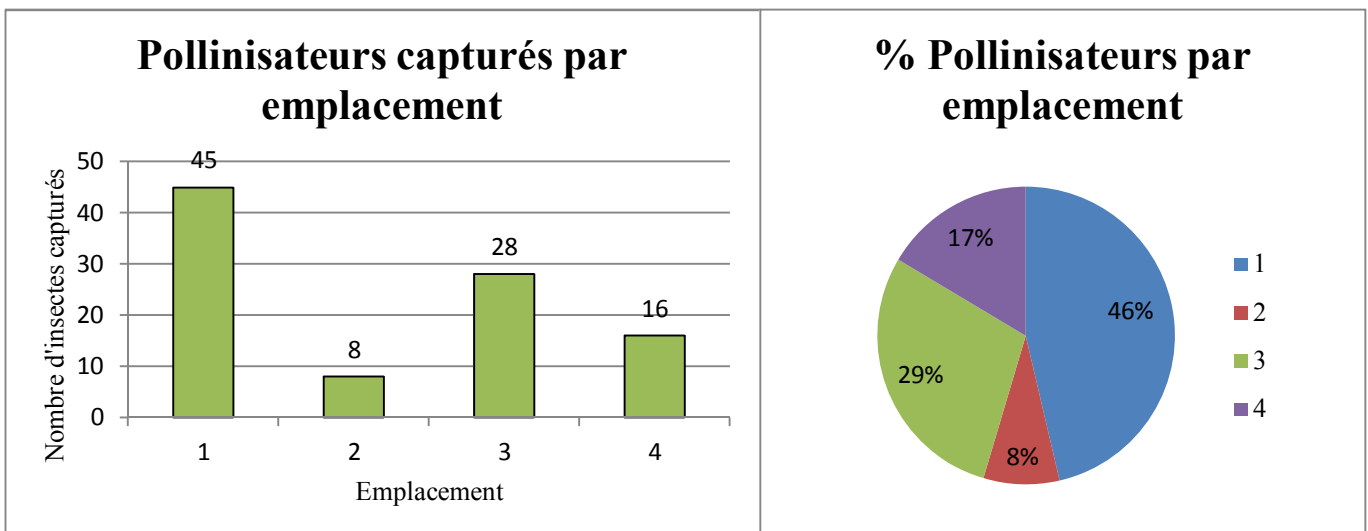
La Figure 46 met en évidence que c'est le piège Vavoua qui a capturé presque la moitié des insectes pollinisateurs de toute la période de piégeage. Il a capturé significativement plus d'insectes que le piège Malaise ou que le H-Trap original. On remarque également que l'ajout du panneau bleu sous le H-Trap (HTM) a permis la capture de presque trois fois plus de pollinisateurs que le H-Trap.



**Figure 46.** Nombre et pourcentage de pollinisateurs capturés par piège

### Effet emplacement

La Figure 47 illustre une tendance légèrement différente par rapport aux précédents insectes étudiés. En effet, cette fois-ci c'est l'emplacement 1, à proximité des chevaux, qui a été le siège d'un nombre significativement plus important de capture d'insectes pollinisateurs. Par contre l'emplacement 2 reste l'emplacement où il y a le moins d'insectes capturés.



**Figure 47.** Nombre et pourcentage de pollinisateurs capturés par emplacement

# Discussion

## Problématique

Nous avons initialement cherché à tester **l'efficacité et la spécificité de deux pièges** pour les **taons** et les **stomoxes** :

- le H-Trap dont l'efficacité est reconnue pour le piégeage des taons
- Le H-Trap modifié qui a un écran bleu en plus pour essayer d'attirer les stomoxes

Le but étant de vérifier que

- la modification « écran bleu » **n'altère pas** les capacités du H-Trap dans le piégeage des taons
- la modification apporte un **bénéfice pour le piégeage des stomoxes** dans l'idée de pouvoir utiliser **un seul piège** pour la lutte contre les stomoxes et les taons. Le piège Vavoua sert de référence pour le piégeage des stomoxes et le piège Malaise est un piège non attractif témoin.

Au cours des expérimentations, les pièges se sont révélés efficaces pour le piégeage d'autres insectes d'importance médicale et vétérinaire : les **simulies**. Le comportement des quatre pièges vis-à-vis des simulies a donc également été comparé.

La spécificité a été évaluée en fonction de la quantité d'insectes pollinisateurs piégés.

Pour les **stomoxes**, le piège **Vavoua** reste largement **le plus efficace** mais c'est également ce piège qui capture le plus d'insectes **pollinisateurs**. L'ajout de l'écran bleu au piège H-Trap n'a pas permis de capturer significativement plus de stomoxes que le H-Trap normal.

Pour les **taons**, le piège **Vavoua** semble être **sans utilité** alors que les pièges H-Trap avec ou sans modification capturent des taons. D'ailleurs la modification «écran bleu » **ne semble pas altérer l'efficacité** du H-Trap vis-à-vis des taons puisque le HTM en a capturé légèrement plus que le HT.

Pour les **simulies**, le piège **H-Trap** dans sa version modifiée est significativement plus efficace que le piège Vavoua. La modification écran bleu semble également augmenter l'attractivité du piège pour les simulies.

Pour ce qui est des **pollinisateurs**, l'ajout de l'écran bleu au H-Trap a conduit à la capture d'un nombre plus important d'insectes bénéfiques que dans la version H-Trap initiale.

Le **piège idéal** serait un piège qui combine à la fois une bonne efficacité pour les insectes nuisibles et une bonne spécificité pour ces insectes afin d'éviter d'éliminer une population d'insectes bénéfiques comme les pollinisateurs.

Le Tableau 6 classe, par catégorie d'insectes, l'efficacité des pièges. La qualité du piège vis-à-vis des pollinisateurs se fait dans le sens opposé par rapport aux autres insectes. En effet un bon piège est un piège qui capture le moins de pollinisateurs possibles.

| Qualité du piège (du meilleur au moins bon) |            |            |            |   |
|---|------------|------------|------------|---|
| <b>Stomoxes</b>                             | V          | <b>HTM</b> | HT         | M |
| <b>Taons</b>                                | <b>HTM</b> | HT         | M          | V |
| <b>Simulies</b>                             | <b>HTM</b> | HT         | V          | M |
| <b>Pollinisateurs</b>                       | HT         | M          | <b>HTM</b> | V |

**Tableau 6.** Classification des pièges en fonction de leur efficacité

Au regard de ce tableau et si on accorde le même poids aux différents critères (efficacité et spécificité) c'est le piège **H-Trap dans sa version modifiée** qui semble réunir le plus de qualités.

### Conditions climatiques

L'été 2015 a été particulièrement chaud ce qui a considérablement diminué le nombre d'insectes potentiellement capturables. Fin juin/ début juillet 2013, quatre pièges ont également été utilisés pour capturer des stomoxes sur le campus de l'école vétérinaire de Toulouse, pour la thèse vétérinaire expérimentale menée par Caroline Nicolas. Durant son expérimentation, **165 stomoxes**, en moyenne, ont été capturés par jour. Dans notre expérimentation, au cours de l'été 2015, sur la première session de piégeage (7 juillet - 21 août) **5,7 stomoxes**, en moyenne, ont été capturés quotidiennement. Au cours de la deuxième session de piégeage (8 septembre – 14 octobre), **17 stomoxes**, en moyenne, ont été capturés quotidiennement. Les emplacements, et les pièges ne sont pas tous identiques mais cette comparaison met en évidence le nombre potentiel de stomoxes qui auraient pu être capturés. La période de piégeage favorable de 2013 est caractérisée par une température moyenne comprise en 15 et 20°C et une température maximale qui reste inférieure à 30°C. Le nombre

nettement moins important de stomoxes capturés en 2015 peut être expliqué, en grande partie, par les conditions climatiques plus chaudes de l'été 2015.

Avec un nombre très faible d'insectes capturés, on diminue nettement la probabilité d'obtenir des résultats statistiquement significatifs.

D'ailleurs, aucun résultat sur les taons n'est statistiquement significatif car un très faible nombre de ces insectes a été capturé. Il est possible que les conditions climatiques défavorables aux stomoxes l'aient également été pour les taons. Une deuxième hypothèse permet d'expliquer ce faible nombre d'insectes capturés : les taons sont des insectes plutôt localisés en milieu rural. Le campus de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse est certes vaste, très arboré, bordé d'une rivière mais il est situé en milieu urbain. Il serait très intéressant de **refaire ces répétitions de carré latin en milieu rural** pour avoir des résultats plus concluants au sujet des Tabanidae.

### **Vavoua et piégeage des taons**

Durant l'expérimentation, il n'y a pas eu beaucoup de taons piégés cependant aucun Tabanidae n'a été capturé avec le piège Vavoua. Ce résultat paraît tout de même étonnant car c'est un piège classiquement utilisé pour le monitoring des populations de taons en Afrique (Mavoungou *et al.*, 2012; Rayaisse *et al.*, 1998). Le faible nombre de Tabanidae capturés rend ce résultat peu significatif, mais peut-être qu'en fonction des espèces de taons, différentes par rapport à celle d'Afrique, l'attractivité du piège n'est pas la même.

### **Emplacement n°2**

Les deux principaux critères pour le choix des emplacements ont été la **proximité des animaux et des tas de fumier** ainsi qu'une **exposition directe au soleil** de 9h à 18h.

L'emplacement 2 remplit ces deux conditions, il a également été choisi pour la proximité d'un gros tilleul à quelques mètres. L'idée étant que la végétation du tilleul devait attirer les stomoxes comme gîte de repos.

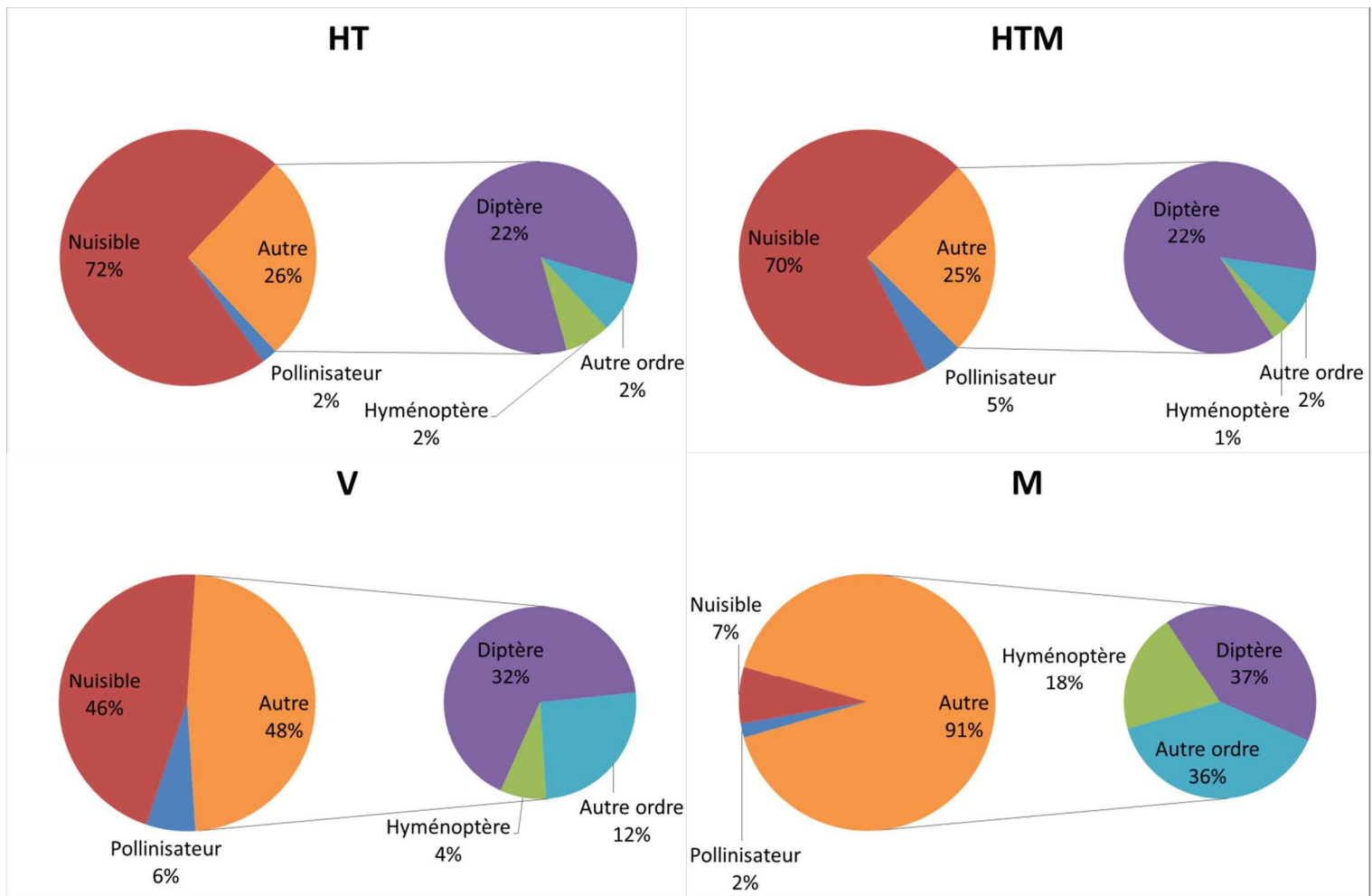
Tous insectes confondus sur les 32 jours de piégeage, l'emplacement 2 a été le siège de seulement 5% des captures. **Moins de 1% des insectes d'intérêt dans cette étude (stomoxes, taons et simulies) ont été piégés à cet emplacement.** L'emplacement N°4, éloigné de 15 mètres de l'emplacement N°2, a permis la capture de près de 20% des insectes nuisibles piégés tout au long de l'expérimentation, donc il y a bien des insectes dans cette

zone. On peut également noter la présence de stomoxes sous les feuilles du tilleul. De plus les pièges utilisés ont prouvé leur efficacité à d'autres emplacements donc ce sont bien les caractéristiques propres de l'emplacement qui sont responsables du faible nombre de capture. Le tilleul, de par sa grande taille, a probablement occulté la présence des pièges situés à proximité. Malheureusement, ce choix raté d'emplacement nous a privés d'un nombre important de captures par rapport à un autre emplacement plus propice au piégeage d'insectes. Cependant, cet incident nous montre aussi l'importance du positionnement du piège : **un bon piège implanté à un mauvais endroit perd toute son efficacité.**

### **Impact sur l'entomofaune**

La spécificité du piège n'a été étudiée, initialement, que vis-à-vis des insectes pollinisateurs. Cependant d'autres insectes ont été capturés au cours de l'expérimentation, notamment par ordre d'abondance des diptères, d'autres insectes (hémiptères, coléoptères...) et des hyménoptères non pollinisateurs. La Figure 48 permet de visualiser et de comparer la spécificité des différents pièges. Les pièges HT et HTM présentent le même profil, et capturent essentiellement des insectes d'intérêt en médecine vétérinaire (stomoxes, simulies et taons). Par contre le piège Vavoua est moins spécifique, car près de la moitié des insectes capturés sont des insectes non ciblés par ce piège. Le piège Malaise est un piège d'interception non spécifique, il est donc logique de trouver une grande diversité dans les insectes capturés par ce piège.

Le piège Vavoua est donc le piège le plus efficace contre les stomoxes, mais c'est également le plus néfaste pour l'entomofaune. Pour limiter son impact, on pourrait conseiller aux éleveurs de ne mettre des pièges Vavoua qu'aux alentours des champs durant la période de plus forte attaque des stomoxes (juin-juillet).



**Figure 48.** Spécificité des différents pièges

### Un piège unique

À la fin de cette expérimentation, on peut dire que le piège H-Trap modifié est le plus polyvalent puisqu'il capture à la fois taons, stomoxes et simulies. Cependant le piège HTM capture 6 fois moins de stomoxes que le piège Vavoua. Dans ce cas, dans les régions où les stomoxes sont le principal problème il faut probablement mieux garder le piège Vavoua.

Est-il possible de lutter efficacement contre les taons et les stomoxes avec **un seul piège** ? En l'état actuel du piège H-Trap modifié la réponse semble être négative. Par contre, il est intéressant d'envisager quelles modifications pourraient être apportées au H-Trap pour améliorer son efficacité vis-à-vis des stomoxes. Le piège Vavoua a été le plus efficace pour le piégeage des stomoxes. Deux grandes différences sont identifiables entre le Vavoua et l'écran bleu :

- le Vavoua a un aspect **tridimensionnel** avec ses trois panneaux de tissus bleus qui sont écartés de 120°



- Le centre du Vavoua est une **bande noire**



**Figure 49.** Le piège combiné H-Trap/Vavoua

Il faudrait donc combiner ces deux aspects du piège Vavoua au piège H-Trap et fixer cet ajout en 4 points : au centre de la boule noire et les extrémités des panneaux bleus au cercle du cône de récupérations des insectes (Figure 49)

## Efficacité du système de lutte

Prenons l'exemple des stomoxes : sur 32 jours de capture, 369 stomoxes ont été capturés. Cependant la proportion de stomoxes piégés par rapport à l'ensemble de la population est inconnue. C'est-à-dire que s'il y a seulement 1000 stomoxes, notre piégeage est intéressant mais s'il y a une population de 100 000 stomoxes, les pièges n'ont eu qu'un impact très faible sur cette population. Afin de pouvoir affirmer qu'un piège est efficace pour lutter contre des insectes il serait donc nécessaire d'estimer la taille de la population de ces insectes. La méthode de Petersen est classiquement utilisée, elle repose sur la technique de CMR (capture-marquage-recapture). Concrètement appliquée aux stomoxes, elle consisterait à marquer tous les stomoxes piégés un jour (M), à les relâcher, puis attendre qu'ils se « remélangent » à la population de stomoxes (N) qu'on veut estimer. Ensuite, le jour suivant, il faudrait recapter des stomoxes au même endroit et compter parmi ces stomoxes recapturés (C) lesquels sont déjà marqués (R). Si,

- M : nombre d'animaux initialement marqués puis relâchés
- C : nombre d'animaux du second échantillon

- R : nombre d'animaux marqués, trouvés dans le 2nd échantillon
- N : la taille totale de la population (c'est ce qu'on cherche à connaître)

Alors il est logique que :  $R/C = M/N$

En Afrique, les pièges sont utilisés contre les **glossines** pour contrôler les trypanosomoses humaines et animales. Ils sont parfois combinés avec des pièges ou écrans imprégnés d'insecticides et semblent donner de bons résultats (Gouteux & Noireau, 1986). Des essais menés à La Réunion (Bouyer et al., 2015) semblent indiquer que la population de **stomoxes** diminue uniquement lorsque les pièges sont couplés avec un autre moyen de contrôle (traitement insecticide du bétail, libération d'insectes parasitoïdes). Les stomoxes ont un taux de reproduction beaucoup plus élevé que celui des glossines ce qui peut expliquer que le piégeage des stomoxes ne suffisent pas, pour le moment, pour le contrôle des populations.

Cependant il est important de rappeler qu'aucun insecticide à l'heure actuelle ne peut empêcher le repas de sang d'un taon ou d'un stomoxe sur un bovin alors que c'est à l'occasion de ce repas que les agents pathogènes sont transmis. Malgré des difficultés et des recherches à approfondir, le piégeage des insectes conserve donc tout son intérêt dans la lutte contre les insectes nuisibles et leurs conséquences.

# Conclusion

Cette étude a tout d'abord rappelé et comparé les principales **caractéristiques morphologiques et biologiques** de trois types d'insectes hématophages différents : *Stomoxys calcitrans*, les *Tabanidae* et les *Simuliidae*. Cette synthèse bibliographique a permis de mettre en évidence d'une part **l'importance de la lutte** contre ces insectes du fait de leurs multiples **effets pathogènes direct et indirects**, en tant que vecteurs de **nombreux agents pathogènes** ; d'autre part les **difficultés** de la mise en œuvre de cette lutte. En effet, les insecticides, largement utilisés à l'heure actuelle, posent des problèmes de résistances, de rémanence et d'écotoxicité. De plus les insecticides actuels n'empêchent pas les repas de sang, les insectes peuvent alors transmettre des agents pathogènes avant d'être tués. Alors qu'une lutte mécanique, bien menée, à l'aide de **pièges**, permettrait de diminuer la population d'insectes tout en évitant que les animaux soient piqués.

Quatre systèmes de piégeages ont donc été comparés dans la seconde partie de cette étude : le piège **Vavoua**, dont l'efficacité pour les stomoxes a été prouvée ; le piège **H-Trap**, conçu pour le piégeage des Taons ; le piège **H-Trap avec une modification** pour attirer à la fois les taons et les stomoxes ; le piège **Malaise**, un piège d'interception. Nous avons évalué la possibilité de piéger efficacement les taons et les stomoxes avec un seul piège. La modification du piège H-Trap proposée dans ce travail n'a pas suffi pour rendre ce piège aussi efficace que le piège Vavoua dans le piégeage des **stomoxes** alors que le potentiel de captures des taons était conservé. Les **simulies** ont été majoritairement piégées par le piège H-Trap modifié. Les insectes pollinisateurs, bénéfiques, ont été essentiellement piégés par le piège Vavoua. C'est donc le piège H-Trap modifié qui est le plus polyvalent pour capturer les trois types d'insectes tout en évitant de piéger trop de pollinisateurs. Il reste néanmoins six fois moins efficace que le piège Vavoua pour la capture des stomoxes.

On peut donc dire qu'afin de mener un piégeage optimal :

- il est nécessaire d'avoir une **bonne connaissance des insectes** contre lesquels on lutte. En effet, si la lutte est essentiellement contre des stomoxes, le piège Vavoua sera préféré, alors que si ce sont les taons qui sont ciblés, le piège H-Trap est plus indiqué.
- il faut réfléchir avec attention à la **disposition des pièges**, et ne pas hésiter à les déplacer si un piège capture beaucoup moins d'insectes que les autres. Les espaces dégagés sans végétation à proximité immédiate seront favorisés pour placer les pièges.

L'Institut Pasteur estime que 70 millions de personnes sont exposées au risque de maladie du sommeil dans 36 pays d'Afrique subsaharienne, avec plus de 7000 nouveaux cas par an. Dans ces mêmes pays, les taons et les stomoxes sont des vecteurs redoutables de trypanosomoses animales et les simulies sont les premières responsables de cécité liée à l'onchocercose. Les glossines, vectrices de la maladie du sommeil, semblent être attirées de la même manière que les stomoxes. Arriver à trouver un moyen de lutte efficace à la fois pour les glossines, les stomoxes, les taons et les simulies serait un atout majeur dans la lutte contre les maladies vectorisées humaines et animales. Ce piège devra probablement reposer également sur des substances attractives olfactives car l'efficacité en est augmentée.

Actuellement, certaines recherches se portent sur l'**imprégnation en insecticides** des tissus attractifs des pièges afin d'obtenir un effet létal durable dans le temps et résistant aux intempéries. D'autres recherches s'orientent vers l'intégration d'un insecticide naturel, la **poudre de diatomée**, aux pièges attractifs. La diatomée est une micro-algue présentant un exosquelette siliceux. Une fois broyée, la poudre présente des caractéristiques profitables. En effet, les grains qui la composent ont des arêtes tranchantes qui, au contact de l'insecte, entaillent leur cuticule et entraîne leur déshydratation rapide. Si la poudre est ingérée, elle entraîne des lésions du tube digestif de l'insecte, entraînant sa mort. Cet insecticide n'est pas spécifique, mais s'il est associé à un piège attractif spécifique, il peut devenir très intéressant.

## Annexes

|                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Jour de piégeage | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7       | 8       | 9       | 10      | 11      | 12      | 13      | 14      | 15      | 16      |
| Date             | 07-juil | 08-juil | 09-juil | 10-juil | 11-juil | 12-juil | 13-juil | 14-juil | 03-août | 05-août | 06-août | 11-août | 12-août | 17-août | 20-août | 21-août |
|                  |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |         |
| Jour de piégeage | 17      | 18      | 19      | 20      | 21      | 22      | 23      | 24      | 25      | 26      | 27      | 28      | 29      | 30      | 31      | 32      |
| Date             | 08-sept | 09-sept | 11-sept | 15-sept | 18-sept | 20-sept | 21-sept | 24-sept | 25-sept | 26-sept | 27-sept | 29-sept | 09-oct  | 10-oct  | 11-oct  | 14-oct  |

**Tableau 7.** Jours de piégeage

## Bibliographie

ADLER, Peter H., 2004. Black Flies, the Simuliidae. In : *Biology of Disease Vectors*. Academic Press. pp. 127-140.

AGEE, H.R. et PATTERSON, R.S., 1983. Spectral Sensitivity of Stable, Face, and Horn Flies and Behavioral Responses of Stable Flies to Visual Traps (Diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*. 1983. Vol. 12, n° 6, pp. 1823-1828.

BAILEY, Donato L., WHITFIELD, T.L. et SMITTLE, B.J., 1973. Flight and Dispersal of the Stable Fly. *Journal of Economic Entomology*. 1973. Vol. 66, n° 2, pp. 410-411.

BALDACCHINO, F., CADIER, J., PORCIANI, A., BUATOIS, B., DORMONT, L. et JAY-ROBERT, P., 2013. Behavioural and electrophysiological responses of females of two species of tabanid to volatiles in urine of different mammals. *Medical and Veterinary Entomology*. mars 2013. Vol. 27, n° 1, pp. 77-85.

BALDACCHINO, F., MANON, S., PUECH, L., BUATOIS, B., DORMONT, L. et JAY-ROBERT, P., 2014. Olfactory and behavioural responses of tabanid horseflies to octenol, phenols and aged horse urine. *Medical and Veterinary Entomology*. 1 juin 2014. Vol. 28, n° 2, pp. 201-209.

BALDACCHINO, Frédéric, DESQUESNES, Marc, MIHOK, Steve, FOIL, Lane D., DUVALLET, Gérard et JITTAPALAPONG, Sathaporn, 2014. Tabanids: Neglected subjects of research, but important vectors of disease agents! *Infection, Genetics and Evolution*. décembre 2014. Vol. 28, pp. 596-615.

BALDACCHINO, Frédéric, MUENWORN, Vithee, DESQUESNES, Marc, DESOLI, Florian, CHAROENVIRIYAPHAP, Theeraphap et DUVALLET, Gérard, 2013. Transmission of pathogens by *Stomoxys* flies (Diptera, Muscidae): a review. *Parasite*. 2013. Vol. 20, pp. 26.

BARRÉ, Nicolas et BOUILLOT, Lise, 1981. *Les Stomoxes, ou Mouches à boeuf, à la Réunion : Pouvoir pathogène, écologie, moyens de lutte*. Maisons-Alfort : I.E.M.V.T.

BECKER, Norbert, 2000. Bacterial control of vector-mosquitoes and black flies. In : *Entomopathogenic Bacteria: from Laboratory to Field Application*. Springer Netherlands. pp. 383-398. DOI: 10.1007/978-94-017-1429-7\_21

BERRY, I.L. et CAMPBELL, J.B, 1985. Time and Weather Effects on Daily Feeding Patterns of Stable Flies (Diptera: Muscidae). *Environmental Entomology*. 1985. Vol. 14, n° 3, pp. 336-342.

BERRY, I. L. et KUNZ, S. E., 1977. Mortality of Adult Stable Flies. *Environmental Entomology*. 1 août 1977. Vol. 6, n° 4, pp. 569-574.

BONMATIN, J.-M., GIORIO, C., GIROLAMI, V., GOULSON, D., KREUTZWEISER, D. P., KRUPKE, C., LIESS, M., LONG, E., MARZARO, M., MITCHELL, E. a. D., NOOME, D. A., SIMON-DELISO, N. et TAPPARO, A., 2014. Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research*. 7 août 2014. Vol. 22, n° 1, pp. 35-67.

- BÖSE, R., FRIEDHOFF, K. T., OLBRICH, S., BÜSCHER, G. et DOMEYER, I., 1987. Transmission of *Trypanosoma theileri* to cattle by Tabanidae. *Parasitology Research*. septembre 1987. Vol. 73, n° 5, pp. 421-424.
- BOUYER, J, DESQUENES, M, YONI, W, CHAMISA, A et GUERRINI, L, 2015. *Attracting and trapping insect vectors (Technical guide GeosAf, 2)*. Document technique et de recherche.
- BOY, Vincent et DUNCAN, Patrick, 1979. Time-Budgets of Camargue Horses I. Developmental Changes in the Time-Budgets of Foals. *Behaviour*. 1 janvier 1979. Vol. 71, n° 3, pp. 187-201.
- BROWNE, Shelley M. et BENNETT, Gordon F., 1980. Color and Shape as Mediators of Host-Seeking Responses of Simuliids and Tabanids (Diptera) in the Tantramar Marshes, New Brunswick, Canada. *Journal of Medical Entomology*. 31 janvier 1980. Vol. 17, n° 1, pp. 58-62.
- BRUCE, W. N. et DECKER, George C., 1958. The Relationship of Stable Fly Abundance to Milk Production in Dairy Cattle. *Journal of Economic Entomology*. 1 juin 1958. Vol. 51, n° 3, pp. 269-274.
- CAMPBELL, J. B., BERRY, I. L., BOXLER, D. J., DAVIS, R. L., CLANTON, D. C. et DEUTSCHER, G. H., 1987. Effects of Stable Flies (Diptera: Muscidae) on Weight Gain and Feed Efficiency of Feedlot Cattle. *Journal of Economic Entomology*. 1 février 1987. Vol. 80, n° 1, pp. 117-119.
- CARN, V. M., 1996. The role of dipterous insects in the mechanical transmission of animal viruses. *The British Veterinary Journal*. juillet 1996. Vol. 152, n° 4, pp. 377-393.
- CHVÁLA, Milan, LYNEBORG, Leif et MOUCHA, Josef, 1972. *The Horse Flies of Europe: (Diptera, Tabanidae)*. Entomological Society of Copenhagen, Copenhagen.
- CILEK, J. E. et OLSON, M. A., 2008. Effects of Carbon Dioxide, an Octenol/Phenol Mixture, and Their Combination on Tabanidae (Diptera) Collections from French 2-Tier Box Traps. *Journal of Medical Entomology*. 1 juillet 2008. Vol. 45, n° 4, pp. 638-642.
- CLERO, M., AGOULON, A. et GANIERE, J. P., 2004. *Les stomoxes (stomoxys calcitrans et stomoxys niger) dans les élevages bovins laitiers du sud de l'Ile de la Réunion*.
- COOKSEY, Lynita M. et WRIGHT, Russell E., 1987. Flight Range and Dispersal Activity of the Host-seeking Horse Fly, *Tabanus abactor* (Diptera: Tabanidae), in North Central Oklahoma. *Environmental Entomology*. 1 février 1987. Vol. 16, n° 1, pp. 211-217.
- CORTINAS, Roberto et JONES, C. J., 2006. Ectoparasites of cattle and small ruminants. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. novembre 2006. Vol. 22, n° 3, pp. 673-693. PMID: 17071359
- CRESPO, Diana C., LECUONA, Roberto E. et HOGSETTE, Jerome A., 2002. Strategies for controlling house fly populations resistant to cyromazine. *Neotropical Entomology*. mars 2002. Vol. 31, n° 1, pp. 141-147.



CROSS, R. F., SMITH, C. K. et REDMAN, D. R., 1971. Observations on Trypanosoma theileri infection in cattle. *Canadian Journal of Comparative Medicine*. 1971. Vol. 35, n° 1, pp. 12.

DESQUENES, Marc et DE LA ROCQUE, Stéphane, 1993. *Les taons de Guyane : biologie, importance vétérinaire et méthodes de lutte*. Cayenne : CIRAD - EMVT.

DOUGHERTY, C. T., KNAPP, F. W., BURRUS, P. B., WILLIS, D. C. et CORNELIUS, P. L., 1995. Behavior of grazing cattle exposed to small populations of stable flies (*Stomoxys calcitrans* L.). *Applied Animal Behaviour Science*. mars 1995. Vol. 42, n° 4, pp. 231-248.

EGRI, Á, BLAHÓ, M., SZÁZ, D., KRISKA, G., MAJER, J., HERCZEG, T., GYURKOVSKY, M., FARKAS, R. et HORVÁTH, G., 2013. A horizontally polarizing liquid trap enhances the tabanid-capturing efficiency of the classic canopy trap. *Bulletin of Entomological Research*. décembre 2013. Vol. 103, n° 6, pp. 665-674. PMID: 23806664

EGRI, Ádám, BLAHÓ, Miklós, KRISKA, György, FARKAS, Róbert, GYURKOVSKY, Mónika, ÁKESSON, Susanne et HORVÁTH, Gábor, 2012. Polarotactic tabanids find striped patterns with brightness and/or polarization modulation least attractive: an advantage of zebra stripes. *Journal of Experimental Biology*. 1 mars 2012. Vol. 215, n° 5, pp. 736-745. PMID: 22323196

EHRHARDT, Nicolas, 2006. *Etude de l'activité d'une formulation à 50% de deltaméthrine sur Stomoxys calcitrans à la Réunion : résistance et rémanence*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT.

*Espèces sauvages 2010 : La situation générale des espèces au Canada.*, 2010. . National General Status Working Group.

EUZÉBY, Jacques, 2008. *Grand dictionnaire illustré de parasitologie médicale et vétérinaire*. Lavoisier.

Fauna Europaea Web Service, 2013. *Fauna Europaea* [en ligne]. [Consulté le 11 avril 2016]. Disponible à l'adresse : <http://www.faunaeur.org>

FLOATE, K. D., SPOONER, R. W. et COLWELL, D. D., 2001. Larvicidal activity of endectocides against pest flies in the dung of treated cattle. *Medical and Veterinary Entomology*. mars 2001. Vol. 15, n° 1, pp. 117-120.

FOIL, L.D. et HOSGETTE, J.A., 1994. Biology and control of tabanids, stable flies and horn flies. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. décembre 1994. Vol. 13, n° 4, pp. 1125-1158.

GILLES, J., DAVID, J.-F., DUVALLET, G., DE LA ROCQUE, S. et TILLARD, E., 2007. Efficiency of traps for *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger niger* on Reunion Island. *Medical and Veterinary Entomology*. mars 2007. Vol. 21, n° 1, pp. 65-69.

GIROUX, I et FORTIN, I, 2010. *Pesticides dans l'eau de surface d'une zone maraîchère - Ruisseau Guibeault-Delisle dans les terres noires'' du bassin versant de la rivière. Châteauguay de 2005 à 2007*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs - Direction du suivi de l'état de l'environnement et Université Laval - Département des sols et de génie agroalimentaire.

- GOUTEUX, Jean-Paul et NOIREAU, François, 1986. Un nouvel écran-piège pour la lutte anti-tsétsé : description et essais dans un foyer congolais de trypanosomiase humaine. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 1986. Vol. 41, pp. 291-297.
- GREEN, C. H. et COSENS, Derek, 1983. Spectral responses of the tsetse fly, *Glossina morsitans morsitans*. *Journal of Insect Physiology*. 1 janvier 1983. Vol. 29, n° 10, pp. 795-800.
- GREEN, C. H., 1989. The use of two-coloured screens for catching *Glossina palpalis palpalis* (Robineau-Desvoidy) (Diptera: Glossinidae). *Bulletin of Entomological Research (UK)*. 1989.
- GREENE, G. L., HOGSETTE, J. A. et PATTERSON, R. S., 1989. Parasites that attack stable fly and house fly (Diptera: Muscidae) puparia during the winter on dairies in northwestern Florida. *Journal of Economic Entomology*. avril 1989. Vol. 82, n° 2, pp. 412-415. PMID: 2708626
- HAFEZ, M. et GAMAL-EDDIN, 1959. On the feeding habits of *Stomoxys calcitrans* L. and *sitens* Rond., with special reference to their biting cycle in nature. *Bulletin de la Société d'entomologie d'Egypte*. 1959. Vol. 43, pp. 291-301.
- HANSENS, Elton J., 1951. The Stable Fly and Its Effect on Seashore Recreational Areas in New Jersey. *Journal of Economic Entomology*. 1 août 1951. Vol. 44, n° 4, pp. 482-487.
- HARLEY, J. M. B., 1965. Seasonal abundance and diurnal variations in activity of some *Stomoxys* and *Tabanidae* in Uganda. *Bulletin of Entomological Research*. décembre 1965. Vol. 56, n° 02, pp. 319-332.
- HARRIS, R. L., MILLER, J. A. et FRAZAR, E. D., 1974. Horn Flies and Stable Flies: Feeding Activity. *Annals of the Entomological Society of America*. 1974. Vol. 67, n° 6, pp. 891-894.
- HOGSETTE, J. A., RUFF, J. P. et MCGOWAN, M. J., 1981. Stable fly integrated pest management (IPM) in northwest Florida. *Journal of the Florida Anti-Mosquito Association*. recd. 1983 1981. Vol. 52, n° 1, pp. 48-52.
- HOGSETTE, Jerome A., RUFF, Joseph P., JONES, Carl J. et OTHERS, 1987. Stable fly biology and control in northwest Florida. *Journal of agricultural entomology*. 1987. Vol. 4, n° 1, pp. 1-11.
- HOLLANDER, A. L. et WRIGHT, R. E., 1980. Impact of tabanids on cattle: blood meal size and preferred feeding sites. *Journal of Economic Entomology*. juin 1980. Vol. 73, n° 3, pp. 431-433.
- HOLLOWAY, M.T.P. et PHELPS, R.J., 1991. The responses of *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae) to traps and artificial host odours in the field. *Bulletin of Entomological Research*. 1991. Vol. 81, n° 01, pp. 51 - 56.
- HORVÁTH, Gábor, MAJER, József, HORVÁTH, Loránd, SZIVÁK, Ildikó et KRISKA, György, 2008. Ventral polarization vision in tabanids: horseflies and deerflies (Diptera: Tabanidae) are attracted to horizontally polarized light. *Die Naturwissenschaften*. novembre 2008. Vol. 95, n° 11, pp. 1093-1100.

HORVATH, G., BLAHO, M., KRISKA, G., HEGEDUS, R., GERICS, B., FARKAS, R. et AKESSON, S., 2010. An unexpected advantage of whiteness in horses: the most horsefly-proof horse has a depolarizing white coat. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 7 juin 2010. Vol. 277, n° 1688, pp. 1643-1650.

INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, 2008. *Maladies des Bovins*. France Agricole Editions.

JEANBOURQUIN, P. et GUERIN, P. M., 2007. Chemostimuli implicated in selection of oviposition substrates by the stable fly *Stomoxys calcitrans*. *Medical and Veterinary Entomology*. septembre 2007. Vol. 21, n° 3, pp. 209-216. PMID: 17897360

KETTLE, D. S., 1995. *Medical and Veterinary Entomology, 2nd ed.* Wallingford: CAB International.

KÖHLER, Heinz-R. et TRIEBSKORN, Rita, 2013. Wildlife Ecotoxicology of Pesticides: Can We Track Effects to the Population Level and Beyond? *Science*. 16 août 2013. Vol. 341, n° 6147, pp. 759-765.

KRISKA, G., HORVÁTH, G. et ANDRIKOVICS, S., 1998. Why do mayflies lay their eggs en masse on dry asphalt roads? Water-imitating polarized light reflected from asphalt attracts Ephemeroptera. *The Journal of Experimental Biology*. août 1998. Vol. 201, n° Pt 15, pp. 2273-2286. PMID: 9662498

KRISKA, György, BERNÁTH, Balázs, FARKAS, Róbert et HORVÁTH, Gábor, 2009. Degrees of polarization of reflected light eliciting polarotaxis in dragonflies (Odonata), mayflies (Ephemeroptera) and tabanid flies (Tabanidae). *Journal of Insect Physiology*. décembre 2009. Vol. 55, n° 12, pp. 1167-1173.

KUNZ, S. E., MURRELL, K.D., LAMBERT, G., JAMES, L.F. et TERRILL, C.E., 1991. *Estimated losses of livestock to pests*. CRC handbook of pest management in agriculture. Volume I. CRC, Boca Raton, FL. D. Pimentel [ed].

LAVEISSIÈRE, C. et GRÉBAUT, P., 1990. The trapping of tsetse flies (Diptera: Glossinidae). Improvement of a model: the Vavoua trap. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*. juin 1990. Vol. 41, pp. 185-192.

LAVEISSIÈRE, Claude, COURET, Daniel et MANNO, A., 1987. Importance de la nature des tissus dans la lutte par piégeage contre les glossines. *Cahiers ORSTOM.Série Entomologie Médicale et Parasitologie*. 1987. Vol. 25, n° 3-4.

LAVEISSIÈRE, Claude et PENCHENIER, Laurent, 2005. *Manuel de lutte contre la maladie du sommeil*. IRD Editions.

LE BERRE, René, BALAY, Guy, BRENGUES, Jacques et COZ, Jean, 1964. Biologie et écologie de la femelle de *Simulium damnosum* Theobald, 1903, en fonction des zones bioclimatiques d'Afrique occidentale: influence sur l'épidémiologie de l'onchocercose. *Bulletin of the World Health Organization*. 1964. Vol. 31, n° 6, pp. 843.

LECLERCQ, M., 1971. Les mouches nuisibles aux animaux domestiques. Presses agronomiques de Gembloux. . 1971. pp. 199 pp.

LEHANE, Mike J., 2005. *The biology of blood-sucking in insects*. Cambridge University Press.

- LYSYK, T. J., 1995. Temperature and Population Density Effects on Feeding Activity of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) on Cattle. *Journal of Medical Entomology*. 1 juillet 1995. Vol. 32, n° 4, pp. 508-514.
- LYSYK, T. J., 1998. Relationships Between Temperature and Life-History Parameters of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology*. 1 mars 1998. Vol. 35, n° 2, pp. 107-119.
- MASON, P.G., 1986. Evaluation of a « cow-type » silhouette trap with and without CO<sub>2</sub> bait for monitoring populations of adult *Simulium luggeri* (Diptera: Simuliidae). *Journal of the American Mosquito Control Association*. 1986. Vol. 2, n° 4, pp. 482-484.
- MAVOUNGOU, J. F., MAKANGA, B. K., ACAPOVI-YAO, G., DESQUESNES, M. et M'BATCHI, B., 2012. Abundance and species diversity of tabanids (Diptera) in the biosphere reserve Ipassa-Makokou (Gabon) during the rainy season. *Parasite (Paris, France)*. mai 2012. Vol. 19, n° 2, pp. 165-171. PMID: 22550628
- MEAD, D. G., RAMBERG, F. B., BESSELSSEN, D. G. et MARÉ, C. J., 2000. Transmission of vesicular stomatitis virus from infected to noninfected black flies co-feeding on nonviremic deer mice. *Science (New York, N.Y.)*. 21 janvier 2000. Vol. 287, n° 5452, pp. 485-487.
- MEYER, J.A. et PETERSEN, J.J., 1982. Sampling stable fly and house fly pupal parasites on beef feedlots and dairies in eastern Nebraska. *The Southwestern Entomologist*. septembre 1982. Vol. 7, n° 3, pp. 119-124.
- MIHOK, S., CARLSON, D. A., KRAFSUR, E. S. et FOIL, L. D., 2006. Performance of the Nzi and other traps for biting flies in North America. *Bulletin of Entomological Research*. août 2006. Vol. 96, n° 4, pp. 387-397. PMID: 16923207
- MIHOK, S. et CLAUSEN, P. H., 1996. Feeding habits of *Stomoxys* spp. stable flies in a Kenyan forest. *Medical and Veterinary Entomology*. octobre 1996. Vol. 10, n° 4, pp. 392-394.
- MIHOK, S., KANG'ETHE, E. K. et KAMAU, G. K., 1995. Trials of traps and attractants for *Stomoxys* spp. (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology*. mai 1995. Vol. 32, n° 3, pp. 283-289.
- MIHOK, S., 2002. The development of a multipurpose trap (the Nzi) for tsetse and other biting flies. *Bulletin of Entomological Research*. octobre 2002. Vol. 92, n° 05, pp. 385-403.
- MOOBOLA, S. M. et CUPP, E. W., 1978. Ovarian development in the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, in relation to diet and juvenile hormone control. *Physiological Entomology*. 1978. Vol. 3, n° 4, pp. 317-321.
- MUIRHEAD-THOMPSON, R. C., 2012. *Trap Responses of Flying Insects: The Influence of Trap Design on Capture Efficiency*. Academic Press.
- NICOLAS, Caroline, 2014. *Contrôle de Stomoxys calcitrans (L. 1758) par la méthode ATSB (Attractive Toxic Sugar Baits): essais en laboratoire et sur le terrain*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT.

- OLBRICH, D. L. et KING, B. H., 2003. Host and habitat use by parasitoids (Hymenoptera: Pteromalidae) of house fly and stable fly (Diptera: Muscidae) pupae. *Great Lakes Entomol.* 2003. Vol. 36, n° 179190, pp. 20.
- PARR, H. C. M., 1962. Studies on *Stomoxys calcitrans* (L.) in Uganda, East Africa. II.— Notes on life-history and behaviour. *Bulletin of Entomological Research.* 1962. Vol. 53, n° 02, pp. 437 - 443.
- PHELPS, R. J. et HOLLOWAY, M. T., 1990. Alighting sites of female Tabanidae (Diptera) at Rekomitjie, Zimbabwe. *Medical and Veterinary Entomology.* juillet 1990. Vol. 4, n° 3, pp. 349-356.
- POLITZAR, H. et MÉROT, P., 1984. Attraction of the tsetse fly *Glossina morsitans submorsitans* to acetone, 1-octen-3-ol, and the combination of these compounds in West Africa. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux.* 1984. Vol. 37, pp. 468 -473.
- RAYAISSE, J. B., KABORE, I. et BAUER, B., 1998. Comparison of efficacy of four different traps against tabanids. *FAO/IAEA Int. Conf. on Area-Wide.* 1998.
- RAYMOND, H.L. et FAVRE, J, 1991. *Essai de lutte contre les taons de Guyane Française ; effet d'un traitement de détiqage des bovns par aspersion au Butox 50 ND sur l'abondance des taons.* INRA/Roussel-UCLAF.
- RAYMOND, H. L. et FAVRE, J, 1991. *Essai de lutte contre les taons de Guyane Française; comparaison du RUV 165ND, du BUTOX 50ND et du BUTOX 7,5ND pour la protection des bovins et des chevaux.* INRA/Roussel-UCLAF.
- RAYMOND, H.L., 1988. Abondance relative et dynamique saisonnière des Tabanidae d'une savane de Guyane Française. *Naturaliste Canadien.* 1988. N° 115, pp. 251-259.
- ROBERTS, L. W. et WILSON, B. H., 1967. Predation on Horse Flies by Two Bembicine Wasp Species in Certain Areas of Southern Louisiana. *Journal of Economic Entomology.* 1 avril 1967. Vol. 60, n° 2, pp. 412-415.
- ROUET, Diane, 2011. *Dynamique des populations de Stomoxys calcitrans dans un site urbain, l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse.*
- SALEM, A., FRANC, M., JACQUIET, P., BOUHSIRA, E. et LIÉNARD, E., 2012. Feeding and breeding aspects of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) under laboratory conditions. *Parasite.* novembre 2012. Vol. 19, n° 4, pp. 309-317.
- SALEM, Ali, BOUHSIRA, Emilie, LIENARD, Emmanuel, BOUSQUET, Alain, JACQUIET, Philippe et FRANC, Michel, 2012. Susceptibility of Two European strains of *Stomoxys calcitrans* (L.) to Cypermethrin, Deltamethrin, Fenvalerate, lambda-cyhalothrin, Permethrin and Phoxim. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED RESEARCH IN VETERINARY MEDICINE.* 2012. Vol. 10, n° 3, pp. 249-257.
- SCHOFIELD, Steven et BRADY, John, 1997. Effects of carbon dioxide, acetone and 1-octen-3-ol on the flight responses of the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, in a wind tunnel. *Physiological Entomology.* 1997. Vol. 22, n° 4, pp. 380-386.

SCHOFIELD, Steven, CORK, Alan et BRADY, John, 1995. Electroantennogram responses of the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, to components of host odour. *Physiological Entomology*. 1995. Vol. 20, n° 3, pp. 273-280.

SCHOOF, H. F., 1964. Laboratory culture of *Musca*, *Fannia*, and *Stomoxys*. *Bulletin of the World Health Organization*. 1964. Vol. 31, n° 4, pp. 539-544. PMID: 14272463PMCID: PMC2555056

SCHOWALTER, T. D. et KLOWDEN, M. J., 1979. Blood meal size of the stable fly, *Stomoxys calcitrans*, measured by the HiCN [hemoglobin-cyanide] method [Pest of livestock]. *Mosquito News (USA)*. 1979.

SCOLES, G.A., BROCE, A.B., LYSYK, T.J. et PALMER, G.H., 2005. Relative Efficiency of Biological Transmission of *Anaplasma marginale* (Rickettsiales: Anaplasmataceae) by *Dermacentor andersoni* (Acari: Ixodidae) Compared with Mechanical Transmission by *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Journal of medical entomology*. 2005. Vol. 42, n° 4, pp. 668-75.

SCOLES, G.A., MILLER, J.A. et FOIL, L.D., 2008. Comparison of the Efficiency of Biological Transmission of *Anaplasma marginale* (Rickettsiales: Anaplasmataceae) by *Dermacentor andersoni* Stiles (Acari: Ixodidae) with Mechanical Transmission by the Horse Fly, *Tabanus fuscicostatus* Hine (Diptera: Muscidae). *Journal of medical entomology*. 2008. Vol. 45, n° 1, pp. 109-14.

SKIDMORE, Peter, 1985. *The Biology of the Muscidae of the World*. Dordrecht: Dr W. Junk Publisher. pp 2-274; (*Series entomologica*, v. 29).

SKOVGARD, H. et JESPERSEN, J. B., 1999. Activity and relative abundance of hymenopterous parasitoids that attack puparia of *Musca domestica* and *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) on confined pig and cattle farms in Denmark. *Bulletin of Entomological Research*. 1999. Vol. 89, n° 03, pp. 263-269.

SØMME, 1961. On the overwintering of house flies (*Musca domestica* L.) and stable flies (*Stomoxys calcitrans* (L.)) in Norway. *Norsk Entomologisk Tidsskrift*. 1961. Vol. 11, pp. 191-223.

SUTCLIFFE, James F. et DEEPAN, Paul D., 1988. Anatomy and function of the mouthparts of the biting midge, *Culicoides sanguisuga* (Diptera: Ceratopogonidae). *Journal of Morphology*. 1 décembre 1988. Vol. 198, n° 3, pp. 353-365.

SUTCLIFFE, J.F., STEER, D.J. et BERDSALL, D., 1995. Studies of host location behavior in the black fly *Simulium-Arcticum* (IIS-10.11) (Diptera, Simuliidae) - aspects of close range trap orientation. . 1995. Vol. 85, n° 3, pp. 415-424.

SUTHERLAND, 1979. Some effects of temperature on the adults, eggs and pupae of *Stomoxys calcitrans* Linnaeus (Diptera: Muscidae). *The Onderstepoort journal of veterinary research*. décembre 1979. Vol. 46, n° 4, pp. 223-227.

TAKAOKA, H., 1987. Effect of blood-meal size on oocyte maturation and fecundity in *Simulium takahasii* (Diptera: Simuliidae). *Japanese journal of sanitary zoology*. 1987. Vol. 38, pp. 45-51.

- TAYLOR, David B., BERKEBILE, Dennis R. et SCHOLL, Philip J., 2007. Stable Fly Population Dynamics in Eastern Nebraska in Relation to Climatic Variables. *Journal of Medical Entomology*. 1 septembre 2007. Vol. 44, n° 5, pp. 765-771.
- TAYLOR, David B., MOON, Roger D. et MARK, Darrell R., 2012. Economic Impact of Stable Flies (Diptera: Muscidae) on Dairy and Beef Cattle Production. *Journal of Medical Entomology*. 1 janvier 2012. Vol. 49, n° 1, pp. 198-209.
- VALE, G. A., 1980. Field studies of the responses of tsetse flies (Glossinidae) and other Diptera to carbon dioxide, acetone and other chemicals. *Bulletin of Entomological Research*. décembre 1980. Vol. 70, n° 04, pp. 563-570.
- VAN HENNEKELER, K., JONES, R. E., SKERRATT, L. F., FITZPATRICK, L. A., REID, S. A. et BELLIS, G. A., 2008. A comparison of trapping methods for Tabanidae (Diptera) in North Queensland, Australia. *Medical and Veterinary Entomology*. mars 2008. Vol. 22, n° 1, pp. 26-31.
- VAN LEXMOND, Maarten Bijleveld, BONMATIN, Jean-Marc, GOULSON, Dave et NOOME, Dominique A., 2015. Worldwide integrated assessment on systemic pesticides. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2015. Vol. 22, pp. 1-4.
- VERDIER, Claire, 2005. *Etude expérimentale des effets de la moxidectine sur Glossina palpalis gambiensis et Glossina morsitans morsitans*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT.
- WARNES, M.L. et FINLAYSON, L.H., 1985. Responses of the stable fly, *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae), to carbon dioxide and host odours. I. Activation. *Bull Entomol Res. Bulletin of Entomological Research*. 1985. Vol. 75, n° 03, pp. 519 - 528.
- WENK, P., 1981. Bionomics of adult blackflies. *Blackflies. Academy Press London*. 1981. pp. 259-279.
- WILLIAMS, D. F., 1973. Sticky traps for sampling population of *Stomoxys calcitrans*. *Journal of Economic Entomology*. décembre 1973. Vol. 66, n° 6, pp. 1279-1280.
- WRIGHT, J. E., OEHLER, D. D. et JOHNSON, J. H., 1975. Control of house fly and stable fly breeding in rhinoceros dung with an insect growth regulator used as a feed additive. *Journal of Wildlife Diseases*. octobre 1975. Vol. 11, n° 4, pp. 522-524.
- YERUHAM, I et BRAVERMAN, Y, 1995. Skin lesions in dogs, horses and calves caused by the stable fly *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae). *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 1995. Vol. 48, n° 4, pp. 347-9.
- ZACKS, D. N. et LOEW, E. R., 1989. Why is alsynite fiber glass sheet attractive to stable flies? Optical and behavioural studies. *Experimental Biology*. 1989. Vol. 48, n° 4, pp. 215-222. PMID: 2776864
- ZHU, Junwei J, ZHANG, Qing-he, TAYLOR, David B et FRIESEN, Kristina A, 2015. Visual and olfactory enhancement of stable fly trapping. *Pest Management Science*. décembre 2015.

ZUMPT, F., 1973. The Stomoxyine biting flies of the world. Diptera: Muscidae. Taxonomy, biology, economic importance and control measures. . 1973. pp. viii + 175 pp.



**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

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

Je soussigné, Philippe JACQUIET, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **BADELON Judith** intitulée « **Piégeage des taons et des stomoxes : efficacité comparée des pièges H-Trap et Vavoua.** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 25 juillet 2016  
Professeur Philippe JACQUIET  
Enseignant chercheur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

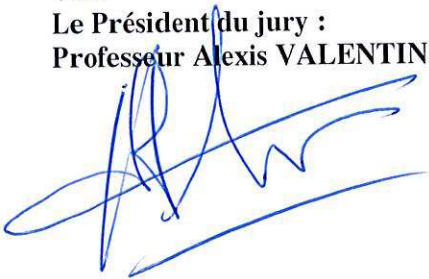


Vu :  
La Directrice de l'Ecole Nationale  
Vétérinaire de Toulouse  
Isabelle CHMITELIN

Pour la Directrice et par délégation,  
le Directeur de l'enseignement  
et de la vie étudiante  
Hubert BRUGERE



Vu :  
Le Président du jury :  
Professeur Alexis VALENTIN



Vu et autorisation de l'impression :  
Président de l'Université  
Paul Sabatier  
Monsieur Jean-Pierre VINEL



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.

Badelon Judith, Aude

### **PIEGEAGE DES TAONS ET DES STOMOXES : EFFICACITE COMPAREE DES PIEGES H-TRAP ET VAVOUA**

Les stomoxes, les Tabanidae ainsi que les Simuliidae font partie des insectes hématophages nuisibles en élevage. Ils sont responsables de pertes directes et indirectes : piqûres douloureuses, spoliation sanguine, transmission d'agents pathogènes. Cette étude compare (attractivité et spécificité) quatre systèmes de piégeages : le piège Vavoua, le piège H-Trap conçu pour capturer des taons, une version modifiée du piège H-Trap afin d'attirer également des stomoxes et le piège Malaise. La modification du piège H-Trap proposée dans ce travail n'a pas suffi pour rendre ce piège aussi efficace que le piège Vavoua dans le piégeage des stomoxes. Les taons ont été capturés essentiellement dans les pièges H-Trap (modifié ou original). Les simulies ont été préférentiellement piégées par le H-Trap modifié. Cette modification est donc encourageante en vue d'un piège polyvalent et efficace. C'est pourquoi la recherche pour l'amélioration de son attractivité doit être continuée.

**Mots clés :** efficacité - contrôle - *Stomoxys calcitrans* -Tabanidae - Simuliidae - piégeage- Vavoua - H-Trap

### **TRAPPING OF HORSEFLIES AND STABLE FLIES : COMPARATIVE EFFICIENCY OF H-TRAP AND VAVOUA TRAP**

Stable flies, horseflies and black flies are harmful bloodsucking insects in livestock. They are responsible for direct and indirect losses: painful bites, blood loss, transmission of pathogens. This study compared (attractiveness and specificity) four trapping systems: the Vavoua trap, the H-Trap designed to capture horseflies, a modified H-Trap to attract both horseflies and stable flies, and the Malaise trap. The H-Trap modification proposed in this work was not sufficient to make it as effective as the Vavoua trap in order to trap stable flies. Horseflies were mainly caught in H-Trap (modified or original). Blackflies were preferentially trapped by the modified H-Trap. This modification is encouraging for a versatile and effective trap. This is why the search for improving its attractiveness should be pursued.

**Key words:** efficiency - control - *Stomoxys calcitrans* -Tabanidae - Simuliidae - trapping - Vavoua - H-Trap