



## 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 : 4970

**To cite this version :**

ROUET, Diane. *Dynamique des populations de Stomoxys calcitrans dans un site urbain, l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Toulouse 3, 2011, 116 p.

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

# Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* dans un site urbain, l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**ROUET Diane**

Née, le 14 avril 1986 à HYERES (83)

---

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

---

## JURY

PRESIDENT :

**M. Alexis VALENTIN**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :

**M. Philippe JACQUIET**

**M. Michel FRANÇ**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



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

**Directeur** : M. A. MILON

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

**Professeurs honoraires** :

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

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

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

**PROFESSEURS 1<sup>o</sup>CLASSE**

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

**PROFESSEURS 2<sup>o</sup>CLASSE**

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

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

#### **PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

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

#### **MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE**

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

#### **MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)**

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

#### **MAITRES DE CONFERENCES et AGENTS CONTRACTUELS**

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

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

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

Je tiens à adresser mes remerciements,

A notre président de thèse

**Monsieur le Professeur Alexis Valentin**

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

Zoologie-Parasitologie

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.

Hommages respectueux

A notre directeur de thèse

**Monsieur le Professeur Philippe Jacquet**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie et Maladies parasitaires

Pour m'avoir donné la chance de réaliser ce travail, et m'avoir accordé sa confiance.

Pour le soutien et la disponibilité que vous m'avez offert au cours de ce travail.

Pour la patience que vous m'avez témoigné devant mes mails incessants à la limite du harcèlement.

Sincères remerciements.

A notre assesseur de thèse

**Monsieur le Professeur Michel Franc**

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Parasitologie et Maladies parasitaires

Pour m'avoir fait l'honneur de faire partie de mon jury de thèse.

Sincère reconnaissance

Des grands mercis à ceux qui ont fait et qui font partie de ma vie, et qui ont contribué à ce qui je suis :

**A mes parents**, pour votre soutien et votre présence dans les moments difficiles. Merci pour vos encouragements durant toutes ces années et de ne jamais avoir douté de moi. Pour m'avoir permis et donné les moyens de réaliser ce que je suis aujourd'hui.

**A mémé**, pour tous ces moments heureux de ma jeunesse durant lesquels tu m'as fait découvrir tant de choses.

**A Sophie**, à tous ces moments complices partagés ensemble et pour tous les autres à venir. Pour toutes ces journées d'enfance et d'adolescence partagées, pour la vie d'adulte qui nous attend. Je serai toujours là pour toi en cas de besoin.

**A Quentin**, à notre complicité et notre enfance ; des souvenirs qui n'ont pas de prix, gravés à jamais dans ma mémoire. En espérant rattraper le temps perdu de ces dernières années.

**A Cécile et Yannick**, pour tous les instants vécus ensemble et les souvenirs qui s'y rattachent. Notre amitié ne se résume pas à la prépa : les matchs au Vélodrome, les promenades à Marseille, la Presqu'île de Giens et tellement d'autres souvenirs... La distance ne nous éloigne pas.

**A Gérard**, pour tout ce que tu m'as apporté au cours de ces deux années. A ta patience face à mon caractère un peu bourrique.

**A Golden**, pour cette T1 pro passée ensemble au cul des vaches. Qu'est-ce qu'on a pu râler... A notre amitié que j'espère encore longue.

**A Pierre et Thibault**, pour ces années de rigolades et votre humeur décalé. Merci d'avoir égayé ces dernières années d'école qui m'ont semblées moins monotones à vos cotés. J'espère que vous n'oublierez pas la fille la plus classe et la plus glamour.

**A Marielle**, pour m'avoir hébergé tant de fois au cours de ces 5 années, de s'être occupé de moi quand ça n'allait pas, de m'avoir fait à manger quand j'avais faim... A notre amitié qui ne fait que débiter.

A tous mes amis d'école, **Aurélie, Manon, Morgane, Aline, et tous les autres** pour ces 5 années, ces expériences partagées, ces soirées arrosées... un peu trop arrosées, le bar du cercle, mes tenues de boom pas très habillées, les préchauffes et les surchauffes et tout le reste

A la **clinique vétérinaire de Thiviers**, pour leur gentillesse, leur patience et leur confiance. Une équipe qui sait allier travail et bonne humeur. Merci de m'avoir tant appris et de compter sur moi comme vous le faites. C'est un plaisir de débiter à vos cotés.

**A Virus**, il n'y a rien à dire, tout a été vécu...

A tous ceux que je n'ai pas cité et qui ont compté dans ma vie d'étudiante, une place dans mon cœur leur est réservée.

## Table des matières

Remerciements.....	p 1
Table des matières.....	p 3
Table des illustrations.....	p 6
Introduction.....	p 9
<b>SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>p 10</b>
<b>1- Les stomoxes.....</b>	<b>p 10</b>
1.1- Systématique, répartition géographique et morphologie générale.....	p 10
1.1.1- Systématique.....	p 10
1.1.2- Répartition géographique.....	p 11
1.1.3- Morphologie générale.....	p 11
1.2- Biologie des stomoxes.....	p 14
1.2.1- Accouplement et oviposition.....	p 14
1.2.2- Le cycle évolutif.....	p 15
1.3- Préférences trophiques, comportement et dispersion.....	p 18
1.4- Dynamique de population des stomoxes.....	p 20
<b>2- Les Tabanidés.....</b>	<b>p 23</b>
2.1- Systématique.....	p 23
2.2- Morphologie générale.....	p 23
2.3- Biologie des Tabanidés.....	p 25
2.4- Cycle de développement.....	p 26
<b>3- Les simulies.....</b>	<b>p 28</b>
3.1- Systématique, répartition géographique et morphologie générale.....	p 28
3.1.1- Systématique.....	p 28
3.1.2- Répartition géographique, morphologie générale.....	p 29
3.2- Biologie des simulies.....	p 29
3.3- Cycle évolutif.....	p 30
<b>4- Les mouches non hématophages dont <i>Musca autumnalis</i>.....</b>	<b>p 32</b>
4.1- Systématique, répartition géographique, morphologie générale.....	p 32
4.1.1- Systématique.....	p 32
4.1.2- Morphologie générale et répartition géographique.....	p 33
4.2- Biologie des mouches du genre <i>Musca</i> .....	p 33
4.3- Cycle évolutif.....	p 34
<b>5- La transmission d'agents pathogènes par l'intermédiaire des insectes piqueurs...p 36</b>	
5.1- Effets pathogènes directs.....	p 36
5.2- Effets pathogènes indirects.....	p 37
5.2.1- Rappels : vecteurs mécaniques et vecteurs biologiques.....	p 37
5.2.2- Transmission mécanique d'agents pathogènes bovins par les stomoxes	
• Transmission de protozoaires.....	p 39
• Transmission de bactéries.....	p 41
• Transmission de virus.....	p 41
5.3- Autres agents pathogènes potentiellement transmis mécaniquement .....	p 42
<b>6- Objectifs de l'étude .....</b>	<b>p 43</b>



<b>MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>p 44</b>
<b>1- Le choix du site de capture.....</b>	<b>p 45</b>
<b>2- Le système de piégeage .....</b>	<b>p 45</b>
<b>3- Le protocole expérimental.....</b>	<b>p 46</b>
<b>4- Choix de l'emplacement des pièges.....</b>	<b>p 48</b>
<b>5- Modélisation du modèle prédictif.....</b>	<b>p 51</b>
<b>RESULTATS .....</b>	<b>p 52</b>
<b>1- Etude de la dynamique de population des différentes espèces d'insectes dans tous les pièges cumulés.....</b>	<b>p 53</b>
1.1- Dynamique de population de <i>Stomoxys calcitrans</i> dans tous les pièges cumulés au cours d'une année d'étude.....	p 53
1.2- Dynamique de population de <i>Simulium</i> dans tous les pièges cumulés au cours d'une année d'étude.....	p 54
1.3- Dynamique de population de <i>Musca autumnalis</i> dans tous les pièges cumulés au cours d'une année d'étude.....	p 55
<b>2- Dynamique des populations de <i>Stomoxys calcitrans</i> et facteurs de variation.....</b>	<b>p 56</b>
2.1- Les conditions climatiques : un facteur clé.....	p 56
2.1.1- L'influence de la température.....	p 56
2.1.2- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie.....	p 59
2.1.3- L'influence des variables température-humidité relative .....	p 62
2.1.4- L'influence de la force du vent.....	p 64
2.2- La proximité des différentes espèces hôtes.....	p 65
2.3 Etablissement d'un modèle prédictif de la densité apparente de stomoxes en fonction des différentes variables .....	p 67
2.3.1- Analyses descriptives.....	p 67
2.3.2- Représentation des séries chronologiques.....	p 68
2.3.3- Modélisation.....	p 70
2.3.4- Comparaison des séries chronologiques prédites et observées.....	p 73
<b>3- Dynamique des populations de <i>Simulium</i> et <i>Musca autumnalis</i> et facteurs de variation</b>	
3.1- Les conditions climatiques.....	p 75
3.1.1- L'influence de la température.....	p 75
3.1.2- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie.....	p 79
3.1.3- L'influence du couple des deux variables température-humidité relative pour <i>Simulium</i> .....	p 83
3.1.4- L'influence du couple des deux variables température-humidité relative pour <i>Musca autumnalis</i> .....	p 84
3.1.5- L'influence de la force du vent.....	p 86
3.2- La proximité des différentes espèces hôtes.....	p 87
3.2.1- Pour les simulies.....	p 87
3.2.2- Pour les mouches lécheuses.....	p 88

<b>DISCUSSION.....</b>	<b>p 90</b>
<b>1- Les biais des manipulations.....</b>	<b>p 91</b>
1.1- La modification de disposition des terrains.....	p 91
1.2- La variation du nombre d'animaux au cours de l'année d'étude.....	p 93
1.3- L'influence du type de piégeage (Vavoua) sur les captures.....	p 93
1.4- La dégradation des pièges.....	p 93
<b>2- Etude de la dynamique de population des différentes espèces d'insectes et danger potentiel au bétail.....</b>	<b>p 94</b>
2.1- Dynamique de population de <i>Stomoxys calcitrans</i> et risque de transmission d'agents pathogènes au bétail.....	p 94
2.2- Dynamique de population de <i>Simulium</i> et risque de transmission d'agents pathogènes au bétail.....	p 95
2.3- Dynamique de population de <i>Musca autumnalis</i> et risque de transmission d'agents pathogènes au bétail.....	p 96
<b>3- Dynamique de population de <i>Stomoxys calcitrans</i> et facteurs de variation.....</b>	<b>p 96</b>
3.1- Les conditions climatiques : un facteur clé.....	p 96
3.1.1- L'influence de la température.....	p 96
3.1.2- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie.....	p 99
3.1.3- L'influence deux variables température-humidité relative.....	p 100
3.1.4- L'influence de la force du vent.....	p 101
3.2- La proximité des différentes espèces hôtes.....	p 101
<b>4- Dynamique de population de <i>Simulium</i> et <i>Musca autumnalis</i> et facteurs de variation</b>	
4.1- Les conditions climatiques.....	p 104
4.1.1- L'influence de la température.....	p 104
4.1.2- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie.....	p 106
4.1.3- L'influence de la force du vent.....	p 106
4.2- La proximité des différentes espèces hôtes.....	p 107
4.2.1- Pour les simuliés.....	p 107
4.2.2- Pour les mouches lécheuses.....	p 107
Conclusion.....	p 108
Bibliographie.....	p 112

## Table des illustrations

### *Index des figures*

- Figure 1 : Position taxonomiste du genre *Stomoxys*  
Figure 2 : Photographie de *Stomoxys calcitrans*  
Figure 3 : Dessin de tergites abdominaux de *S. calcitrans*  
Figure 4 : Schéma des mesures pour le calcul de l'index frontal.  
Figure 5 : Face antérieure de la tête de *S. calcitrans*  
Figure 6 : Schéma des pièces buccales de *S. calcitrans*  
Figure 7 : Têtes de Stomoxyinés (Zumpt, 1973) ; a : tête de *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus)  
Figure 8 : Les différents stades du cycle de développement des stomoxes  
Figure 9 : Cycle évolutif de *Stomoxys calcitrans*.  
Figure 10 : Bio-écologie des stomoxyinés  
Figure 11 : Répartition préférentielle de *Stomoxys calcitrans* sur un bovin  
Figure 12 : Photographie de *S. calcitrans* se nourrissant sur les membres inférieurs des bovins  
Figure 13 : Abondances relatives de *S. calcitrans*, température moyenne et pluviométrie en fonction du temps  
Figure 14 : Nombre de stomoxes observés et modélisés par piégeage d'avril 2001 à novembre 2005 et températures et précipitations  
Figure 15 : Position taxonomiste du genre *Tabanus*  
Figure 16 : Photographie de *Tabanus sp*  
Figure 17 : Photographie de *Tabanus bovinus*  
Figure 18 : Photographie de femelle *Tabanus bromius*  
Figure 19 : Photographie de mâle *Tabanus bromius*  
Figure 20 : Larve de *Tabanus*  
Figure 21 : Nymphe de *Tabanus*  
Figure 22 : Cycle évolutif des Tabanidés  
Figure 23 : Bio-écologie des Tabanidés  
Figure 24 : Position taxonomiste du genre *Simulium*  
Figure 25 : Photographie de *Simulium*  
Figure 26 : Photographie de *Simulium ornatum*  
Figure 27 : Photographie de larves de *Simulium*  
Figure 28 : Deux stades larvaires  
Figure 29 : Cycle évolutif des simulies  
Figure 30 : Bio-écologie des simulies  
Figure 31 : Position taxonomiste du genre *Musca*  
Figure 32 : Photographie de *Musca autumnalis* adulte  
Figure 33 : Répartition préférentielle de *Musca autumnalis*  
Figure 34 : Cycle évolutif de *Musca autumnalis*  
Figure 35 : Schéma d'un piège Vavoua  
Figure 36 : Photographie d'un piège Vavoua  
Figure 37 : Photo aérienne d'une partie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse  
Figure 38 : Photographie aérienne d'une partie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse  
Figure 39 : Dynamique de population des différentes espèces d'insectes au cours d'une année dans tous les pièges cumulés.

- Figure 40 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbes de la température en °C (maximales, minimales et moyennes)
- Figure 41 : Activité apparente de *Stomoxys calcitrans* par piège pour les intervalles de températures moyennes avec écart type.
- Figure 42 : Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbe de l'humidité relative en %.
- Figure 43 : Pluviométrie de 2009 à Toulouse Blagnac (source : Météo France)
- Figure 44 : Activité apparente de *Stomoxys calcitrans* par piège pour les intervalles d'humidité relative avec écart type.
- Figure 45 : Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* en fonction de la température moyenne et de l'humidité relative
- Figure 46 : Activité apparente de *Stomoxys calcitrans* par piège pour les intervalles de vitesse du vent avec écart type.
- Figure 47 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année.
- Figure 48 : Séries chronologiques des variables météorologiques enregistrées les jours de capture de stomoxes
- Figure 49 : Corrélation des variables météorologiques (hors pluviométrie) enregistrées les jours de capture de stomoxes.
- Figure 50 : Forme de la relation entre les variables explicatives météorologiques et le comptage des stomoxes (échelle log).
- Figure 51 : Densité apparente observée et prédite avec le modèle binomial négatif des comptages de stomoxes.
- Figure 52 : Surfaces des densités apparentes moyennes prédites par le modèle binomial négatif de la densité apparente des stomoxes.
- Figure 53 : Valeurs observées et prédites de la densité apparente des stomoxes
- Figure 54 : Dynamique des populations de simulies et de mouches lécheuses (*Musca autumnalis* essentiellement) dans tous les pièges confondus au cours d'une année de captures et courbes de températures (maximales, minimales et moyennes)
- Figure 55 : Activité apparente par piège de *Simulium* et *Musca autumnalis* pour les intervalles de températures avec l'écart type
- Figure 56 : Dynamique de population de *Simulium* et *Musca autumnalis* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbe de l'humidité relative
- Figure 57 : Activité apparente de *Simulium* et *Musca autumnalis* par piège pour les intervalles d'humidité relative avec écart type.
- Figure 58 : Dynamique des populations de *Simulium* en fonction de la température moyenne et de l'humidité relative.
- Figure 59 : Dynamique des populations de *Musca autumnalis* en fonction de la température moyenne et de l'humidité relative.
- Figure 60 : Activité apparente par des simulies et des mouches lécheuses par piège par intervalle de vitesse du vent avec écart type
- Figure 61 : Dynamique de population de *Simulium* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année de captures.
- Figure 62 : Dynamique de population de *Musca autumnalis* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année.
- Figure 63 : Photo aérienne d'une partie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse. Modification de l'emplacement des pièges suite à la construction.
- Figure 64 : Températures moyennes minimale et maximale de l'année 2009 et normales saisonnières

- Figure 65 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbes de la température en °C (maximales, minimales et moyennes)
- Figure 66 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbes de la température en °C (maximales et moyennes)
- Figure 67 : Localisation de l'emplacement des pièges des pièges
- Figure 68 : Etude des biais suite à la délocalisation des bovins à partir du mois de juillet et conséquences sur notre étude)
- Figure 69 : Dynamique de population de *Simulium* et *Musca autumnalis* en fonction de la température
- Figure 70 : Dynamique de population de *Simulium* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année de captures.

## Introduction.

Le réchauffement climatique de la planète observé actuellement a un impact important sur la biologie des espèces, leur distribution, et sur le fonctionnement des écosystèmes. Ces variations climatiques peuvent parfaitement influencer la démographie des populations animales au cours du temps. Les insectes sont particulièrement sensibles à l'augmentation des températures. Une des conséquences du réchauffement global pourrait être l'exposition croissante des populations humaines et animales aux maladies transmises par des vecteurs.

En effet, l'extension des aires de distribution des insectes vecteurs de pathogènes augmenterait la probabilité de rencontre hôte-vecteur et donc la probabilité de transmission de maladies à l'homme et aux animaux, notamment au bétail.

Les interactions du vivant sur le vivant au sein d'un écosystème appelées « facteurs biotiques » ainsi que l'ensemble des facteurs physico-chimiques d'un écosystème appelés « facteurs abiotiques » déterminent la biologie et la dynamique des populations. Ainsi, les modifications climatiques engendrées par le réchauffement global ne seront probablement pas sans conséquence sur les insectes vecteurs.

Les variations dans le temps et dans l'espace des conditions environnementales affectent la démographie des populations d'insectes vecteurs comme les stomoxes par exemple. On sait depuis longtemps que les facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité et le vent influencent fortement le taux d'accroissement des populations d'insectes.

Cependant il semble que le manque de connaissances scientifiques précises sur la biologie et surtout la dynamique des populations de certains insectes piqueurs dans un pays comme la France limite l'efficacité des programmes de lutte. De plus, l'émergence et la propagation de certaines pathologies comme la besnoitiose bovine en France laisse transparaître une mauvaise connaissance de la biologie, du comportement et de la dynamique des populations des stomoxes et des Tabanidés ainsi qu'un manque d'actualisation des données scientifiques sur ceux-ci.

Il paraît donc intéressant d'étudier l'impact du climat sur la dynamique des populations d'insectes piqueurs et tout particulièrement de *Stomoxys calcitrans* dans une région comme le Sud-Ouest de la France afin de proposer des moyens de lutte adéquats pour limiter la propagation de maladies du bétail.

L'objectif principal de cette thèse est d'analyser les variations spatio-temporelles de l'abondance des espèces d'insectes piqueurs présents sur le site de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse et en particulier de *Stomoxys calcitrans*, vecteurs de maladies chez les bovins, et de déterminer les principaux facteurs impliqués dans ces variations comme la température, l'hygrométrie, le vent, la saison....

Après une présentation des différentes espèces d'insectes piqueurs présentes sur le site et un rappel sur la biologie et l'importance médicale de ceux-ci, nous étudierons les profils hebdomadaires des captures des insectes piqueurs réalisées pendant une année ainsi que l'attractivité des différentes espèces hôtes, bovins ou équins, présents sur le site.



# SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1- Les stomoxes

### 1.1- Systématique, répartition géographique et morphologie générale

Les *Stomoxiinae* appartiennent à la famille des *Muscidae* (*Diptera*) (Figure1) et forment une sous-famille aux caractères morphologiques et comportementaux bien définis. La sous-famille des *Stomoxiinae* regroupe dix genres dont les plus importants sont *Haematobosca* (Bezzi, 1907), *Haematobia* (Lepeletier et Serville, 1828), et *Stomoxys* (Geoffroy, 1762 et Zumpt 1973). Le genre *Stomoxys*, comprend 18 espèces appelées communément « stomoxes ».

#### 1.1.1- Systématique

##### Cellular organisms

##### Eukaryota

Fungi/Metazoa group

Metazoa

Eumetazoa

Bilateria

Coelomata

Protostomia

Panarthropoda

##### Arthropoda

Mandibulata

Pancrustacea

Hexapoda

##### Insecta

Dicondylia

Pterygota

Neoptera

Endopterygota

##### Diptera

Brachycera

Muscomorpha

Eremoneura

Cyclorrhapha

Schizophora

Calyptatae

Muscoidea

##### Muscidae

Muscinae

Stomoxiini

##### Stomoxys

Figure 1 : Position taxonomiste du genre *Stomoxys*

(Source : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=Taxonomy>)

*S. calcitrans* est aussi appelée « mouche-bœuf », « mouche des étables », « mouche des buffles »



### 1.1.2- Répartition géographique

Alors que *Stomoxys calcitrans* (Figure 2) est une espèce cosmopolite (Zumpt, 1758), les 17 autres ont des aires de distribution bien restreintes en Afrique et/ou en Asie. On ne trouve dans nos régions que *S. calcitrans*, c'est pour cette raison que nous ne parlerons que de cette espèce. En effet, elle se rencontre aussi bien sous les climats froids et tempérés d'Europe et d'Amérique du Nord (Brues, 1913) que sous les climats chauds d'Asie, d'Amérique ou d'Afrique.

### 1.1.3- Morphologie générale



Figure 2 : Photographie de *Stomoxys calcitrans*

(Source : [http://species.wikimedia.org/wiki/File:Stomoxys\\_calcitrans\\_on\\_aloe\\_vera.jpg](http://species.wikimedia.org/wiki/File:Stomoxys_calcitrans_on_aloe_vera.jpg))

La morphologie des insectes conditionne leur rôle de vecteur :

- Leurs pièces buccales caractérisent le régime alimentaire et indiquent si l'insecte est solénoptère (piqûre moins douloureuse car l'insecte puise le sang directement dans la lumière du vaisseau sanguin sans déchiqueter les tissus environnants) ou hématophage (piqûre violente et douloureuse créant un lac hémolympatique en déchirant les tissus).
- La réaction de l'hôte à la piquûre provoquant ou non l'interruption du repas ce qui favorise la transmission d'agents pathogènes par voie mécanique.
- Le volume de sang transmis et donc indirectement le nombre d'agents pathogènes transmis d'un hôte à l'autre.
- Leur identification car il existe différentes espèces de stomoxes

L'adulte de *S. calcitrans* mesure 4 à 7 mm de long (3 à 10 mm pour les valeurs extrêmes), et présente des caractéristiques morphologiques similaires à celles de la mouche domestique (*Musca domestica* Linné, 1758). Il se différencie toutefois de cette dernière par l'existence d'un appareil buccal adapté à la piquûre. Le proboscis est constitué d'une trompe

grêle de type piqueur suceur, chitinisée et dirigée vers l'avant dans l'axe du corps capable de percer la peau (Zumpt, 1973), lui permettant d'adopter un régime alimentaire hématophage.

L'insecte est brun-gris avec des nuances verdâtres et son thorax est ornémenté de quatre bandes noires longitudinales. L'abdomen est plus large que long et présente sur les second et troisième segment une tache brune médiane et deux taches latérales (Zumpt 1973) (Figure 3).

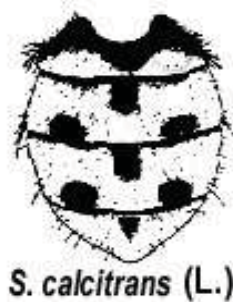


Figure 3 : Dessin de tergites abdominaux de *S. calcitrans* (d'après Zumpt, 1973)

Chez les stomoxes, l'écartement des yeux au niveau de l'apex de la tête est plus faible chez les mâles que chez les femelles (Figures 4 et 5). La partie postérieure de l'abdomen est modifiée pour la copulation et l'oviposition.

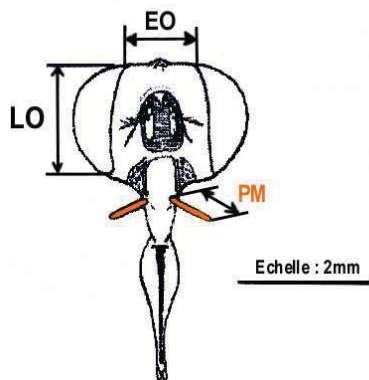


Figure 4 : Schéma des mesures pour le calcul de l'index frontal. (J.Gilles, 2005)

(index frontal =  $EO/LO$  avec

EO = largeur de l'espace interoculaire au vertex,

LO = plus grande longueur de l'oeil,



Figure 5 : Face antérieure de la tête de *S. calcitrans* (J.Gilles, 2005)

L'appareil piqueur rigide, le proboscis, est composé de trois longues pièces fortement sclérifiées, non rétractiles : un labium (lèvre inférieure), un labre (lèvre supérieure) et un hypopharynx, le tout formant deux tubes (Figure 6 et 7). La salive est injectée dans le derme de l'hôte à travers le tube le plus fin représenté par l'hypopharynx, tandis que le sang est aspiré par le tube le plus large formé par le labre et la partie dorsale de l'hypopharynx (Zumpt 1973). Chez les stomoxes, les deux sexes sont hématophages, le sang est nécessaire à la reproduction mais les mouches peuvent survivre en s'alimentant de nectar et de pollen (Jones *et al.* 1992, Foil & Hogsette 1994).

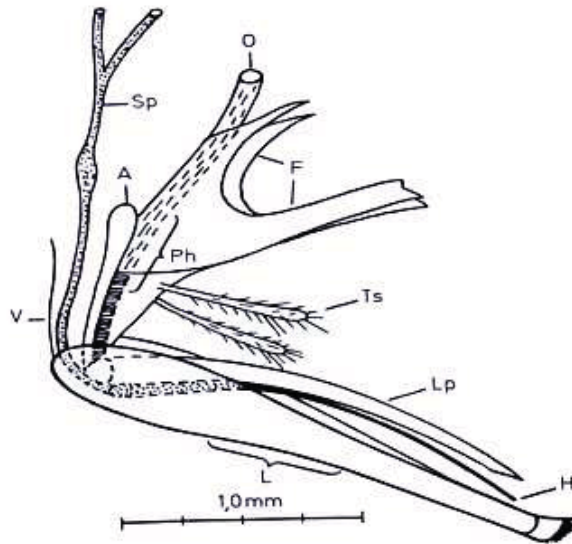


Figure 6 : Schéma des pièces buccales de *S. calcitrans* (d'après Zumpt, 1973)

L = labium, H = hypopharynx, Lp = labre, O = oesophage, Sp = glande salivaire,  
Ts = palpes, V = membrane entre le proboscis et la capsule céphalique.

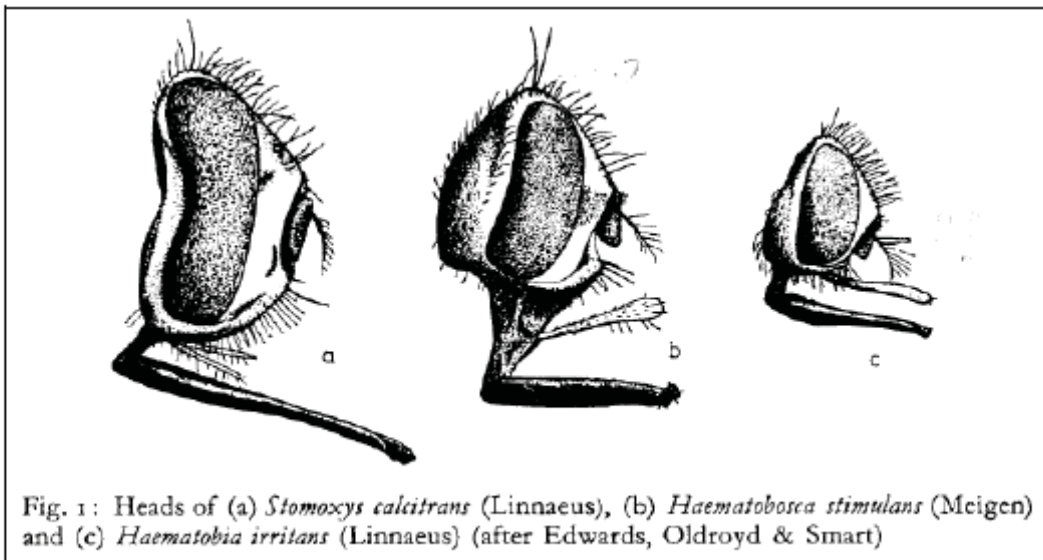


Fig. 1: Heads of (a) *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus), (b) *Haematobosca stimulans* (Meigen) and (c) *Haematobia irritans* (Linnaeus) (after Edwards, Oldroyd & Smart)

Figure 7 : Têtes de Stomoxyinés (Zumpt, 1973) : a : tête de *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus)

## 1.2- Biologie des stomoxes

### 1.2.1- *Accouplement et oviposition*

L'accouplement et la ponte de *S. calcitrans* ont pu être étudiés au laboratoire. L'accouplement peut avoir lieu en vol ou lorsque les femelles sont au repos. Le temps moyen de copulation est d'environ 5 minutes et le positionnement des ailes des femelles réceptives semble être un paramètre important pour l'orientation des mâles (Anderson 1978). Un même mâle peut s'accoupler avec plusieurs femelles (Hafez & Gamal-Eddin 1959) mais cette dernière ne peut s'accoupler qu'avec un seul mâle car une seule copulation est suffisante pour féconder toutes les pontes qu'elle effectuera. Avant d'être capable d'inséminer une femelle avec succès, le mâle doit avoir digéré au moins un repas de sang de vertébré (Anderson 1966). L'accouplement est plus fréquent lorsque les deux sexes sont âgés de 4 à 5 jours et les femelles commencent à pondre 8 à 22 jours après leur éclosion, en général 10 jours. Chaque femelle effectue en général 4 à 5 pontes dans sa vie dans les conditions naturelles.

Chez la femelle *S. calcitrans*, la maturation de la première ponte exige au moins trois repas de sang (Killough & McKinstry 1965, Sutcliffe *et al.* 1993). En fait, 5 à 6 follicules ovariens se développent simultanément. Quand le premier follicule a achevé son développement (stade V), le second se trouve déjà au stade III et le troisième au stade II. Chaque repas de sang permet d'augmenter d'un degré le développement de la première série d'œufs et des follicules qui la surmontent (Leclercq 1971). Un repas de sang est nécessaire à la production de chaque nouvelle série d'œufs (Foil & Hogsette 1994), c'est pourquoi les femelles doivent se nourrir de sang plus fréquemment que les mâles (Barré 1981).

La durée de pré-oviposition est variable et inversement proportionnelle à la température. L'oviposition est le fait de déposer les œufs à un endroit bien précis choisi par la femelle. Sutherland (1979) a montré que la plus courte période de pré-oviposition était de 4,3 jours à 30°C et que la plus longue était de 11,7 jours à 20°C. Les imagos (adultes) de *S. calcitrans* ont une longévité optimale pour une température comprise entre 15 et 20°C et cette durée diminue nettement en dessous et au dessus de cette gamme de température (Sutherland 1979, Lysyk 1998). La fécondité des femelles de *S. calcitrans* dépend également de la température. En effet, pendant toute leur vie les femelles pondent de moins de 30 œufs à 15°C à 700 œufs à 25°C (Lysyk 1998). De plus, des femelles de *S. calcitrans* étudiées par Sutherland en 1979 n'ont pas pondu pour des températures inférieures à 15°C ou supérieures à 40°C. Ces températures extrêmes allongent la période de pré-oviposition et réduisent le temps pendant lequel les femelles seront fécondes.

Les sites de ponte et de développement larvaire sont très variés, et sont souvent associés à de mauvaises conditions sanitaires et à une mauvaise gestion des élevages (gestion des fourrages, des ensilages, des déchets alimentaires, des effluents) (Meyer & Petersen 1983). La nature et la quantité de ces sites sont influencées par les pratiques d'élevage et la localisation géographique de ceux-ci. Les femelles de *S. calcitrans* se déplacent fréquemment pour déposer les œufs en petit nombre un peu partout sur le milieu de ponte choisi (Foil & Hogsette 1994). Pour *S. calcitrans*, la matière organique végétale en décomposition, éventuellement mélangée à des déjections animales (fumier, herbe ou autres végétaux coupés en décomposition, feuilles d'arbres en décomposition, restes d'aliment du bétail en décomposition, balles de foin stockés dans les champs...), constitue le site de ponte de prédilection (Barré 1981, Lysyk 1993 & obs. pers). La surface croûtée du lisier peut aussi constituer un lieu de ponte et de développement larvaire. Les déjections pures d'animaux sont

moins attractives (Zumpt 1973, Foil & Hogsette 1994). Le milieu de ponte doit être friable, poreux, avoir un fort taux d'humidité, et une température comprise entre 15 et 30°C (Hafez & Gamal-Eddin 1959). Les milieux dont la température excède 31°C ou inférieure à 8°C sont évités.

### 1.2.2- Le cycle évolutif

Le cycle de développement des stomoxes comprend 6 stades (Figure 8) : l'oeuf, trois stades larvaires, la nymphe et l'adulte. Les adultes s'accouplent et les femelles pondent des œufs. Les œufs éclosent en une larve de stade I. La jeune larve issue de l'oeuf va subir plusieurs transformations et se transformer en puppe ; c'est le stade nymphal. A terme, l'imago « fini » émergera de la puppe. Chez ces insectes, la métamorphose est complète comme chez tous les Diptères, Hyménoptères, Coléoptères ou Lépidoptères.

Le passage d'un stade à l'autre est fonction de la température et de l'humidité (Lysyk 1998), notamment en ce qui concerne les trois stades larvaires. L'oeuf (environ 1 mm) éclot pour donner une jeune larve (stade L1) ; cette dernière va se développer et subir des transformations (stades L2 et L3). A la fin du stade L3, l'asticot s'immobilise sous la matière organique en décomposition, dans le sol humide et se tasse sur lui-même (Figure 10). Le tégument se durcit formant une enveloppe (le puparium) renfermant la nymphe qui va subir des modifications internes continues jusqu'à l'émergence du jeune imago (Figure 9).

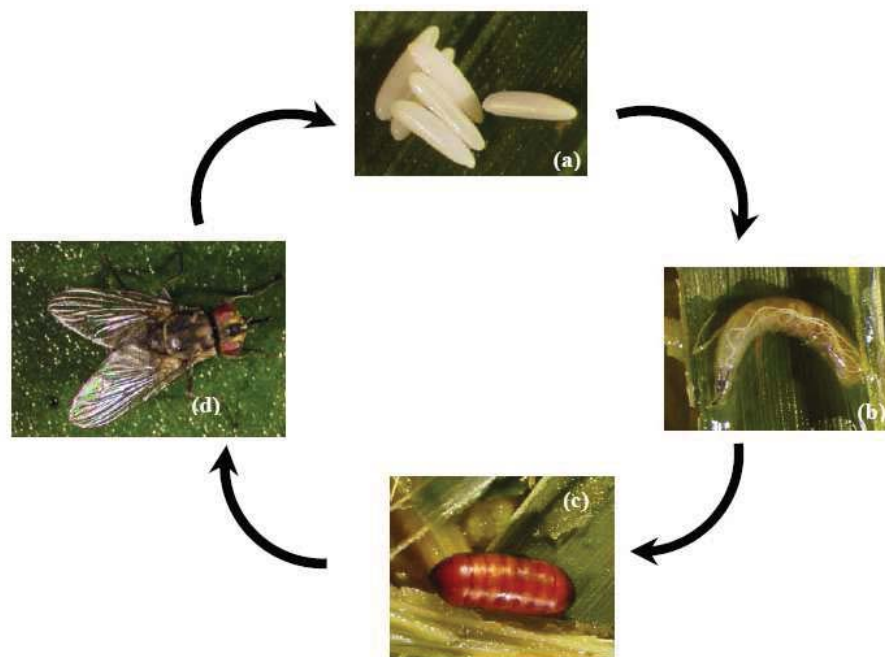


Figure 8 : Les différents stades du cycle de développement des stomoxes : (a) l'oeuf (environ 1 mm), (b) la larve (au stade L3 mesurant jusqu'à 1 cm), (c) la puppe renfermant la nymphe (4 à 7 mm) et (d) l'imago (5 à 7 mm) (D'après Gilles J. 2005)



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, la durée minimale étant observée à 31°C (Lysyk 1998). Sutherland montre en 1979 que la température optimale pour l'incubation des œufs est de 30°C. Les pupes de *S. calcitrans* tolèrent des températures comprises entre 20°C et 30°C et leur mortalité augmente considérablement en-dehors de cette gamme de températures. Globalement, Lysyk (1998) montre que la survie des immatures est maximale à 20-22°C. *S. calcitrans* semble passer l'hiver à tous les stades de développement (Somme 1961, Berry *et al.* 1978, Berkerile *et al.* 1994) et se développent lentement dans des milieux permettant d'échapper aux basses températures. Il n'y a pas de réelle diapause hivernale (Somme 1961, Lysyk 1998) et l'on observe la continuation des cycles à l'intérieur des étables, même dans les pays froids tels que les pays scandinaves, la ponte ayant alors lieu sur les mélanges d'excréments, d'urines, de litière et de fourrage. Cependant, la survie de *S. calcitrans* à l'hiver est permise par un allongement du cycle au niveau de tous les stades.

La diapause est une phase génétiquement déterminée dans le développement d'un organisme pendant laquelle l'intensité de ses activités métaboliques est diminuée. On considère que l'animal est en vie ralentie selon des processus physiologiques et biologiques complexes en réponse anticipée à des variations de l'environnement. Ce terme est souvent utilisé chez les insectes et correspond à une phase d'arrêt du développement au cours de la vie de celui-ci. La diapause est déclenchée par un événement extérieur (par exemple la réduction de la longueur du jour en automne) et elle est levée (le développement reprend) lorsque les conditions extérieures sont plus propices à l'insecte. Dans ce cas fréquent, il reprend son activité quand la mauvaise saison est définitivement terminée. On parle souvent de diapause hivernale.

D'après l'étude de Sutherland (1979), le taux de viabilité des œufs de *S. calcitrans* exposés à des températures de 10°C à 40°C dépasse 80% mais une température de 45°C est létale.

Le comportement des larves de *S. calcitrans* a été étudié au laboratoire par Hafez & Gamal-Eddin (1961) et Berry *et al.* (1978). Au stade de croissance active, elles recherchent une humidité très proche de la saturation, une température de 15 à 30°C et sont fortement attirées par l'odeur des fèces de cheval et de vache et de certains produits comme l'ammoniaque, l'éthylamine, le triméthylamine, l'acétone. A l'approche de la pupaison, les larves préfèrent une humidité de 75 à 83% et une température de 15 à 25°C.

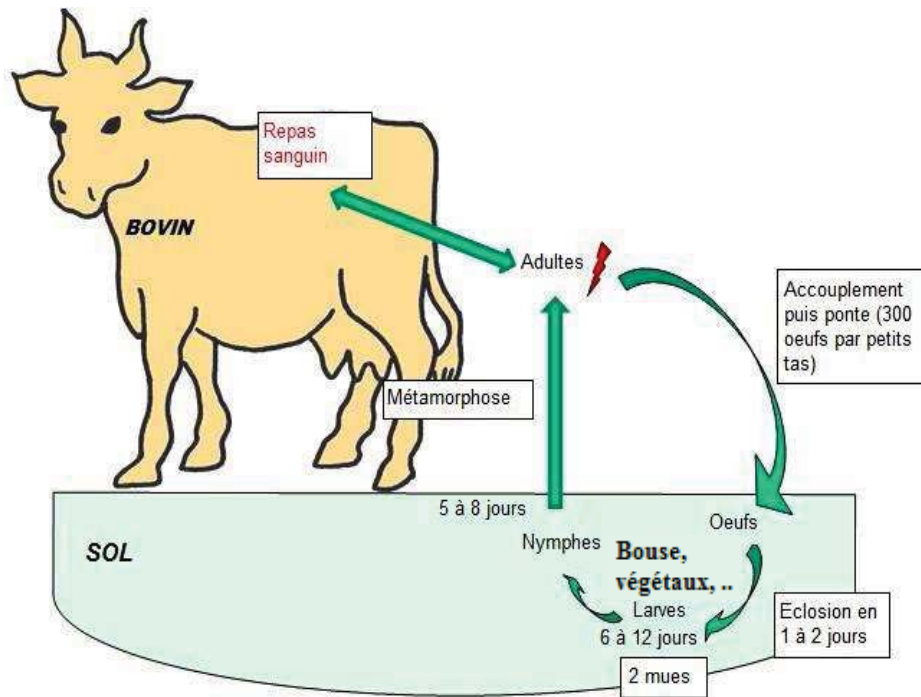


Figure 9 : Cycle évolutif de *Stomoxys calcitrans*.

(Source : Ecole vétérinaire nationale de Lyon (<http://www2.vet-lyon.fr/ens/DPR/parasites/stomoxys.html>))

Stades larvaires (ovipares) + Stade nymphal	Gîtes larvaires	Excréments (crottins, bouses, litières souillées)	
	Durée	* <i>S. calcitrans</i> : 2 à 7 semaines selon la température extérieure (3 stades)	
<b>Stade adulte : parasite</b>	Morphologie	Couleur terne, grisâtre Antenne à arista velue sur toute la longueur Trompe piqueuse rigide * <i>Stomoxys calcitrans</i> : pMx beaucoup plus courts que la trompe Taille : 6 à 8 mm, Aspect de « mouche domestique », Thorax portant 4 bandes dorsales sombres, Abdomen présentant des tâches noires. * <i>Haematobia irritans</i> : pMx aussi longs que la trompe Arista velue dorsalement Taille : 4 à 5 mm * <i>Haematobosca stimulans</i> : pMx aussi longs que la trompe Arista velue dorsalement et ventralement	
	Alimentation	Mâles et femelles	Hématophages
	Durée	* <i>S. calcitrans</i> : 3 à 4 semaines en été	
	Hôtes habituels	* <i>S. calcitrans</i> : animaux (chiens++, chevaux) et humains * <i>H. irritans</i> : bovins * <i>H. stimulans</i> : animaux domestiques, humain	
<b>Espèces présentes en France métropolitaine</b>	* Genre <i>Stomoxys</i> : <i>S. calcitrans</i> * Genre <i>Haematobia</i> : <i>H. irritans</i> * Genre <i>Haematobosca</i> : <i>H. stimulans</i>		

Figure 10 : Bio-écologie des stomoxynés (d'après Bussiéras et Chermette, 1991 ; Kettle, 1995)

### 1.3- Préférences trophiques, comportement et dispersion

Chez les stomoxes, le sens visuel et le thermotropisme sont excellents, le sens olfactif est en outre affiné par des chémorécepteurs de contact (Leclercq 1971). Le choix de leur victime est fonction de la couleur, de l'épaisseur du pelage, de la taille, des mouvements et des odeurs (température cutanée, transpiration, CO<sub>2</sub>, odeurs particulières voire spécifiques). Les hôtes préférentiels de *S. calcitrans* sont les gros mammifères à sang chaud tels que les bovidés et les équidés. Les préférences trophiques de *S. calcitrans* sont, par ordre décroissant d'intérêt, les ânes, les chevaux, les buffles, les vaches, les chameaux, les moutons et les chèvres (Hafez & Gamal-Eddin 1959). Cependant, dans des conditions naturelles extrêmes, les chiens ou les hommes peuvent également être attaqués, permettant à *S. calcitrans* de se nourrir, comme sur les plages de Floride lors de pullulations de stomoxes (Hogsette *et al.* 1981). Même si les deux sexes sont hématophages et le sang nécessaire à la reproduction, les stomoxes peuvent survivre en s'alimentant de nectar, de pollen ou à partir de fruits trop mûrs ou moisis.

Chez les bovins, les stomoxes se nourrissent préférentiellement sur la partie inférieure des membres et en particulier sur les membres antérieurs (Figures 11 et 12). En effet, à cet endroit, le pelage y est plus fin, les vaisseaux sanguins sont plus proches de la surface de la peau. Toutefois, les réactions de défense des animaux (les mouvements de queue, les frémissements de la peau par l'action des muscles peauciers, les mouvements de la tête et des oreilles) chassent les stomoxes des autres parties du corps. Quand le nombre de mouches augmente, les sites de piqûre sont plus étendus, les mouches gagnant alors par ordre de préférence le fanon, la partie supérieure des membres, les flancs, le ventre et enfin la partie postérieure de l'animal (Kunz *et al.*, 1976 ; Hafez *et al.*, 1959 ; Lysyk, 1995).

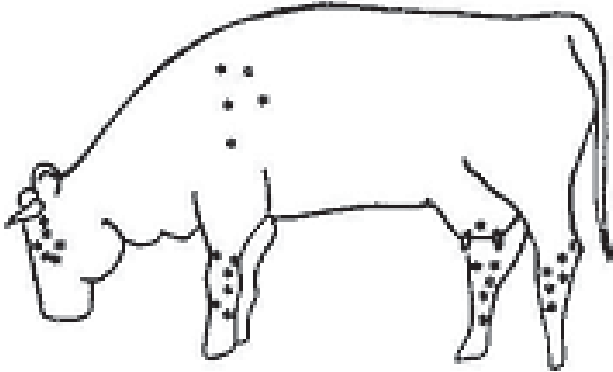


Figure 11 : Répartition préférentielle de *Stomoxys calcitrans* sur un bovin (d'après Le Panterer, 1980)

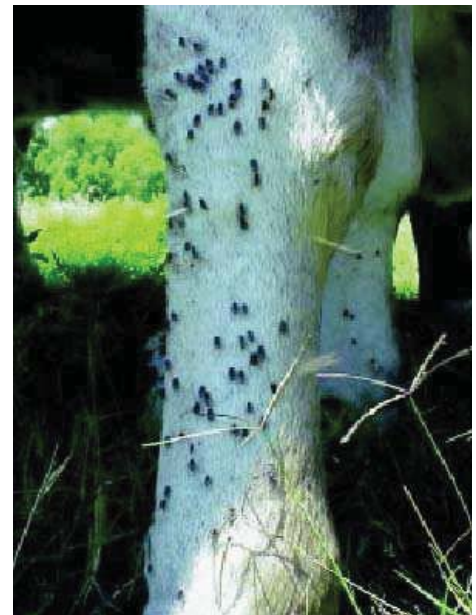


Figure 12 : Photographie de *S. calcitrans* se nourrissant sur la partie inférieure des membres antérieurs des bovins.  
(Source: <http://pearl.agcomm.okstate.edu/insects/parasites/f-7000.html>)

L'activité, qu'il s'agisse du vol ou du nourrissage, est très fortement liée aux variations de température (Lysyk 1995, Gatehouse & Lewis 1973, Berry & Campbell 1985). Selon les conditions climatiques, deux situations sont envisageables :



- En région chaude ou tropicale, l'activité journalière est bimodale chez les deux espèces de stomoxes étudiées (*S. calcitrans* et *S. niger niger*). Deux pics d'activité sont observés : un tôt le matin et un en fin d'après-midi (Hafez & Gamal-Eddin 1959b ; Harley 1965 ; Kangwagye 1973 ; Kunz & Monty 1976 ; Charlwood & Lopes 1980, Charlwood & Sama 1996 ; Mihok & Clausen 1996). Ces pics présentent des variations saisonnières et interspécifiques (Kunz & Monty 1976).

- En pays tempéré ou en saison fraîche des régions tropicales, une activité journalière unimodale chez *S. calcitrans* est habituelle, avec un seul pic d'activité en début d'après-midi (Hafez & Gamal-Eddin 1959b, Harley 1965, Berry & Campbell 1985).

D'après Berry (1985), l'activité unimodale est due au fait que les stomoxes ne prennent qu'un seul repas par jour. Toutefois, l'observation de deux pics d'activité dans les régions tempérées, même si elle n'est pas habituelle, peut être expliquée d'après lui par trois phénomènes :

- les conditions à la mi-journée sont parfois défavorables à l'activité des stomoxes, la courbe d'activité devient alors bimodale.
- des températures élevées pendant le jour et la nuit peuvent conduire une partie de la population de stomoxes à se gorger deux fois par jour.
- un temps froid ou pluvieux peut entraîner une partie de la population à ne pas se gorger un jour donné, la courbe d'activité sera donc différente les jours suivants, cette partie de la population se gorgeant plus tôt dans la journée du jour suivant.

Lysyk a estimé en 1995 que la température minimale autorisant le vol est de 10,7°C. Mais *S. calcitrans* possède une capacité d'adaptation aux basses températures importante en comparaison avec les autres espèces de mouches.

Enfin, les stomoxes semblent être capables de parcourir de grandes distances afin de se nourrir et de migrer vers des conditions plus favorables (Bailey *et al.* 1979). Il a déjà été vu que *S. calcitrans* peut parcourir 5 km (Hogsette *et al.*, 1987) ou plus à la recherche d'un repas de sang et certaines mouches marquées ont même été retrouvées jusqu'à plus de 100 km de leur lieu de marquage.

Les stomoxes attaquent de jour (Harley 1965, Schofield & Brady 1996) avec agressivité. Chez ces insectes, la prise d'un repas de sang complet dure en moyenne de 2 à 30 minutes selon les espèces et la saison (Hafez & Gamal-Eddin 1959b, Kunz & Monty 1976, Lysyk 1995, Schofield & Torr 2002). Il durerait en moyenne 7 minutes à 30°C et 15 minutes à 21°C (Hafez *et al.*, 1959). Les stomoxes prennent en général un repas par jour mais une partie de la population peut être amenée à se gorger deux fois en fonction de la température (Berry *et al.*, 1985). De plus, les stomoxes prennent souvent des repas de sang interrompus car leur piqûre est douloureuse ce qui les oblige à changer fréquemment d'hôtes au cours d'un même repas (Zumpt, 1973).

Il a été montré que le nombre de stomoxes venant prendre un repas de sang et le temps qu'ils passent sur les membres du bétail sont corrélés à la température (Lysyk, 1995). Le nombre de *S. calcitrans* venant prendre un repas de sang est maximal entre 30°C et 32°C, diminue nettement au delà de 34°C et devient nul au dessous de 14°C (Hafez *et al.*, 1959). D'autres paramètres météorologiques peuvent influencer la proportion de *S. calcitrans* se gorgeant aux différentes heures de la journée. Ainsi l'augmentation de l'intensité lumineuse et la diminution de l'humidité relative réduisent la proportion de stomoxes se gorgeant pour des températures élevées mais l'augmentent pour des températures basses (Berry, 1985).

En dehors des périodes d'activité, les stomoxes se reposent sur les murs ensoleillés, les palissades claires et, en général, tout objet clair à proximité des animaux (Leclercq, 1971). On peut les retrouver à l'intérieur des bâtiments lorsque le bétail est rentré.

Il a été prouvé que les *Stomoxys calcitrans* adultes ont une durée de vie optimale à des températures comprises entre 20°C et 30°C (Sutherland, 1979). La moitié des stomoxes survivent le plus longtemps à 20°C soit 25 jours et seulement 10 jours à 15°C.

#### 1.4- Dynamique des populations des stomoxes

L'étude réalisée par Jérémie Gilles en 2005 sur l'île de la Réunion a montré que les variations saisonnières de *Stomoxys calcitrans* sont régies par les facteurs climatiques. Globalement, la taille de la population des stomoxes diminue fortement en hiver avec des effectifs très faibles voire nuls. Au printemps, une augmentation rapide de la population a lieu et s'observe jusqu'en été où elle atteint son pic. En automne, une diminution régulière est observée jusqu'en hiver (Gilles, 2005) (Figure 13).

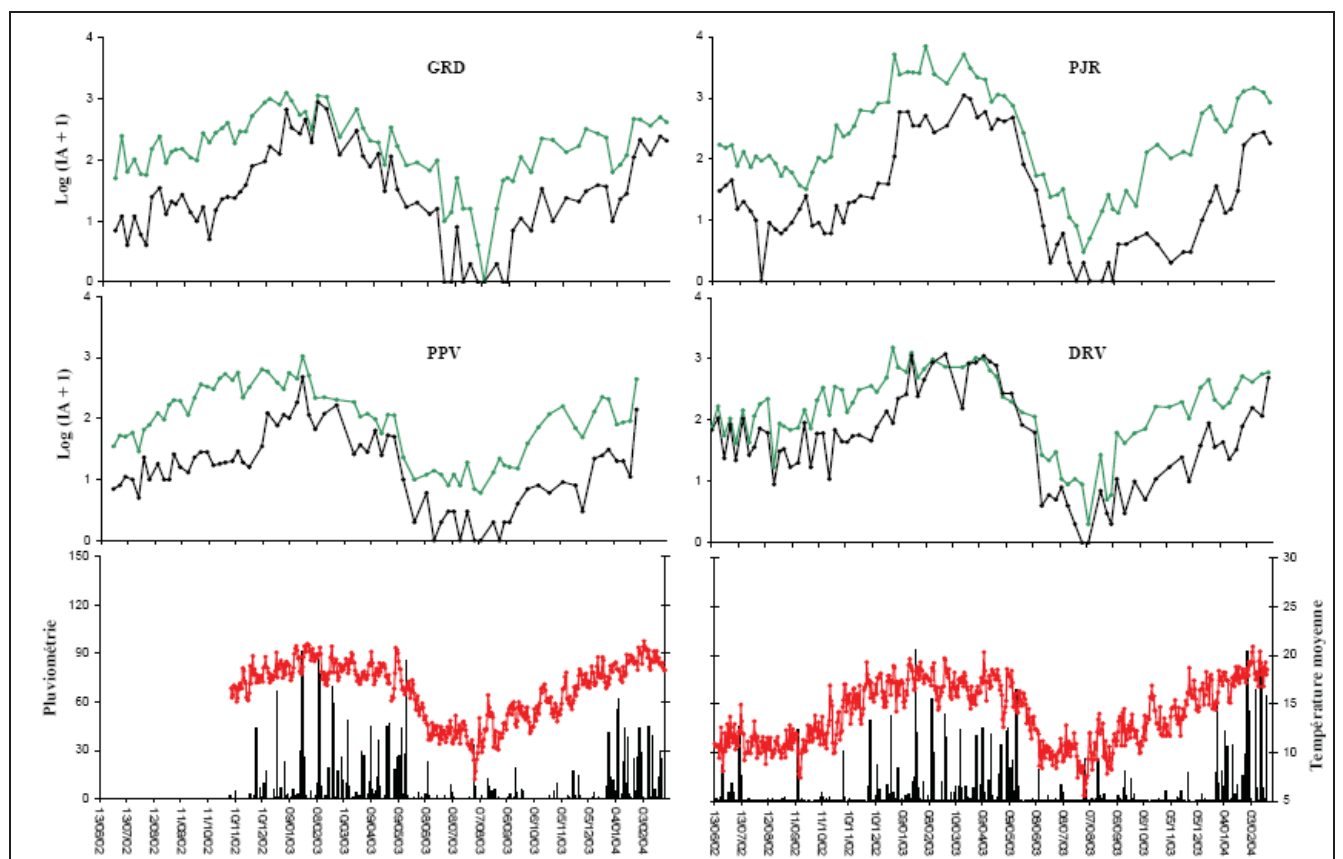


Figure 13 : Abondances relatives de *S. calcitrans* (vert) et *S. niger* (noir), température moyenne (en °C, courbe rouge) et pluviométrie (mm) en fonction du temps (d'après Jérémie Gilles, 2005)

David B Taylor (2007) a étudié la dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* en Amérique du Nord (Figure 14). Les premiers stomoxes ont été capturés fin mars-début avril. Le pic de population est apparu fin juin-début juillet, puis le nombre de stomoxes a diminué à la fin de l'été, pour augmenter à nouveau mi-septembre pour former un nouveau pic (Taylor, 2007).

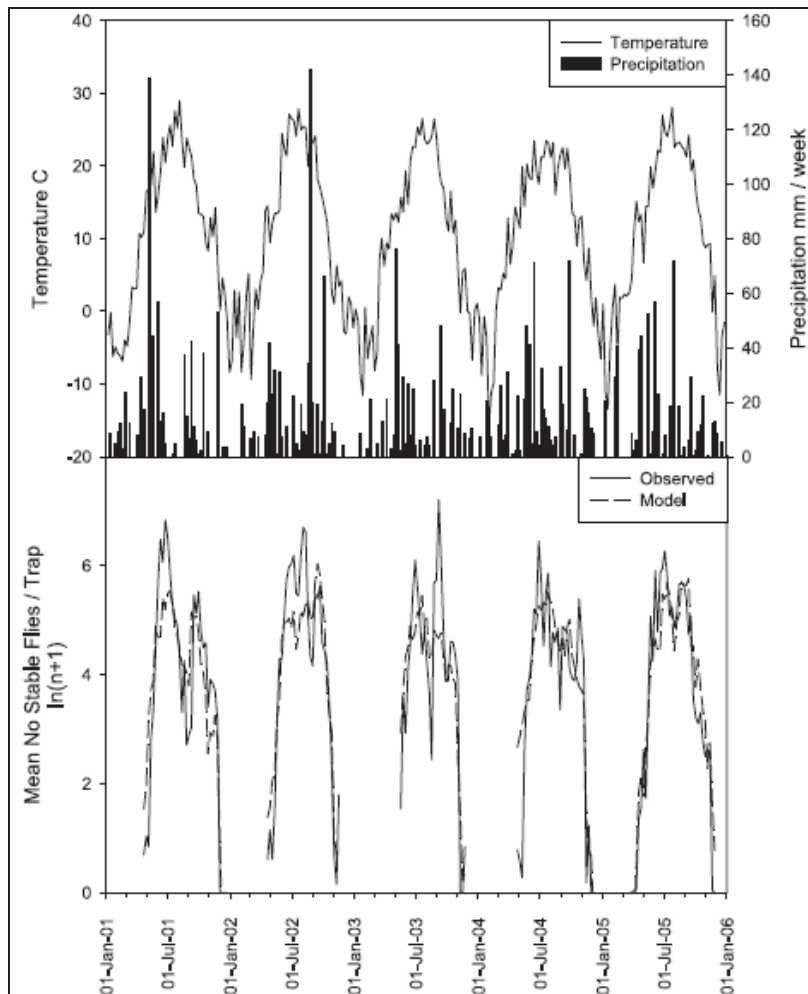


Figure 14 : Nombre de stomoxes observés et modélisés par piégeage d'avril 2001 à novembre 2005 et températures et précipitations. (d'après Taylor, 2007)

Les variables climatiques expliquent la plus grande part des variations d'abondance.

- La température a été systématiquement la première variable explicative des variations d'abondance. En effet, l'abondance augmente avec la température (maximale, minimale ou moyenne, selon les cas) (Gilles, 2005). La température influence nettement les fluctuations des densités apparentes de stomoxes en agissant sur la durée du développement des stades immatures, sur la survie et sur la fécondité des adultes (Clero, 2004).
- Outre la température, une humidité relative maximale élevée influence négativement l'abondance des mouches (Gilles, 2005). Ce résultat est en accord avec des résultats expérimentaux qui ont montré que la survie des *S. calcitrans* adultes décroît quand l'humidité relative de l'air augmente (Berry & Kunz 1977). Il faut souligner que cela n'est pas contradictoire avec de nombreuses études qui ont montré une influence négative des périodes de sécheresse sur *S. calcitrans*, en particulier sous climat méditerranéen (Greene 1989). En effet, *S. calcitrans* est défavorisé lorsque les étés chauds s'accompagnent d'une période de sécheresse relative. Cette espèce a besoin de substrats humides, donc de précipitations, pour la ponte et le développement des larves.
- La pluviométrie ne semble pas être un facteur limitant de la multiplication des stomoxes à la Réunion (Clero, 2004).

En absence de saison sèche, l'abondance augmente avec la température. A température égale, les fortes humidités relatives de l'air ont généralement une influence négative sur l'abondance. Le fait que les fluctuations saisonnières d'abondance soient de plus en plus marquées avec l'altitude, reflète l'impact croissant des contraintes climatiques sur les deux espèces, *S. calcitrans* et *S. niger niger* le long du gradient altitudinal à l'île de la Réunion (Gilles, 2005).

De plus, il existe des phénomènes de persistance sur une ou plusieurs semaines : les captures pendant une journée de piégeage dépendent plus ou moins du niveau des captures de la (des) semaine(s) précédente(s) (Gilles, 2005).

En effet, toute fluctuation peut faire sentir ses effets pendant plusieurs semaines en s'atténuant progressivement. Cependant, les phénomènes de persistance ont une amplitude beaucoup plus faible que les variations saisonnières déterminées par les variables climatiques (Gilles, 2005).

Il y a d'importantes variations saisonnières de l'abondance des stomoxes à la Réunion (Figure 14) et la température semble être le principal facteur qui régit ces variations. Par conséquent, on peut s'attendre à des modifications des variations saisonnières de l'abondance des stomoxes dans le cadre d'un changement climatique global (Gilles, 2005). Des hivers plus doux ne peuvent qu'atténuer la baisse d'abondance en cette saison, ce qui, par voie de conséquence, favorise la croissance rapide des populations au printemps (Somme 1961).

## 2- Les Tabanidés

### 2.1- Systématique

Les Tabanidés sont des insectes diptères brachycères orthorraphes (Figure 15). On dénombre environ 3 500 espèces dans cette famille dont près de 160 en Europe. Nous citerons les données communes aux genres les plus courants comme *Tabanus*, *Chrysops*, *Haematopota*.

#### cellular organisms

#### Eukaryota

Fungi/Metazoa group

Metazoa

Eumetazoa

Bilateria

Coelomata

Protostomia

Panarthropoda

#### Arthropoda

Mandibulata

Pancrustacea

Hexapoda

#### Insecta

Dicondylia

Pterygota

Neoptera

Endopterygota

#### Diptera

Brachycera

Tabanomorpha

#### Tabanidae

Tabaninae

Tabanini

#### Tabanus

Figure 15 : Position taxonomiste du genre *Tabanus*

(Source : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=Taxonomy>)

### 2.2- Morphologie générale

Les Brachycères ont un corps trapu de type « mouche » et des antennes à moins de 6 articles.

Ce sont des « mouches » au corps assez large et massif de 5 à 25 mm, de couleur sombre avec cependant des tâches colorées chez certaines espèces (Figures 16 et 17).

La tête est très large et bien détachée du corps avec des gros yeux contigus chez le mâle (hoptique) (Figure 19) et séparés chez la femelle (dichoptique) (Figure 18) par une bande frontale portant de petites plaques brillantes : les calli.

Les antennes sont courtes à 3 articles : le troisième porte 3 à 7 annelures lui donnant une apparence pluri-segmentée utile pour la diagnose.



La trompe piqueuse est très bien développée chez la femelle et son appareil buccal est très robuste. Au contraire chez le mâle non hématoophage, les pièces buccales sont très peu développées.

Le thorax est velu chez certaines espèces ou nu chez d'autres et porte des ailes puissantes tachetées. Il est bien développé et porte 3 paires de pattes qui possèdent chacune 5 segments.

L'abdomen comporte 7 segments apparents.



Figure 16 : Photographie de *Tabanus sp*  
(Source : <http://aramel.free.fr/INSECTES15terter.shtml>)



Figure 17 : Photographie de *Tabanus bovinus*  
(Source [http://zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/images/i27\\_](http://zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/images/i27_))



Figure 18 : Photographie de femelle *Tabanus bromius*  
(Source : [aramel.free.fr/INSECTES15terter.shtml](http://aramel.free.fr/INSECTES15terter.shtml))



Figure 19 : Photographie de mâle *Tabanus bromius*  
(<http://www.spmaviavis.com/discus/messages/630/833.jpg>)

### 2.3- Biologie des Tabanidés

Ce sont des insectes « ruraux » exophiles ; c'est-à-dire qu'ils ne pénètrent pas dans les habitations (Rodhain et Perez, 1985), vivant dans les prairies et les bois, d'activité diurne. Toutefois, il existe quelques espèces tropicales qui sont crépusculaires ou nocturnes. Le vol est rapide et souvent harcelant lors de la recherche d'un hôte. Ils peuvent se déplacer sur de très longues distances. Leur cycle d'agressivité varie avec leur état physiologique et l'environnement : la vitesse du vent, les précipitations, l'évaporation, la température et la pression atmosphérique (Burnett et hays, 1974 ; Chvala *et al.*, 1972).

Leur durée de vie est de 1 à 2 mois, et sont présents lors des saisons chaudes et actifs aux heures les plus chaudes de la journée. On les retrouve principalement dans les zones d'élevage de bétail ou dans les aires boisées. Ils apparaissent avec les premières chaleurs de mai à juin et disparaissent aux premiers froids de l'automne.

L'activité des Tabanidés est régulée par les conditions météorologiques : certains préférant les temps ensoleillés, d'autres les temps humides et orageux. La majorité des espèces est diurne et préfère une luminosité élevée. On retiendra principalement que (Leclercq, 1971) :

- la température est le facteur le plus important pour leur activité.
- la luminosité intense est recherchée par la plupart des espèces.
- l'humidité relative élevée est en général nécessaire pour que les taons maintiennent leur équilibre hydrique, sauf pour les espèces absorbant de l'eau entre les repas sanguins.
- la vitesse du vent limite rapidement leur activité ; à 8 km/h, elle est réduite, vers 16 à 20 km/h, elle est complètement inhibée.
- la détection de l'hôte est principalement visuelle (silhouette mobile en 3D en général), l'odorat intervient aussi par repérage d'un gradient de CO<sub>2</sub>.

Seules les femelles sont hématophages. Toutefois, ne possédant pas de régime hématophage strict, elles peuvent aussi absorber de l'eau et du nectar. Les mâles se nourrissent de nectar de fleurs, de sève ou de liquides sucrés de fruits très mûrs.

Les femelles telmophages prennent un volumineux repas de sang, d'une durée de plusieurs minutes, préférentiellement sur les grands mammifères et l'homme. La longueur du repas ainsi que la douleur induite entraîne parfois son interruption et sa terminaison sur un autre animal permettant la transmission mécanique d'agents pathogènes. Contrairement à un lieu commun répandu, les taons mordent, ils ne piquent pas. Ils arrachent ou découpent la chair de leur victime au moyen de mandibules. La plaie ainsi ouverte laisse perler le sang que le taon pourra alors sucer à loisir. Il lui arrive même parfois de détacher un morceau entier de chair pour le digérer lentement.

La piqûre des taons est très douloureuse, elle est très énervante et perturbe les animaux. Leur salive contient des anticoagulants qui provoquent un ruissellement de sang très apprécié des Muscidés non piqueurs. Ceux-ci n'hésitent d'ailleurs pas à déranger les taons pendant les piqûres, provoquant souvent l'interruption de leur repas et leur changement d'hôte.

## 2.4- Cycle de développement

La vie des femelles est assez courte, une quinzaine de jours en moyenne. Les femelles pondent des oeufs cylindriques ou fusiformes de 1,5 à 2 mm en masses compactes sur un sol boueux ou sur la végétation, des brindilles, des pierres et autres supports surplombant un gîte larvaire qui est toujours une zone humide (marais, prairie, région boisée, creux d'arbres, mares, rives de fleuves etc...) (Rodhain et Perez, 1985) ou même directement dans le l'eau stagnante. Chaque femelle peut pondre de 100 jusqu'à 800 œufs et peut réaliser 5 à 6 pontes au cours de sa vie (Kettle, 1995).

Les larves (Figure 20) éclosent en 5-6 jours (mais ces valeurs peuvent varier selon la température) puis se laissent tomber sur le substrat dans lequel elles s'enfoncent. Ces larves sont vermiformes et blanchâtres mesurant de 6mm à 3cm. Elles sont dites "hémicéphales" car leur tête n'est pas individualisée, leur corps est formé de 12 segments portant des protubérances locomotrices. Leur croissance est lente avec 7 à 10 stades. Le nombre de mues dépend des conditions du milieu et donc des ressources alimentaires ainsi que des conditions climatiques. En région tempérée le développement demande 2 à 3 ans alors qu'il est de 6 mois à 1 an en zone tropicale humide. Elles sont prédatrices de larves et de nymphes d'autres insectes, de vers, de petits mollusques, elles sont aussi cannibales (Rodhain, 1985).

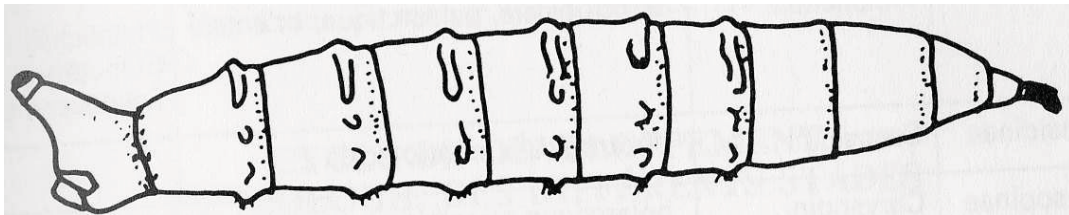


Figure 20 : Larve de *Tabanus* (d'après Rodhain F. et Perez C.)

Le dernier stade larvaire se transforme en nymphe qui reste immobile sans prendre de nourriture. Les nymphes (Figure 21) mesurent de 7 à 40 mm (Rodhain et Perez, 1985) de long avec un céphalotorax et un abdomen terminé par un anneau de spicules. Elles sont verticales dans la boue respirant par les stigmates du prothorax et des segments abdominaux, elles ont l'aspect d'une chrysalide. L'adulte éclot en deux semaines environ (10 à 23 jours) (Rodhain et Perez, 1985).

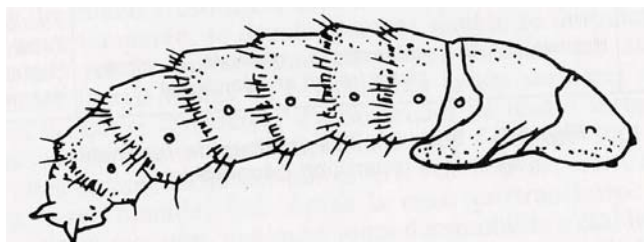


Figure 21 : Nymphe de *Tabanus* (d'après Rodhain F. et Perez C.)

Pour résumer, voici un schéma du cycle évolutif des Tabanidés (Figure 22) et un tableau résumant la bio-écologie de ces insectes (Figure 23).



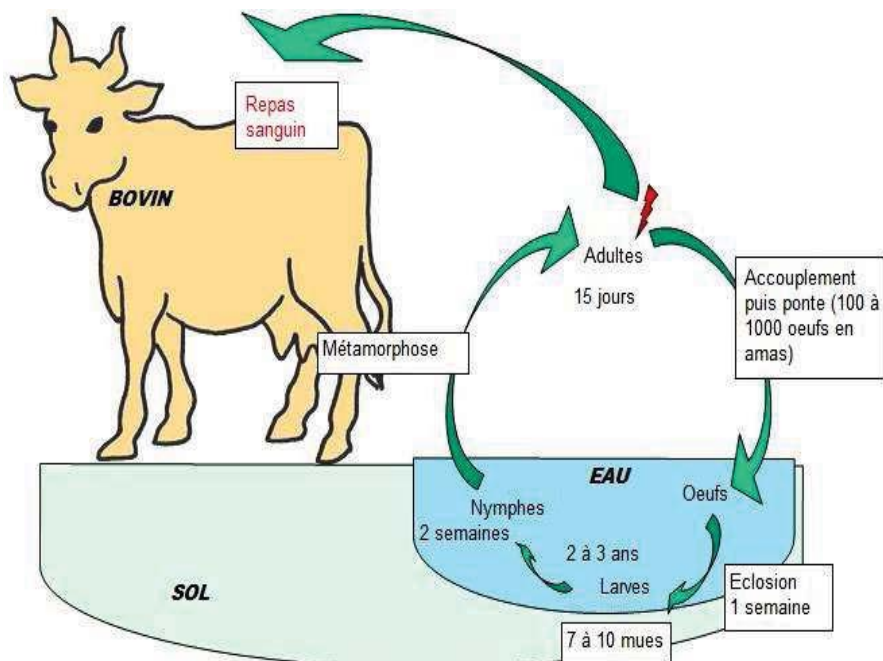


Figure 22 : Cycle évolutif des Tabanidés

(Source : Ecole vétérinaire nationale de Lyon (<http://www2.vet-lyon.fr/ens/DPR/parasites/tabanus.html>))

<b>Stades larvaires</b>	<i>Gîtes larvaires</i>	<u>Gîtes très humides</u> : eaux courantes ou stagnantes, mares, rives de fleuves, creux d'arbres ou rochers, etc. Terre humide plus rarement	
	<i>Régime alimentaire</i>	Carnivore : prédation de larves d'insectes, d'arthropodes, de vers, mollusques etc. Sauf <i>Chrysops</i> : saprophage	
	<i>Durée</i>	2 à 3 ans en région tempérée (7 à 10 stades)	
<b>Stade nymphal</b>	<i>Bioécologie</i>	Immobile Ne se nourrit pas	
	<i>Durée</i>	10 à 23 jours	
<b><u>Stade adulte : parasite</u></b>	<i>Morphologie</i>	<i>Tabanus</i> : taille : 10 à 30 mm, antennes courtes, ailes uniformes <i>Chrysops</i> : taille : 6 à 11 mm, antennes longues, ailes rayées. Corps massif, Deux très gros yeux verdâtres ou cuivrés, séparés par une bande frontale étroite parfois brillante chez la femelle (yeux dichoptiques), collés chez les mâles, Pattes fortes, Trompe courte et puissante.	
	<i>Régime alimentaire</i>	<i>Mâles</i>	Sucs végétaux
		<i>Femelles</i>	Hématophages (+ sucs végétaux)
	<i>Durée</i>	Au moins 2 à 3 semaines, 2 mois en captivité	
<i>Hôtes habituels</i>	Gros Mammifères domestiques ou sauvages : chevaux et bovins +++, cerfs, Homme, singes, reptiles		
<b>Espèces présentes en France métropolitaine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Genre <i>Tabanus</i> : <i>T. autumnalis</i>, <i>T. bovinus</i>, <i>T. bromius</i></li> <li>* Genre <i>Chrysops</i> : <i>C. caecutiens</i></li> <li>* Genre <i>Haematopota</i> : <i>H. pluvialis</i></li> </ul>		

Figure 23 : Bio-écologie des Tabanidés

(d'après Rodhain et Perez, 1985 ; Bussiéras et Chermette, 1991 ; Kettle, 1995)

### 3- Les simulies

#### 3.1- Systématique, répartition géographique et morphologie générale

##### 3.1.1- Systématique

Les simulies, Diptères Nématocères, appartiennent à la famille des Simulidés (Figure 24). C'est un insecte de couleur noire ressemblant à une mouche mais appartenant au groupe des moustiques. La simulie (genre *Simulium*) est un moucheron présent principalement dans les zones humides. Elle est appelée *moutmout* dans certaines régions d'Afrique Centrale.

#### cellular organisms

##### **Eukaryota**

Fungi/Metazoa group

Metazoa

Eumetazoa

Bilateria

Coelomata

Protostomia

Panarthropoda

##### **Arthropoda**

Mandibulata

Pancrustacea

Hexapoda

##### **Insecta**

Dicondylia

Pterygota

Neoptera

Endopterygota

##### **Diptera**

Nematocera

Culicimorpha

Chironomoidea

##### **Simuliidae**

Simuliinae

Simuliini

##### **Simulium**

Figure 24 : Position taxonomiste du genre *Simulium*

(Source : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=Taxonomy>)

### 3.1.2- Répartition géographique et morphologie générale

Les Simulies sont des petites mouches trapues (1 à 5 mm), dénommées « black flies » en anglais, vivant en troupes immenses (Figure 25 et 26). Très nombreuses en Europe Centrale et au Canada, elles sont présentes dans le monde entier. Dans certains endroits du globe, leur densité est telle qu'elles rendent certaines contrées inhabitables. Le corps est noir et les ailes translucides. Leurs pattes sont courtes et trapues terminées par une griffe simple. Elles possèdent des ailes larges, sans écailles, irisées, avec nervations bien visibles sur les bords antérieurs. La tête a une taille très réduite par rapport au reste du corps, et porte des yeux composés ronds de gros diamètre. Les antennes sont relativement courtes et glabres, formées de 11 articles empilés, cylindriques et larges. En ce qui concerne leurs pièces buccales, elles sont de type piqueur formant une trompe courte, développée uniquement chez les femelles car uniquement celles-ci sont hémato-phages. Enfin, l'abdomen court et large a la faculté de se distendre de façon importante au moment des repas.



Figure 25 : Photographie de *Simulium*  
Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulie>



Figure 26 : Photographie de *Simulium ornatum*  
Source : [zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/Insecta2.htm](http://zoology.fns.uniba.sk/poznavacka/Insecta2.htm)

### 3.2- Biologie des simulies

Les simulies sont actives pendant la journée et s'attaquent à tous les mammifères, principalement par temps chaud et humide, voire orageux, le plus souvent aux heures chaudes de la journée. L'adulte vit à l'air libre dans des milieux favorables, souvent en région boisée avec des eaux courantes, de façon exophile (Kettle, 1995). Les simulies ont un vol puissant et les femelles peuvent ainsi parcourir plusieurs dizaines de kilomètres à la recherche d'hôtes puis de gîtes de ponte.

Les mâles et les femelles sont nectarivores. Seules les femelles fécondées sont hémato-phages et mêmes telmophages. Elles se fixent profondément et ne se détachent qu'une fois gorgées de sang. Certaines espèces pénètrent dans les orifices naturels (narines, oreilles), ainsi que dans les yeux. La piqûre, qui dure 4 à 6 minutes, est très douloureuse, et la salive venimeuse provoque d'importantes tuméfactions et potentiellement des accidents très graves chez les animaux et l'homme. On leur attribue ainsi la mort de 13900 bovins en Roumanie, Bulgarie et ex-Yougoslavie en 1934 (Baranov, 1935).

### 3.3- Cycle évolutif

La durée du cycle est dépendante des conditions climatiques, elle est d'un mois en moyenne, avec 1 à 6 générations par an. La ponte a lieu sur des végétaux aquatiques. C'est pour cette raison qu'on les trouve principalement dans les zones humides. Les premières simulies adultes apparaissent au printemps et il y a plusieurs générations par an.



Figure 27 : Photographie de larves de *Simulium*  
(Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulie>)

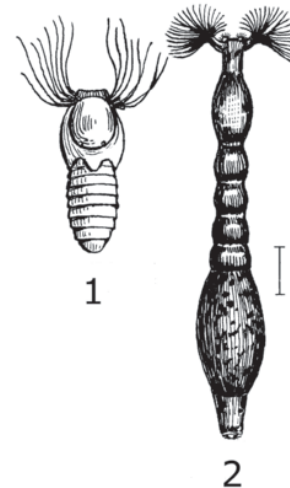


Figure 28 : Deux stades larvaires  
(Source : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Simulie>)

Avant de pondre, les femelles doivent nécessairement prendre un repas sanguin sur un mammifère afin que les œufs atteignent une maturation suffisante pour pouvoir éclore (Rodhain et Perez, 1985). La femelle simulie pond entre 150 et 500 œufs à chaque fois, en amas le plus souvent, sur des végétaux aquatiques, branchages immergés. Les œufs éclosent en 6 à 12 jours. Les larves (Figures 27 et 28) vont par la suite subir 6 mues successives. Le développement larvaire est aquatique et nécessite des eaux douces et très oxygénées (eaux courantes, rivières, ...). Pour se nourrir, les larves filtrent les courants et capturent des organismes de très petite taille (protozoaires, petits crustacés, bactérie, algues, végétaux,...) Elles possèdent des pièces buccales de type broyeur (Rodhain et Perez, 1985) (Figure 30). Cette étape dure 4 à 6 semaines. Les œufs et les formes larvaires (6 à 9 stades larvaires) peuvent assurer la survie en hiver pendant plusieurs mois (Kettle, 1995). Puis les larves évoluent en nymphes toujours dans un milieu aquatique. Suite à une métamorphose, elles se transforment en adulte (Figure 29).

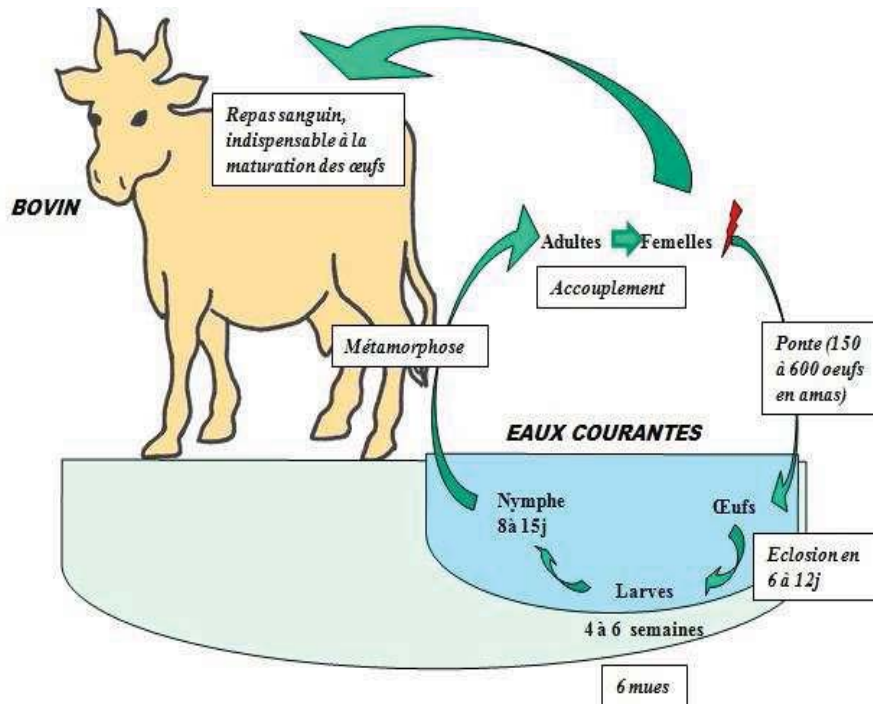


Figure 29 : Cycle évolutif des simulies

(Source : Ecole nationale vétérinaire de Lyon (<http://www2.vet-lyon.fr/ens/DPR/parasites/simulium.html>))

<b>Stades larvaires</b>	<i>Gîtes larvaires</i>	Eaux douces courantes bien oxygénées : pentes des barrages, gués, cascades, rapides etc.	
	<i>Régime alimentaire</i>	Organismes capturés par filtration du courant : petits crustacés, protozoaires, bactéries, algues, fragments de végétaux, autres larves etc. (pièces buccales broyeuses)	
	<i>Durée</i>	4 à 6 semaines (7 stades)	
<b>Stade nymphal</b>	<i>Ecologie</i>	Aquatique, Immobile.	
	<i>Durée</i>	1 à 2 semaines (4 semaines si conditions défavorables)	
<b>Stade adulte : parasite</b>	<i>Morphologie</i>	Taille : 1 à 6 mm Aspect de petits moucheron, Trapus, Couleur sombre : noire, rougeâtre à jaune, Gros yeux séparés par un front chez les femelles, Antennes relativement courtes, Griffes à l'extrémité des pattes, Trompe courte	
	<i>Régime alimentaire</i>	<i>Mâles</i>	Sucs végétaux
		<i>Femelles</i>	Hématophages (+ sucres végétaux)
	<i>Durée</i>	Au moins 2 à 3 semaines	
<i>Hôte habituels</i>	Mammifères : 90% des cas Oiseaux (espèces ornithophiles) Aucune exclusivement anthropophile		
<b>Espèces présentes en France métropolitaine</b>	* Genre <i>Simulium</i> : <i>S. ornatum</i> , <i>S. erythrocephalum</i> , <i>S. venustum</i>		

Figure 30 : Bio-écologie des simulies

(d'après Rodhain et Perez, 1985 ; Bussiéras et Chermette, 1991 ; Kettle, 1995)

## 4- Mouches non hématophages : *Musca autumnalis*

Cette catégorie concerne des insectes à appareil buccal de type lécheur, dépourvus de pièces perforantes. Leur trompe est molle et rétractile, non saillante vers l'avant. Ils visitent les bovins pour lécher les diverses sécrétions et écoulements, notamment ceux occasionnés par les blessures des mouches piqueuses. C'est par cette occasion que les mouches lécheuses peuvent elle aussi induire la transmission de maladies d'un bovin à un autre sans qu'elles soient munies de pièces buccales de type piqueur.

Nous nous intéresserons surtout aux mouches de la famille des Muscides (Figure 31) et tout particulièrement à *Musca autumnalis* car c'est la mouche la plus fréquemment rencontrée dans les élevages.

### 4.1- Systématique, répartition géographique, morphologie générale

#### 4.1.1- Systématique

##### cellular organisms

##### Eukaryota

##### Fungi/Metazoa group

##### Metazoa

##### Eumetazoa

##### Bilateria

##### Coelomata

##### Protostomia

##### Panarthropoda

##### Arthropoda

##### Mandibulata

##### Pancrustacea

##### Hexapoda

##### Insecta

##### Dicondylia

##### Pterygota

##### Neoptera

##### Endopterygota

##### Diptera

##### Brachycera

##### Muscomorpha

##### Cyclorrhapha

##### **Muscoidea**

##### Muscidae

##### Muscinae

##### Musca

Figure 31 : Position taxonomiste du genre *Musca*

(Source : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=Taxonomy>)



#### 4.1.2- Morphologie générale et répartition géographique

Cette mouche occasionne d'importantes nuisances pour le bétail. Sa morphologie est très proche de celle de la mouche domestique (Figure 32), mais elle est un peu plus large que cette dernière. Elle mesure 5 à 9 mm et est de couleur grisâtre (Leclercq, 1971), les yeux bien dégagés. Comme nous l'avons dit précédemment, il a un appareil buccal lécheur et non pas piqueur. C'est une mouche cosmopolite. On la rencontre de l'Europe tempérée à l'Afrique du Nord et jusqu'à la moitié Est de la Chine. Son introduction sur le continent américain est récente (première identification en 1952), et aujourd'hui elle sévit du sud du Canada au sud des Etats-Unis. Elle est souvent citée comme l'espèce la plus abondante. Elle apparaît assez tôt, en mars-avril, et disparaît en octobre-novembre suivant les conditions météorologiques.



Figure 32 : Photographie de *Musca autumnalis* adulte  
(Source : [www.centralflycontrol.com/images/facefly.jpg](http://www.centralflycontrol.com/images/facefly.jpg))

#### 4.2- Biologie des mouches du genre *Musca*

La température et la luminosité sont les principaux facteurs influençant l'activité de ces mouches. La température doit être douce, avec une intensité lumineuse importante mais pas trop intense. On commence à les voir après le lever du soleil lorsque la température atteint 14-16°C, le maximum d'activité ayant lieu aux heures les plus chaudes de la journée, autour de 25°C. Toutefois, une très forte luminosité peut les déranger temporairement. Elles disparaissent avant même le coucher du soleil et se réfugient pour la nuit dans les arbres plutôt que dans les habitations. Leur présence est ainsi signalée dans les pâturages bordés de forêts, les bords des rivières et tout endroit suffisamment planté d'arbres (Leclercq, 1971).

Leurs hôtes favoris sont les bovins, parmi lesquels on ne note pas de préférence de couleur ou de sexe. Par contre, c'est l'odorat qui est le sens le plus important pour la détection de l'hôte, et l'on remarque une attirance particulière pour les veaux nouveaux-nés encore recouverts des restes d'enveloppes fœtales.

Ces mouches se nourrissent de toutes les sécrétions corporelles : écoulement nasal et oculaire d'où leur localisation principale sur la tête et leur nom de « face flies » (Figure 33), transpiration, sang et autres liquides biologiques s'écoulant de blessures ou de piqûres occasionnées par d'autres insectes qu'elles n'hésitent pas à déranger, d'autant qu'un repas sanguin est nécessaire à la maturation des ovules. Une grande quantité de protéines dans un repas est nécessaire au développement ovarien de la femelle. Par ailleurs, elles sont aussi friandes de nectar de fleurs, ce qui représente leur principale nourriture avant la sortie des bovins à l'herbe. Elles recherchent également le lait sur le museau des veaux ; le liquide amniotique, le placenta et les sécrétions vaginales les attirent fortement (Harwood, 1979 ; Leclercq, 1971 ; Williams, 1985).

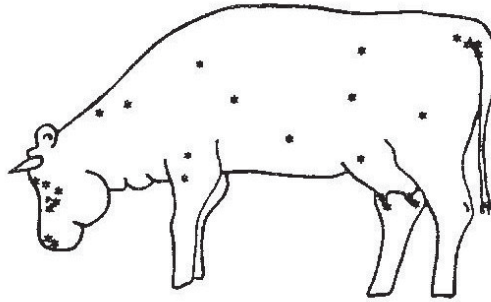


Figure 33 : Répartition préférentielle de *Musca autumnalis* (d'après Le Pannerer, 1980)

Il faut noter que peu de mouches sont présentes en même temps sur un même animal. Greenberg a montré en 1973 que seulement 3,8% des mouches étaient posées à un instant donné pour un taux d'infestation de 500 mouches par bovin et par jour. Il a également noté que l'on retrouve principalement des femelles sur les bovins car leurs besoins alimentaires sont plus élevés que ceux des mâles et qu'il leur faut un apport nutritif d'origine animale pour pouvoir pondre (Greenberg, 1973).

Une fois repues, elles quittent leur hôte pour gagner les gîtes de repos : clôtures, rochers, végétation, où elles passent la nuit. On les trouve rarement dans les locaux pendant la saison d'activité. Le temps passé sur le bétail est court et de longues périodes d'inactivité séparent de courtes périodes consacrées à la recherche de nourriture.

De plus, il est important de noter que ces mouches transmettent non seulement la parafilariose bovine, mais surtout la kératoconjunctivite infectieuse bovine.

#### 4.3- Cycle évolutif

Les adultes ne s'accouplent pas sur l'hôte mais dans le milieu extérieur (rochers, clôtures, frondaisons). Les femelles pondent sur des bouses fraîches et plus rarement dans la matière organique en décomposition comme le fumier par exemple (Figure 34). La qualité de la bouse, son humidité entre autre, est très importante : elle détermine non seulement le taux d'éclosion, mais aussi le taux de ponte. L'humidité la plus favorable se situe entre 80 et 85%. On ne retrouve pas d'œufs dans les bouses déposées dans les locaux. Le cycle de développement comprend six stades évolutifs successifs : l'œuf, 3 stades larvaires, la nymphe, et l'adulte. L'éclosion se fait en général en 1 ou 2 jours lorsque les conditions sont favorables.

Les larves ont besoin d'un taux d'humidité de 85% au mieux (seuils de 65 et 95%), d'où l'importance du régime alimentaire des animaux, les régimes supplémentés en grains et concentrés étant beaucoup plus attractifs que les régimes à base de fourrages seuls (Rhodain, 1985). Les larves évoluent du stade 1 au stade 2 puis au stade 3 en subissant 2 mues successives. La température semble être un paramètre important influençant le développement larvaire. Les larves de troisième stade migrent hors de la bouse puis s'enfoncent dans le sol pour la pupaison. Le stade larvaire dure entre 9 et 12 jours (Jones, 1969). La pupe met en général 4 à 8 jours pour achever sa maturation et devenir adulte.

L'hibernation se fait grâce à une diapause à l'état adulte (seules les femelles n'ayant pas encore pondu entrent en diapause) ou à l'état de pupe. Les mouches gagnent un lieu abrité : crevasse dans des écorces d'arbre, grottes et bien souvent des constructions humaines (greniers, granges, étables, souvent entre les planches et les divers matériaux entreposés) en



début d'hiver. L'induction de la diapause est déclenchée par la baisse de la photopériode et de la température (Greenberg, 1973). On observe lors de cette diapause hivernale une hypertrophie de l'abdomen et un arrêt du développement ovarien.

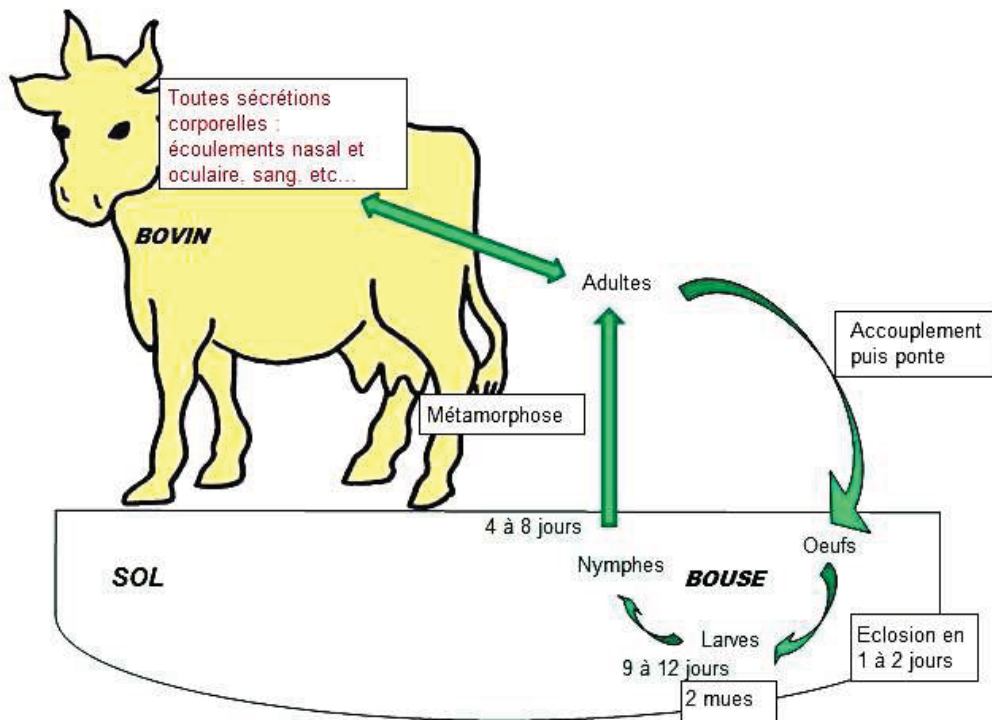


Figure 34 : Cycle évolutif de *Musca autumnalis*  
 (Source : Ecole vétérinaire nationale de Lyon (<http://www2.vet-lyon.fr/ens/DPR/parasites>))

D'autres espèces d'insectes montrent une attirance pour les bovins. Les plus importantes sont *Morellia simplex*, *Hydrotea irritans* et *Musca tempestiva* que l'on peut rencontrer régulièrement dans les pâturages. Leurs habitudes sont très voisines de celles de *Musca autumnalis*.

## 5- La transmission d'agents pathogènes par l'intermédiaire des stomoxes et autres insectes piqueurs.

Les stomoxes tout comme les Tabanidés ou les simulies sont des diptères piqueurs hématophages. Ce mode de nourrissage en fait des insectes nuisibles, vecteurs potentiels de maladies. Dans ce chapitre, nous allons détailler tout particulièrement le rôle des stomoxes dans la transmission de maladies au bétail, mais ces principes sont les mêmes pour tous les autres insectes piqueurs que l'on peut rencontrer. En effet, les stomoxes causent des pertes économiques importantes dans les élevages de bétail, par leurs effets pathogènes directs, par leur rôle dans la transmission de certaines maladies, et en raison des coûts engendrés par la lutte anti-stomoxes. Aux Etats-Unis en 1993 par exemple, les pertes économiques infligées par les stomoxes à l'industrie du bétail ont été évaluées entre 100 et 400 millions de dollars par an (Foil *et al*, 1994).

### 5.1- Effets pathogènes directs

Au cours d'une pullulation exceptionnelle de *S. calcitrans* au nord du Texas, Bishopp (1913) nota que les conséquences directes de la présence de stomoxes sur le bétail étaient l'anxiété induite par le harcèlement, une spoliation sanguine importante, une diminution des défenses immunitaires des animaux permettant l'expression de maladies latentes, une diminution de la production de lait et une perte de poids de 10 à 25 %. Les animaux présentaient souvent des boiteries, et leurs articulations étaient enflées et raides car ils restaient longtemps debout dans l'eau dans le but d'échapper aux piqûres. Depuis cette observation, les mêmes constats ont été faits par différents chercheurs en différents endroits du monde.

Barré en 1981 a constaté à la Réunion que par leurs attaques incessantes, en particulier pendant la période de pullulation, les stomoxes empêchent le bétail de se nourrir régulièrement et correctement, celui-ci passant la majorité de son temps à essayer de les chasser par des coups de queue, de tête ou de patte.

En ce qui concerne la production laitière, des études menées pendant trois années en Illinois (1955-1957) (Bruce, 1958) ont démontré des corrélations négatives significatives entre l'abondance de *S. calcitrans* et la quantité de lait produit d'une part, et sa teneur en graisse d'autre part, cela pendant les mois d'été (mai-septembre). Une diminution moyenne de 0.7% de la production de lait par stomoxe et par vache a été calculée, ainsi qu'une diminution moyenne de 0.65% du taux butyreux par stomoxe et par vache. Cette réduction de production subsiste des semaines voire des mois après la fin de la période de vol des mouches.

En ce qui concerne la production de viande (Campbell *et al.*, 1977), des génisses exposées pendant 100 jours à des infestations de stomoxes de 50 mouches/animal et nourries avec une ration de croissance ont eu un gain de poids moyen quotidien inférieur de 13,2% en moyenne par rapport aux témoins non infestés de stomoxes. Dans un second essai, les génisses infestées par environ 100 mouches par animal et nourries avec une ration de finition ont eu un gain moyen quotidien inférieur à 20% par rapport au lot témoin. L'efficacité de la conversion alimentaire était plus faible pour les lots infestés. Ces «pertes de poids» ne seront pas rattrapées même après la fin du stress des piqûres

En 1987, Campbell et ses collaborateurs montrent qu'il est économiquement rentable de traiter les animaux à partir de moins de deux *S. calcitrans* par membre antérieur soit six stomoxes par animal. Cette estimation prend en compte le coût du traitement insecticide et la baisse du gain moyen quotidien et de l'efficacité de la conversion alimentaire.

Des boeufs à l'engrais exposés à 25 ou 50 *S. calcitrans* par animal et par jour présentent des modifications physiologiques et nutritionnelles indicatrices du stress (Schwinghammer *et al.*, 1986) :

- une augmentation des rythmes respiratoire et cardiaque
- une cortisolémie élevée de façon intermittente
- une température rectale augmentant chez les boeufs exposés à 50 *S. calcitrans* par jour

De plus, l'augmentation de l'excrétion urinaire de l'azote chez ces bovins infestés est le signe d'une moins bonne utilisation de l'azote dans les procédés de production et de synthèse.

Il a donc été suggéré que les faibles gains de poids chez ces animaux infestés par les stomoxes résultaient entre autres de ces modifications physiologiques et nutritionnelles.

## 5.2- Effets pathogènes indirects

### 5.2.1- *Rappels : vecteur mécanique et vecteur biologique*

**Vecteur biologique** : la transmission d'agents pathogènes par des arthropodes est dite biologique lorsqu'il y a au sein du vecteur, soit la réalisation d'une phase d'un cycle évolutif d'un parasite (protozoaire, helminthe), soit la multiplication de l'agent pathogène (virus, bactérie), voire les deux en même temps. Donc dans le cadre d'un schéma de transmission classique par un vecteur biologique, le système vectoriel comprend trois phases successives :

- 1- l'infection du vecteur à l'occasion d'un repas de sang
- 2- la multiplication et/ou la transformation du parasite chez le vecteur
- 3- la transmission du parasite à l'hôte par le vecteur infectant (transmission par régurgitation, par la salive, par les déjections...).

Ainsi, le système vectoriel sera efficace si les 3 étapes citées ci-dessus sont réalisées.

Parallèlement à ce schéma de transmission classique par un vecteur biologique où une phase de multiplication et/ou de transformation du parasite a lieu dans l'insecte vecteur, un autre mode de transmission existe, qualifié de **mécanique**. Dans ce cas, le parasite ne se multiplie pas, ne se transforme pas dans l'insecte vecteur (Foil *et al.*, 2000), appelé alors vecteur mécanique. La transmission mécanique est le transfert d'agents pathogènes d'un hôte infecté ou d'un substrat contaminé à un hôte sensible sans que l'agent pathogène ne se développe ni se multiplie dans l'organisme vecteur. Cette absence d'évolution dans l'organisme de l'arthropode explique que l'on n'observe dans ce cas aucune « spécificité parasitaire », et qu'au moins en théorie, n'importe quel microorganisme présent dans le sang puisse être transmis mécaniquement par n'importe quel insecte hématophage. Quand l'agent pathogène est transféré directement entre deux hôtes, on parle de transmission mécanique directe, et quand l'agent est transféré d'un substrat inerte contaminé par des excréments ou des sécrétions de l'hôte infesté à un hôte sensible, on parle alors de transmission mécanique indirecte. Les insectes hématophages mais aussi les insectes non piqueurs attirés par les plaies ou diverses sécrétions sont impliqués dans la transmission mécanique directe (Foil *et al.*, 2000).

Ce mode de transmission peut cependant revêtir une importance épidémiologique considérable (Rhodain & Perez 1985 ; Foil 1989; Foil & Issel 1991, 2000 ; Desquesnes & Lamine 2003, 2004). En effet, lorsque le vecteur mécanique partage la même aire de distribution que le vecteur biologique et que sa densité est nettement supérieure, le rôle de la transmission mécanique peut devenir considérable. Associée à la transmission classique par un vecteur biologique, cette composante «mécanique» rend le système vectoriel plus performant et augmente donc la probabilité de transmettre l'agent pathogène. Nous allons maintenant nous intéresser aux facteurs qui conditionnent la transmission mécanique directe d'agents pathogènes par les insectes hématophages.

Il est difficile d'évaluer l'importance de la transmission mécanique pour une maladie donnée. Beaucoup d'études de laboratoire et de nombreuses recherches d'agents pathogènes dans les arthropodes ont été entreprises. Cependant peu d'études épidémiologiques ont été menées sur la transmission mécanique d'agents pathogènes par les arthropodes.

Notons que lorsqu'une transmission mécanique est réalisée avec succès dans des conditions de laboratoire, cela ne prouve pas que cela se produise réellement dans les conditions naturelles (Foil *et al.*, 1991). La transmission mécanique expérimentale est une condition nécessaire mais non suffisante pour impliquer un arthropode dans la transmission mécanique de la maladie dans les conditions naturelles. Par ailleurs, il convient aussi d'interpréter avec grande prudence les isollements d'agents pathogènes réalisés à partir d'arthropodes capturés dans la nature. Tous les organismes susceptibles de se trouver dans le sang d'un vertébré pourront être retrouvés dans le sang d'un arthropode qui s'est gorgé sur ce vertébré quelques heures auparavant. Un tel isolement n'implique en aucune façon que l'arthropode soit susceptible, par la suite, de transmettre cet agent à un second hôte (Rhodain, 1985).

La probabilité que la transmission mécanique ait lieu dans la nature est déterminée par de nombreux facteurs. Les variables qui contribuent le plus à la probabilité d'une transmission mécanique dans les conditions naturelles sont :

- **un repas interrompu.**

Les facteurs qui contribuent à l'occurrence de repas interrompus sont la douleur de la piqûre et le comportement alimentaire de l'insecte. Le comportement de défense des animaux est aussi responsable de l'interruption du repas. Cela sous-entend aussi le fait que même si un animal malade, en virémie par exemple, représente la meilleure source d'agents infectieux, il se peut qu'il soit trop affaibli pour se défendre contre les piqûres. Dans ce cas, il n'y aura pas de repas interrompu et la transmission n'aura pas lieu.

- **Un repas mixte.**

Les facteurs qui contribuent à un fort pourcentage de repas mixtes, c'est-à-dire sur des hôtes différents, sont la mobilité du vecteur, la proximité des différents hôtes et l'attractivité des hôtes.

- **La quantité d'agents pathogènes transférée entre les hôtes (inoculum).**

Les facteurs qui contribuent à la quantité d'agents pathogènes déposée chez le second hôte incluent la concentration de l'agent chez l'hôte initial, le temps écoulé entre les deux parties du repas et la stabilité de l'agent pathogène (Foil *et al.*, 1991). La survie de l'agent pathogène en dehors de l'hôte est également influencée par le milieu dans lequel il se trouve. La survie, même du plus fragile des virus, peut être prolongée si celui-ci est protégé dans du sang ou du sérum. L'intervalle de temps entre le repas

interrompu et la finition du repas de sang est important à considérer pour la transmission mécanique d'agents pathogènes fragiles (Foil *et al.*, 2000). Les facteurs associés aux vecteurs qui contribuent à la quantité d'agents transférés entre les hôtes comprennent la densité des vecteurs et l'interaction des vecteurs avec l'agent infectieux, à savoir la dégradation possible de l'agent par des enzymes ou d'autres composants lytiques de la salive ou des fluides digestifs. La quantité de sang dans les pièces buccales des insectes à la suite d'un repas interrompu et la quantité qui est déposée chez le second hôte sont importants à considérer, et ces deux paramètres sont largement conditionnés par le fait que ces insectes sont solénoptères (puisent le sang dans la lumière d'un vaisseau sanguin) ou telmophages (aspirent dans une mare de sang) (Foil *et al.*, 1991). Les insectes telmophages sont les vecteurs mécaniques les plus efficaces (Foil *et al.*, 2000).

Les facteurs qui conditionnent l'ultime infection réussie d'un nouvel hôte sont le site de dépôt, la profondeur de la piqûre et le statut immunitaire du second hôte. Pour une quantité de repas interrompu donnée, si le nombre de sources infectieuses est augmenté (prévalence), on augmente alors la probabilité pour l'agent infectieux de conquérir un nouvel hôte (Foil *et al.*, 2000).

Les stomoxes prennent des repas de sang interrompus car leur piqûre douloureuse les oblige à changer fréquemment d'hôtes au cours d'un même repas (Zumpt, 1973). Les pièces buccales de *S. calcitrans* retiennent 0,03 nl de sang (Weber, 1988) contre 10 nl chez les Tabanidés après un repas interrompu. Il a été montré que *S. calcitrans* régurgite dans des conditions expérimentales (Foil *et al.*, 2000). La régurgitation est un procédé de digestion répandu chez les mouches piqueuses. Elle peut être responsable de la transmission mécanique des agents pathogènes, l'insecte régurgitant chez son nouvel hôte une partie des matières infectieuses ingérées chez un hôte précédent.

La régurgitation est un phénomène encore mal connu : certains insectes, principalement des diptères, régurgitent et avalent plusieurs fois leur nourriture sous forme de gouttes. Il semblerait que cette façon d'agir permette à l'insecte de « transférer » dans le système digestif la nourriture contenue dans son jabot.

Les stomoxes sont donc considérés comme des vecteurs potentiels d'agents pathogènes lorsque d'autres paramètres favorables sont réunis comme une forte densité de stomoxes, la présence rapprochée d'hôtes infectés et sensibles, et la présence de l'agent pathogène en quantité suffisante dans le sang du malade.

### 5.2.2- *Transmission mécanique d'agents pathogènes bovins par les stomoxes*

- Transmission de protozoaires.

Les **trypanosomoses** bovines sont des maladies inoculables non contagieuses. L'infection par les protozoaires se traduit par une atteinte clinique en deux phases. Pendant la première phase, la fièvre est intermittente, il y a une anémie accompagnée d'une splénomégalie et une polyadénite. Dans la seconde phase de la maladie, le parasite se localise dans le liquide céphalorachidien provoquant des troubles de type encéphalomyélitique.

Ces trypanosomes sont normalement transmis biologiquement par les glossines chez lesquelles ils effectuent un cycle de développement. Toutefois, les stomoxes sont suspectés



pouvoir jouer un rôle dans la transmission des agents de la trypanosomose bovine (Mihok, 1995).

En république centre africaine, il a été montré (D'Amico, 1996) que les stomoxes sont de bons vecteurs de *Trypanosoma vivax* car ils sont très abondants au niveau des aires de repos du bétail. De plus, il existe aussi une bonne corrélation entre la densité apparente de stomoxes au niveau des aires de repos et la fréquence de *T. vivax* dans le bétail. Cependant il est difficile de préciser le rôle épidémiologique des seuls stomoxes dans la transmission de *T. vivax* alors que les glossines et des Tabanidés sont également présents et peuvent transmettre le trypanosome.

*Trypanosoma evansi*, est l'agent de la trypanosomose des camélidés et des équidés. Il est habituellement transmis mécaniquement par les Tabanidés et les stomoxes (Zumpt, 1973).

La **besnoitiose** est une protozoose transmissible et contagieuse. Chez l'hôte intermédiaire, le bovin, la forme tachyzoïte du parasite se développerait dans les cellules endothéliales des vaisseaux sanguins ce qui constitue la phase de dissémination du parasite, puis les bradyzoïtes s'infiltreraient dans les fibroblastes du derme, dans la conjonctive de l'œil, les muscles et dans certains cas dans tout l'organisme (cœur, reins...), formant des kystes (contenant chacun des milliers de bradyzoïtes). Ces kystes sont très nombreux dans le derme ce qui facilite la contamination par des insectes piqueurs entre bovins. Le maximum de cas est observé en été soit au moment de la pullulation des vecteurs mécaniques, stomoxes et Tabanidés.

Au niveau géographique : le foyer historique se situe dans le piémont-pyrénéen. Aujourd'hui, cette zone s'est bien étendue vers le nord (Massif central...) et dans le massif alpin. A présent, les foyers se situent sous une ligne reliant Nantes et Lyon, mais cette maladie est en pleine extension (Jacquet, 2009).

La réceptivité/sensibilité est variable selon l'âge mais on peut dire qu'en général, les individus les plus sensibles et réceptifs sont les jeunes de 1 à 4 ans (Alzieu, 2007). Dans 80% des cas, il n'y a aucun symptôme chez le bovin : ce sont des porteurs asymptomatiques.

La forme classique de la besnoitiose ne concerne donc qu'un pourcentage très restreint de cas. Celle-ci se caractérise par 3 phases :

1 – La phase fébrile : il y a multiplication importante dans l'endothélium des vaisseaux sanguins. Les symptômes associés sont une hyperthermie soudaine importante (> 40°C) avec abattement, anorexie, tachypnée, larmolement, photophobie, jetage séreux possible. La peau est congestionnée avec un aspect zébré et une hyperesthésie cutanée est observée (réaction violente à la palpation ou au simple toucher).

2 – La phase d'œdème et de vascularite : La multiplication des tachyzoïtes dans l'endothélium continue et s'intensifie. La température redevient normale et l'appétit reprend. On observe des œdèmes en régions déclives : tête, scrotum, membres, fanons. On note également des douleurs articulaires et les ganglions superficiels sont hypertrophiés. Cette phase dure de 1 à 2 semaines. A la fin de cette deuxième phase, l'animal présente des lésions cutanées très importantes de vascularite et de nécrose tissulaire impressionnantes qui guérissent lentement.

3 – La phase de sclérodémie : elle dure des mois. Après activation du système immunitaire, les bradyzoïtes entrent en jeu et vont se développer dans le derme, le tissu conjonctif... L'animal perd ses poils, présente une hyperkératose très importante avec épaissement de la peau (éléphantiasis), des crevasses au niveau des plis des articulations et des kystes sur la sclère. En phase terminale, l'animale présente une cachexie très importante qui évolue vers la mort.



- Transmission de bactéries.

L'**anaplasmose bovine** est une maladie infectieuse, non contagieuse, qui se traduit cliniquement par une anémie, un abattement, une forte hyperthermie, de la constipation, un ictère, une perte d'appétit, de l'apathie, de la déshydratation et une respiration difficile. L'agent causal est *Anaplasma marginale*. C'est une Rickettsie, elle se multiplie obligatoirement dans les érythrocytes de l'hôte infecté. La transmission de la maladie est assurée habituellement par les tiques vectrices. L'épidémiologie de l'anaplasmose et de la babésiose sont similaires dans les zones où les tiques du genre *Boophilus* sont les vecteurs biologiques des deux agents pathogènes (Foil *et al.*, 2000).

L'anaplasmose peut également être transmise de façon mécanique. L'épidémiologie de l'anaplasmose démontre clairement que la rickettsie peut persister dans certaines aires géographiques suite à l'éradication du vecteur biologique ou dans des régions naturellement dépourvues du vecteur biologique (Foil *et al.*, 2000). La transmission iatrogène par des actes vétérinaires comme la vaccination, la castration et l'écornage en série a été soupçonnée (Dikmans, 1950), mais son importance exacte reste à définir.

La transmission mécanique de l'anaplasmose par les Tabanidés dans les conditions expérimentales (repas de sang interrompus entre des hôtes infectés et des hôtes sains sensibles) est démontrée par plusieurs études (Hawkins *et al.*, 1982 ; Wilson *et al.*, 1966). Les stomoxes sont aussi considérés comme des vecteurs mécaniques potentiels de l'anaplasmose.

- Transmission de virus

La **leucose bovine enzootique** (LBE) est due à un rétrovirus qui infecte les lymphocytes B. Excepté une virémie transitoire de 4 à 12 jours après infection, le virus de la LBE est présent uniquement dans les lymphocytes à l'état d'ADN proviral (Buxton *et al.*, 1988). Il y a deux formes différentes de la maladie, la lymphocytose persistante (augmentation du nombre de lymphocytes circulants qui résulte de la prolifération de lymphocytes infectés et qui dure au moins trois mois) et le lymphosarcome (Foil *et al.*, 2000).

La transmission *in utero*, par le colostrum et le lait sont avérés. La transmission horizontale entre animaux semble avoir relativement plus d'importance que celle réalisée par les voies de transmission citées précédemment (Foil *et al.*, 2000). La voie d'inoculation la plus sensible est intra-dermique ou intra-cutanée (comparativement aux voies intra-péritonéale, intra-nasale, intra-trachéale, orale ou intra-utérine). La matière virulente la plus infectieuse est le sang (Van Der Maaten *et al.*, 1981 dans Foil *et al.*, 1991) et plus particulièrement les lymphocytes B qu'il contient. La transmission horizontale par contact direct entre les animaux semble possible, sans doute via une transmission respiratoire, mais on ne connaît pas son importance (Petolla-Fouche, 1993). La transmission horizontale iatrogène (écornage, palpation trans-rectale, vaccination en série...) est considérée comme mécanisme principal de dispersion de la maladie (Foil *et al.*, 2000).

Il existe aussi une transmission mécanique du virus par les arthropodes hématophages. Des études épidémiologiques et des essais d'infection expérimentale ont montré le rôle effectif des Tabanidés dans la transmission horizontale naturelle du virus de la LBE (Foil *et al.*, 1989 ; Ohshima *et al.*, 1981 ; Manet *et al.*, 1990). Plusieurs essais de transmission mécanique de la LBE par les stomoxes ont été menés et il s'est avéré que ceux-ci ne devaient pas être considérés comme des vecteurs de la LBE (Weber *et al.*, 1988).

La **dermatose nodulaire contagieuse** (DNC) est due à un virus de la famille des *Poxviridae*, genre *Capripoxvirus*. L'infection virale se caractérise cliniquement par une

éruption nodulaire cutanée ou muqueuse précédée d'une hyperthermie. La maladie est contagieuse par contact direct d'animal à animal, et elle peut se transmettre par l'intermédiaire de supports contaminés ou d'insectes piqueurs tels les stomoxes (Boucher, 1994 ; Gourreau, 1992) ou encore les Tabanidés.

La **diarrhée virale bovine** (BVD) est une maladie due à un virus de la famille des *Flaviviridae*, genre *Pestivirus*. Le virus peut être transmis horizontalement ou verticalement chez les bovins et le réservoir de virus le plus important est représenté par les bovins infectés *in utero* avant le 125<sup>ème</sup> jour de la gestation. Il a été démontré la possibilité d'une transmission mécanique du virus (Tarry et al., 1991) à des veaux ou à des moutons depuis un donneur ayant une quantité suffisante de virus dans son sérum, à la faveur d'un repas de sang interrompu de groupe de 50 *S. calcitrans* ou 50 Tabanidés.

### **5.3- Autre agents pathogènes potentiellement transmis de manière mécanique par les stomoxes.**

*Bacillus anthracis* est l'agent causal de l'anthrax ou fièvre charbonneuse. Elle provoque une toxi-infection. De nombreuses espèces sont sensibles : ovins, bovins, caprins, équins, carnivores, porcins et l'homme. *S. calcitrans* peut, dans les heures suivant un repas sanguin assurer la transmission de *B. anthracis* à la faveur de la piqûre d'un nouvel hôte (Knudson, 1987 dans Chantal, 1997).

*Dermatophilus rhusiopathiae*, l'agent du rouget du porc est habituellement transmis par contact direct entre les animaux, mais la transmission mécanique par *S. calcitrans* est également possible (Tolstyak, 1956 dans Leclercq, 1971).

*Dermatophilus congolensis* est l'agent causal de la dermatophilose. La dermatophilose est une maladie transmissible, faiblement contagieuse qui affecte les bovins, mais aussi les chevaux, chèvres, moutons. La transmission peut être assurée par différents arthropodes piqueurs tels que les tiques, les sarcoptes, les moustiques, ou encore les mouches lécheuses (Foil et al., 2000). Cette maladie se traduit par une dermatose papulo-croûteuse. La matière virulente est représentée par les crottes souillées. Toutefois, la transmission mécanique est aussi possible et fait intervenir un transport passif des bactéries sur les pattes des insectes.

Le *Pestivirus* de la peste porcine africaine est habituellement transmis par contact direct entre les porcs, par contact indirect par l'intermédiaire d'objets ou d'aliments contaminés, ou par des vecteurs biologiques à savoir des tiques molles du genre *Ornithodoros*. Sa transmission mécanique par *S. calcitrans* est néanmoins possible (Foil et al., 2000).

Le virus de la fièvre de la vallée du Rift (famille des *Bunyaviridae*, genre *Bunyavirus*) cause une maladie fébrile aigue chez les hommes, les moutons et les bovins en Afrique et au Moyen-Orient. La transmission mécanique du virus par *S. calcitrans* a été démontrée (Hoch et al., 1985).

Le virus de la stomatite vésiculeuse (*Rhabdoviridae*, genre *Vesiculovirus*) est transmis par voie transcutanée et transmuqueuse par des phlébotomes et des moustiques du genre *Aedes*. Il peut également être transmis par *S. calcitrans* (Foil et al., 2000).

La transmission expérimentale du rétrovirus de l'anémie infectieuse des équidés par des groupes de 50 à 400 *S. calcitrans* a été démontrée dans plusieurs études (Foil *et al.*, 1991).

Les stomoxes sont aussi des transporteurs phorétiques importants des œufs de mouches *Dermatobia hominis* dont les larves provoquent une myiase cutanée chez de nombreux mammifères (Zeledon, 1957 dans Leclercq, 1971).

Les stomoxes et autres insectes piqueurs présents dans nos régions sont responsables de nombreuses pathologies concernant le bétail. De plus, comme nous l'avons vu dans l'introduction, des maladies qui étaient considérées comme « tropicales » ou « exotiques » il y a encore quelques années, peuvent tout à fait arriver en Europe du fait du réchauffement climatique.

D'où l'intérêt majeur et l'importance d'étudier la dynamique de population des insectes piqueurs présents dans nos régions, afin de prévenir les périodes et les conditions climatiques les plus propices à la transmission de telles maladies.

## 6- Objectifs de l'étude

- Identifier les principales espèces d'insectes piqueurs présentes dans un site périurbain d'élevage bovin, ovin et équin du Sud-Ouest de la France
- Etudier la dynamique des populations de ces espèces au cours d'une année et mesurer l'importance des facteurs climatiques dans cette dynamique
  - Déterminer dans quelle mesure les facteurs climatiques expliquent ces variations
  - Peut-on expliquer les fluctuations d'abondance à partir des seules variables climatiques, ou bien d'autres facteurs jouent-ils un rôle important ?
  - Etudier l'influence de la température, l'hygrométrie, la pluviométrie ainsi que le vent sur le mode de vie de ces insectes dans le Sud Ouest.
- Etudier une éventuelle préférence trophique des stomoxes entre bovins et équins principalement

Comme nous venons de le voir, les insectes piqueurs présents sous nos latitudes sont responsables d'importantes nuisances, tant par le stress et la spoliation sanguine engendrés par leurs nombreuses et douloureuses piqûres, que par la transmission mécanique d'agents pathogènes parasitaires, bactériens ou viraux pouvant provoquer la mort du bétail. L'acquisition de connaissances sur la biologie et l'écologie des stomoxes, taons, simulies est indispensable pour la mise en place d'un programme de lutte intégrée efficace, en vue de limiter les nuisances de ces insectes.

MATERIELS  
ET  
METHODES

L'étude s'est déroulée du 01 janvier 2009 au 31 décembre 2009 sur le site de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

## **1- Choix du site de captures: pourquoi avoir choisi l'ENVT ?**

L'unité de recherche de parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse a réalisé de 2008 à 2010 une étude sur la dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* dans le Piémont pyrénéen dans le cadre de la recherche sur la besnoitiose. Une étude préalable menée à l'aide de pièges Vavoua sur le site même de l'ENV Toulouse a permis d'observer des captures très importantes de *S. calcitrans* en septembre 2008. Compte tenu de ces premiers résultats, une étude sur une année a été décidée afin d'avoir des points de comparaisons avec l'enquête réalisée sur le piémont pyrénéen. Y trouvera-t-on les mêmes espèces d'insectes hématophages ? en quelles quantités ? Y aura-t-il des similitudes dans les dynamiques de populations ? De plus, la proximité immédiate des lieux de piégeage rendait possible une plus grande fréquence d'observations.

## **2- Système de piégeage**

Le piège Vavoua (Figures 35 et 36) est le piège utilisé pour le suivi des populations d'insectes hématophages. Il dérive des pièges biconique et bipyramidal utilisé en Afrique pour le piégeage des mouches tsé tsé et se compose d'un cône supérieur fait de tulle moustiquaire blanche surmontant trois écrans (longueur 45 cm) cousus à 120° et faits d'une partie externe de couleur bleu phtalogène et d'une partie interne noire (ratio bleu/noir = 2). Ce piège, a montré son efficacité dans la capture des stomoxes (Gilles *et al.*, 2007). Lors d'une étude comparative entre différents pièges, le piège Vavoua s'est avéré être le plus efficace dans la capture de stomoxes à La Réunion. Les stomoxes sont attirés par le bleu phtalogène, se posent sur le tissu noir à l'intérieur du piège, et sont capturés par le récipient fixé à l'extrémité du cône de tulle moustiquaire lorsqu'ils s'envolent. De plus, contrairement aux pièges à colle qui entraînent un noircissement de la cuticule, le piège Vavoua facilite la détermination et le sexage des stomoxes capturés. Enfin, ce piège a une efficacité constante au cours du temps et demande peu d'entretien.

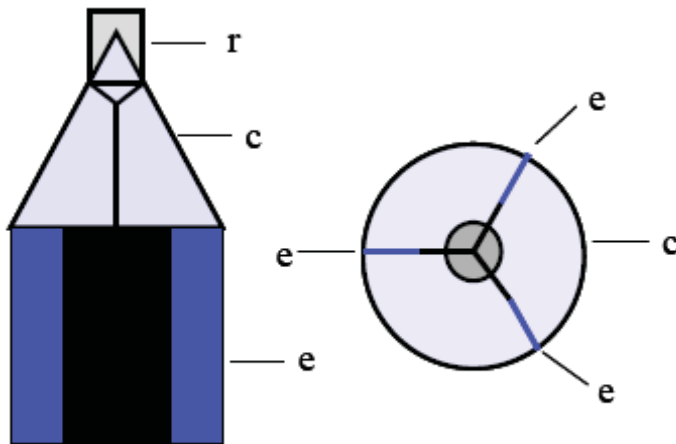


Figure 35 : Schéma d'un piège Vavoua (vu de face et vu de dessus)  
[c = cône de tulle moustiquaire, e = écran en tissu noir et bleu phtalogène, r = récipient de capture des stomoxes.]



Figure 36 : Photographie d'un piège Vavoua mis en place lors d'une manipulation sur un des sites de captures de l'ENVT (Source : D.Rouet, 2009)

### 3- Protocole expérimental

Les piégeages ont été réalisés en moyenne une fois par semaine. Au cours de l'année 2009, nous avons pu effectuer 47 jours de piégeage soit 47 mesures pour caractériser notre dynamique de population des insectes présents. La position des six pièges est identique d'une semaine à l'autre. Ceux-ci sont mis en place le matin vers 8h et sont retirés le soir vers 18-19h. Les pièges sont placés de 30 à 50 cm au dessus du sol car les stomoxes ont une préférence pour les perchoirs bas.

Le soir, lors du retrait des pièges, les individus capturés sont placés dans un réfrigérateur à -80°C pendant quelques minutes ce qui les tue, puis sont stockés dans des pots hermétiques. Chaque pot contient la capture d'un seul piège lors d'une journée de capture. Il y a donc six pots par jour de capture car il y a six pièges qui sont mis en place.

Chaque pot est identifié (N° du piège, date de la capture, lieu de la capture...), puis observé à la loupe binoculaire au laboratoire de parasitologie de l'école vétérinaire pour la diagnose spécifique. Le piège Vavoua nous permettait de capturer de nombreuses espèces d'insectes volants. Toutefois, il y avait principalement des stomoxes, des simulies et des mouches lécheuses.



Suite à la diagnose, nous classons nos individus capturés en 5 catégories :

- le nombre de stomoxes
- le nombre de simulies
- le nombre de mouches lécheuses (principalement des *Musca autumnalis*)
- le nombre de Tabanidés
- le nombre d'insectes appartenant à une autre espèce que celles citées précédemment

Parmi les insectes que nous classerons dans la catégorie « autres espèces », nous trouvons :

- l'ordre des *Hymenoptera* :
  - Famille des *Apidae* (Abeille et Faux-bourdon)
  - Famille des *Vespidae* (Guêpe)
  - Famille des *Formicidae* (Fourmi)
- l'ordre des *Coleoptera* : (les coléoptères)
  - Genre *Rhamnusium*
  - Genre *Chorophorus*
  - Genre *Pyrrhidium*
  - Genre *Leptinotarsa*
- l'ordre des *Lepidoptera*
- l'ordre des *Heteroptera* dont font partie les punaises
- l'ordre des *Diptera*

Les insectes ci-dessus sont cités à titre d'exemple, mais cette liste n'est pas exhaustive.

A chaque jour de capture, nous effectuons un relevé des conditions climatiques. La station météorologique de l'aéroport de Toulouse-Blagnac, située à moins de deux kilomètres des sites de piégeage, permet de connaître un certain nombre de paramètres climatiques en continu et cela de manière assez fiable :

- les **températures** minimale et maximale sur les 12 heures de la journée (période allant de 6h du matin à 18h)
- un relevé de températures toutes les 2 ou 3 heures permettant d'effectuer une moyenne de la température la plus représentative sur toute la période de temps où les pièges étaient mis en place c'est-à-dire de 8h à 18h.
- un relevé de l'**humidité relative** (%) toutes les 2 heures permettant d'effectuer une moyenne la plus représentative sur toute la période de temps où les pièges étaient mis en place.
- les **précipitations** en millimètres par tranche d'heures, à partir de laquelle nous calculons la pluviométrie quotidienne.
- la **pression atmosphérique**
- un relevé de la **vitesse du vent** (en km/h) toutes les 2 heures permettant d'effectuer une moyenne à la fin de la journée, ainsi que la vitesse des rafales de vent toutes les 2 heures. Ces données étaient disponibles sur toute la période d'étude.

#### 4- Choix de l'emplacement des pièges

Comme précisé dans le paragraphe précédent, l'un des objectifs de ce travail est de déterminer s'il y a une affinité des stomoxes et autres insectes pour un ou plusieurs hôtes.

A des fins pédagogiques ou scientifiques, l'ENVT comporte :

- une petite dizaine de vaches de race Prim'Holstein appartenant à l'unité pédagogique de la physiologie animale toutes regroupées sur une parcelle de terrain sur un seul site

- à peu près 70 moutons appartenant à l'unité de pathologie du bétail ainsi qu'une vingtaine appartenant à l'unité pédagogique de la physiologie animale. Ces animaux sont répartis sur trois enclos contigus. On dénombre donc une quarantaine de moutons à proximité immédiate du piège.

- des chevaux appartenant à des particuliers. L'école vétérinaire propose des terrains pour y mettre des chevaux en pension. Nous avons choisi de disposer deux pièges à proximité d'un pré où logent à l'année une petite dizaine de chevaux. Un centre équestre réside aussi au sein de l'école mais reste toutefois à distance de l'emplacement prévu des pièges, de plus les chevaux y restent au box.

Suite à une telle disposition des animaux, nous avons donc décidé de placer (Figure 37 et 38) :

- 2 pièges à proximité des prés à chevaux (piège 1 et 2)
- 1 piège à proximité des prés à moutons (piège 3)
- 2 pièges à proximité des prés à vaches (piège 4 et 5)
- 1 piège à proximité du tas de fumier (piège 6). Ce dernier piège est assez éloigné des cinq autres (voir plan), il doit permettre de mesurer l'émergence de jeunes mouches adultes à partir du tas de fumier de l'ENV Toulouse.

Les pièges sont situés à plus de cinquante mètres les uns des autres afin de limiter la compétition entre pièges.



Figure 37 : Photographie aérienne d'une partie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse  
Localisation de l'emplacement des pièges.  
 (Source : Google Earth)

**Légende :**

Le numéro jaune correspond au numéro du piège

C : pré à chevaux

\*M : pré à moutons

V : pré à vaches

F : tas de fumier

↕ Echelle : 30m



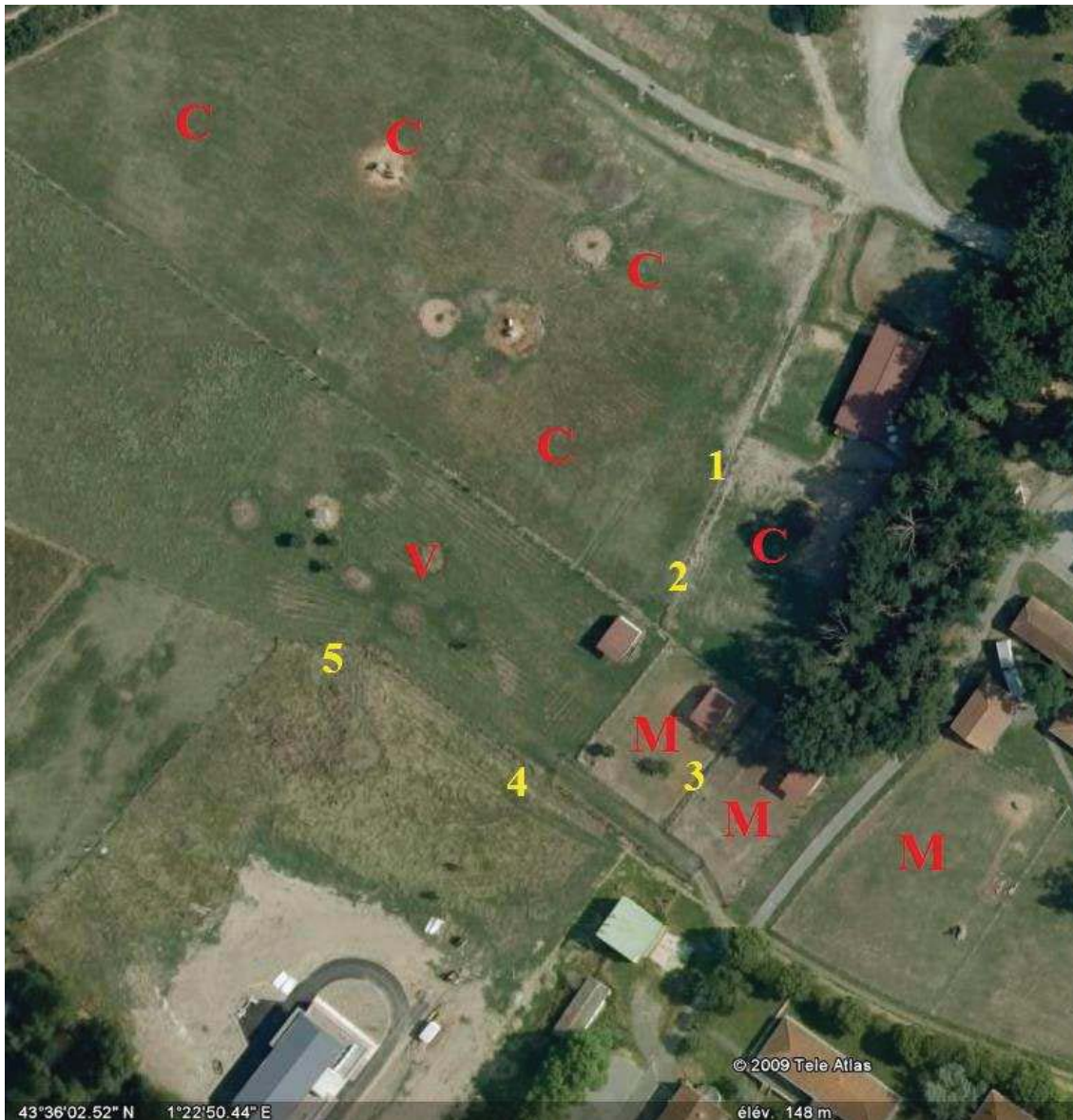
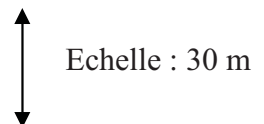


Figure 38 : Photographie aérienne d'une partie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse  
Localisation de l'emplacement des pièges.  
Zoom sur une partie des pièges.  
 (Source : Google Earth)

**Légende :**

- Le numéro jaune correspond au numéro du piège.
- C : pré à chevaux
- M : pré à moutons
- V : pré à vaches



Avec cette disposition des pièges et une séparation des sites de captures comme on peut le voir sur la photographie aérienne, nous espérons mettre en évidence des différences d'attractivité des différents hôtes

## **5- Modélisation du modèle prédictif**

Renaud Lancelot, chercheur au CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) de Montpellier, a utilisé des méthodes statistiques supplémentaires pour mettre en relation la dynamique des densités apparentes dans les pièges avec les données météorologiques et pour établir un modèle prédictif.

- pour les analyses de données, tableaux et graphiques, le logiciel R (R Development Core Team, 2010) a été utilisé
- pour l'analyse descriptive, on utilise les fonctions du package lattice, livré avec R. Les méthodes utilisées ont été formalisées par Cleveland (1993).

# RESULTATS



## 1- Etude de la dynamique des populations de différentes espèces d'insectes

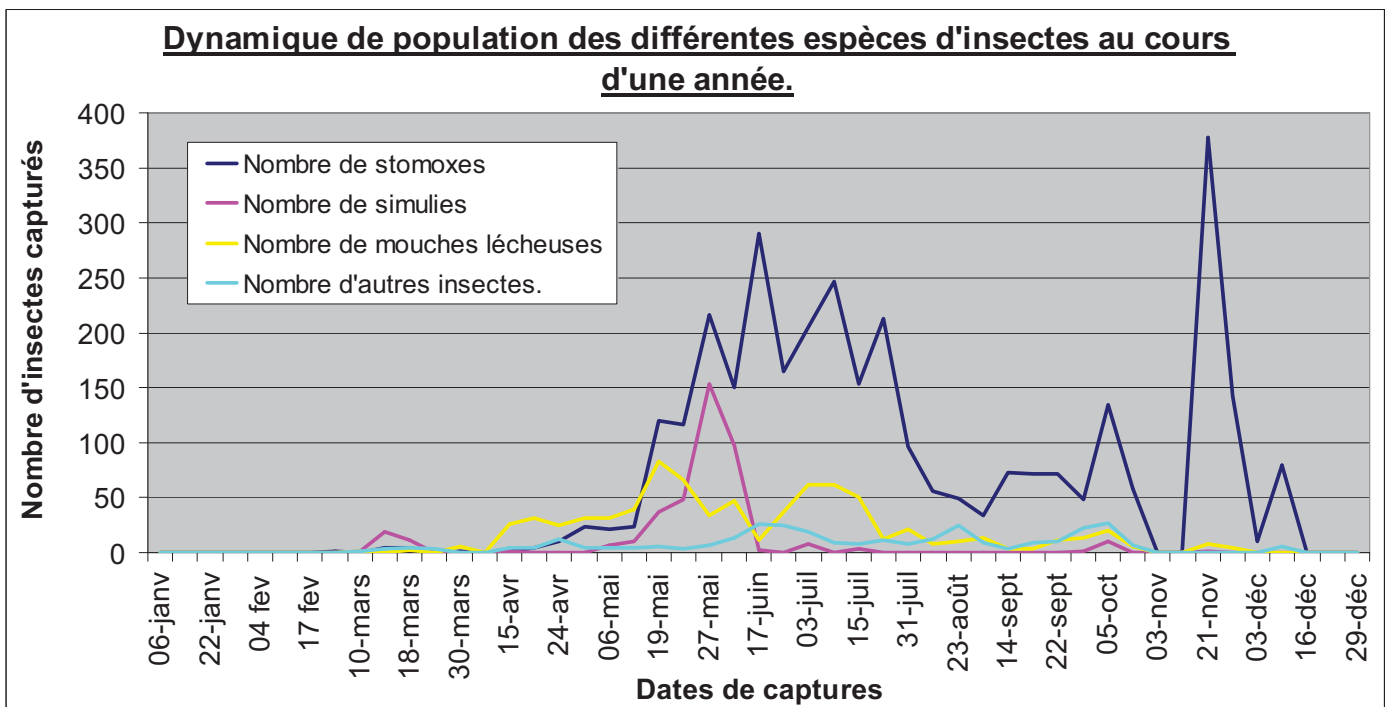


Figure 39 : Dynamique de population des différentes espèces d'insectes au cours d'une année dans tous les pièges cumulés

Les trois principaux groupes d'insectes capturés (Figure 39) sont les stomoxes (*Stomoxys calcitrans*), les simulies (*Simulium spp.*) et les mouches lécheuses (essentiellement *Musca autumnalis*). Aucun taon (*Tabanidé*) n'a été capturé durant l'étude. De plus, nous avons aussi recensé d'autres espèces d'insectes, non hématophages, en très faible quantité par rapport à ces trois groupes.

Il apparaît que les stomoxes sont capturés en plus grand nombre que les deux autres groupes d'espèces. De plus, les stomoxes et les mouches lécheuses sont capturés sur une plus longue période (de mai à décembre) que les simulies qui sont majoritairement piégées qu'au mois de mai. Enfin, les « autres insectes » sont présents sur la même période d'activité que les stomoxes ou les mouches lécheuses.

### 1.1- Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges cumulés au cours d'une année d'étude

Les captures de stomoxes ne débutent véritablement qu'en avril. Avant cette date, seuls deux piégeages successifs en mars ont permis la capture de 4 individus.

Au cours du mois d'avril nous constatons une augmentation progressive du nombre d'individus de *S. calcitrans* capturés. Au cours du mois de mai, on note une explosion de l'activité apparente de *Stomoxys calcitrans*. Le nombre d'individus capturés passe de 24 le 7 mai à 216 le 27 mai soit 9 fois plus en un mois à peine.

Au cours du mois de juin et juillet, il y a une importante fluctuation du nombre de stomoxes capturés. En effet, la courbe des captures hebdomadaires présente une allure en

dents de scie. Néanmoins, l'activité apparente de ces insectes reste importante car le nombre de stomoxes capturés est compris entre 150 et 290 individus. A cette période de l'année, les stomoxes représentent entre 70 et 90% des captures totales. Ce fort pourcentage de stomoxes capturés par rapport au nombre total des insectes toutes espèces confondues se vérifie de juillet à décembre, mais est relativement plus marqué durant les mois d'été.

Une diminution importante du nombre de *Stomoxys calcitrans* capturés est observée au cours du mois d'août (de 213 à 34 individus en l'espace d'un mois seulement) suivi par un léger petit rebond au cours du mois de septembre. Toutefois, l'activité apparente de cette espèce demeure moins importante (entre 48 et 72 individus) par rapport à ce que l'on a pu constater en juin-juillet.

En automne, les fluctuations sont très importantes d'une semaine à l'autre (134 stomoxes capturés le 5 octobre, aucune capture début novembre puis à nouveau 378 stomoxes capturés le 21 novembre)

Jusqu'à mi novembre, le nombre de *Stomoxys calcitrans* capturés n'a pas dépassé les 150 individus. Par contre, le 21 et 24 novembre nous avons enregistré respectivement 378 et 142 stomoxes, ce qui est bien plus que les captures obtenues en juin et juillet. (La capture la plus importante du mois de juin était de 290 captures).

Pendant la première semaine de décembre, nous enregistrons à nouveau une activité apparente très faible des stomoxes (10 seulement), qui fait suite à un dernier rebond la seconde semaine de décembre (79 captures). Par la suite, plus aucun stomoxe n'a été capturé.

***Stomoxys calcitrans* est l'insecte le plus abondant parmi les trois principaux groupes d'espèces présents.**

**Aucune activité n'est enregistrée avant le mois d'avril. L'augmentation de la population des stomoxes s'étale sur deux mois environ : avril et mai et comporte deux phases : une première progressive, une seconde très brutale. Les mois de juin et de juillet représentent la période de l'année où les stomoxes sont les plus nombreux. Une forte chute de l'activité de ces insectes est constatée au cours du mois d'août. Les mois suivants présentent de grandes fluctuations : l'activité des stomoxes reste mesurée mais des pics très importants peuvent être présents, notamment au moins de novembre. A partir de mi décembre, nous ne capturons plus aucun stomoxe.**

**1.2- Dynamique des populations de *Simulium spp.* dans tous les pièges cumulés au cours d'une année d'étude**

De rares simulies ont été capturées au mois de mars puis plus aucune jusqu'au mois de mai

Au cours du mois de mai, une augmentation progressive du nombre d'individus capturés a été observée. L'activité apparente mesurée dans les pièges passe brutalement de 48 individus le 23 mai à 152 le 27 mai.

Après ce pic important de fin mai, l'activité apparente de *Simulium* devient non mesurable par nos pièges. En effet, nous ne capturons plus aucune simulie de tout l'été et jusqu'au mois d'octobre où le 5 de ce mois, 10 individus ont été capturés. Après cette date, aucune capture de simulies n'a été enregistrée. .

### **1.3- Dynamique de population de *Musca autumnalis* dans tous les pièges cumulés au cours d'une année d'étude**

Les premières captures significatives de *Musca autumnalis* n'ont été réalisées qu'à partir du 12 avril.

Une augmentation progressive du nombre de captures d'individus de cette espèce est observée en avril passant de 31 à 83 individus.

Ensuite, la diminution de l'activité apparente mesurée est progressive et s'étale sur tout le mois de juin et le début de juillet :

Pendant le mois de juillet, un second pic d'activité apparente est mis en évidence et culmine à 62 individus capturés. Pour les mois suivants, août, septembre et octobre, les différents piégeages effectués ne permettent de comptabiliser qu'un effectif restreint de *Musca autumnalis* : entre 8 et 15 individus seulement sont capturés.

Ce n'est qu'à partir du mois de novembre que nous constatons une très forte chute de la densité apparente de cette espèce : moins de 8 mouches capturées chaque semaine. En décembre, aucune capture n'est enregistrée.

**Les mouches lécheuses sont présentes pendant les mêmes périodes que *Stomoxys calcitrans*, mais les densités apparentes semblent plus faibles. Quant aux simulies, elles ne sont capturées que pendant deux mois de l'année.**

**Avant le mois de mars, aucune activité apparente n'est mise en évidence. Ce n'est qu'au mois d'avril que nous enregistrons les premières traces d'activité de ces trois différentes espèces qui restent néanmoins peu importantes. *Musca autumnalis* est la première à faire son apparition (mi avril), suivie de *Stomoxys calcitrans* (début mai). Pour des deux espèces, l'augmentation de la population se fait très progressivement.**

**C'est au mois de mai que nous assistons à une croissance bien plus rapide concernant trois espèces : elles sont présentes simultanément et leur activité est la plus importante.**

**Pour les simulies, leur population décroît en juin : elles ne sont présentes qu'une courte partie de l'année (de mai à juin).**

**Pour les mouches lécheuses, on assiste à leur déclin à la fin du mois de juillet. Les stomoxes, quant à eux, sont très abondants au printemps et en juillet ; ils ne se raréfient qu'en août.**

**Au cours des mois suivants, nous avons mesuré une activité très peu importante de *Musca autumnalis* et très fluctuante de *Stomoxys calcitrans*. Enfin, les captures deviennent nulles à partir de mi décembre quelque soit l'espèce considérée.**

## 2- Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* et facteurs de variation

### 2.1- Les conditions climatiques

Parmi les conditions météorologiques relevées à l'aéroport de Toulouse-Blagnac, l'humidité relative, la température, la pluviométrie et la vitesse du vent seront considérées dans la suite.

#### 2.1.1- L'influence de la température.

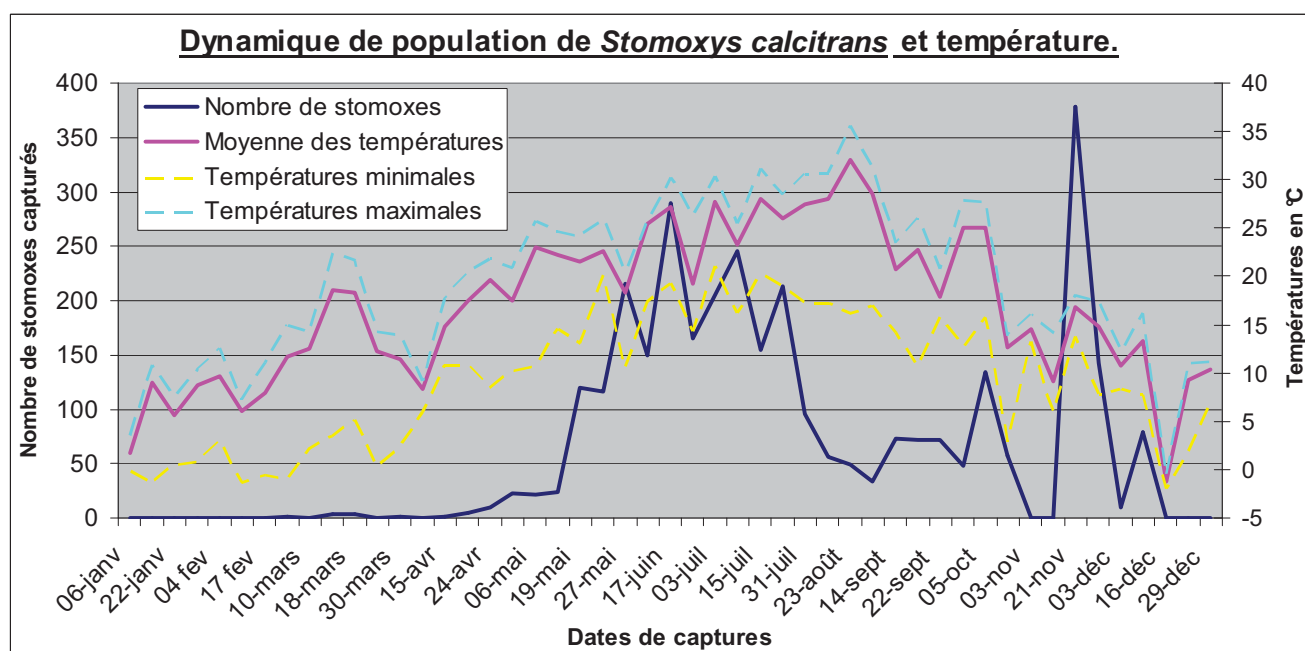


Figure 40 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbes de la température en °C (maximales, minimales et moyennes).

D'après la figure 40 et si on prend comme mesure de référence les températures moyennes (courbe rose), nous observons que :

- aux mois de janvier et février : aucun stomoxe n'a été capturé au cours de cette période quelle que soit la température enregistrée. En ce qui concerne les températures, celles-ci sont toutes inférieures à 12°C jusqu'au 10 mars. Une première augmentation de celles-ci est enregistrée du 10 au 18 mars (18.3°C), puis les températures redescendent fin du mois. A ce moment précis, quelques rares individus de *S. calcitrans* ont été capturés

- au cours du mois d'avril : les températures moyennes augmentent assez vite et passent de 8.4°C le 12 avril à 19.6°C le 24 avril. Les premières captures significatives de *Stomoxys calcitrans* sont obtenues mais l'augmentation de l'activité apparente de cet insecte se fait très progressivement.

- au mois de mai : Les températures moyennes augmentent encore et dépassent les 20°C. L'activité apparente des stomoxes connaît alors une croissance très rapide et très brutale correspondant au premier pic d'activité.

- au mois de juin et durant la première quinzaine de juillet : Les températures restent assez élevées (comprises entre 19.3°C et 27.2°C). Toutefois, on constate des fluctuations de la température qui sont très nettement corrélées aux variations de l'activité apparente des stomoxes : 290 individus capturés le 17 juin (Tmoy de 27,2°C), 165 le 23 juin (Tmoy de 19,3°C) et à nouveau 246 le 9 juillet (Tmoy de 23,3°C).

- lors de la deuxième quinzaine de juillet et au mois d'août : Les températures moyennes sont très élevées et dépassent toutes les 28°C. Une chute très importante des captures est alors observée. Le 23 août, la température maximale était de 35.5°C et la température moyenne de 32°C ; à cette date un nombre très faible de stomoxes a été capturé

- aux mois de septembre, octobre, novembre et début décembre : Les températures diminuent peu à peu et de manière assez progressive, mais restent quasiment toutes supérieures à 12.6°C. Nous constatons que le seul jour de piégeage où la température est inférieure à 12°C (9.1°C), nous n'avons capturé aucun stomoxe et que les jours où la température est supérieure aux normes saisonnières, les captures sont nombreuses. **En effet, chaque pic de température est associé à une augmentation du nombre de captures de stomoxes.**

Enfin, le dernier pic du 21 et 24 novembre est lui aussi corrélé avec une légère hausse des températures. Ce pic est tout à fait spectaculaire car il représente à lui seul un nombre de captures supérieur aux mois de printemps et d'été.

- lors de la seconde quinzaine de décembre : Les températures chutent assez brutalement et passent sous la barre du zéro. Aucun stomoxe n'a été capturé jusqu'à la fin de l'année, suite à ces températures négatives.

**Jusqu'à la fin du mois de mars, de très rares stomoxes sont capturés. C'est au mois d'avril que les premières captures significatives sont observées associées à une hausse des températures ( $12^{\circ}\text{C} < T_{\text{moyenne}} < 20^{\circ}\text{C}$ ).**

**L'explosion de l'activité apparente de *Stomoxys calcitrans* du mois de mai est à corréler avec des températures encore plus élevées (autour de 25°C). Les mois de juin et de juillet représentent la période de l'année où les stomoxes sont les plus nombreux. La forte chute de l'activité apparente de ces insectes se produit au cours d'une période où les températures sont très élevées (supérieures à 28°C).**

**Les mois suivants sont assez fluctuants : l'activité apparente des stomoxes est plus faible mais des pics très importants peuvent être présents, notamment suite à une brève augmentation des températures.**

**A partir de mi décembre, suite à des températures négatives, plus aucun stomoxe n'est capturé.**

Pour compléter cette étude de l'influence de la température sur la dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans*, nous avons choisi de créer des intervalles de températures de 3°C, et avons regroupé les captures réalisées dans les mêmes conditions.

Dans la figure 41, nous avons réalisé une moyenne des captures par intervalle de températures et calculé ainsi un écart type. Par exemple pour l'intervalle [15-18°C] : nous avons capturé 5 individus le 22 avril, 23 individus le 02 mai, 72 individus le 22 septembre et 378 individus le 21 novembre. Après addition, nous obtenons un total de captures de 478 stomoxes pour 4 captures. Cela représente une moyenne de 119,5 stomoxes avec un écart type de 174,6 soit 19.9 stomoxes par piège.

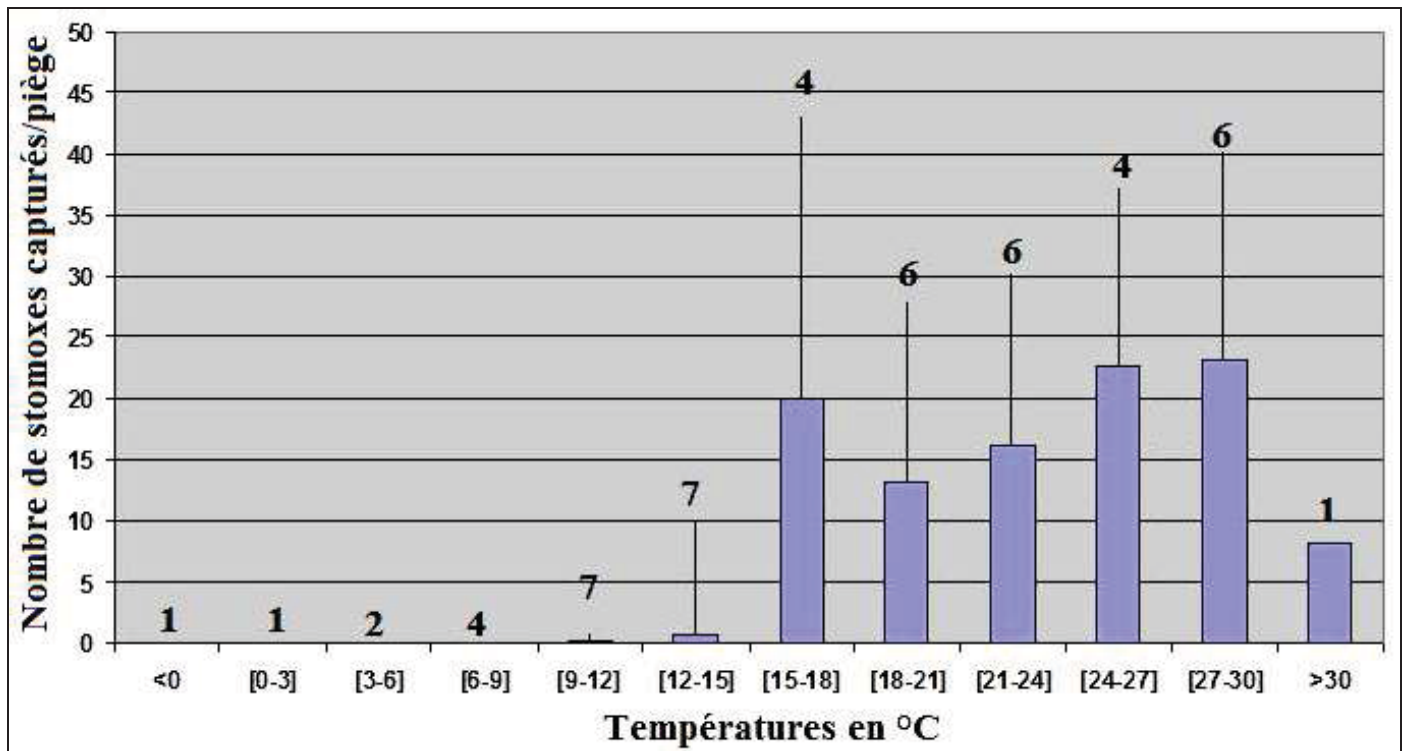


Figure 41 : Activité apparente de *Stomoxys calcitrans* par piège pour les intervalles de températures moyennes avec écart type.

- Températures < 9°C : Pour de telles températures, nous n'avons capturé aucun stomoxe.
- Températures comprises entre [9-12] °C : Dans cet intervalle, très peu de stomoxes ont été capturés (0.3 individus capturés/piège au cours de 7 piégeages cumulés). L'écart type de cet intervalle est peu élevé, ce qui suggère de faibles fluctuations dans le nombre d'insectes capturés au cours des différents piégeages.
- Températures comprises entre [12-30] °C : C'est dans cet intervalle de températures que l'activité apparente est la plus importante et les captures sont soumises à de grandes variations au regard des écart-types.
- Températures > 30°C : Le nombre d'individus capturés passe très brutalement de 23.2 à 8.2 stomoxes/piège, ce qui est très rapide et constitue une baisse d'activité apparente assez importante pour un écart de température assez restreint. Toutefois, il faut garder à l'esprit qu'il n'y a qu'un seul piégeage fait dans cet intervalle donc pas d'écart type.

**La plus forte activité apparente des stomoxes se situe dans un intervalle de température [12-30] °C.**



### 2.1.2.- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie.

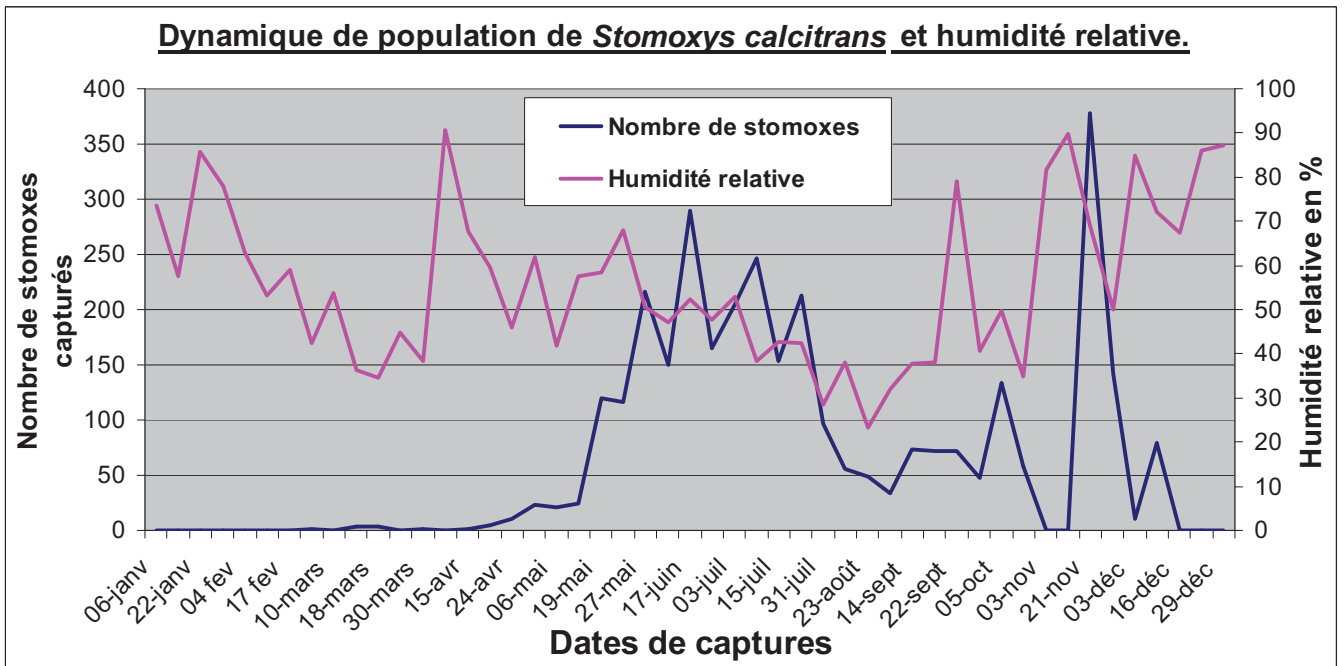
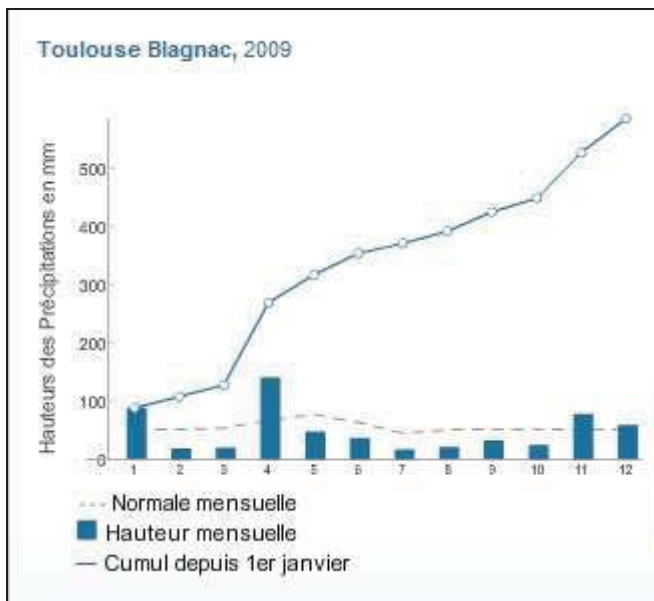


Figure 42 : Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbe de l'humidité relative en %.



#### Pluviométrie mensuelle de l'année 2009 :

Janvier : 88 mm  
 Février : 19 mm  
 Mars : 20 mm  
 Avril : 141 mm  
 Mai : 48 mm  
 Juin : 37 mm  
 Juillet : 17 mm  
 Août : 21 mm  
 Septembre : 32 mm  
 Octobre : 25 mm  
 Novembre : 78 mm  
 Décembre : 59 mm

Figure 43 : Pluviométrie de 2009 à Toulouse Blagnac (source : Météo France)

Les figures 42 et 43 suggèrent que :

- aux mois de janvier, février et mars : aucun stomoxe n'est capturé en janvier – février, de très rares individus en mars. L'humidité relative est très élevée au cours du mois de janvier (78% le 30 janvier) et diminue pendant les mois de février et mars (34,5% le 18 mars). Ces valeurs sont à corréliser avec la pluviométrie qui est assez importante au mois de janvier (88 mm) et assez faible au mois de février et mars (19 et 20 mm).

- au mois d'avril : une très forte et brutale augmentation de l'humidité relative est observée (90% le 12 avril). Ceci est à corrélérer avec la pluviométrie élevée au cours de ce mois (141 mm). Au même moment, nous commençons à réaliser les premières captures significatives de *Stomoxys calcitrans*.

- au mois de mai : L'humidité relative diminue peu à peu mais reste tout de même importante (entre 50% et 70%). Néanmoins, la pluviométrie a beaucoup diminué par rapport au mois dernier (48 mm). Quant à l'activité apparente des stomoxes, c'est à ce moment-là qu'elle connaît une croissance très rapide et très brutale comme nous l'avons déjà précisé auparavant.

- au mois de juin et durant la première quinzaine de juillet : au moment du premier pic d'activité des stomoxes, la pluviométrie est faible mais les valeurs de l'humidité relative restent comprises entre 40% et 50 %.

- durant la deuxième quinzaine de juillet et au mois d'août : les valeurs les plus basses d'humidité relative sont observées : deux valeurs < 25% et toutes les autres restent inférieures à 40% : ce sont des mois très secs. De plus, la pluviométrie est très faible: 17mm et 21 mm seulement pour ces deux mois. Il est important de faire remarquer qu'il y a eu 4 mois consécutifs avec une pluviométrie relativement faible : les valeurs mensuelles de précipitations sont inférieures aux normales mensuelles depuis de mois de mai inclus. C'est à cette période qu'une chute importante de l'activité apparente des stomoxes est constatée dans les pièges.

- aux mois de septembre, octobre, novembre et début décembre : L'humidité relative remonte brutalement (79% le 22 septembre). Or, nous remarquons qu'à cette période, le nombre de stomoxes capturés augmente à nouveau également. Les fluctuations du nombre de captures et d'humidité relative sont identiques mais décalées dans le temps. La courbe représentant l'humidité relative précède parfaitement celle de l'activité apparente des stomoxes. Pour ce qui est de la pluviométrie, elle est encore faible pour les mois de septembre et octobre, mais plus importante pour novembre (78mm), or c'est à cette période que l'on enregistre le deuxième grand pic de captures.

- lors de la seconde quinzaine de décembre : l'humidité relative reste très importante.

**C'est au mois d'avril que les premières captures significatives sont observées : elles sont encore faibles et associées à une forte hausse de l'humidité ainsi qu'à d'importantes précipitations. L'explosion de l'activité de *Stomoxys calcitrans* du mois de mai se déroule parallèlement à une humidité toujours élevée mais néanmoins en légère baisse. Les mois de juin et de juillet constituent la période où les stomoxes sont les plus nombreux et l'humidité toujours assez élevée. La forte chute de l'activité apparente de ces insectes se produit au cours d'une période où l'humidité diminue fortement et les précipitations rares depuis maintenant 4 mois consécutifs. Les captures durant les mois d'automne sont assez fluctuantes mais les pics d'activité des stomoxes succèdent toujours aux augmentations de l'humidité relative. De plus, le pic le plus important se produit au cours du mois de novembre, période où l'on enregistre d'importantes précipitations. A partir de mi décembre, nous ne capturons plus aucun stomoxe malgré une forte hausse de l'humidité.**

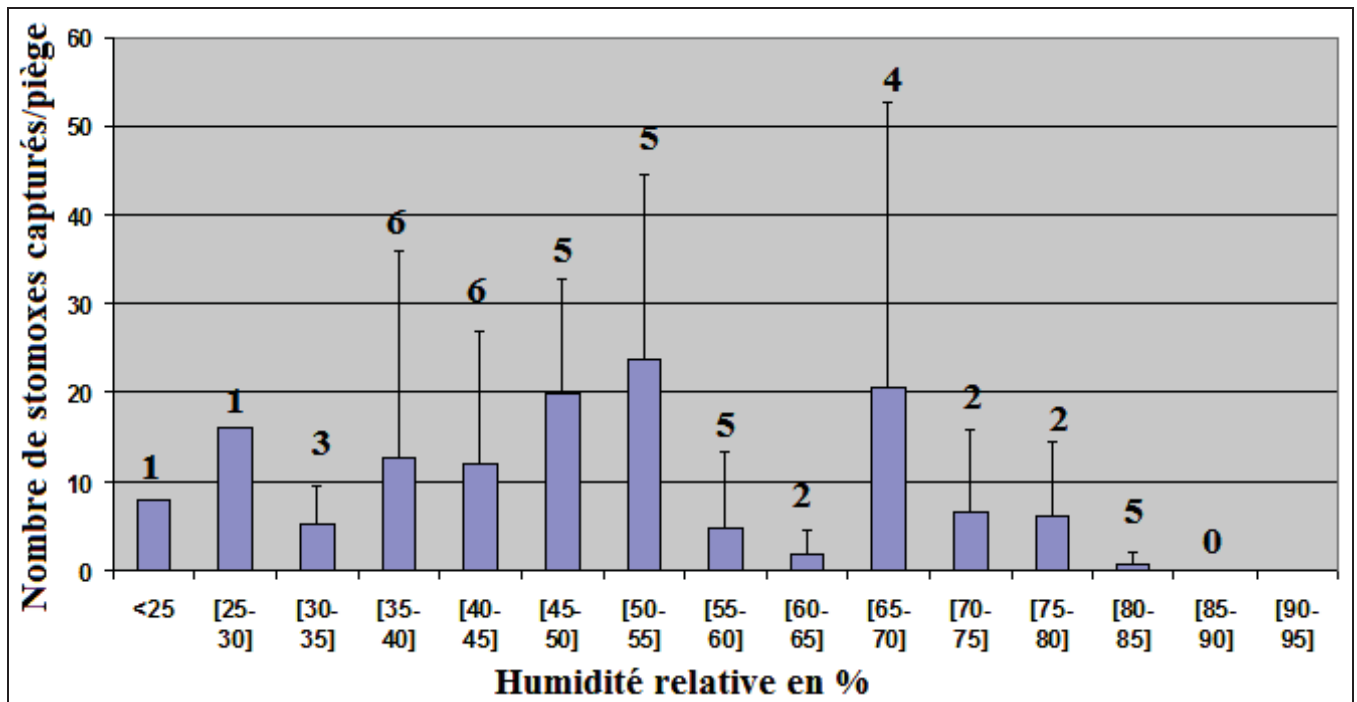


Figure 44 : Activité apparente de *Stomoxys calcitrans* par piège pour les intervalles d'humidité relative avec écart type.

D'après la figure 44 :

- < 30 % d'humidité relative : Il y a eu un faible nombre de piégeages réalisés dans ces conditions :
  - un seul piégeage pour une humidité relative inférieure à 25% : 8.1 stomoxes par piège
  - un seul piégeage entre [25-30%] : 16 stomoxes par piège
  - trois entre [30-35%]. : 5.2 stomoxes par piège

Toutefois, malgré un faible nombre de piégeages effectués dans ces conditions météorologiques, on peut dire que le nombre de stomoxes capturés dans ces intervalles d'humidité relative est relativement peu élevé.

- [35-55] % d'humidité relative : Plus l'humidité relative augmente au sein de cet intervalle, plus les captures sont nombreuses. En effet, on passe de 12.6 individus en moyenne par piège pour [30-35] % à 23.7 pour [50-45] %. De plus, le nombre de piégeages est important car compris entre 5 et 6. Il y a de fortes variations du nombre d'insectes capturés en fonction des jours de piégeages. C'est au sein de cet intervalle que les captures sont les plus nombreuses.

- [55-65]% d'humidité relative : L'activité apparente de *S. calcitrans* mesurée est nettement moins importante pour ces deux intervalles, même s'il n'y a que deux piégeages qui ont été réalisés pour [60-65] %..

- [65-70] % d'humidité relative : un nombre élevé de stomoxes capturés par piège (20.6 individus en moyenne/ piège) est observé avec 4 jours de piégeages. De grandes disparités du nombre d'insectes capturés ont été constatées au cours de ces 4 piégeages effectués.

- [70-80] % d'humidité relative : L'activité apparente de *Stomoxys calcitrans* diminue fortement (6 individus en moyenne/piège). Deux piégeages ont pu être réalisés pour chaque intervalle.

➤ [80-85] % d'humidité relative : Malgré un nombre important de piégeages (5), il n'y a que très peu de stomoxes qui ont pu être capturés.

**Par temps sec :**

De [0-35] %, le nombre de stomoxes capturés est faible.

De [35-55] %, l'activité apparente de ces insectes est nettement plus importante et augmente même au sein de cet intervalle.

De [55-65] %, nous constatons une forte chute de cette activité apparente, mais celle-ci augmente à nouveau au cours de l'intervalle suivant de manière assez brutale. Il y a donc des variations du nombre de stomoxes assez importantes entre ces intervalles.

**Par temps humide :**

De [70-85] %, nous assistons à une baisse de l'activité de *Stomoxys calcitrans*, qui fait suite à un arrêt définitif des captures : nous n'attrapons plus aucun stomoxe à une humidité relative > 85%.

**1.1.3- L'influence du couple des deux variables température-humidité relative**

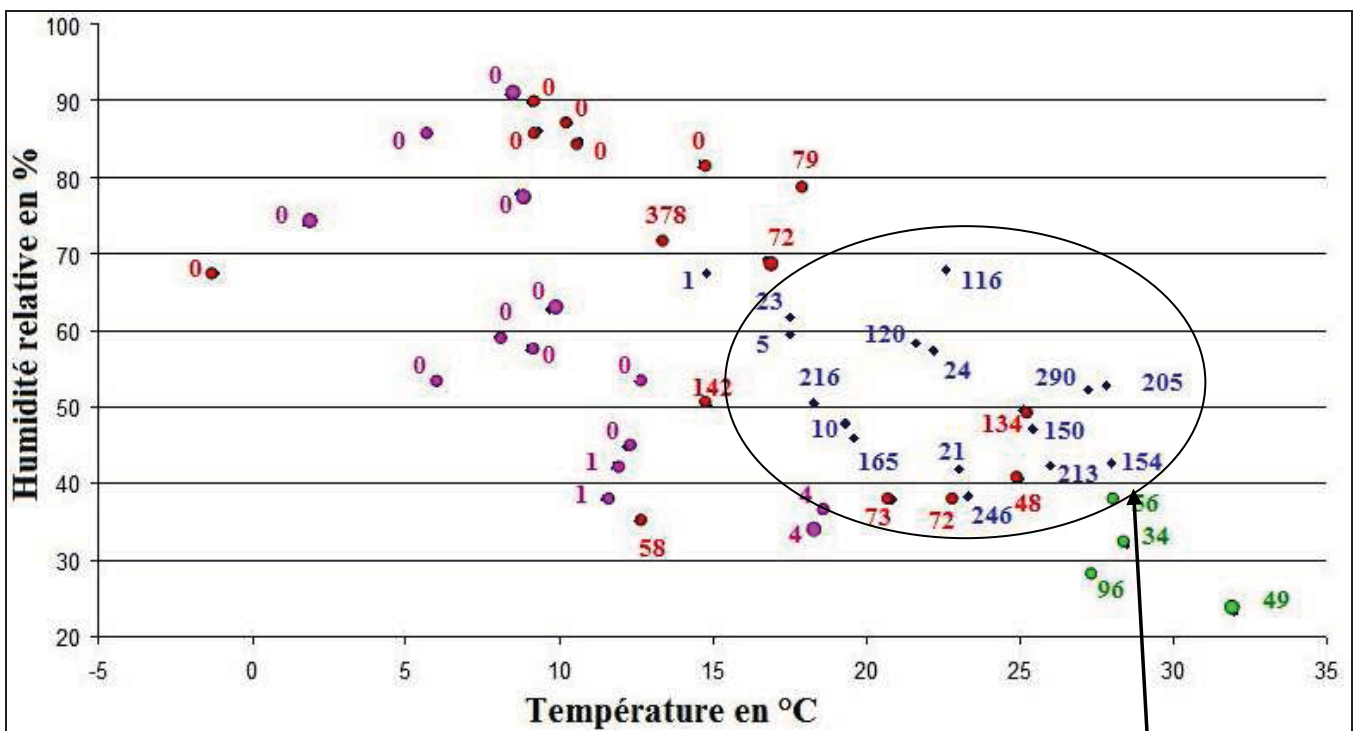


Figure 45 : Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* en fonction de la température moyenne et de l'humidité relative

Chaque point correspond à une capture. Le numéro en gras indique le nombre de stomoxes capturés dans les 6 pièges cumulés. Le code couleur est le suivant :

- De janvier à mi avril
- De mi avril à juillet
- Fin juillet à début septembre
- Septembre à décembre

Combinaisons de température et d'humidité relative le plus favorable à l'activité apparente des stomoxes

La figure 45 suggère :

➤ Du mois de janvier à mi-avril

Les températures moyennes sont inférieures à 15°C. Quelle que soit la valeur de l'humidité relative, aucun ou un seul stomoxe a été capturé (pour 15 piégeages).

➤ De mi-avril au mois de juillet

Les températures moyenne sont toutes supérieures à 25°C et l'humidité relative comprise [40-70] %. Il y a entre 1 et 246 stomoxes capturés par jour de piégeage :

- 10 captures avec plus de 100 stomoxes capturés à chaque fois
- 6 captures avec moins de 50 stomoxes capturés

C'est à cette période de l'année que le couple température-humidité relative est le plus favorable pour des captures abondantes et constantes de *Stomoxys calcitrans*.

➤ De fin juillet à début septembre

Les températures moyennes sont supérieures à 27°C et l'humidité relative est très basse (comprise entre 20 et 40%). Les 4 piégeages effectués pour de telles conditions météorologiques suggèrent une forte diminution de l'activité apparente des stomoxes.

➤ Du mois de septembre au mois de décembre

Il y a une grande disparité dans les températures moyennes et des valeurs de l'humidité relative au cours de cette période de l'année. Les captures des stomoxes peuvent être classées en deux catégories :

- 10 captures où la températures > 13°C : quelle que soit la valeur de l'humidité relative, le nombre de stomoxes capturés est toujours > 60 individus. De plus, c'est à cette période de l'année que la plus grosse capture a été réalisée (378 individus).
- 5 captures où la température < 13°C : aucun stomoxe n'a été capturé.

Cependant dans les mêmes conditions météorologiques, certains piégeages réalisés sur la période septembre-décembre, permettent de capturer plus de stomoxes en quantité par rapport à des piégeages effectués de janvier à avril.

**Lorsque les températures moyennes sont inférieures à 15°C, aucun stomoxe n'est capturé quelle que soit l'humidité relative associée et quelle que soit la période de l'année.**

**Des températures comprises entre 15 et 27°C, associées à une humidité relative comprise entre 35 et 70% représentent les meilleures conditions météorologiques pour l'activité des stomoxes, quelle que soit la période de l'année.**

**Des températures > 27°C associées à une humidité relative < 40% ne sont pas propices pour cet insecte.**

**Pour des conditions météorologiques similaires, les captures de stomoxes sont plus abondantes en automne qu'au printemps.**

### 2.1.4- L'influence de la force du vent

Lors de chaque jour de piégeage, une force du vent moyenne a été considérée (moyenne de toutes les valeurs de force du vent disponibles par notre station météorologique sur notre site) entre la pose et le retrait du piège. Nous avons choisi de créer des intervalles de force du vent de 2km/h, et avons regroupé les captures réalisées dans les mêmes conditions. Le numéro en gras au dessus de l'histogramme correspond au nombre de piégeages réalisés dans les conditions climatiques correspondantes.

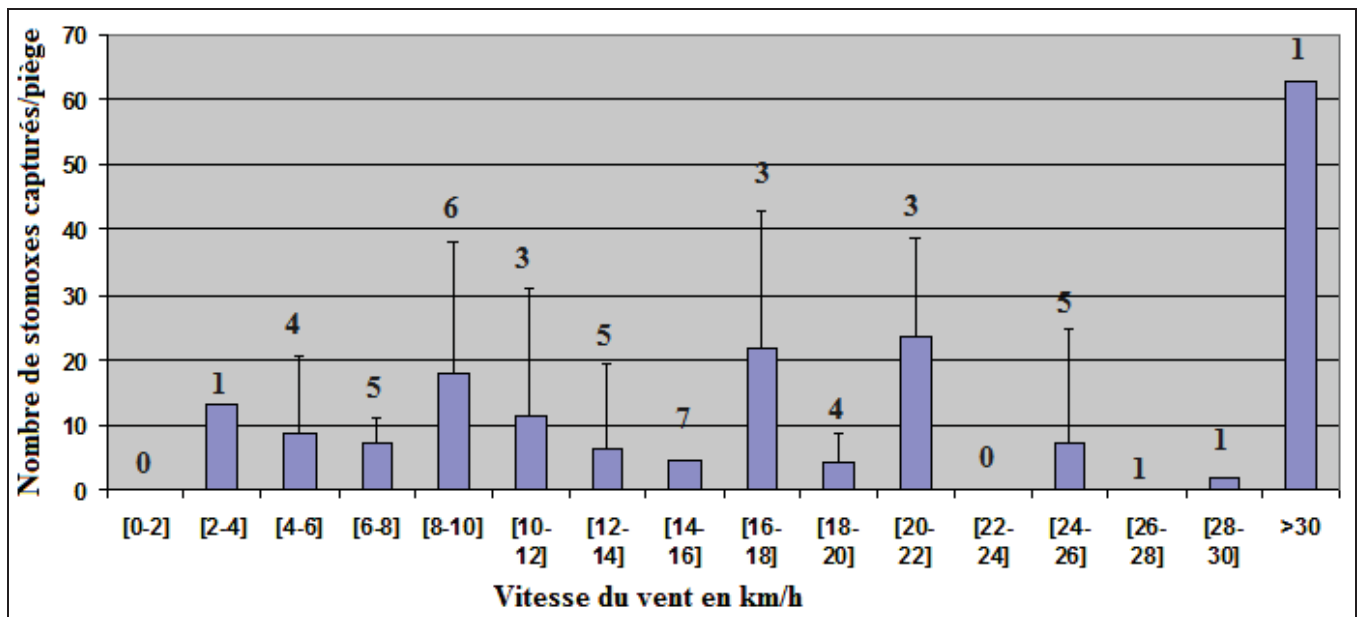


Figure 46 : Activité apparente de *Stomoxys calcitrans* par piège pour les intervalles de vitesse du vent avec écart type.

La force du vent ne semble pas influencer significativement l'importance des captures de stomoxes dans les pièges (Figure 46). De plus, une vitesse du vent élevée (30 Km/h) n'a pas gênée les captures.

Cependant, toutes les conditions météorologiques se retrouvent confondues, et il faut aussi regarder la température et l'humidité relative correspondantes à ces jours de capture.

**Nous ne pouvons pas mettre en évidence un intervalle de vitesse du vent qui favorise l'activité apparente de *Stomoxys calcitrans*.**

Après avoir étudié les conditions météorologiques comme facteurs d'influence sur la dynamique d'activité de *Stomoxys calcitrans*, nous allons maintenant nous intéresser aux différences d'attractivité des différents hôtes.



## 2.2- La proximité des différentes espèces hôtes.

6 pièges Vavoua ont été placés comme suit :

- 2 à proximité des chevaux (pièges 1 et 2)
  - 1 à proximité du tas de fumier (piège 6)
  - 2 à proximité des vaches (pièges 4 et 5)
  - 1 à proximité des moutons (piège 3)
- } Regroupés dans l'analyse

L'attractivité des chevaux d'une part et des ovins/bovins d'autre part sera comparée au cours de l'année, les résultats du piège situé près du tas de fumier étant plutôt le reflet d'émergences récentes

Pour chacune des 3 catégories d'emplacements, nous avons rapporté le nombre de stomoxes capturés pour un piège seulement (figure 47).

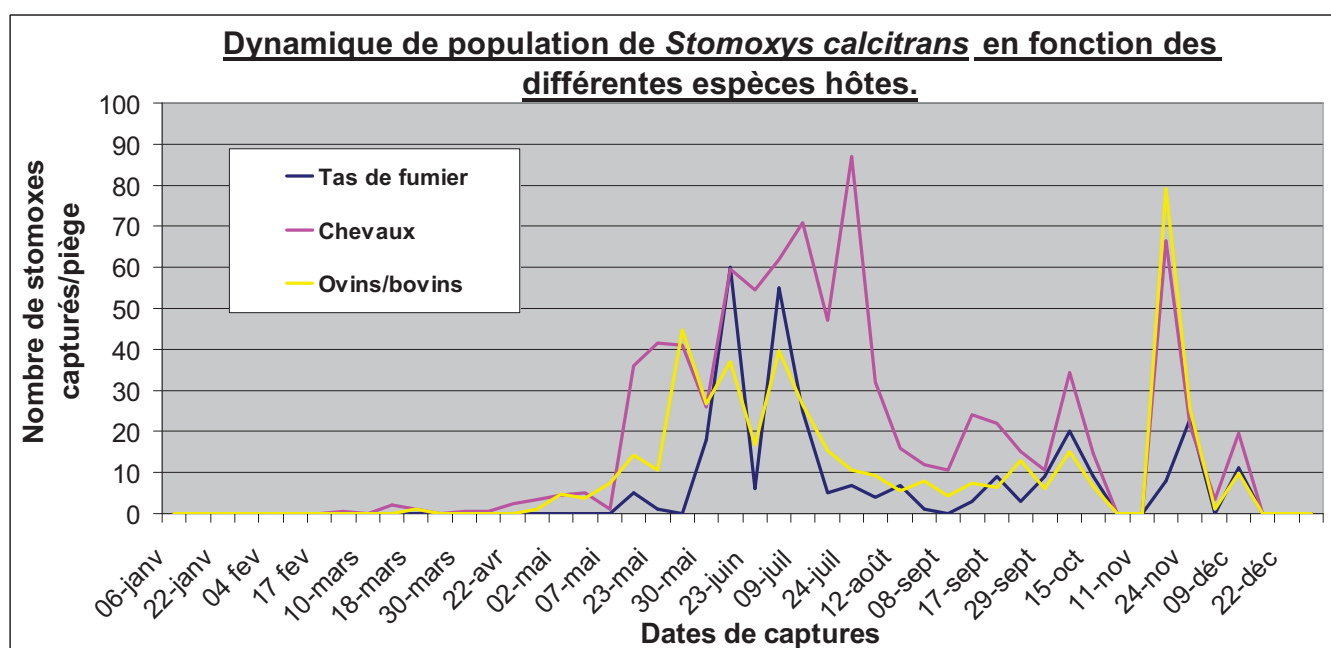


Figure 47 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année.

La figure 47 suggère que :

- aux mois de janvier, février et mars : de très rares stomoxes sont capturés en mars près des chevaux et des bovins.

- au mois d'avril : Une légère augmentation du nombre de stomoxes capturés est enregistrée dans les pièges des chevaux (pièges 1 et 2) en premier lieu. Puis une semaine après, le même phénomène est observé pour les pièges des ovins/bovins (pièges 3-4-5). Aucune activité n'est notée dans le piège 6 (fumier). Les effectifs capturés ne dépassent pas 3.5 individus/piège.

- au mois de mai : Le nombre de stomoxes capturés est très élevé pour les pièges 1-2-3-4-5. On passe de 3.5 stomoxes/piège le 24 avril à 41 stomoxes/piège le 27 mai en ce qui concerne les chevaux et de 1 stomoxe/piège à 44.6 stomoxes/piège pour les ovins/bovins pour les mêmes dates. Dans la première quinzaine de ce mois de mai, ce sont les pièges situés à proximité des chevaux qui capturent le plus de stomoxes, alors que vers la fin du mois, les captures sont quasiment équivalentes pour les deux espèces hôtes.

En ce qui concerne le tas de fumier moins de 5 individus/pièges sont capturés au cours de cette période.

- au mois de juin : Pour les pièges 1 et 2 : l'activité apparente des stomoxes poursuit son augmentation et va devenir à nouveau plus importante que celle mise en évidence dans les pièges 3-4-5.

En ce qui concerne les pièges 3-4-5-6, les captures sont très hétérogènes :

- le 17 juin : le nombre de stomoxes capturés est important (37 individus/piège pour les pièges 3-4-5 et 60 pour le piège 6)
- la semaine suivante le 23 juin, le nombre d'individus capturés chute à 16 stomoxes/piège pour les pièges 3-4-5 et 6 stomoxes pour le piège 6. En effet, le 23 juin, les captures sont très peu nombreuses par rapport à la semaine précédente mais cela ne concerne pas les chevaux.
- la semaine du 3 juillet, le nombre de stomoxes capturés est à nouveau élevé : 39.6 individus/piège pour les pièges 3-4-5 et 55 individus capturés pour le piège 6.

→ Il y a donc des variations très importantes d'une semaine à l'autre au cours de cette période, mais cela ne concerne que les pièges situés à proximité des ovins/bovins et du tas de fumier. En effet, les pièges 1-2 situés à proximité des chevaux sont moins concernés par ce phénomène. Les captures restent nombreuses tout le mois de juin

Enfin, il est important de remarquer que le nombre d'individus capturés dans le piège 6 (à proximité du tas de fumier) est très élevé par rapport au mois précédents ainsi qu'aux mois suivants.

- au mois de juillet : L'activité apparente de *Stomoxys calcitrans* décline très fortement pour les pièges situés à proximité des ovins/bovins ainsi qu'au tas de fumier. En effet, le nombre d'insectes capturés est divisé par 10 au tas de fumier (de 55 à 5 individus) et par 4 à proximité des ovins et bovins. Pourtant, l'activité des stomoxes est toujours très importante à proximité du pré des chevaux, et c'est d'ailleurs au cours de cette période que nous faisons le plus de captures.

- au mois d'août : Pour les pièges du tas de fumier et ovins/bovins, l'activité apparente reste très faible. Quant aux pièges des chevaux, c'est à cette période que l'on constate la baisse de l'activité des stomoxes. En effet, les individus/pièges capturés passent de 87 à 12 en l'espace de quelques semaines.

- aux mois de septembre, octobre et novembre : L'activité mise en évidence pour les trois différents emplacements des pièges est peu importante et connaît quelques petits rebonds. Néanmoins, il est intéressant de noter qu'à chaque fois, ces rebonds d'activité concernent la totalité des pièges (chevaux, tas de fumier, ovins et bovins) et non pas qu'un seul des trois. Ces pics sont les mêmes que ceux précédemment expliqués dans les paragraphes ci-dessus.

- au mois de décembre : Dans la première quinzaine, les stomoxes sont encore présents dans les trois types de piège, puis dans la seconde, nous n'en capturons plus aucun.

**Ce n'est qu'à partir du mois d'avril que nous assistons aux premières captures significatives pour les pièges situés à proximité des chevaux et des ovins/bovins.**

**L'explosion de l'activité apparente du mois de mai concerne dans un premier temps les pièges des chevaux, puis ceux des ovins bovins, mais pas encore le tas de fumier.**

**Au mois de juin, les pièges situés aux trois emplacements comptabilisent de nombreuses captures. Toutefois, ce sont les pièges des chevaux qui attirent le plus les stomoxes.**

**Le déclin de l'activité de *Stomoxys calcitrans* a lieu au mois de juillet pour les pièges des ovins/bovins et du tas de fumier, alors qu'il n'a lieu qu'au mois d'août pour les pièges situés à côté des chevaux.**

**Pour les mois suivants, l'activité apparente des stomoxes est nettement moins importante par rapport à ce qu'elle a été aux mois précédents et cela pour les trois différents emplacements. Les rebonds d'activité constatés ponctuellement concernent la totalité des emplacements des pièges.**

**Enfin, plus aucune capture n'est réalisée à partir de mi décembre pour la totalité des pièges.**

### **2.3 Etablissement d'un modèle prédictif de la densité apparente des stomoxes en fonction des différentes variables**

Renaud Lancelot, chercheur au CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) de Montpellier, a utilisé des méthodes statistiques supplémentaires pour mettre en relation la dynamique des densités apparentes dans les pièges avec les données météorologiques et pour établir un modèle prédictif.

#### *2.3.1- Analyses descriptives*

- Densité apparente des stomoxes

Le graphique de la densité apparente par piège et par jour a été tracé. Les courbes sont semblables à celles obtenues par nos propres représentations graphiques.

- Variables météorologiques

La pluviométrie qui est nulle la plupart du temps par construction du plan d'observation n'est représentée ici. Restent alors les variables :

- Tmin : température quotidienne minimale (°C)
- Tmax : température quotidienne maximale (°C)
- Tmoy : température quotidienne moyenne (°C)
- Vent : vitesse quotidienne moyenne du vent (km/h)
- RH : humidité relative (%)



- Corrélation des variables météorologiques

Pour explorer cette corrélation, une matrice de graphes de dispersion croisant chaque variable météorologique avec les autres a été utilisée (Figure 49).

Pour mettre en évidence la forme de la relation entre deux variables, on superpose au graphe de dispersion un lissage loess (ligne rouge) :

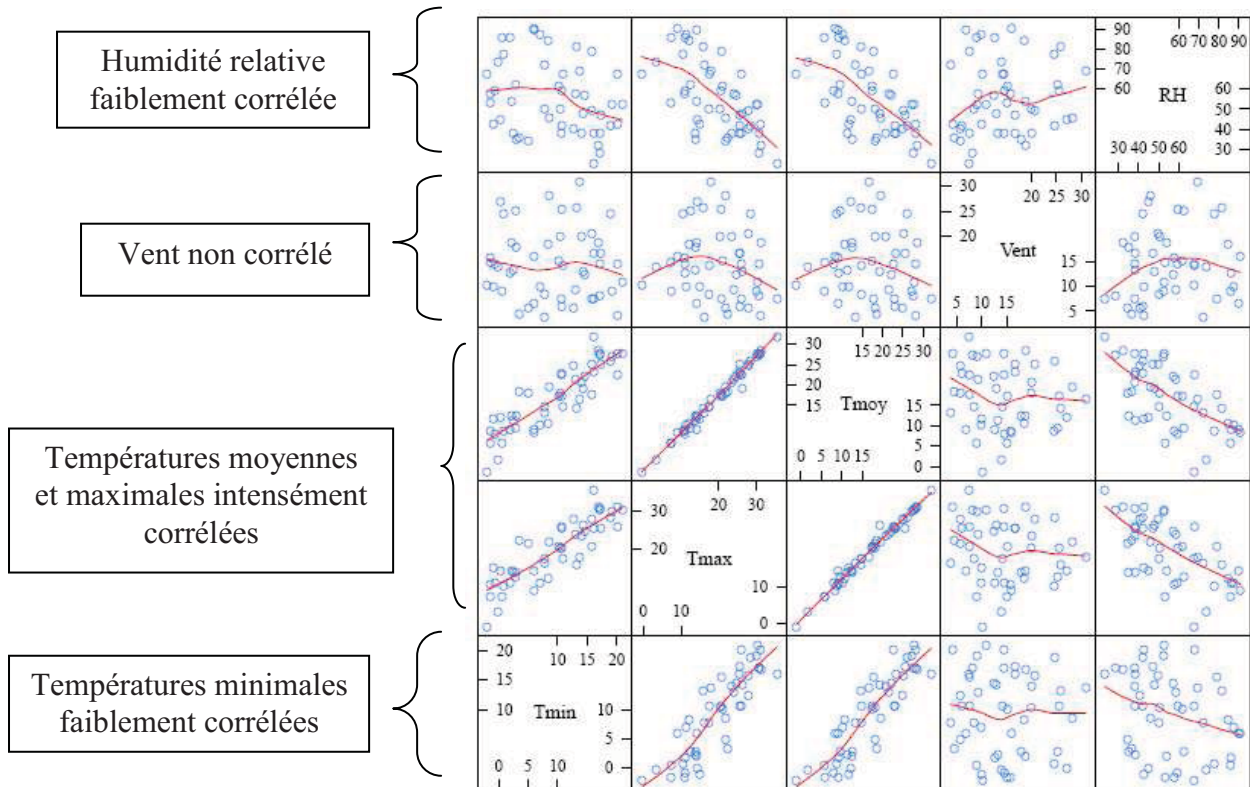


Figure 49 : Corrélation des variables météorologiques (hors pluviométrie) enregistrées les jours de capture de stomoxes.

Les points bleus indiquent les données observées, et la courbe rouge est un lissage loess (régression non arithmétique) montrant la relation moyenne (tendance).

Une corrélation plus ou moins importante peut être établie lorsque les points bleus sont superposés à la ligne rouge.

La figure 49 suggère :

- Les températures moyennes et maximales sont intensément corrélées ( $r=0.87$ ,  $p<10^{-4}$ ), et plus généralement, la corrélation est très forte et bien représentée par une droite entre les trois indicateurs de température.

Pour la suite de l'analyse, même si la corrélation est moindre, il semble pertinent de ne conserver que la température minimale qui, sur un plan bio-écologique, devrait être la plus en relation avec l'activité des stomoxes.

- Une corrélation négative est mise en évidence entre l'humidité relative et la température.

- Cette corrélation est relativement faible pour la température minimale ( $r=-0.29$ ,  $p=0.04$ ).
- Enfin, le vent semble peu ou pas corrélé avec l'ensemble des autres variables météorologiques.

**Pour la suite de l'analyse, nous retiendrons la température minimale, l'humidité relative et la vitesse du vent comme variables explicatives de la densité apparente des stomoxes.**

### 2.3.3- Modélisation

- Modèle statistique utilisé

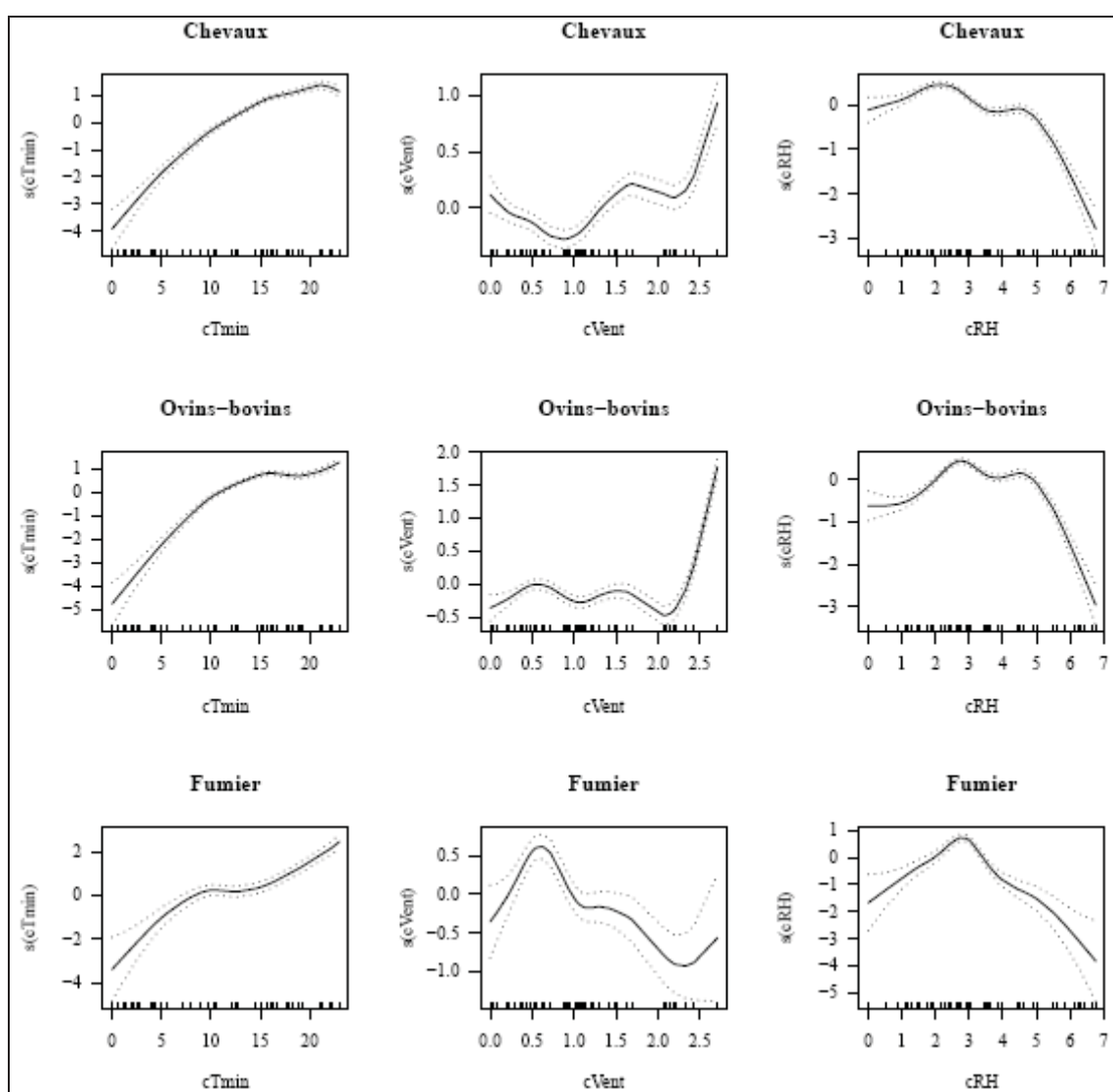


Figure 50 : Forme de la relation entre les variables explicatives météorologiques et le comptage des stomoxes (échelle log).



Les résultats (figure 50) montrent :

- une relation forte (grande amplitude sur l'axe y) et à peu près linéaire entre la température minimale et la densité apparente des stomoxes
- une relation est de faible amplitude entre vitesse du vent et densité apparente. De plus, elle est non linéaire et différente d'un site à l'autre. Tout semble donc indiquer que cette variable est sans relation avec la densité apparente des stomoxes.
- l'amplitude de la relation entre humidité relative et densité des stomoxes est modérée, mais plus forte que pour la vitesse du vent. Elle semble également non linéaire, avec un maximum entre -10 et 0 de la valeur centrée, et des valeurs plus faibles aux valeurs extrêmes de la distribution empirique de l'humidité relative.

Au bilan :

**La température minimale sous sa forme naturelle pour la modélisation est conservée. La vitesse du vent est éliminée. L'humidité relative est conservée, mais on la représente par un polynôme de degré 2.**

Alors que les densités apparentes non nulles sont assez bien ajustées par le modèle, une très forte variabilité des valeurs prédites est constatée pour les valeurs observées comme nulles (figure 51).

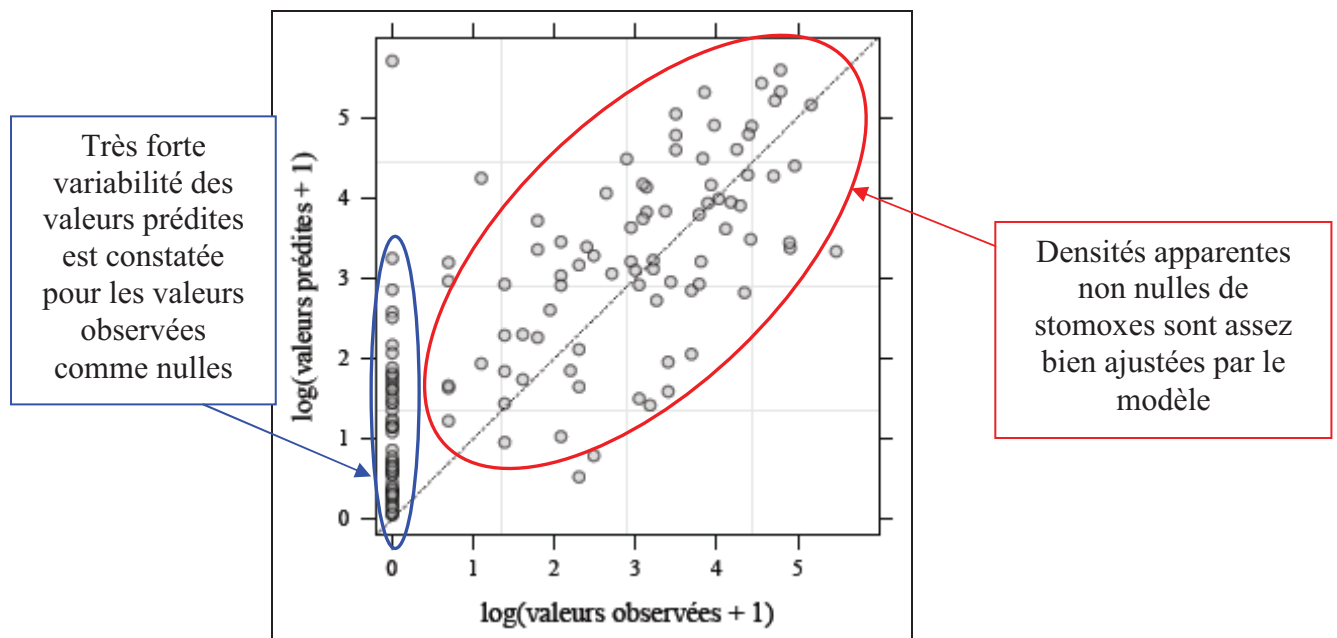


Figure 51 : Densité apparente observée et prédite avec le modèle binomial négatif des comptages de stomoxes.

- Surface de réponse

Pour faciliter l'interprétation des résultats du modèle, une représentation graphique sous forme de surface de réponse peut être envisagée pour chacune des modalités de la variable *Appat*.

Pour cela, on prédit la réponse moyenne sur une grille régulière de valeurs de la température minimale et de l'humidité relative. On retire cependant les valeurs moyennes prédites correspondant à des combinaisons de température et d'humidité relative situées hors du nuage de points observés.

On peut maintenant présenter les densités apparentes moyennes prédites par le modèle sous forme de graphique 3D (Figure 52).

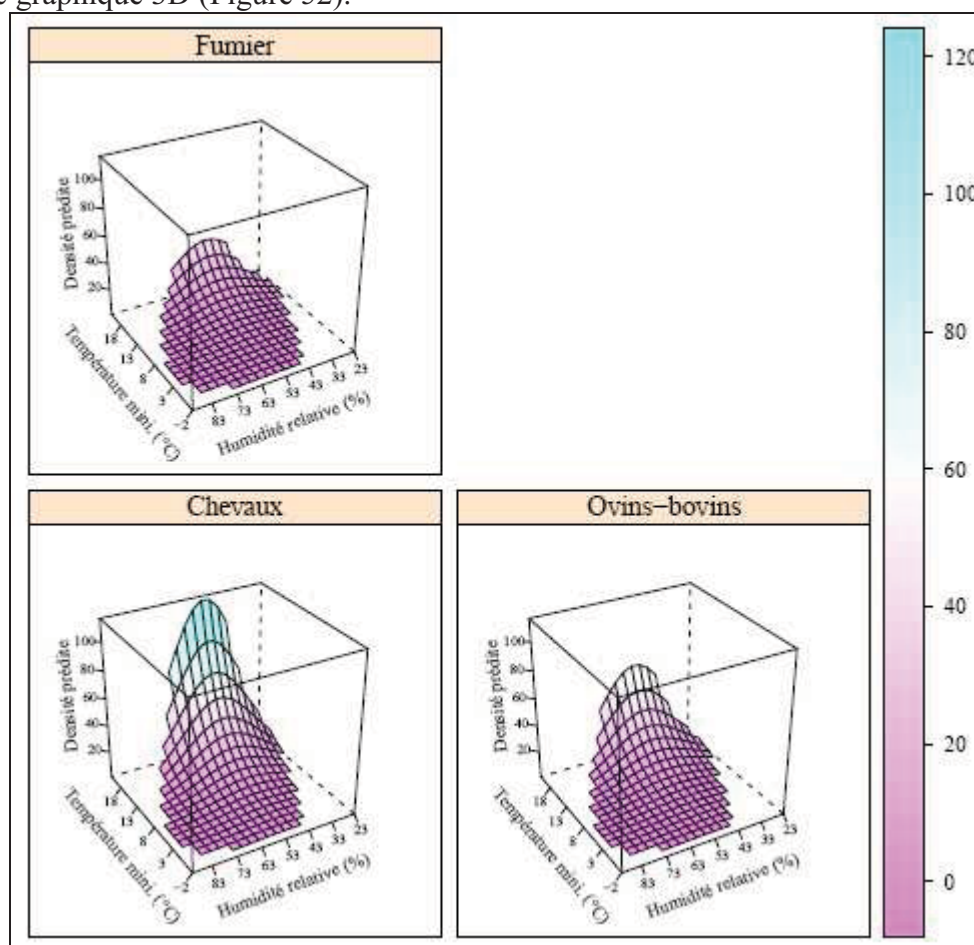


Figure 52 : Surfaces des densités apparentes moyennes prédites par le modèle binomial négatif de la densité apparente des stomoxes.

L'activité des stomoxes ne semble significative que pour des valeurs de la température minimale  $> 8^{\circ}\text{C}$  environ. Les valeurs basses ( $< 30\%$ ) et élevées ( $> 75\%$ ) de l'humidité relative sont associées à une activité faible de leur part. A ce propos, voir la figure 50, et la corrélation négative entre température minimale et humidité relative : de fortes températures minimales sont souvent associées à une humidité relative basse, et réciproquement.

Les surfaces de densité apparente prédites apparaissent fortement bombées pour les valeurs élevées de la température minimale, et des valeurs de l'humidité relative comprises entre 50 et 60%.

### 2.3.4- Comparaison des séries chronologiques prédites et observées

La comparaison de ces séries (Figure 53) établit de nombreuses similitudes, mais aussi quelques différences entre le modèle prédictif et le modèle descriptif.

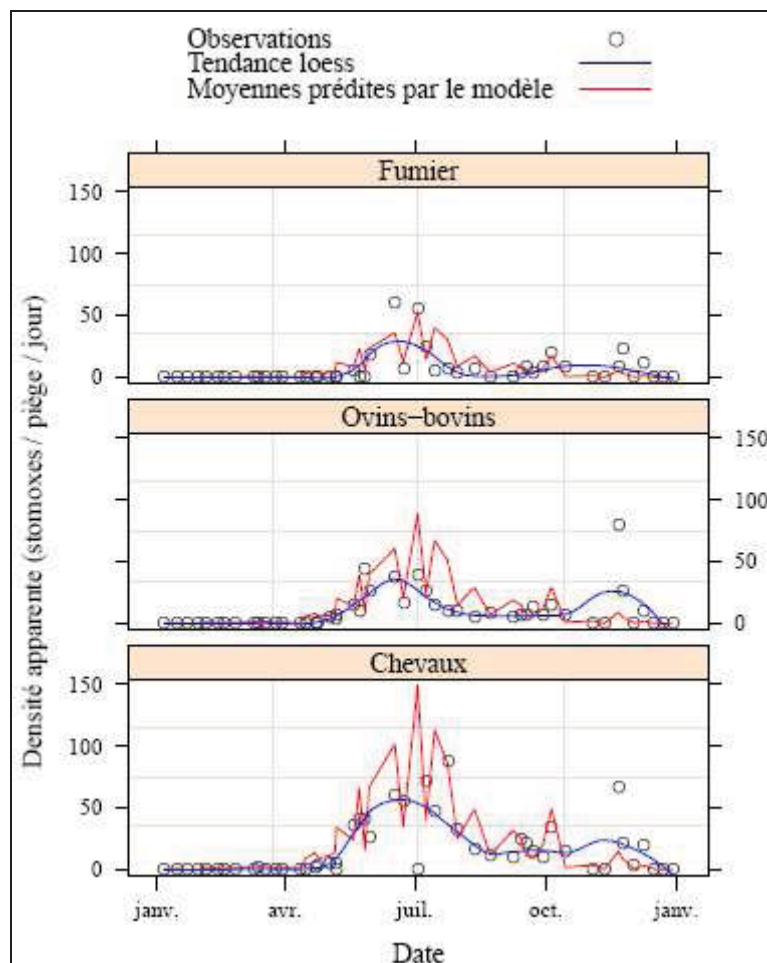


Figure 53 : Valeurs observées et prédites de la densité apparente des stomoxes

Le modèle prédictif correspond fréquemment à l'activité observée, notamment sur les sites situés près des animaux :

- absence d'activité avant le mois d'avril-mai dans les deux cas
- les périodes de début et fin d'activité sont correctement prédites par le modèle
- les premières captures prédites et observées sont réalisées à la même période
- augmentation de l'activité progressive correctement prédite par le modèle et les quantités de stomoxes capturés correspondent avec la prédiction
- la période d'activité la plus importante est prédite quasiment au moment où les captures sont les plus nombreuses (juin-début juillet)

Toutefois :

- la quantité de stomoxes capturés est souvent surestimée dans le modèle par rapport aux captures qui ont été réalisées
- la baisse d'activité prédite est plus tardive (septembre) par rapport à ce qui a été observé (août)
- la baisse d'activité est aussi plus progressive dans le modèle prédictif

- aucun rebond d'activité des stomoxes n'est prédit dans le modèle et cela dans tous les sites de captures, contrairement à ce qui a été observé sur le terrain

La température minimale et l'humidité relative relevées le jour des observations ont permis de prédire, avec ce jeu de données, le début et la fin de l'activité des stomoxes durant l'année 2009. Cependant, ces variables ne permettent pas de rendre compte correctement de l'activité observée entre ces bornes.

Après avoir étudié *Stomoxys calcitrans*, nous allons maintenant considérer deux autres espèces d'insectes que nous avons capturés en effectifs importants : les simulies (*Simulium*) ainsi que les mouches lécheuses (*Musca autumnalis*).

### 3- Dynamique des populations de *Simulium* et *Musca autumnalis* et facteurs de variation

#### 3.1- Les conditions climatiques

Dans ce paragraphe, les relations entre la température, l'humidité relative, la pluviométrie, la vitesse du vent et la dynamique des populations de *Simulium* et *Musca autumnalis* seront étudiées.

##### 3.1.1- L'influence de la température

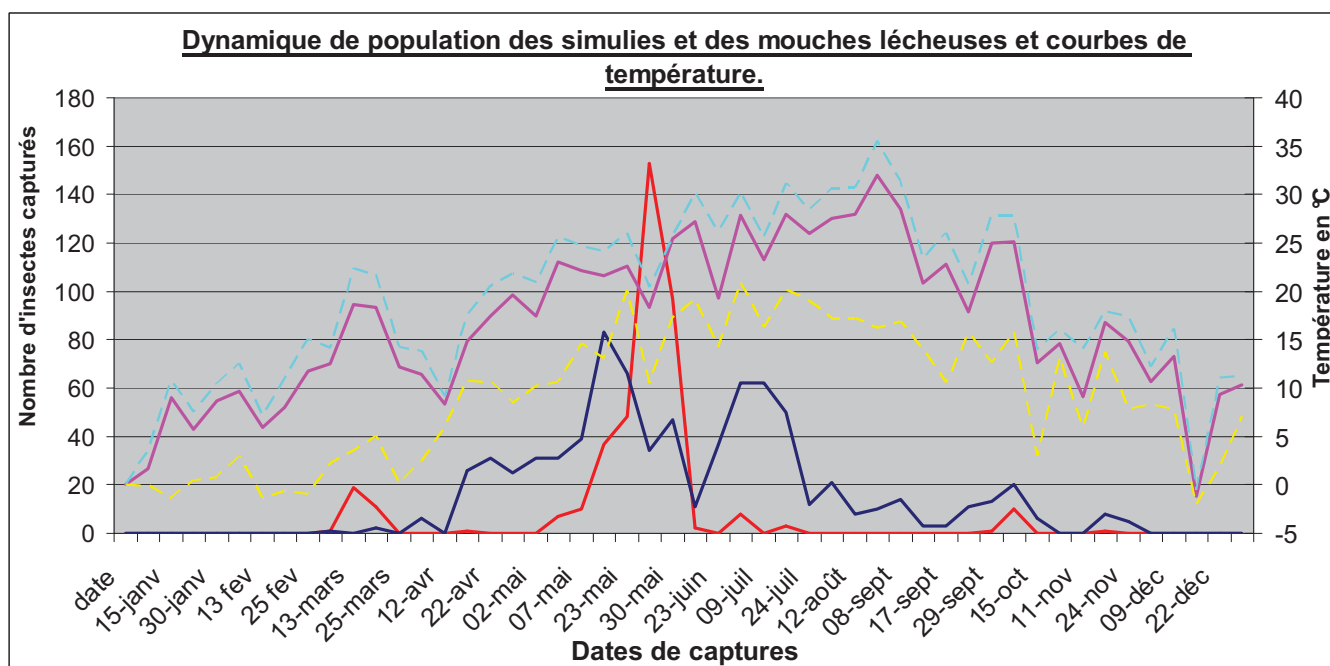


Figure 54 : Dynamique des populations de simulies et de mouches lécheuses (*Musca autumnalis* essentiellement) dans tous les pièges confondus au cours d'une année de captures et courbes de températures (maximales, minimales et moyennes)

- Nombre de simulies capturées
- Nombre de mouches lécheuses capturées
- Moyenne des températures
- Températures minimales
- Températures maximales

La figure 54 suggère que :

- aux mois de janvier et de février : aucun insecte n'a été capturé au cours de cette période. En ce qui concerne les températures sont toutes inférieures à 12°C jusqu'au 25 février.

- au mois de mars : les premières captures de simulies ont été réalisées parallèlement à une première augmentation des températures jusqu'à 18.6°C le 13 mars. Dans la seconde partie du mois, les températures diminuent comme l'activité apparente des simulies. A ce moment là, nous ne capturons pas encore de mouches lécheuses.

- au mois d'avril : Les températures augmentent à nouveau et assez rapidement : elles passent de 8.4°C le 12 avril à 19.6°C le 24 avril. Simultanément, nous commençons à réaliser les premières captures de *Musca autumnalis* : l'augmentation de l'activité de cette espèce est assez rapide. En ce qui concerne les simulies, aucune capture n'est enregistrée.

- au mois de mai : Les températures augmentent encore et atteignent 25.4°C. L'activité apparente des simulies connaît une croissance très rapide et très brutale. En effet, les effectifs capturés passent de 7 le 6 mai à 153 le 27 mai. Pour les mouches lécheuses, nous assistons aussi à une augmentation de l'activité apparente aussi, mais nettement moins importante que chez les simulies.

- au mois de juin : Les températures restent assez élevées (comprises entre 19.3°C et 27.2°C), à ce moment là une chute très importante du nombre de mouches et de simulies capturées est observée.

- au mois de juillet : Les températures sont toujours élevées mais restent inférieures à 28°C. Les simulies, ne sont que très rarement capturées (voire plus du tout). En effet, elles ont disparu de nos pièges comme elles sont apparues : en quelques jours seulement. Pour les mouches lécheuses, cette période correspond à un rebond d'activité, le nombre d'insectes capturés est de 60 mi juillet (population multipliée par 6 par rapport au mois de juin).

- au mois d'août : Les températures sont très élevées et dépassent toutes les 28°C. En ce qui concerne l'activité apparente des mouches lécheuses, c'est la période où nous avons constaté une chute très importante des captures. Aucune capture de simulie n'est signalée

- aux mois de septembre, octobre, novembre et début décembre : Les températures chutent peu à peu et de manière assez progressive, mais restent quasiment toutes supérieures à 10°C. L'activité apparente des deux espèces est très peu élevée : les mouches lécheuses ne sont capturées qu'en très faible quantité (<20 individus), aucune capture de simulie n'est à signaler.

- seconde quinzaine de décembre : Les températures chutent assez brutalement et passent notamment sous la barre de zéro. Nous ne capturons plus aucun insecte jusqu'à la fin de l'année.

**C'est au mois de mars que les premières captures de simulies sont associées à une hausse des températures, puis redeviennent nulles suite à une baisse de celles-ci. Au mois d'avril, les températures augmentent à nouveau progressivement à ce moment on constate l'émergence des premières mouches lécheuses, mais les simulies sont absentes des pièges.**

**Il faut attendre le mois de mai avec des températures voisines de 20-25°C pour observer une très forte activité apparente de *Simulium*. Ce pic d'activité des simulies est brutalement suivi d'une chute des piégeages au mois de juin : période où les températures sont supérieures à 25°C. Quant aux mouches lécheuses, c'est à cette période que l'on comptabilise le plus grand nombre de captures. La baisse d'activité de *Musca autumnalis* n'a lieu qu'en août.**

**Les mois suivants ne révèlent que très peu d'activité apparente de ces insectes quelques soient les fluctuations de températures que l'on peut observer. Puis enfin, à partir de mi décembre, suite à des températures négatives, nous ne capturons définitivement plus aucun insecte.**



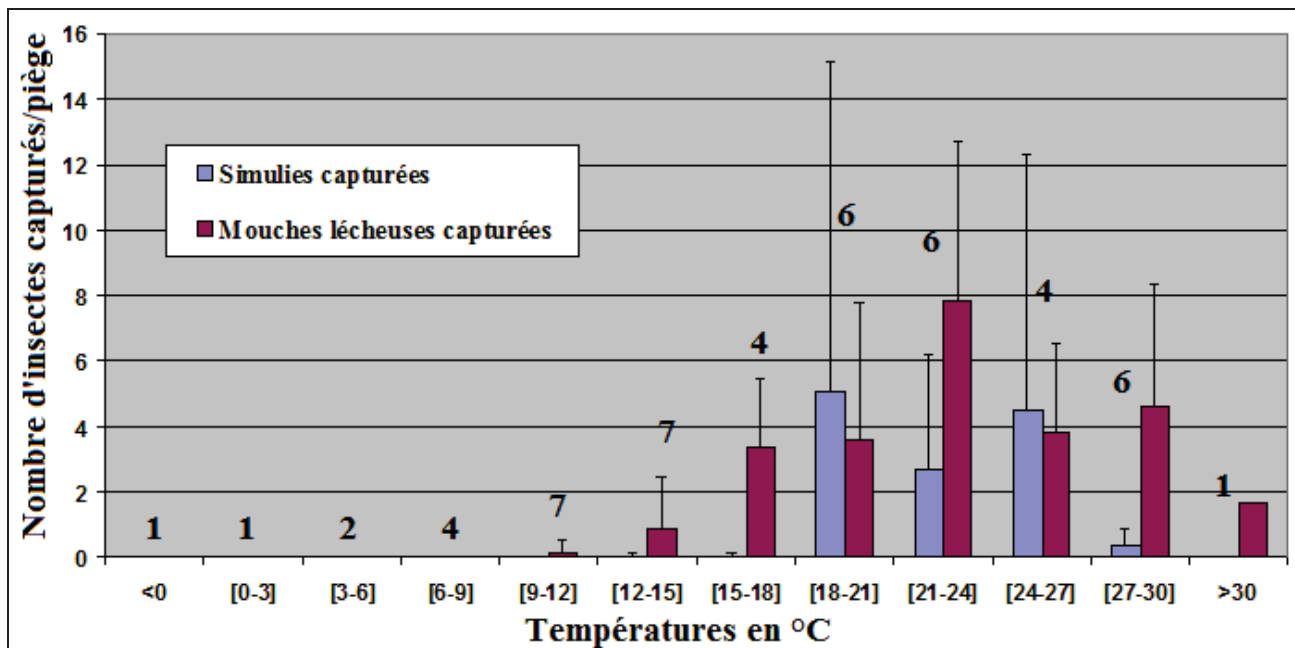


Figure 55 : Activité apparente par piège de *Simulium* et *Musca autumnalis* pour les intervalles de températures avec l'écart type. (en gras, le nombre de piègeages qui correspondent à un intervalle de température défini)

Les captures de mouches lécheuses sont plus abondantes que celles de simulies (Figure 55). D'autre part, les simulies ne sont capturées que dans la gamme de températures 18 à 27°C alors que les mouches lécheuses ont une activité mesurable à partir de 15°C et jusqu'à 30°C voire plus.

➤ Températures < 9°C : Dans cette gamme de températures, l'activité apparente des insectes capturés est nulle :

- Pour les températures < 6°C, nous n'avons capturé aucune simulie ni lécheuse, mais les piègeages ont été peu nombreux (entre 1 et 2).
- Pour les températures comprises entre [6-9] °C, il n'y a toujours pas d'insecte, mais cette fois, le nombre de piègeages a été plus important (4).

#### ❖ Pour les simulies :

➤ Températures [9-18] °C : Aucune ou très peu de simulies sont capturées dans cet intervalle de températures. De plus, le nombre de piègeage n'est pas négligeable (entre 4 et 7).

➤ Températures comprises entre [18-27] °C : Les captures significatives de simulies sont réalisées dans cet intervalle de température. L'activité apparente des simulies a brutalement augmenté entre les deux intervalles de température [15-18] °C et [18-21] °C, en effet le nombre d'individus est passé de 0.04 à 5.08 individus moyens par piège.

Il y a donc d'importantes disparités du nombre captures pour les différents jours de piègeages, au sein de chaque intervalle.

➤ Températures comprises entre [27-30] °C : Le nombre de simulies capturées a fortement diminué pour cet intervalle de températures par rapport aux trois précédents. On passe de 4.5 pour [24-27] °C à 0.36 individus en moyenne par piège pour [27-30] °C malgré

un nombre de piégeages égal à 6 avec de faibles disparités dans le nombre d'insectes capturés au cours des 6 piégeages.

➤ Températures > 30°C : Il n'y a eu qu'un seul piégeage dans cet intervalle et aucune similie n'a été capturée.

❖ **Pour les mouches lécheuses :**

➤ Températures [9-24] °C : C'est à partir de 9°C que nous capturons les premières *Musca autumnalis*. Plus la température augmente au sein de cet intervalle, plus les captures de mouches lécheuses sont importantes. En effet, on passe de 0.14 individus moyens par piège pour [9-12] °C à 7.8 pour [21-24] °C. Cela représente une activité apparente par piège 55 fois plus élevée entre ces deux intervalles de température. En ce qui concerne les écarts type, ils sont compris entre 2 et 28.

➤ Températures comprises entre [24-30] °C : On constate que *Musca autumnalis* est toujours présente dans nos pièges et en quantité assez importante (entre 4 et 5 individus capturés par piège), même si le nombre de mouches lécheuses capturées a diminué par rapport à l'intervalle précédent [21-24] °C. L'écart type est compris entre 3 et 4, il n'y a donc pas de très grandes fluctuations dans le nombre de similies capturées au cours de ces 6 piégeages successifs. .

➤ Températures > 30°C : Il n'y a eu qu'un seul piégeage dans cet intervalle cette espèce est encore active pour de telles températures.

**Aucune activité de ces deux espèces d'insectes n'est détectée avant 9 °C.**

**En ce qui concerne les mouches lécheuses, l'activité apparente augmente de manière assez progressive dans l'intervalle [9-24] °C, puis celle-ci diminue progressivement jusqu'à 30°C. *Musca autumnalis* est encore présente à des températures >30°C. L'intervalle de température qui enregistre le nombre le plus important de captures est [21-24] °C.**

**En ce qui concerne les similies, celles-ci ne sont présentes que dans un intervalle plus restreint de températures [18-27] °C. De plus, leur apparition ainsi que leur disparition est assez brutale.**

### 3.1.2- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie

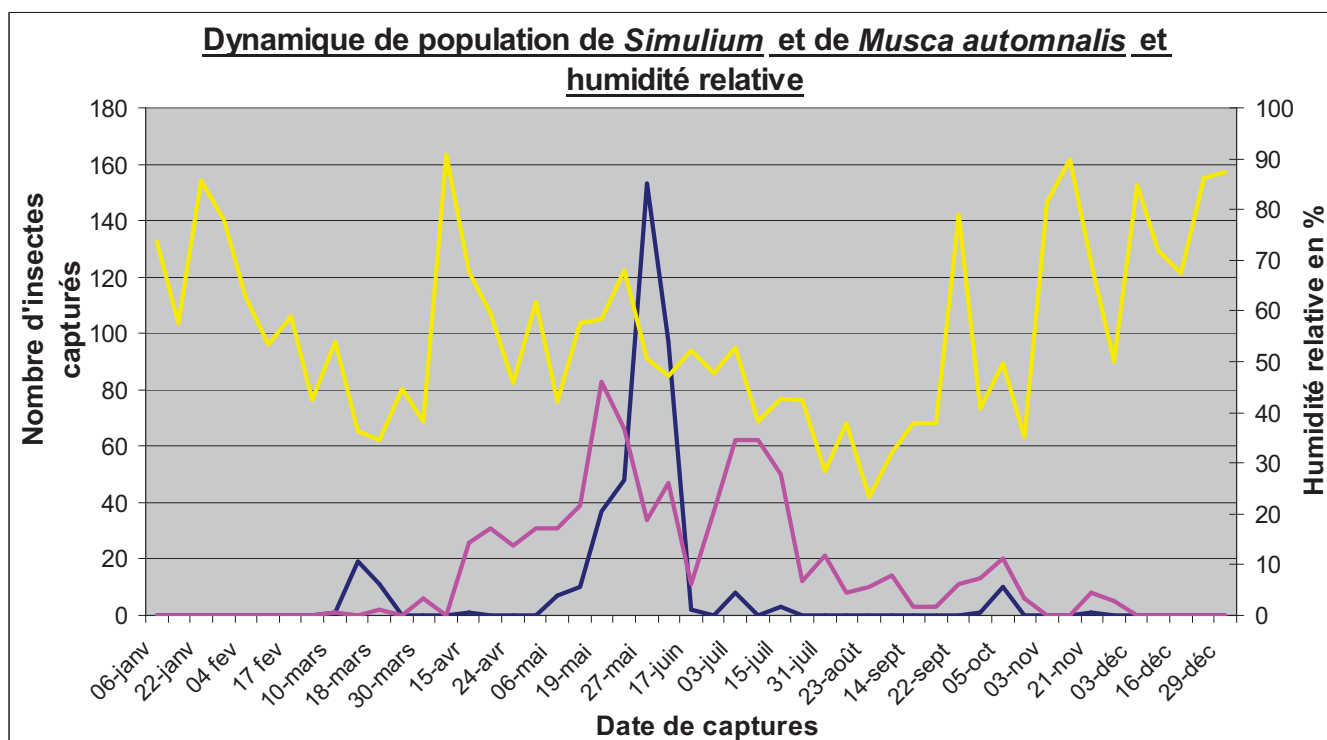
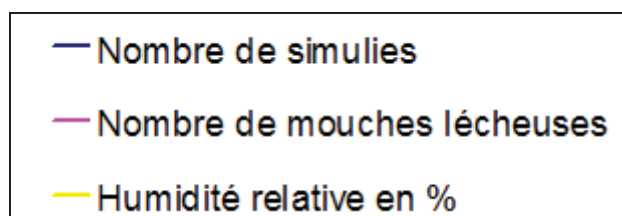


Figure 56 : Dynamique de population de *Simulium* et *Musca autumnalis* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbe de l'humidité relative



La figure 56 suggère que :

- au mois de mars : Nous constatons une brève activité des simules parallèlement à une baisse de l'humidité relative par rapport au mois précédent (35% au milieu du mois de mars).

- au mois d'avril : une très forte augmentation de l'humidité relative est constatée (90% le 12 avril) corrélée avec la forte pluviométrie au cours de ce mois (141mm). Simultanément, l'augmentation progressive de l'activité apparente de *Musca autumnalis* est observée. Aucune simule n'est capturée au mois d'avril.

- au mois de mai : L'humidité relative diminue par rapport au mois précédent mais reste à des niveaux assez importants (entre 50% et 70%). La pluviométrie a beaucoup diminué par rapport au mois précédent (48 mm seulement). C'est au cours de cette période de l'année que nous capturons le plus de mouches lécheuses ainsi que de simules.

- au mois de juin : rappelons que c'est au cours de cette période que l'on assiste à une chute drastique de l'activité apparente des simules et des mouches lécheuses, alors que c'est à cette période que les captures de stomoxes étaient les plus abondantes. La pluviométrie du

mois de juin a encore diminué par rapport au mois précédent et les valeurs de l'humidité relative baissent encore mais restent tout de même comprises entre 40% et 50 %.

- au mois de juillet : L'humidité relative baisse encore jusqu'à 28.5% le 31 juillet. Les simulies ne sont plus capturées, néanmoins c'est à ce moment là que l'on voit réapparaître une légère activité de *Musca autumnalis*.

- au mois d'août : C'est à cette période là que nous enregistrons l'humidité relative la plus basse de l'année. En effet, nous avons deux valeurs < 25% : ce sont des mois très secs. De plus, la pluviométrie est faible aussi : 21 mm seulement. Il est important de faire remarquer qu'il y a eu 4 mois consécutifs avec une pluviométrie relativement faible. Nous pouvons en effet voir sur l'histogramme du site de Météo France que les hauteurs mensuelles de précipitation sont inférieures aux normales mensuelles depuis le mois de mai. En ce qui concerne l'activité des insectes, c'est une période où nous constatons une chute très importante des captures de *Musca autumnalis*. Les simulies sont toujours absentes.

- aux mois de septembre, octobre, novembre et début décembre : L'humidité relative remonte brutalement (79% le 22 septembre). Néanmoins, les captures restent très faibles. Ce n'est pas du tout le même cas de figure que les stomoxes. Toutefois, on peut aussi voir que les deux légers rebonds d'activité des simulies et des mouches lécheuses sont aussi associés aux deux pics d'humidité relative. En effet, le 5 octobre, nous capturons 20 mouches lécheuses et 10 simulies ; ce qui est nettement plus que les semaines précédentes. Or, cet événement se produit tout de suite après la forte augmentation d'humidité relative observée le 22 septembre. Nous observons un phénomène similaire au mois de novembre.

- seconde quinzaine de décembre : Nous ne capturons plus aucun insecte jusqu'à la fin de l'année. Toutefois, l'humidité relative reste très importante.

**Avant le mois d'avril, il n'y a pas ou que très peu d'insectes capturés quelque soit l'importance de l'humidité relative, excepté toutefois une faible activité des simulies au mois de mars.**

**L'augmentation importante de l'humidité relative associée à de fortes précipitations en avril et en mai est à corrélérer avec une forte croissance de l'activité apparente des mouches lécheuses et des simulies. Celle-ci est d'abord vérifiée par les mouches lécheuses au mois de avril-mai, puis ensuite par les simulies à la fin du mois de mai.**

**Par la suite, une baisse de l'humidité relative et des précipitations est associée à une chute de l'activité apparente des deux espèces d'insectes. Ici encore il y a un décalage des deux espèces : les simulies disparaissent des piègeages dès le mois de juin, puis cela concerne les mouches lécheuses fin juillet et août.**

**Le mois d'août enregistre une humidité relative très basse ce qui se traduit par une très faible activité des mouches lécheuses.**

**Enfin, les mois de novembre et décembre enregistrent des précipitations plus importantes ainsi qu'une hausse de l'humidité relative mais non suivie d'un rebond d'activité. Toutefois, les pics d'activité des insectes succèdent toujours les augmentations de l'humidité relative. Enfin, au cours de ces mois d'automne, l'activité des simulies est très faible ou nulle, alors que *Musca autumnalis* reste présente jusque début décembre.**

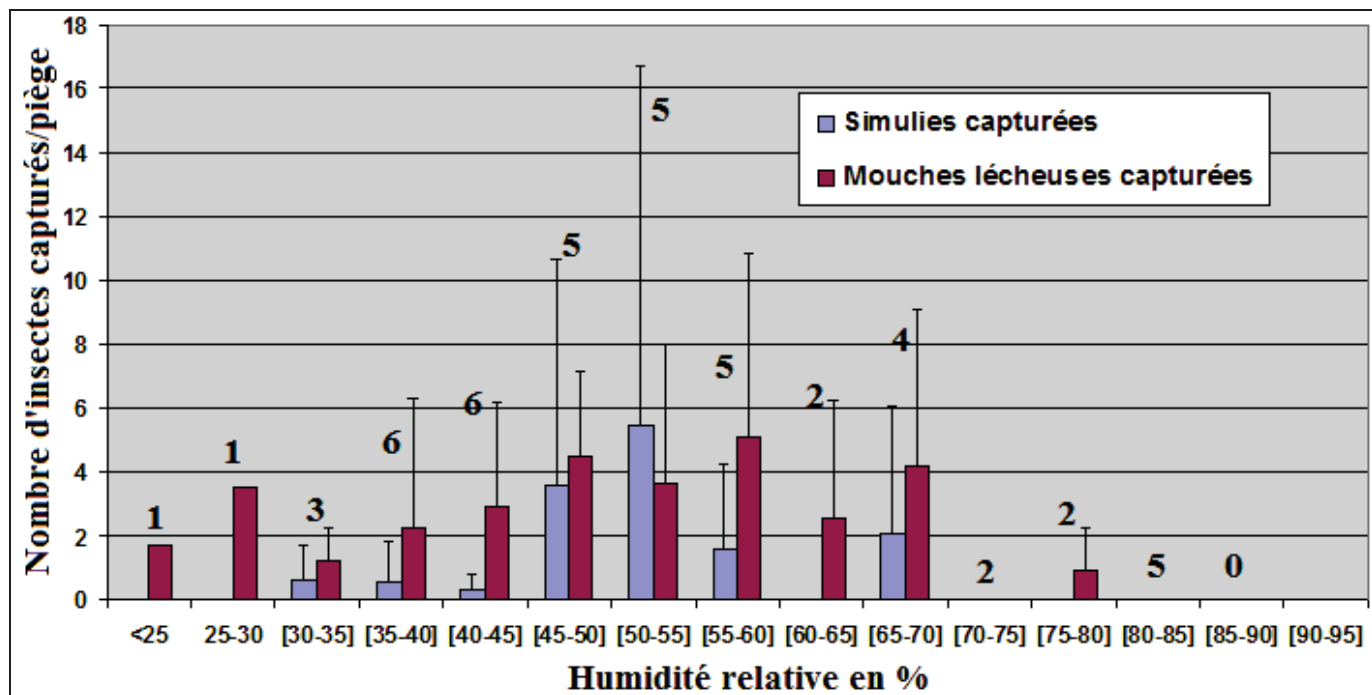


Figure 57 : Activité apparente de *Simulium* et *Musca autumnalis* par piège pour les intervalles d'humidité relative avec écart type.

La figure 57 suggère que :

- les mouches lécheuses sont présentes dans un intervalle d'humidité relative plus étendu que celui des simulies, et souvent en quantité plus importante.

#### ❖ Pour les mouches lécheuses :

➤ Humidité relative < 30 % : Il n'y a eu qu'un seul piégeage pour l'humidité relative < 25 % et pour l'intervalle [25-30] %, ce qui est relativement peu. Toutefois, pour cet unique jour de capture (pour les deux intervalles considérés ici), les mouches lécheuses ont été capturées en un nombre non négligeable :

- 1.66 mouche lécheuses/piège pour l'intervalle <25%
- 3.5 mouches lécheuses/piège pour l'intervalle [25-30] %.

➤ [30-60] % d'humidité relative : Plus l'humidité relative augmente au sein de cet intervalle, plus le nombre de mouches lécheuses capturées est élevé : 1,2 mouche lécheuse capturée en moyenne par piège sur l'intervalle [30-35] %, 2.94 pour l'intervalle [40-45] % et 5.1 pour [55-60] %. Néanmoins, les écarts types sont tout de même compris entre 20 et 30, ce qui témoigne de variations assez fortes du nombre d'insectes capturés en fonction des jours de piégeages.

➤ [60-65] % d'humidité relative : On observe une baisse du nombre des captures moyennes par piège. En effet, on passe de 5.1 mouches lécheuses pour l'intervalle précédent à 2.6 seulement pour celui-ci. Enfin, il est important de signaler qu'il n'y a que deux piégeages qui ont été effectués pour cet intervalle.

➤ [65-70] % d'humidité relative : pour cet intervalle, une activité apparente assez élevée des mouches lécheuses est observée. En effet, 4.1 individus en moyenne/piège ont été capturés pour les 4 piégeages effectués dans ces conditions Il est important de remarquer

qu'au cours de ces 4 piégeages, le nombre d'insectes capturés a énormément varié car l'écart type est de 29.4.

➤ Humidité relative > 70% : très peu d'insectes ont été capturés dans cet intervalle : une seule *Musca autumnalis* !. L'activité apparente est donc très réduite malgré un nombre de piégeages compris entre 2 et 5 pour les intervalles compris entre 70 et 85%.

#### ❖ Pour les simulies :

➤ Humidité relative < 30 % : aucune simulie n'a été capturée pour cet intervalle d'humidité..

➤ [30-45] % d'humidité relative : quelques rares simulies sont piégées moins de 0.6 individus en moyenne par piège pour 6 piégeages. En ce qui concerne les écarts type, ils sont compris entre 6.3 et 8.5.

➤ [45-55] % d'humidité relative : L'activité apparente de ces insectes est la plus importante avec 3.5 et 5.4 individus en moyenne/piège dans cet intervalle. L'augmentation du nombre de simulies capturées est rapide et assez brutale. En effet, on passe de 0.3 simulies capturées/piège pour l'intervalle [40-45] % à 3.5 simulies/piège pour l'intervalle [45-50] % . Les écarts type ne sont pas très importants.

➤ [55-70] % d'humidité relative : On observe une baisse rapide du nombre des captures importante. En effet, on passe de 5.4 simulies/piège pour l'intervalle précédent à 1.5 pour [55-60] % puis 0 pour [60-65] %. Puis dans l'intervalle [65-70] %, nous assistons à une légère augmentation de l'activité de *Simulium* : 2 individus/piège.

➤ Humidité >70% : Plus aucune simulie n'est capturée pour de telles valeurs de l'humidité relative.

**Au dessous de 30 % d'humidité relative, quelques rares mouches lécheuses sont capturées. L'activité des simulies est nulle.**

**Les individus de l'espèce *Musca autumnalis* sont capturés sur un intervalle d'humidité relative assez important. Il y a une augmentation progressive et régulière de l'activité apparente dans l'intervalle [30-50] %. Les captures les plus importantes se font au sein de l'intervalle [45-60] %. Puis l'activité apparente diminue dans l'intervalle [60-80] %. Plus aucune mouche n'a été capturée lorsque l'humidité dépassait les 80%.**

**L'intervalle d'humidité relative où sont réalisées les captures significatives est beaucoup plus restreint pour les simulies. Les simulies sont peu capturées dans l'intervalle [30-45] %, mais les effectifs sont nettement plus nombreux pour l'intervalle [45-60] %. Pour une humidité >70%, plus aucune simulie n'est capturée.**



### 3.1.3- L'influence de la combinaison des deux variables température et humidité relative pour *Simulium* spp.

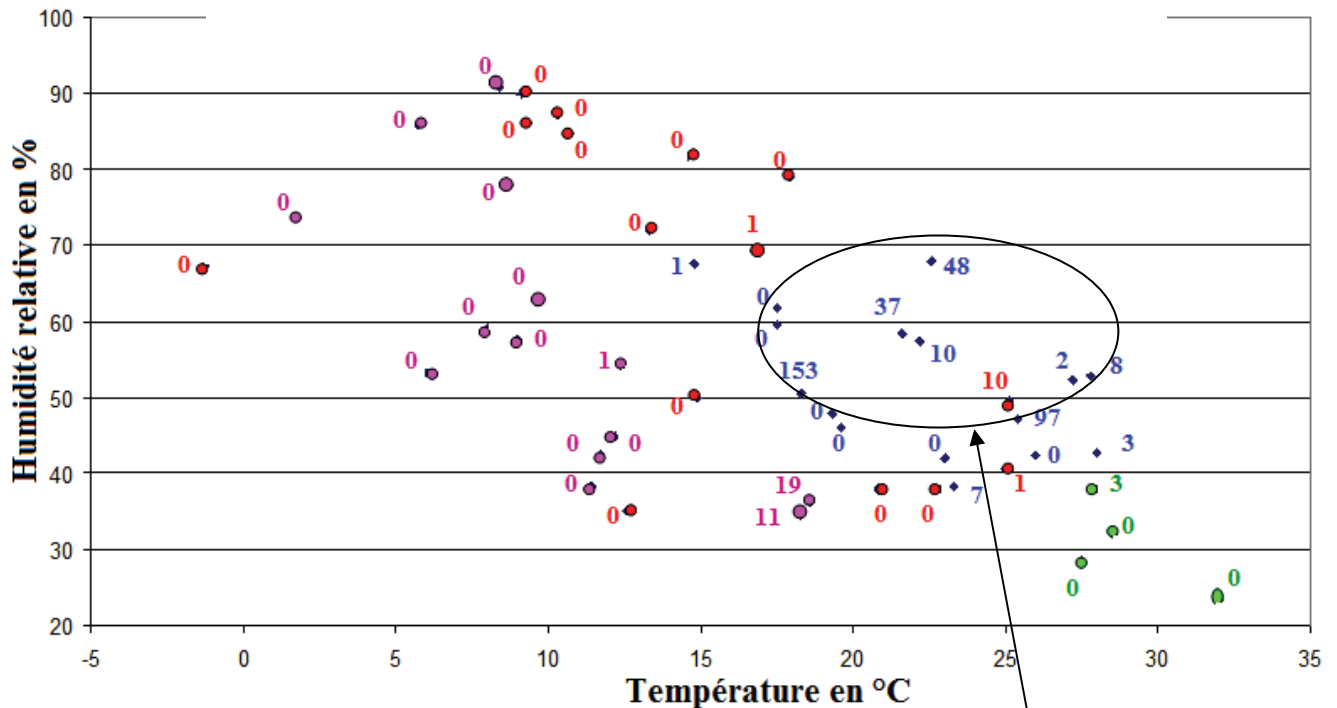


Figure 58 : Dynamique des populations de *Simulium* en fonction de la température moyenne et de l'humidité relative.

- De janvier à mi avril
- De mi avril à juillet
- Fin juillet à début septembre
- Septembre à décembre

Combinaisons température-humidité relative les plus favorables à l'activité apparente des simulies

La figure 58 suggère :

#### ➤ Du mois de janvier à mi-avril

Les températures moyennes sont inférieures à 15°C. Quelle que soit la valeur de l'humidité relative, aucun ou un seul insecte a été capturé (pour 13 piégeages). Pour les deux seules captures effectuées à cette période pour lesquelles la température est de 18°C, les captures s'élèvent à 11 et 19 individus.

#### ➤ De mi-avril au mois de juillet

Les températures moyenne sont toutes supérieures à 25°C et l'humidité relative comprise [40-70] %. Il y a entre 0 et 153 simulies capturées par jour de piégeage :

- 4 captures avec plus d'une quarantaine de simulies capturées à chaque fois
- 12 captures avec moins d'une dizaine de simulies capturées

C'est à cette période de l'année que le couple températures-humidité relative est le plus favorable pour des captures abondantes et constantes de *Simulium*.

➤ De fin juillet à début septembre

Les températures moyennes sont supérieures à 27°C et l'humidité relative est très basse (comprise entre 20 et 40%). Les 4 piégeages effectués pour de telles conditions météorologiques suggèrent une forte diminution de l'activité apparente des simulies.

➤ Du mois de septembre au mois de décembre

Il y a une grande disparité dans les températures moyennes et des valeurs de l'humidité relative au cours de cette période de l'année. Une seule capture comptabilise 10 individus avec un couple température de 25°C et une humidité relative de 50%. Tous les autres piégeages n'ont capturé aucun ou un insecte.

**L'activité apparente des simulies n'est significative que pour des températures comprises entre 17 et 27°C associées à une humidité relative comprise entre 45-65%. Cela correspond quasiment qu'avec une période allant de mi-avril à juillet. En dehors de ces conditions météorologiques, les captures sont nulles.**

**3.1.4- - L'influence de la combinaison des deux variables température et humidité relative pour *Musca autumnalis***

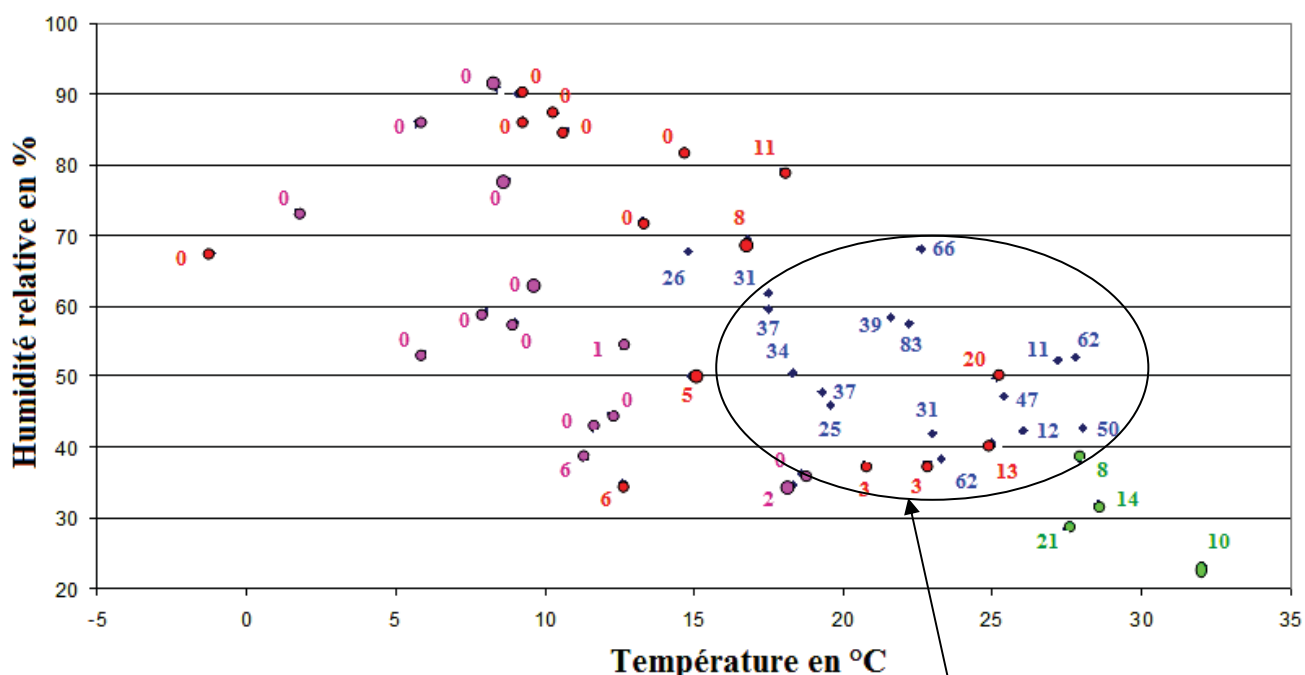


Figure 59 : Dynamique des populations de *Musca autumnalis* en fonction de la température moyenne et de l'humidité relative.

- De janvier à mi avril
- De mi avril à juillet
- Fin juillet à début septembre
- Septembre à décembre

Combinaison température et humidité relative la plus favorable à l'activité apparente des mouches lécheuses

La figure 59 suggère :

➤ Du mois de janvier à mi-avril

Les températures moyennes sont inférieures à 15°C. Quelle que soit la valeur de l'humidité relative, aucun ou un seul insecte a été capturé (pour 15 piégeages).

➤ De mi-avril au mois de juillet

Les températures moyenne sont toutes supérieures à 25°C et l'humidité relative comprise [40-70] %. Il y a entre 25 et 83 simulies capturées par jour de piégeage. De plus, les captures sont assez homogènes d'un jour de piégeage à un autre. C'est à cette période de l'année que le couple température-humidité relative est le plus favorable pour des captures abondantes de *Musca autumnalis*.

➤ De fin juillet à début septembre

Les températures moyennes sont supérieures à 27°C et l'humidité relative est très basse (comprise entre 20 et 40%). Les 4 piégeages effectués pour de telles conditions météorologiques suggèrent une diminution de l'activité apparente des mouches lécheuses, mais moins importante par rapport aux deux espèces précédentes.

➤ Du mois de septembre au mois de décembre

Il y a une grande disparité dans les températures moyennes et des valeurs de l'humidité relative au cours de cette période de l'année. Les captures des mouches lécheuses peuvent être classées en deux catégories :

- captures où la températures > 13°C : quelle que soit la valeur de l'humidité relative, le nombre de mouches capturées est toujours de quelques individus.
- captures où la température < 13°C : aucune mouche n'a été capturée

**L'activité apparente des mouches lécheuses n'est significative que pour des températures comprises entre 15 et 28°C associées à une humidité relative comprise entre 35-70%. Cela est vrai aussi bien pour le printemps que pour l'automne. En dehors de ces conditions météorologiques, les captures sont nulles.**

#### 4.1.5- L'influence de la force du vent

Pour chaque jour de piégeage, nous avons considéré une force du vent moyenne calculée de la même manière que pour la température ou l'humidité. Nous avons choisi de créer des intervalles de vitesse du vent de 2km/h, et avons regroupé les captures réalisées dans les mêmes conditions. Les calculs ont été faits de la même façon que précédemment. Le numéro en gras correspond au nombre de piégeages réalisés dans ces conditions météorologiques .

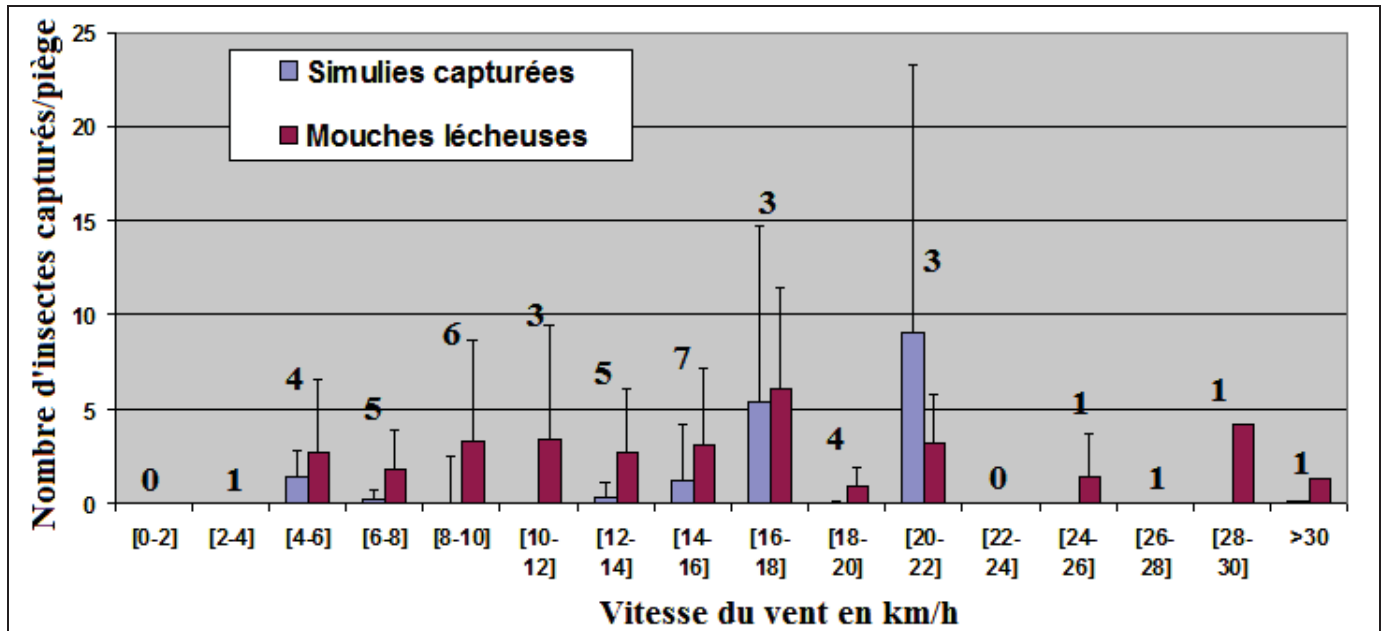


Figure 60 : Activité apparente par des simulies et des mouches lécheuses par piège par intervalle de vitesse du vent avec écart type.

La vitesse du vent - tout au moins dans la gamme de vitesse considérée - ne semble pas influencer significativement sur l'activité apparente des simulies ou des mouches lécheuses.

##### ❖ Pour les mouches lécheuses :

L'activité apparente de *Musca autumnalis* est similaire quelle que soit la vitesse du vent. Le nombre de mouches lécheuses capturées est de 3 pour l'intervalle [4-16] km/h. Pour les autres intervalles, il y a des variations qui sont comprises entre 1 et 6 mouches capturées. En effet, beaucoup de vent ne semble pas gêner l'activité de ces insectes (4 individus capturés en moyenne par piège pour l'intervalle [28-30] km/h) et l'absence de vent ne semble pas non plus être vraiment propice à ceux-ci (moins de 2 individus en moyenne capturés par piège pour l'intervalle [6-8] km/h).

##### ❖ Pour les simulies:

L'activité apparente de *Simulium* est relativement peu importante dans l'intervalle [6-18] km/h. En effet, l'effectif moyen de simulies capturées/piège est d'un individu seulement. Par la suite, nous constatons qu'il y a deux intervalles de vent où l'effectif moyen capturé est nettement plus important : 5.4 individus capturés/piège pour [16-18] km/h et 9 individus capturés/piège pour [20-22] km/h. Pour un vent supérieur à 22 km/h, nous ne capturons plus de simulies.

**La vitesse du vent (tout au moins dans la gamme considérée) ne semble pas moduler l'activité de *Musca autumnalis* ou des simulies.**

### 3.2- La proximité de différentes espèces hôtes.

Pour plus de clarté, nous présenterons les courbes pour les simulies et pour les mouches lécheuses séparément.

#### 3.2.1- Pour les simulies

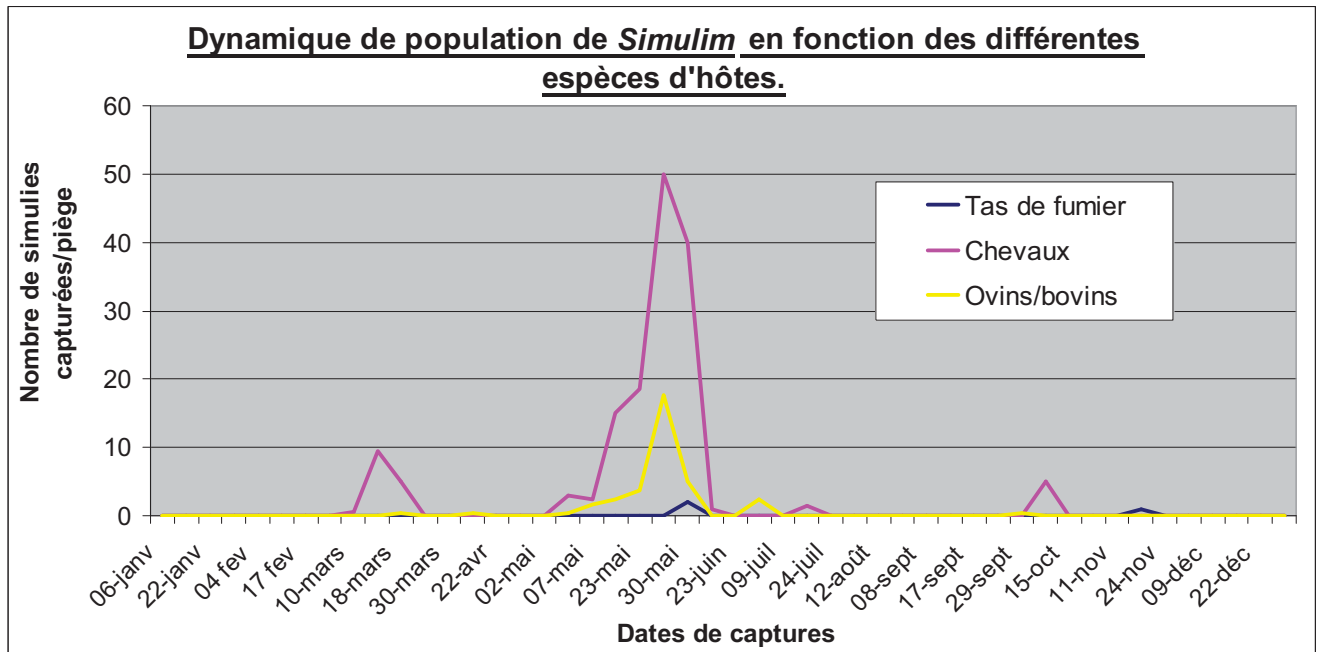


Figure 61 : Dynamique de population de *Simulium* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année de captures.

Les pièges placés à proximité des chevaux capturent plus de simulies que ceux placés à proximité des ovins/bovins (Figure 61). Quant au piège du tas de fumier, il ne capture presque aucun insecte.

Il n'y a qu'un seul pic d'activité apparente au cours de l'année (mois de mai et juin) et cela est vrai pour les trois emplacements différents.

Une dizaine de simulies ont été capturées par piège mais uniquement sur le site situé à proximité des chevaux. Cette activité apparente, modérée, a été très ponctuelle car elle n'a duré qu'un mois.

Après un mois d'avril marqué par l'absence de piégeage de simulies, c'est au mois de mai que l'activité apparente de ces insectes s'est montrée la plus intense pour les pièges situés près des chevaux et des bovins/ovins. Aucune simulie n'a été capturée dans le piège-fumier.

En quantité d'individus capturés, les pièges des chevaux ont capturé 5.5 fois plus de simulies (50 captures/piège le 27 mai) que les pièges des ovins/bovins (18 captures/piège le 27 mai). Par la suite, l'activité apparente des simulies mesurée dans nos pièges est nulle ou négligeable.

**L'activité apparente des simulies est très courte dans l'année et centrée sur le mois de mai principalement. Les pièges situés à proximité des chevaux ont contribué le plus aux captures suivis par les pièges des ovins/bovins dans une moindre mesure. Le reste de l'année, aucune activité substantielle n'a été détectée dans les pièges Vavoua.**

### 3.2.2- Pour les mouches lécheuses

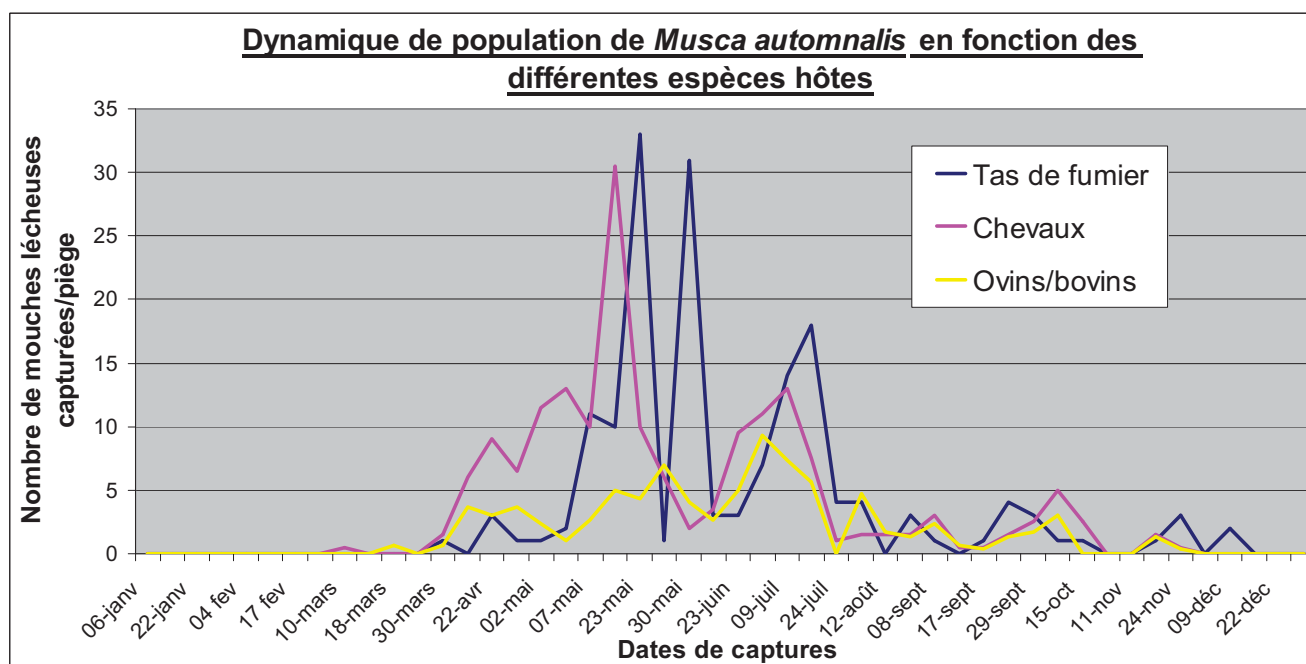


Figure 62 : Dynamique de population de *Musca autumnalis* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année.

L'activité apparente de *Musca autumnalis* est très différente de celle des simuliés (Figure 62). Pour cette espèce, les captures sont enregistrées dans les trois types d'emplacement de pièges même si les pièges à proximité des ovins/bovins semblent moins attirer ces insectes. De plus, la période d'activité est beaucoup plus large que précédemment : elle débute au mois d'avril et se termine en décembre.

- au mois de janvier, février et mars : Aucune mouche lécheuse n'est capturée dans aucun des pièges.

- au mois d'avril : C'est au cours de cette période que l'on assiste à une légère augmentation de l'activité apparente de ces insectes. Cela ne concerne principalement que les pièges situés à proximité des chevaux (pièges 1 et 2) et des ovins/bovins (pièges 3-4-5) uniquement. Le piège du tas de fumier ne capture que très peu d'individus. L'augmentation du nombre de *Musca autumnalis* est simultanée pour les deux emplacements, mais très rapidement (au bout de 15 jours seulement) les captures sont plus nombreuses pour les pièges 1 et 2.

- au mois de mai : C'est au cours de ce mois de l'année que l'activité apparente des mouches lécheuses devient vraiment importante.

- Pour les pièges 1 et 2, le nombre de mouches capturées augmente rapidement à partir de mi mai et 61 individus sont piégés le 19 mai ; soit la capture la plus importante de l'année. Puis dans la seconde quinzaine de mai, une chute brutale des *Musca autumnalis* capturées est enregistrée.

- Pour les pièges des ovins/bovins, le nombre de mouches capturées est nettement moins élevé que pour les pièges chevaux et le piège fumier.

- Enfin, c'est en mai que l'on enregistre l'activité apparente la plus importante pour le piège situé à proximité du tas de fumier. D'ordinaire, les pièges situés à cet endroit ne capturent que très peu d'individus par rapport aux deux autres emplacements. Or au cours de



ce mois, les captures sur ce site sont plus importantes que celles des pièges 3-4-5 et aussi importantes que celles enregistrées dans les pièges 1 et 2.

- au mois de juin, les captures sont limitées mais au mois de juillet, de fortes activités sont à nouveau observées pour les trois types de pièges

- à partir du mois d'août, l'activité apparente des mouches lécheuses diminue beaucoup pour les trois emplacements de pièges.

**L'activité apparente de *M. autumnalis* semble assez dépendante de l'espèce hôte:**  
**Pour les pièges situés à proximité des chevaux, il y a deux périodes de forte activité apparente qui sont avril - mai puis juillet.**  
**Pour les pièges situés à proximité des ovins/bovins, cette espèce est active sur toute la période comprise entre avril et août et on assiste à des fluctuations régulières d'activité apparente : la première en avril, la seconde en mai, puis la dernière en juillet. Toutefois, l'effectif capturé est nettement moins important que pour les pièges chevaux.**  
**Pour les pièges situés à proximité du tas de fumier, il y a également deux périodes d'activité qui sont fin mai et juin, puis juillet. Ici en revanche, le nombre de captures est encore plus élevé que pour les autres espèces d'insectes capturées.**

# DISCUSSION

L'intérêt de cette étude repose sur l'hypothèse que les variations des captures dans les pièges reflètent bien l'abondance des mouches adultes susceptibles de s'attaquer au bétail. Les inconvénients du piégeage ont maintes fois été signalés (Spence & Niemelä 1994) :

- les captures reflètent à la fois l'abondance et l'activité des organismes et il est très difficile de séparer les deux

- à abondance constante, les captures peuvent varier si l'efficacité des pièges varie au cours du temps, par exemple en fonction de la température, du vent, de la luminosité, etc...

- dans les études portant sur plusieurs espèces, l'efficacité des pièges peut aussi varier en fonction des caractéristiques comportementales de chaque espèce. Ces problèmes doivent donc être considérés sérieusement avant d'exploiter les résultats du piégeage, même en tant que simples indices d'abondance relative.

Plusieurs arguments permettent d'affirmer que le niveau des captures est probablement un bon indice de la pression exercée par les mouches sur le bétail. Tout d'abord, les captures reflètent à la fois les variations d'abondance et d'activité des mouches, mais il en est de même pour le nombre de mouches qui attaquent le bétail.

Enfin, dans l'estimation des proportions des différentes espèces, le biais dû au comportement des espèces n'a jamais été étudié avec des pièges Vavoua, mais il est probablement minime. Les pièges Vavoua sont un bon moyen d'estimer l'abondance relative des espèces d'insectes hématophages du bétail comme les Stomoxyinés. Indépendamment du fait qu'il n'y a guère d'autre méthode envisageable pour le suivi simultané de plusieurs populations sur des périodes très longues (Spence & Niemelä 1994), le piégeage semble une méthode satisfaisante pour suivre les variations d'abondance des stomoxes.

## **1- Les biais des manipulations**

### **1.1- La modification de disposition des terrains**

Au cours du mois de juillet soit en plein milieu de l'étude, l'école vétérinaire a débuté des travaux dans le but de réaliser la construction d'un nouveau bâtiment. Les terrains en construction se situent dans le pré occupé jusqu'alors par les vaches. Il y a donc eu délocalisation des vaches dans un terrain occupé auparavant par les chevaux, comme l'indique la photographie ci-dessous. A partir du mois d'août, les pièges ont été disposés comme suit pour tenter de conserver la spécificité d'espèce par piège. Le piège 6 et 3 n'ont subi aucune modification.

Même si les pièges 4 et 5 ne sont vraiment situés qu'à proximité des vaches, les pièges 1 et 2, de par leur nouvelle disposition, peuvent capturer les insectes attirés non seulement par les chevaux, mais aussi par les vaches.

Les captures des pièges 1, 2, 4 et 5 ne traduisent sans doute plus exactement les différences d'attractivité des hôtes à partir du mois d'août.



Figure 63 : Photo aérienne d'une partie de l'école nationale vétérinaire de Toulouse  
Modification de l'emplacement des pièges suite à la construction.  
Zoom sur une partie des pièges. (Source : Google Earth)

**Légende :**

Le numéro jaune correspond au numéro du piège.

M : pré à moutons



Echelle : 30 m

## **1.2- La variation du nombre d'animaux au cours de l'année d'étude**

Le nombre d'animaux indiqué dans le paragraphe précédent n'a pas été tout à fait constant au cours de l'année de la réalisation des manipulations.

En ce qui concerne les moutons, au fur et à mesure de l'avancement du projet scientifique, quelques individus ont été abattus et autopsiés. C'est pour cette raison que vers le mois de juin, il ne devait rester qu'une vingtaine de moutons appartenant à l'unité pathologie du bétail. En revanche, les moutons appartenant à l'unité pédagogique de physiologie animale n'ont subi aucune modification de leur effectif. Ainsi du mois de juin au mois de septembre, le nombre de moutons situés à proximité du piège N°3 était d'environ 40 individus. Dès la rentrée de septembre 2009, des nouveaux moutons ont été rachetés, et leur effectif est revenu à 90 individus.

En ce qui concerne les vaches, elles étaient une petite dizaine d'individus (entre 7 et 9) du premier décembre 2008 à la fin du mois de juin 2009. Durant l'été, pour une raison de personnel et de coût, leur effectif était de quatre individus seulement. En septembre 2009, l'unité pédagogique de physiologie animale a racheté cinq vaches. Leur effectif est revenu à ce qu'il était au début de l'étude.

L'effectif des chevaux est stable, malgré les modifications du terrain du fait des travaux de construction : une dizaine d'individus durant toute l'étude. En effet, à chaque fois qu'un propriétaire récupérait son cheval, l'école louait la place à quelqu'un d'autre.

Quant au tas de fumier, celui-ci est toujours resté au même emplacement, à proximité des hôpitaux de bovine, lieu où sont accueillies les vaches malades. Or, de juin à septembre, ce service n'accueille plus de nouvelles vaches malades, ainsi le tas de fumier n'est plus alimenté. De plus, il est arrivé deux fois dans l'année que ce tas soit évacué, ce qui induit des biais dans les manipulations.

Il est donc évident que ces variations des effectifs d'espèces hôtes ne sont pas sans conséquences sur les fluctuations des populations capturées.

## **1.3- L'influence du type de piège (Vavoua) sur les captures**

Comme nous l'avons dit précédemment, les captures ont été réalisées à l'aide du piège Vavoua. Il a été démontré que ce piège était très efficace pour capturer les stomoxes, mais qu'en est-il au sujet des autres espèces d'insectes?

## **1.4- La dégradation des pièges**

Les pièges Vavoua sont en grande partie constitués de tulle moustiquaire, ce qui les rend très fragile. Et il n'a pas été rare au cours des multiples manipulations que se créent des trous dans le compartiment sensé recueillir les insectes. Malgré un entretien régulier, il est arrivé quelques fois que la capture d'une journée s'échappe par un trou qui a échappé à notre vigilance. Nous avons donc rapidement ajouté une couche supplémentaire de tulle englobant le récipient de capture dans sa totalité afin de réduire au maximum nos pertes.

## **2- Etude de la dynamique des populations des différentes espèces d'insectes capturées et danger potentiel de transmission de pathogènes au bétail.**

Aucun taon n'a été capturé au cours de cette étude. Toutefois, des spécimens ont été observés au cours de l'été notamment sur des chevaux du club hippique de l'école vétérinaire de Toulouse, proche de la zone d'étude.

Les pièges Vavoua sont particulièrement efficaces dans le monitoring des populations de stomoxes (Gilles et al. 2007) mais ils le sont moins pour les populations de taons (Mihok et al., 2006). Toutefois, dans d'autres situations, des Tabanides ont été capturés dans les pièges Vavoua sur le massif pyrénéen en faible nombre (Liénard et al., 2011) ou sur le massif alpin dans des proportions plus importantes (Duvallet, communication personnelle). Il est vraisemblable que les différentes espèces de Tabanidés présentent des attractivités différentes pour les pièges Vavoua.

### **2.1- Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* et risque de transmission d'agents pathogène au bétail.**

*Stomoxys calcitrans* est l'espèce la plus abondante sur notre lieu d'étude. Ceci pourrait s'expliquer par la présence à la fois de gîtes larvaires favorables (tas de fumier, refus de foin autour de nourrisseurs dans les prés) et d'une diversité d'hôtes disponibles en permanence dans le même périmètre. En hiver, (janvier à mars) aucune activité stomoxe n'a été enregistrée.

En avril 2009, l'activité apparente des stomoxes était faible, on peut supposer qu'à ce moment de l'année, le risque de transmission d'agents pathogènes par cette espèce est négligeable. Toutefois, deux éléments viennent nuancer cette affirmation :

- selon les années, les conditions climatiques d'avril présentent des variations importantes, ainsi en avril 2011, de nombreux stomoxes ont été observés sur les membres des bovins de la zone d'étude alors que les températures atteignaient 25 à 28°C

- avant la mise à l'herbe des animaux, on peut constater une activité trophique de stomoxes dans les bâtiments, cette observation a été faite dans les Pyrénées (Liénard et al. 2010) et dans les Alpes (Duvallet, communication personnelle) La densité apparente des stomoxes est en revanche très élevée durant les mois de mai, juin et juillet. La menace de transmission d'agents pathogènes est donc très élevée durant cette période. Il est donc conseillé de traiter le bétail à cette période de l'année à la fois pour éviter toute transmission mais aussi pour empêcher des pontes trop abondantes des stomoxes adultes.

Au cours de l'année 2009 une forte chute des captures a été observée pendant le mois d'août, période pendant laquelle des températures élevées (> 30°C certains jours) et une très faible humidité relative ont été enregistrées. Si les conditions climatiques estivales sont plus propices aux stomoxes, on peut imaginer que la période de transmission intense puisse se poursuivre jusqu'à l'automne.



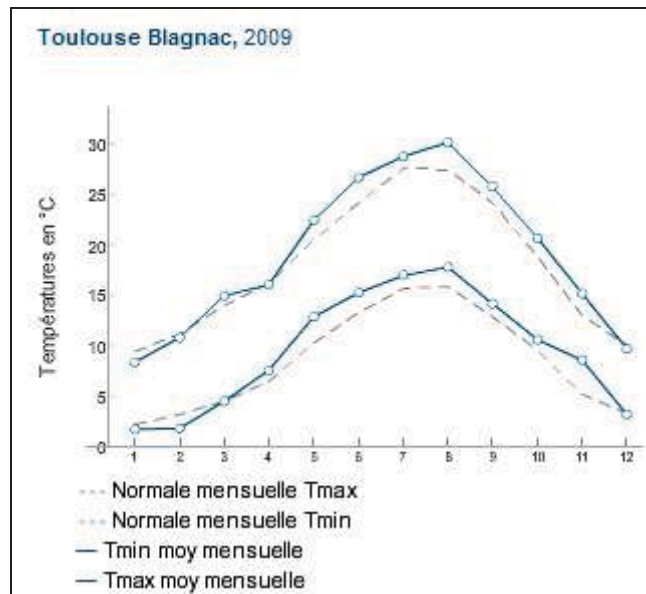


Figure 64 : Températures moyennes minimale et maximale de l'année 2009 et normales saisonnières (Météo France).

L'année 2009 a été marquée par des températures moyennes minimales et maximales supérieures aux normales saisonnières calculées sur les 10 dernières années (Figure 64). Cela a certainement eu des répercussions sur la dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans*, ainsi que sur celle de toutes les autres espèces d'insectes.

Après la période estivale, l'automne semble propice à un deuxième pic d'activité des stomoxes. Une allure bimodale d'activité (printemps et automne) des stomoxes a également été retrouvée en Amérique du Nord (Taylor et al., 2007) ainsi que dans les Pyrénées (Liénard et al. 2011). Taylor retrouve dans son étude les mêmes variations saisonnières avec une apparition des premiers stomoxes fin mars – début avril et un pic de population fin juin – début juillet.

De façon surprenante, le plus grand nombre de stomoxes capturés en 2009 a été enregistré au mois de novembre.

Une activité résiduelle a encore été observée début décembre mais quand les températures ont chuté en décembre, l'activité des stomoxes mesurée dans les pièges Vavoua s'est révélée nulle.

**En 2009, l'activité des stomoxes s'est étalée du mois d'avril à début décembre soit presque huit mois. Elle s'est montrée bimodale, les captures les plus importantes ayant été faites en mai-juin-juillet et en novembre. Ceci souligne la difficulté de contrôler les populations de stomoxes par des traitements sur les animaux car il faudrait appliquer des molécules chimiques rémanentes tout au long de la saison de pâture. Une alternative consisterait à ne traiter les animaux que pendant les pics d'activité, mais ceux-ci restent difficiles à prévoir car fluctuent d'une année à l'autre.**

## 2.2- Dynamique des populations de *Simulium* spp. et risque de transmission d'agents pathogènes au bétail.

La dynamique des populations des simulies évaluée par les pièges Vavoua a montré une très courte période d'activité maximale centrée sur les mois de mai et juin. La période d'activité maximale de cette espèce se superpose à la période d'activité des stomoxes.

## **2.3- Dynamique des populations de *Musca autumnalis* et risque de transmission d'agents pathogènes au bétail**

L'activité maximale de *Musca autumnalis*, évaluée par les pièges Vavoua, a été maximale de mai à juillet. Même si cette espèce n'est pas hématophage, elle peut intervenir dans la transmission d'agents pathogènes comme *Moraxella bovis* ou les agents bactériens des mammites. De plus, elle représente une gêne importante pour les animaux qui doivent dépenser de l'énergie pour la chasser. En conséquence, les éleveurs utilisent fréquemment des insecticides rémanents durant l'été pour protéger au mieux leurs bovins.

## **3- Dynamique des populations de *Stomoxys calcitrans* et les facteurs de variations**

### **3.1- Les conditions climatiques : un facteur clé.**

La température et l'humidité relative ne sont pas deux variables indépendantes, mais sont au contraire intimement liées. C'est en effet le couple température-humidité relative qui détermine en grande partie la dynamique de population des stomoxes.

#### ***3.1.1- L'influence de la température.***

La première trace d'activité des stomoxes est mise en évidence très peu de temps après la hausse des températures au mois d'avril (Figure 65). Dans un premier temps, la hausse des températures de 9°C à 20°C induit une très légère augmentation du nombre de *Stomoxys calcitrans* capturés. Puis, il faut attendre que les températures aient atteint puis dépassé les 20°C pour assister à l'explosion de l'activité apparente de *S. calcitrans*.

Chez *S. calcitrans*, la durée moyenne du développement 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). Les stomoxes semblent passer l'hiver à tous les stades de développement et se développent lentement dans des milieux permettant d'échapper aux basses températures (Somme 1961, Berry *et al.* 1978, Berkerile *et al.* 1994). Il n'y a pas de réelle diapause hivernale et on observe la continuation des cycles à l'intérieur des étables. Cependant, une hibernation est en quelque sorte permise l'hiver par un allongement du cycle au niveau de tous les stades (Somme 1961, Lysyk 1998).

On peut donc penser que la première hausse des températures a permis la reprise d'activité de quelques individus ayant passé l'hiver au stade adulte dans les abris et la reprise du développement pour les autres stades. Une température moyenne minimale de 12°C est nécessaire pour qu'il y ait une activité extérieure des stomoxes.

En revanche, au cours de la seconde phase ( $T^{\circ}\text{C} > 20^{\circ}\text{C}$ ), de plus en plus d'adultes sont actifs et capturés dans les pièges car ils proviennent des adultes qui ont pu éclore des pupes transhivernantes grâce à l'augmentation des températures.

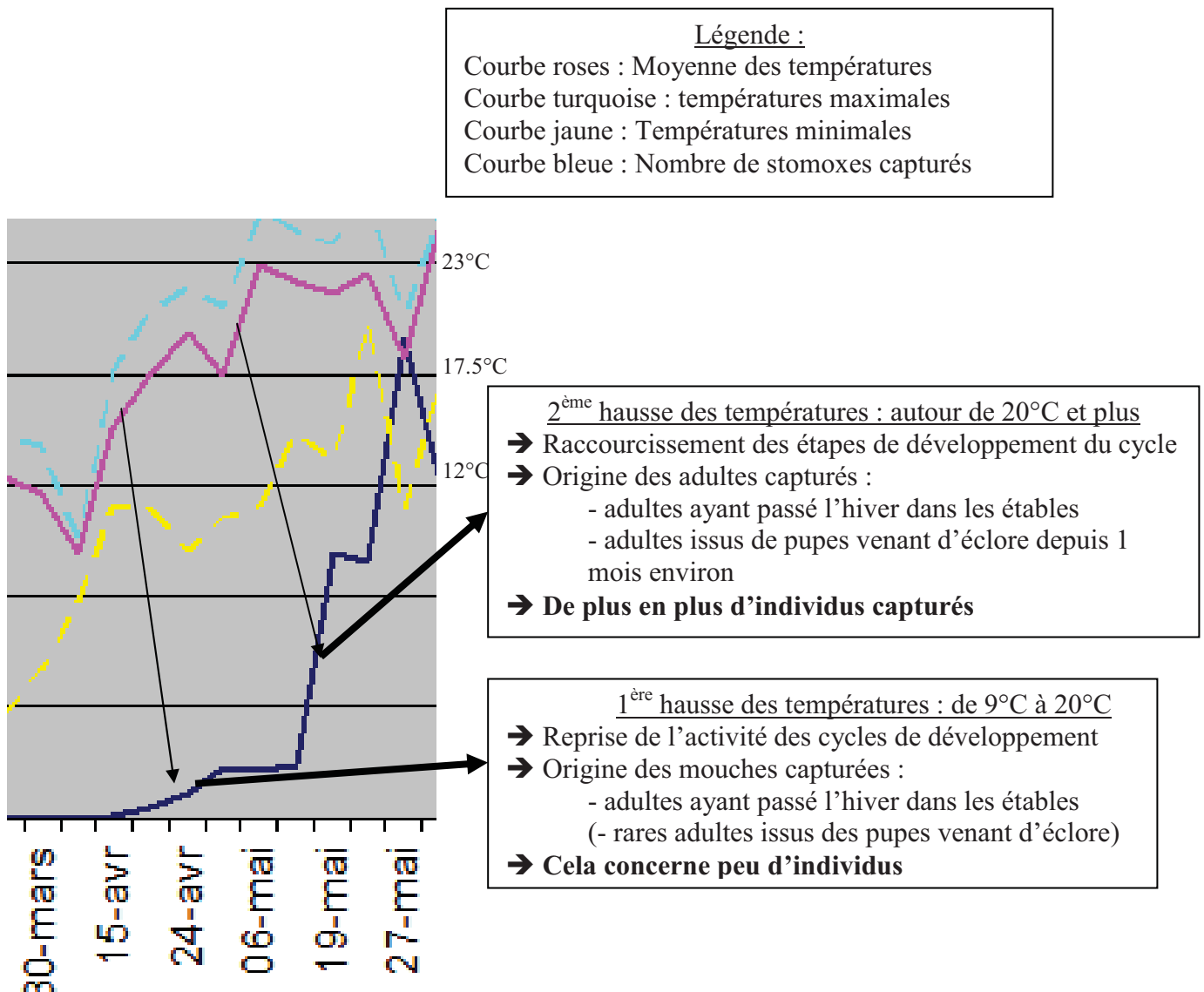


Figure 65 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbes de la température en °C (maximales, minimales et moyennes)

C'est au mois de juin et début juillet que l'on comptabilise un nombre abondant de stomoxes (Figure 66). Les températures sont comprises entre 18°C et 28 °C et cela représente les conditions de température les plus favorables pour cette espèce. Au sein même de cet intervalle, une corrélation entre la température et l'activité apparente des stomoxes semble se dessiner : chaque pic d'activité succède à un pic de température. Les stomoxes s'adaptent donc très vite à la température à cette période de l'année.

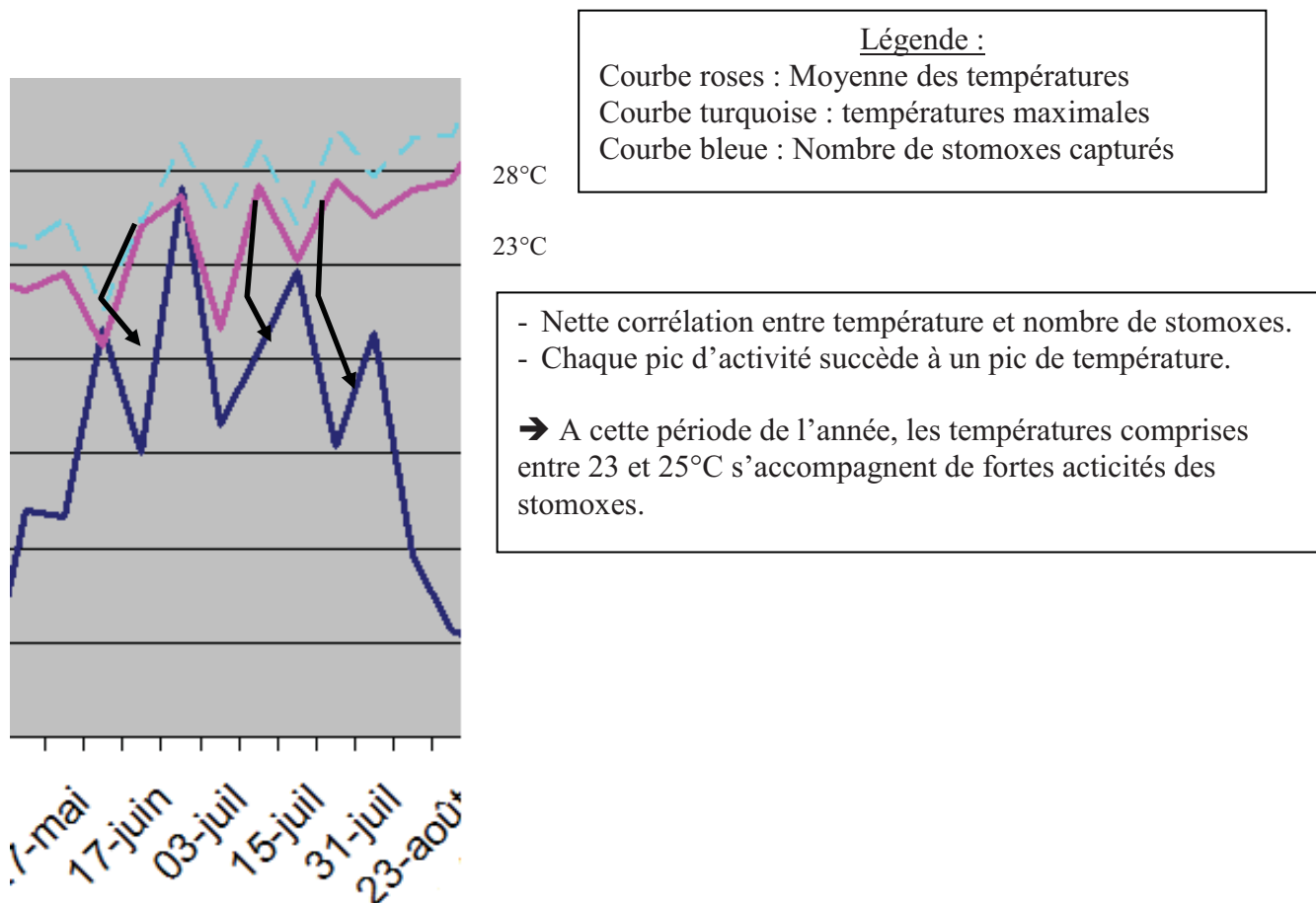


Figure 66 : Dynamique de population de *Stomoxys calcitrans* dans tous les pièges confondus au cours d'une année et courbes de la température en °C (maximales et moyennes)

La hausse des températures moyennes au-delà de 28°C à la fin du mois de juillet et au mois d'août a provoqué une forte chute de l'activité des stomoxes. De plus, il est important de faire remarquer que les températures maximales étaient toutes relevées entre 11h et 15h, d'après la station météorologique de Blagnac. Or c'est justement au cours de cette période de la journée que l'activité des stomoxes est la plus importante. Il est donc très probable que de telles températures aient perturbé l'activité de ces insectes. En régions tropicales comme la Thaïlande, la période d'activité maximale de *S. calcitrans* se situe entre 8 et 10 heures du matin de façon à éviter les heures les plus chaudes de la journée (Masmeatathip R, Gilles J, Ketavan C, Duvallet G et al ; 2006)

A 30°C, la durée du cycle est courte (12jours) mais la mortalité des stomoxes adultes augmente considérablement (Lysyk, 1998). Au-delà de 35°C, celle-ci est de 100% (Gilles et al., 2005).

➔ **Des températures trop élevées (>28°C) constituent des conditions défavorables à l'activité de *Stomoxys calcitrans*.**

Il serait intéressant de vérifier si l'activité circadienne des stomoxes est modifiée lorsque les températures sont trop élevées au milieu de la journée. Quand les températures leur sont clémentes, l'activité est maximale entre 10h du matin et 16h dans l'après midi. Pourrait-il y avoir une modification du comportement trophique en été lorsque les températures sont très élevées en milieu de journée ? Ceci n'a pas été pris en compte au cours de cette étude.

En septembre, on assiste à une diminution des températures moyennes et une très légère augmentation de l'activité des stomoxes. Toutefois, le nombre de stomoxes capturés ne dépasse pas 70 individus pour les six pièges. La combinaison de l'effet des températures élevées et de la sécheresse a certainement eu des implications sur les populations de stomoxes (fortes mortalités des stades larvaires, des pupes et des adultes).

Les pics d'activité décelés dans les mois qui suivent (octobre, novembre et début décembre) sont précédés d'un pic de température ce qui suggère que les stomoxes réagissent très rapidement aux variations de températures et adaptent parfaitement leur activité aux conditions climatiques en fin de saison. Il est important de noter que cela est vrai en automne et pas au printemps. Il est probable que le stock d'adultes et de pupes ayant survécu à l'hiver ne permet pas d'émergence massive au printemps même si les conditions favorables commencent à se mettre en place. En revanche, ces stocks existent à l'automne rendant possibles des pics d'activité intenses et brefs dès que les conditions de température sont favorables.

De plus, des conditions favorables en automne permettent aux cycles de développement d'avoir des étapes de courte durée, ce qui facilite aussi l'émergence rapide et massive d'adultes (Lysyk 1998).

A partir de mi décembre, les températures chutent très rapidement et les premières gelées apparaissent. A partir de ce moment, plus aucun stomoxe n'a été capturé. J. Gilles avait déjà remarqué dans son étude de 2005 effectuée à la Réunion que l'abondance de *S. calcitrans* stagne ou décroît quand la température moyenne descend au dessous de 15°C, et qu'elle s'effondre quand la température moyenne descend au dessous de 10°C.

➔ **A partir des premières gelées, l'activité extérieure des stomoxes cesse totalement.** Cela peut refléter soit une mortalité élevée, soit une baisse d'activité des adultes, sans qu'il soit possible de séparer les deux phénomènes.

### ***3.1.2- L'influence de l'humidité relative et de la pluviométrie.***

C'est à partir du mois de mai que l'activité apparente des stomoxes augmente rapidement avec les températures moyennes. Durant cette période, l'humidité relative était comprise entre 40 et 70%. Hafez & Gamal-Eddin (1961) et Berry *et al.* (1978), ont étudié la croissance des larves de *S. calcitrans* au laboratoire. Lors de la croissance, elles recherchent une humidité très proche de la saturation, alors qu'à l'approche de la pupaison, les larves préfèrent une humidité de 75 à 83%.

En hiver, les conditions d'humidité relative sont optimales pour le développement larvaire mais les températures moyennes sont trop basses pour le permettre. Ce sont donc vraisemblablement les températures qui conditionnent le développement larvaire au printemps. J. Gilles avait déjà remarqué en 2005 que « les variations d'abondance des stomoxes ont pu être reliées significativement aux variables climatiques. Ces variables expliquent les variations saisonnières, et la température est le principal facteur qui régit ces variations ».

Au mois de juin et de juillet, l'humidité relative diminue mais reste tout de même supérieure à 40%, les captures sont toujours très nombreuses.

Au mois d'août, la conjonction de fortes chaleurs et d'une faible humidité relative (< 40%) a provoqué une chute de l'activité apparente des stomoxes adultes et probablement une forte mortalité des adultes et des stades préimaginaux. De nombreuses études ont montré une

influence négative des périodes de sécheresse sur *S. calcitrans*, en particulier sous climat méditerranéen (Greene, 1989). Cette espèce a besoin de substrats humides, donc de précipitations, pour la ponte et le développement des larves.

→ Une humidité relative inférieure à 40% associée à des températures trop élevées sont des conditions défavorables à l'activité de *Stomoxys calcitrans*. Taylor et al. (2007) en Amérique du Nord ont remarqué aussi une chute du nombre d'insectes capturés au milieu de l'été, ce qu'il a associé avec une chute des précipitations.

Le retour à des températures plus clémentes en septembre s'est accompagnée d'une augmentation limitée des densités apparentes de stomoxes car il fallait sans doute combler les mortalités du mois d'août mais aussi parce que l'humidité relative et la pluviométrie ce mois-ci (32 mm) ont été très faibles.

A partir de fin septembre, le retour à des valeurs d'humidité relative supérieures à 40% permet aux stomoxes de profiter de toute période où la température est clémente. Taylor et al. ont également observé ce second pic de population au mois de septembre dans leur étude en 2007.

La conjonction d'une augmentation de la température et d'une humidité relative relativement élevée va induire un pic d'activité des stomoxes. Mais on observe une différence dans la succession des événements : la hausse de l'humidité relative (ou la précipitation) peut précéder de 10-15 jours le pic d'activité, alors que la hausse de la température sera quasiment simultanée à ce pic d'activité.

S'il n'y a qu'une augmentation de l'humidité relative sans augmentation de la température associée, il n'y aura aucune conséquence sur la dynamique de population de *S. calcitrans*.

### ***3.1.3- L'influence de la combinaison des deux variables température-humidité relative***

Le couple température-humidité relative le plus favorable à l'activité apparente des stomoxes est 15-27°C associé à 35-65%. Taylor et al. (2007) ont montré que les facteurs climatiques (température moyenne et pluviométrie) mesurés à l'instant t avaient des répercussions sur les intensités de piégeage dans les semaines suivantes. Ainsi de fortes précipitations étaient suivies de piégeages importants dans les trois à six semaines suivantes tandis que des températures favorables avaient un effet dans les deux semaines qui suivaient. Ces effets décalés sont vraisemblablement liés au développement larvaire qui est favorisé par ces conditions et qui permet ultérieurement une émergence importante de mouches adultes.

Il aurait été intéressant d'avoir des jours de captures avec une température moyenne comprise entre 15-25°C et une humidité relative très importante. Malheureusement, dans notre étude, les seules valeurs d'humidité relative élevées (>80%) sont associées à une température moyenne inférieure à 13°C. Il est donc difficile de savoir si les captures nulles sont dues à la température basse, ou à l'humidité relative élevée, ou les deux.



### **3.1.4- L'influence de la vitesse du vent.**

La vitesse du vent (tout au moins dans les intervalles mesurés) ne semble pas être un paramètre influençant de manière très importante l'activité de *Stomoxys calcitrans*.

Nous avons fait l'hypothèse qu'une vitesse du vent trop élevée pouvait gêner le vol des stomoxes. D'après notre étude, cela n'a pas pu être mis en évidence. Toutefois, il faut bien garder à l'esprit que chaque valeur de la force moyenne du vent de chaque piégeage est une moyenne de toutes les valeurs disponibles par la station météorologique de Blagnac. Donc pour un jour J, nous avons par exemple une moyenne de 26 km/h. Or il se peut très bien que pendant 2 ou 3 heures dans la journée, le vent n'était qu'à 2, 4, 8 ou 10 km/h, et ce sera au cours de cette période de la journée que les stomoxes ont été capturés. Pour vraiment le savoir, il aurait fallu faire plusieurs relevés de pièges par jour en fonction des variations de la vitesse du vent.

### **3.2- La proximité des différentes espèces hôtes**

Le piège à proximité du tas de fumier était destiné à mesurer la dynamique de l'émergence de mouches adultes. Malheureusement, nous manquons d'informations en ce qui concerne le déroulement des émergences de *S. calcitrans*. Nous ne savons pas si les pontes ou les émergences se réalisent par vagues ou en continu.

Si elles se déroulent par vagues, cela peut expliquer que certaines captures sont très abondantes (pièges posés le jour de l'émergence) comme les captures de juin et juillet et d'autres en très faible quantité (pièges posés quelques jours après ou avant la vague d'émergence).

Les résultats sont peu en faveur d'un déroulement en continu car les captures sont très fluctuantes d'un jour de capture à un autre. Toutefois, il faut remarquer qu'il y a environ 200 mètres entre les sites de captures situés à proximité des chevaux, ovins/bovins et le tas de fumier (Figure 67). Il est aussi envisageable que les stomoxes trouvent sur leur lieu de nourriture des lieux tout à fait appropriés à la ponte comme un tas de paille ou de foin en décomposition, humus, crottins, bouses..... et ne se déplacent pas jusqu'au tas de fumier pour pondre. Une étude réalisée par Broce AB en Amérique du Nord (2005) a démontré des sites de nourriture comme le foin au pâturage représentait la source principale d'émergence de stomoxes au printemps.

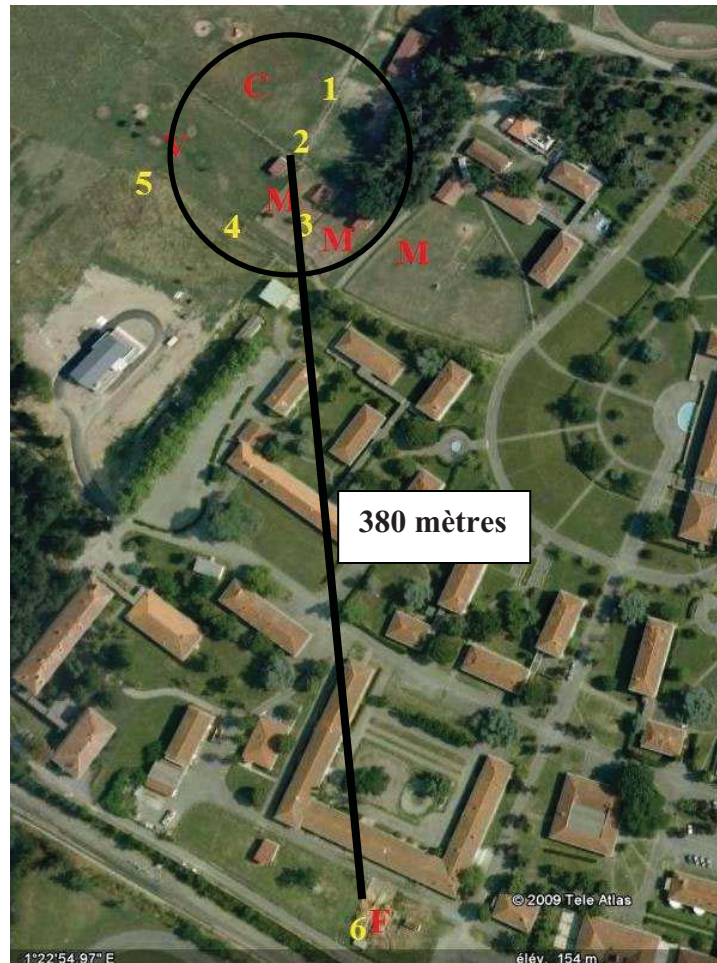
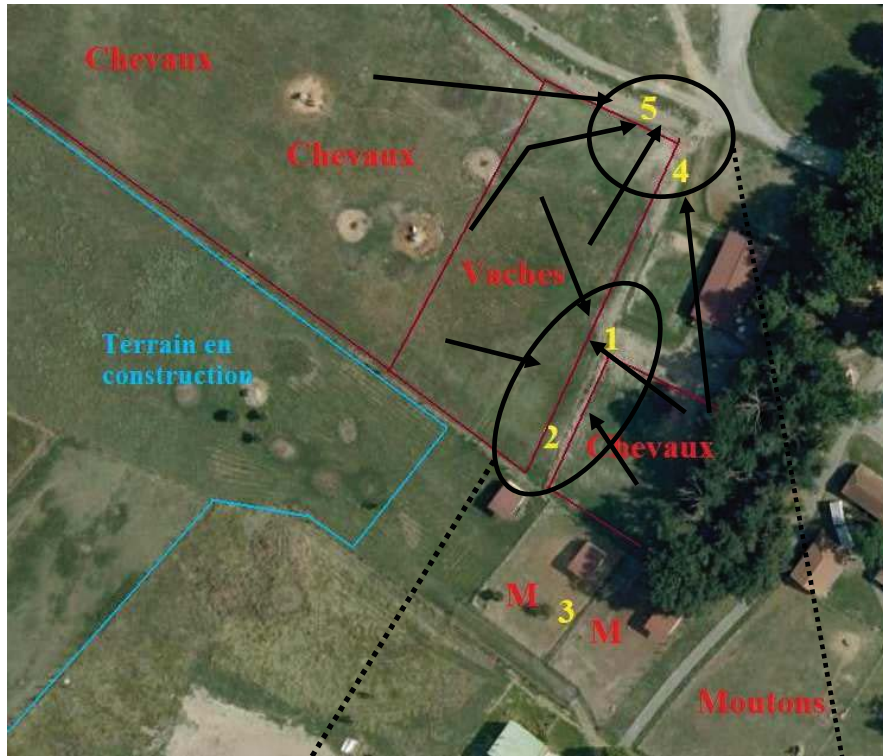


Figure 67 : Localisation de l'emplacement des pièges des pièges (Google Earth)

En ce qui concerne les pièges 1-2-3-4-5, il semble que les chevaux attirent plus les stomoxes que les ovins et bovins surtout en début d'activité (mai). Peut être est ce dû au nombre d'animaux. Il est vrai que les chevaux étaient tout de même plus nombreux que les bovins, mais en ce qui concerne les ovins : leur effectif restait tout de même d'une cinquantaine d'individus.

Les hôtes préférentiels de *S. calcitrans* sont les gros mammifères à sang chaud tels que les bovidés et les équidés. Les préférences trophiques de *S. calcitrans* sont, par ordre décroissant d'intérêt, les ânes, les chevaux, les buffles, les vaches, les chameaux, les moutons et les chèvres (Hafez & Gamal-Eddin 1959). Notre étude semble donc retrouver les mêmes résultats que ceux de la bibliographie.

A partir du mois de juillet, une diminution du nombre de bovins ainsi que la réalisation de travaux sur les parcelles des vaches ont entraîné des modifications de position des pièges (Figure 68). Cela a eu une répercussion importante sur les nombres de captures. De plus, les pièges 1-2 (chevaux) ont du être placés très proche des pièges 4-5 (bovins) ce qui pouvait induire des interférences non négligeables pour la comparaison. En effet, à cause de la construction de ce nouveau bâtiment, les vaches ont été délocalisées sur un terrain très proche des prés des chevaux. Seulement quelques mètres séparaient les deux emplacements, et nous étions obligés de placer nos pièges entre le pré des bovins et des chevaux. A partir de cette date, il est donc très difficile de savoir si les stomoxes capturés dans les pièges 4-5 étaient véritablement attirés par les bovins ou par les chevaux.



**Pièges 1 et 2** : pièges sensés étudier le rôle des chevaux uniquement  
 → Ici interférence avec les bovins

**Pièges 4 et 5** : pièges sensés étudier le rôle des bovins uniquement  
 → Interférence avec les chevaux

Figure 68 : Etude des biais suite à la délocalisation des bovins à partir du mois de juillet et conséquences sur notre étude (Source : Google Earth)

## 4- Dynamique des populations de *Simulium* spp. et de *Musca autumnalis*, facteurs de variation

### 4.1- Les conditions climatiques

#### 4.1.1 L'influence de la température

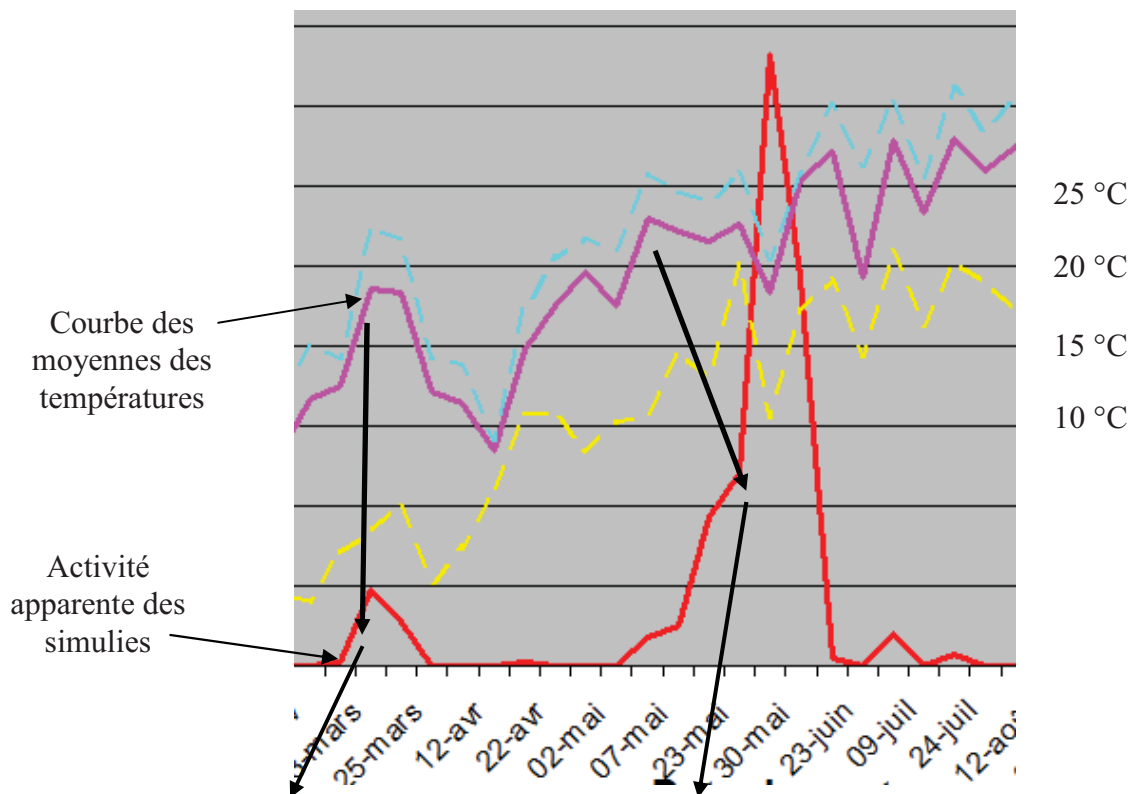
❖ Pour les simulies (Figure 69) :

Pour ces espèces, la température conditionne fortement l'activité mesurée dans les pièges. Au mois de mars par exemple, la première augmentation de température (semaine du 13 mars) est associée à une légère hausse de l'activité des simulies. Puis la chute de température la semaine suivante est directement suivie d'une diminution de l'activité de ces insectes.

➔ **Très tôt dans la saison, on voit déjà apparaître une importante corrélation entre la température et l'activité de *Simulium* spp.**

Même phénomène au mois de mai : fin avril, les températures augmentent et l'activité apparente des simulies est mise en évidence mi mai.

➔ **L'augmentation des températures est favorable à l'activité des simulies mesurée dans les pièges Vavoua.**



#### Mars :

Augmentation des températures (15-18°C)  
➔ pic d'activité des simulies

#### Mai :

Augmentation des températures (18-23°C)  
➔ pic d'activité des simulies très important

#### Juin-juillet :

Augmentation des températures (>25°C)  
➔ Chute d'activité des simulies très importante

Figure 69 : Dynamique de population de *Simulium* et *Musca autumnalis* en fonction de la température

La période d'activité des simulies est très courte dans l'année. En effet, elles ne sont capturées que pendant un mois et demi environ.

L'intervalle de température dans lequel se font la quasi-totalité des captures est restreint : 18 à 27°C.

***Simulium* est une espèce très sensible et très réactive aux variations de températures. Leur activité apparente n'a pu être mise en évidence que dans une fenêtre très étroite de température : [18-27]°C. Toutefois, il y a un effet « saison » qui est très important à prendre en compte car plus aucun individu n'a été capturé après le mois de juin, malgré le retour à des températures favorables.**

❖ Pour *Musca autumnalis* :

**→ Tout comme les deux espèces précédentes, l'augmentation des températures induit l'émergence des mouches lécheuses en tout début de saison.**

Pour la suite, les mouches lécheuses sont présentes tout le printemps et le début de l'été (d'avril à juillet), Au cours du mois de d'avril et début mai, plus la température augmente, plus l'activité apparente est importante. Mais certaines variations importantes ne semblent pas expliquer par ce seul critère.

En ce qui concerne le mois d'août, nous avons vu pour les deux espèces d'insectes précédentes que les fortes températures avaient été très néfastes. Il en est de même pour *Musca autumnalis*. Toutefois, il n'y a pas de disparition totale ou très importante des insectes. En effet, le nombre d'individus capturés reste tout de même compris entre 10 et 20 individus pour les mois d'août, septembre et octobre.

**→ Des températures trop élevées comme au mois d'août sont défavorables pour *Musca autumnalis*, mais cette espèce reste tout de même présente.**

Dans les mois d'automne (septembre, octobre, novembre), l'activité de *M. autumnalis* reste faible, les pics d'activité de novembre pour les stomoxes ne sont pas observés pour cette espèce.

**→ Les mouches lécheuses sont moins réactives aux variations de températures que les stomoxes en fin de saison de pâturage.**

A partir de début décembre, les premiers froids arrivent et les températures chutent très rapidement. A partir de ce moment, nous ne capturons plus aucune mouche lécheuse.

En bilan, on peut dire que *Musca autumnalis* est présente à partir du moment où la température est supérieure à 12°C. L'intervalle de température le plus favorable est [15-30] °C.



#### *4.1.2- L'influence de l'humidité relative et la pluviométrie.*

##### ❖ Pour les simulies

Les simulies ne sont capturées en grande quantité qu'à partir de 45% d'humidité relative.

➔ **Un environnement trop sec n'est pas favorable à cette espèce.** C'est d'ailleurs aussi pour cette raison qu'il y a eu un arrêt des captures en début du mois de juillet. Il aurait été intéressant d'avoir plus de valeurs pour les intervalles <25 % et [25-30] %.

Les simulies ne sont plus capturées lorsque l'humidité dépasse 70%.

##### ❖ Pour les mouches lécheuses

➔ **Un environnement sec n'est pas trop défavorable à *M. autumnalis*,** dans la mesure où des captures ont été observées pour des valeurs inférieures à 25%. En effet, au cours du mois d'août, les mouches lécheuses sont encore présentes.

Dans l'intervalle [30-70] %, plus l'humidité augmente, plus les captures sont importantes. Les pics d'activité les plus importants se déroulent en effet au cours des périodes où l'humidité relative est comprise entre ces valeurs (mai-juillet).

#### *4.1.3- L'influence de la vitesse du vent*

**Le vent ne semble pas être un paramètre influençant de manière très importante sur l'activité de *Simulium* ni même de *Musca autumnalis*.**



## 4.2- La proximité de différents hôtes

### 4.2.1- Pour les simulies

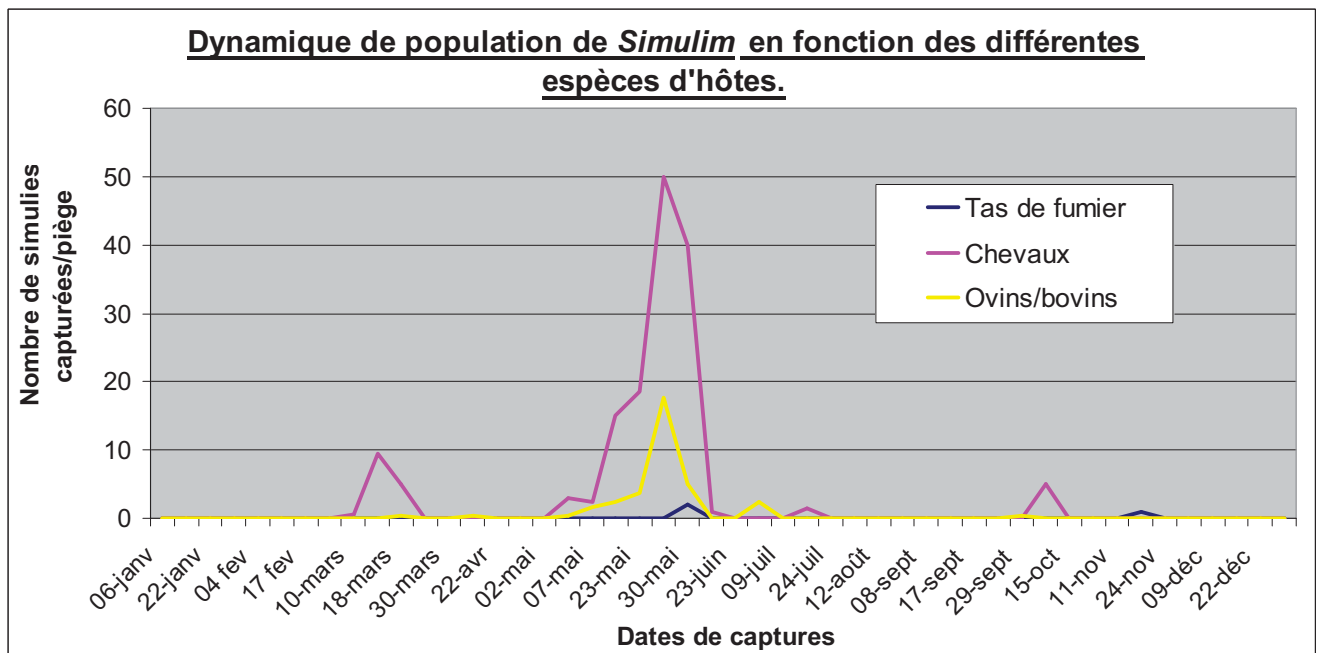


Figure 70 : Dynamique de population de *Simulium* en fonction des espèces hôtes : chevaux, ovins/bovins, et tas de fumier au cours d'une année de captures.

La figure 70 suggère que les chevaux sont beaucoup plus attractifs que les ruminants pour les simulies. En effet, lors du pic saisonnier, les chevaux peuvent attirer jusqu'à 50 simulies/piège. En revanche, les ovins et les bovins n'attirent pas plus d'une vingtaine d'individus/piège.

Les simulies ne représentent qu'une faible menace dans la transmission d'agents pathogènes pour les animaux de rente. En revanche, cela peut provoquer un gros stress pour les équidés.

En ce qui concerne le tas de fumier, il n'est pas du tout attractif en ce qui concerne les simulies. Ceci est tout à fait normal car *Simulium* pond ses œufs en région humide sur les végétaux aquatiques. Le tas de fumier ne représente aucunement un site intervenant dans la vie d'une similie.

### 4.2.1- Pour les mouches lécheuses

Pour les mouches lécheuses, il ne semble pas y avoir d'effet hôte aussi important que pour les simulies et qu'on les retrouve aussi bien vers les chevaux que chez les bovins.

# CONCLUSION

A l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, différentes espèces d'insectes, *Stomoxys calcitrans*, *Simulium spp.* et *Musca autumnalis* co-habitent. Ces diptères hématophages et non hématophages sont responsables d'importantes nuisances et sont des vecteurs potentiels de nombreux agents pathogènes pour le bétail. L'objectif principal de cette thèse a été d'analyser la dynamique des populations de ces espèces au cours d'une année et mesurer l'importance des facteurs climatiques dans cette dynamique, ainsi que d'étudier une éventuelle préférence trophique de ces insectes entre les différentes espèces hôtes présentes sur le site.

#### ❖ *Stomoxys calcitrans*

Le suivi hebdomadaire des différents sites de piégeage a montré que les variations d'abondance des stomoxes sont liées significativement aux variables climatiques. Ces dernières expliquent les variations saisonnières, et c'est le couple température - humidité relative qui semble le principal facteur qui régit ces variations de densité apparente dans les pièges.

- Lorsque les températures moyennes sont inférieures à 15°C, aucun stomoxe n'est capturé quelle que soit l'humidité relative associée et quelle que soit la période de l'année.

- Des températures comprises entre 15 et 27°C, associées à une humidité relative comprise entre 35 et 70% représentent les conditions météorologiques optimales pour l'activité des stomoxes, quelle que soit la période de l'année. Ainsi, en absence de saison sèche, l'abondance des stomoxes augmente avec la température.

- Des températures > 27°C associées à une humidité relative < 40% ne sont pas favorables à l'activité de cet insecte.

- Pour des conditions météorologiques similaires, les captures de stomoxes sont plus abondantes en automne qu'au printemps.

En ce qui concerne *Stomoxys calcitrans*, il devient intéressant de commencer à traiter le bétail à partir du mois de mai car c'est à cette période de l'année que la menace commence à être importante. Bien entendu, il pourrait s'avérer nécessaire de commencer notre traitement à partir du mois d'avril en fonction des conditions météorologiques. Dans tous les cas, il est indispensable de traiter les animaux les mois d'été et d'automne. Il faut rester très vigilant à partir de septembre et tout l'automne.

Différents produits insecticides existent pour lutter contre les stomoxes ; la posologie, le mode d'administration ainsi que les conditions climatiques au moment du traitement insecticide sont autant de facteurs pouvant influencer leur efficacité. Par ailleurs, l'utilisation soutenue de la deltaméthrine depuis 1994 soulève des questions auxquelles il est nécessaire de répondre rapidement : existe-t-il des phénomènes de résistance à la deltaméthrine chez les stomoxes. Il paraît nécessaire d'évaluer l'efficacité, la rémanence et le pouvoir répulsif et/ou toxique de divers insecticides pour les stomoxes, mais aussi sur la nécessité de mettre au point des méthodes quantitatives d'évaluation de la sensibilité des espèces aux insecticides. Les premières études concernant les phénomènes de résistance à la deltaméthrine chez les stomoxes ont débuté au GRDSBR de la Réunion et nous en attendons les premiers résultats.

Toutefois, il paraît nécessaire de ne pas pratiquer une utilisation abusive des produits insecticides chimiques, ce qui pourrait avoir des conséquences néfastes sur l'environnement.

En conséquence, on peut s'attendre à des modifications des variations saisonnières de l'abondance des stomoxes dans le cadre d'un changement climatique global. Des hivers plus doux ne peuvent qu'atténuer la baisse d'abondance en cette saison et, par voie de conséquence, favoriser la croissance rapide des populations au printemps.

Par ailleurs l'abondance moyenne de chaque espèce varie considérablement entre sites de captures, mais il n'est pas évident de dire si ce sont les chevaux ou les ruminants qui sont plus attractifs.

❖ *Simulium* et *Musca autumnalis*

Les simulies sont des insectes très sensibles et très réactifs aux variations des conditions météorologiques, notamment la température. Leur activité apparente n'a pu être mise en évidence qu'au cours des mois de mars à mai ; dans une fenêtre très étroite de température : [18-27]°C.

Pour lutter contre la menace des simulies, il est recommandé de traiter le bétail du mois de mai au mois de juillet, même si les animaux de rente sont nettement moins attractifs que les chevaux.

*Musca autumnalis* est une espèce moins sensible aux variations de températures en comparaison des deux espèces précédemment étudiées. Son activité n'apparaît qu'après une hausse importante et durable des températures en début de saison de pâturage (>12°C).

Cette mouche lécheuse participe directement à la transmission de pathologies comme la parafilariose bovine et la kératoconjunctivite infectieuse bovine; il est donc intéressant d'envisager une lutte contre cette espèce.

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

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

Je soussigné, *JACQUIET Philippe*, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de *ROUET Diane* intitulée « *Dynamique des populations de Stomoxys calcitrans dans un site urbain, l'Ecole nationale Vétérinaire de Toulouse* » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

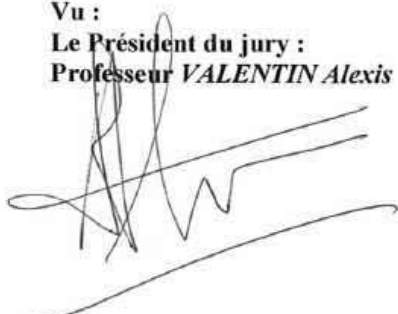
Fait à Toulouse, le 12 mai 2011  
Docteur/Professeur *JACQUIET Philippe*  
Enseignant chercheur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



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


Vu :  
Le Président du jury :  
Professeur *VALENTIN Alexis*



Vu et autorisation de l'impression **JUIN 2011**  
Le Président de l'Université  
Paul Sabatier  
Professeur Gilles FOURFANIER


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.

## Références bibliographiques.

- Alzieu J.P., Dorchies Ph., Schelcher F., Gottstein B** (2007). L'extension de la besnoitiose bovine en France : une problématique complexe. Recueil Conférences Journées Nationales GTV, Nantes, 23-25 mai 2007a : 837-845.
- Alzieu J.P., Jacquet Ph** (2009). Actualités sur la transmission et le diagnostic de la besnoitiose bovine. Le Point Vétérinaire, Déc. 2009, 301, 16-19.
- Alzieu J.P., Jacquet Ph., Lienard E.** (2010). L'inexorable progression de la besnoitiose bovine en France : actualités cliniques, épidémiologiques et diagnostiques. Recueil Conférences Journées Nationales GTV, Lille, 26 – 28 Mai 2010, 921 – 926.
- Anderson J.R.**, (1966). Effect of nutrition on mating of *Stomoxys calcitrans* (L.). *Bulletin of Entomological Society of America* **12**: 285-302.
- Anderson J.R.**, (1978). Mating behavior of *Stomoxys calcitrans*: effects of a blood meal on the mating drive of males and its necessity as a prerequisite for proper insemination of females. *Journal of Economic Entomology* **71**(2): 379-386.
- Bailey D.L., Whitfield T.L., Smittle B.J.** (1979). Flight and dispersal of the stable fly. *Journal of Economic Entomology* **66**: 410-411.
- Barré N.**, (1980). Parasites des animaux domestiques à la Réunion. Inventaire, moyens de lutte : EDE-IEMVT. 121 p.
- Barré N.**, (1981). Les stomoxes ou mouches boeuf à La Réunion. Pouvoir pathogène, écologie, moyen de lutte. Maison Alfort (FRA) - GERDAT - IEMVT: 90 pp.
- Barré N.**, (1997). Contribution à l'évaluation du programme POSEIDOM de lutte contre les tiques, les stomoxes et les maladies transmises à La Réunion. Rapport du CIARD-EMVT : 16 pp.
- Berkerile D.R., Thomas G.D., Campbell J.B.** (1994). Overwintering of the stable fly (Diptera : Muscidae) in southeastern Nebraska. *Journal of Economic Entomology* **87**(6): 1555-1563.
- Berry, I.L., Kunz S.E.** (1978). Oviposition of stable flies in response to temperature and humidity. *Environmental Entomology* **7**: 213-216.
- Berry, I.L., Foerster K. W., Campbell J. B.** (1978). Overwintering behaviour of stable flies in manure mounds. *Environmental Entomology* **7**: 67-72.
- Berry, I.L., Campbell J. B.** (1985). Time and weather effects on daily feeding patterns of stable flies (Diptera : Muscidae). *Environmental Entomology* **14**: 336-342.
- Bishopp F.C.**, (1913). The stable fly (*Stomoxys calcitrans* L.), an important live-stock pest. *Journal of Economic Entomology* **6**: 112-126.
- Black IV W.C., Krafur E.S.** (1985). Use of sticky traps to investigate seasonal trends in the spatial distribution of house flies and stable flies (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology* **22**(5): 550-557.
- Boucher F.**, (1994). La dermatose nodulaire contagieuse. Revue bibliographique – Etude de l'épizootie de 1992 à l'île de la Réunion. Thèse de doctorat vétérinaire : Nantes, 137 p.
- Bruce W.N., Decker G.C.** (1958). The relationship of stable fly to milk production in dairy cattle. *Journal of Economic Entomology* **51**(3): 269-275.
- Brues C.T.**, (1913). The geographical distribution of the stable fly, *S. calcitrans*. *Journal of Economic Entomology* **6**: 459-477.
- Burnett A.M. et Hays K.L.**, (1974) Some influences of meteorological factors on flight activity of female horse flies (Diptera : Tabanidae). *Environment entomol.* **3**, (4), 515-521.
- Bussieras J., Chermette R.**, (1991) Abrégé de parasitologie vétérinaire, Fascicule IV : Entomologie vétérinaire, Service de Parasitologie de l'Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.
- Buxton B.A., Hinkle N.C., Schultz R.D.** (1985). Role of insects in the transmission of bovine leukosis virus - potential for transmission by stable flies, horn flies, and tabanids. *American Journal of Veterinary Research* **46**(1): 123-126.



- Campbell J.B.**, White R.G., Wright J.E., Crookshank R., Clanton D.C. (1977). Effects of stable flies (Diptera-Muscidae) on weight gains and feed-efficiency of calves on growing and finishing rations. *Journal of Economic Entomology* **70**(5): 592-594.
- Campbell J.B.**, Berry I.L., Boxler D.J., Davis R.L., Clanton D.C., Deutscher G.H. (1987). Effects of stable flies (Diptera : Muscidae) on weight gain and feed efficiency of feedlot cattle. *Journal of Economic Entomology* **80**: 117-119.
- Campbell J.B.**, Skoda S.R., Berkerile D.R., Boxler D.J., Thomas G.D., Adams D.C., Davis R. (2001). Effects of stable flies (Diptera: muscidae) on weight gains of grazing yearling cattle. *Journal of Economic Entomology* **94**(3): 780-783.
- Chantal J.**, (1997). Actualités de l'Anthrax ou fièvre charbonneuse. *Médecine Tropicale* **57**: 52-60.
- Clero M.**, (2004) les stomoxes (*Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger*) dans les élevages bovins laitiers du sud de l'île de la Réunion. Thèse de doctorat vétérinaire : Nantes, 133 p
- Charlwood, J.D.**, Lopes J. (1980). The age-structure and biting behaviour of *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae) from Manaus, Brazil. *Bulletin of Entomological Research* **70**: 549-555.
- Charlwood, J.D.**, Sama S. (1996). The age structure, biting cycle and dispersal of *Stomoxys niger* Macquart (Diptera : Muscidae) from Ifakara, Tanzania. *African Entomology* **4**(2): 274-277.
- Chvala M., Lyneborg L., Moucha J.**, (1972) The horse-flies of Europe (*Diptera: Tabanidae*). *Publ. Ent. Soc. Copenhagen*, 491p.
- D'Amico F.**, Gouteux J.P., Le Gall F., Cuisance D. (1996). Are stable flies (Diptera: Stomoxyinae) vectors of *Trypanosoma vivax* in the Central African Republic? *Veterinary Research* **27**: 161-170.
- Dagnogo M.**, Gouteux J.P. (1985). Comparaison de différents pièges à tsé-tsé (Diptera, Glossinidae) en Côte-d'Ivoire et au Congo. *Revue d'Elevage et de Medecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* **38**(4): 371-378.
- Dikmans G.**, (1950) The transmission of anaplasmosis. *American Journal of Veterinary Research*, **11** : 5-16.
- Dougherty C.T.**, Knapp F.W., Burrus P.B., Willis D.C., Cornelius P.L. (1995). Behaviour of grazing cattle exposed to small populations of stable flies (*Stomoxys calcitrans* L.). *Applied Animal Behaviour Sciences* **42**: 231-248.
- Foil L.D.**, Hogsette J.A. (1994). Biology and control of tabanids, stable flies and horn flies. *Revue scientifique et technique de l'Office International des Epizooties* **13**(4): 1125-1158.
- Gares.**, (2003). Les interruptions de gestation d'origine infectieuse en élevage bovin laitier à l'île de la Réunion. Thèse de Doctorat Vétérinaire : Toulouse, 122 p.
- Garros C.**, Gilles J., Duvallet G. (2004). Un nouveau caractère morphologique pour distinguer *Stomoxys calcitrans* et *S. niger* (Diptera : Muscidae). Comparaison de populations de l'île de La Réunion. *Parasite* **11** : 329-332.
- Gatehouse A.G.**, Lewis C.T. (1973). Host location behavior of *Stomoxys calcitrans*. *Entomologia Experimentalis et Applicata* **16**(2): 275-290.
- Gilles J.**, (2001). Test d'efficacité de différents types de pièges dans la lutte contre les stomoxes. Introduction à l'étude de la biologie des stomoxes présents à La Réunion. Mémoire de DEA de Parasitologie. Montpellier I et II. 25pp
- Gilles J.**, Litrico I., Duvallet G. (2005a). Microsatellite loci in the stable fly, *Stomoxys niger niger* (Diptera: Muscidae) on La Réunion Island. *Molecular Ecology Notes*. **5**: 93-95.
- Gilles J.**, David J-F., Duvallet G. (2005b). Temperature effects on development and survival of two stable flies, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger* (Diptera: Muscidae), in La Réunion Island. *Journal of Medical Entomology* **42** (3): in press.

- Gilles J.,** David J-F., Duvallet G. (2005c). Effects of temperature on the rate of increase of two stable flies from La Réunion island, *Stomoxys calcitrans* and *Stomoxys niger* (Diptera: Muscidae). *Journal of Medical Entomology* (in press).
- Gourreau J.M.,** (1992). Compte rendu de mission sur la dermatose nodulaire contagieuse (DNC) à la Réunion : AFSSA, 51 p.
- Greenberg B.** (1971). Flies and disease. Vol. 1, Ecology, classification and biotic associations. Princeton Univ. Press, Princeton New Jersey.
- Greene G.L.,** Hogsette J.A., 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* **82**(2): 412-415.
- Greene G.L.,** (1989). Seasonal population trends of adult stable flies. *Miscellaneous Publications of Entomological Society of America* **74**: 12-17.
- Guo Y.-J.,** Greene G.L., Butine M.D. (1998). Population profile of stable flies (Diptera: Muscidae) caught on alsynite traps in various feedlot habitats. *Journal of Economic Entomology* **91**(1): 159-164.
- Hafez M.,** Gamal-Eddin F.M. (1959a). Ecological studie on *Stomoxys calcitrans* L. and *sitiens* Rond.in Egypt, with suggestions on their control. *Bulletin de la Société d'Entomologie d'Egypte* **43**: 245-254.
- Hafez M.,** Gamal-Eddin F. M. (1959b). On the feeding habits of *Stomoxys calcitrans* L. and *sitiens* Rond., with special reference to their biting cycle in nature. *Bulletin de la Société d'Entomologie d'Egypte* **43**: 291-301.
- Hafez M.,** Gamal-Eddin F. M. (1961). The behaviour of the stable fly larva, *Stomoxys calcitrans* L., towards some environmental factors. *Bulletin de la Société d'Entomologie d'Egypte* **45**: 341-367.  
1259-1262.
- Harley J.M.B.,** (1965). Seasonal abundance and diurnal variations in activity of some *Stomoxys* and *Tabanidae* in Uganda. *Bulletin of entomological Research*: 319-332.
- Hawkins J.A.,** J.N. Love et R.J., Hidalgo (1982). Mechanical transmission of anaplasmosis by tabanids (Diptera : Tabanida). *American Journal of Veterinary Research*, **43**(4) : 732-734.
- Hoch A.L.,** Gargan T.P., Bailay C.L. (1985). Mechanical transmission of Rift Valley fever virus by hematophagous Diptera. *American Journal of Tropical Medecine and Hygiena* **34**(1): 188-193.
- Hogsette J.A.,** Ruff J.P., McGowan M.J. (1981). Stable fly integrated pest management (IPM) in Northwest Florida. *J. Fla. Anti-Mosq. Assoc.* **52**: 48-52.
- Hogsette J.A.,** Ruff J. P., Jones C.J. (1987). Stable fly biology and control in the northwest Florida. *Journal of Agricultural Entomology* **4**(1): 1-11.
- Holloway M.T.P.,** Phelps R. J. (1991). The responses of *Stomoxys Spp* (Diptera: Muscidae) to traps and artificial host odors in the field. *Bulletin of Entomological Research* **81**(1): 51-55.
- Itard J.,** Chartier P.C., Morel P.C., Troncy P.M. (2000). Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. Paris, Cachan, technique et documentation, édition médicale internationale: 774p.
- Jacquet P, Lienard E., Franc M.,** (2010). Bovine besnoitiosis: clinical and epidemiological aspects. *Vet. Parasitol.*, **174**(1-2): 30-36.
- Jones C.J.,** Milne D.E., Patterson R.S., Schreiber E.T., Milio J.A. (1992). Nectar Feeding by *Stomoxys-Calctrans* (Diptera, Muscidae) - Effects on Reproduction and Survival. *Environmental Entomology* **21**(1): 141-147.
- Kangwagye T.N.,** (1973). Diurnal and nocturnal biting activity of flies (Diptera) in western Uganda. *Bulletin of entomological Research* **63**: 17-29.
- Kangwagye T.N.,** (1974). The seasonal incidence of biting flies (Diptera) in Rwenzori National Park and Kigezi Game Reserve, Uganda. *Bulletin of Entomological Research* **63**: 535-549.

- Kettle D.S.**, (1995) *Medical and Veterinary Entomology*, 2nd ed. Wallingford : CAB International, 725p.
- Killough R.A.**, McKinstry D.M. (1965). Mating and oviposition studies of the stable fly. *Journal of Economic Entomology* **58**(3): 489-491.
- Kunz S.E.**, Monty J. (1976). Biology and ecology of *Stomoxys nigra* Macquart and *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera, Muscidae) in Mauritius. *Bulletin of Entomological Research* **66**: 745-755.
- Kunz S.E.**, Berry I.L., Foerster K.W. (1977). The development of the immature forms of *Stomoxys calcitrans*. *Annals of the Entomological Society of America* **70**: 169-172.
- Kunz S.E.**, Murell K.D., Lambert G., James L.F., Terill C.E. (1991). Estimated losses of livestock to pests. In: D. Pimentel (Editor), CRC Handbook of pest management in agriculture. Vol. 1. CRC Press, Boca Raton, FL, 69-98 pp.
- Leclercq M.**, (1971). Les mouches nuisibles aux animaux domestiques. Presses agronomiques de Gembloux: 199pp.
- Liénard E., Salem A., Grisez C., Prévot F., Bergeaud J.P., Franc M., Gottstein B., Alzieu J.P., Lagalisse Y., Jacquet P.** (2011). A longitudinal study of *Besnoitia besnoiti* infections and seasonal abundance of *Stomoxys calcitrans* in a dairy cattle farm of southwest France. *Vet. Parasitol.*, in press.
- Lysyk T.J.**, (1993). Adult resting and larval development sites of stable flies and house flies (Diptera : Muscidae) on dairies in Alberta. *Journal of Economic Entomology* **86**(6): 1746-1753.
- Lysyk T.J.**, (1995). Temperature and population density effects on feeding activity of *Stomoxys calcitrans* (Diptera : Muscidae). *Journal of Medical Entomology* **32**(4): 508-514.
- Lysyk T.J.**, (1998). Relationships between temperature and life-history parameters of *Stomoxys calcitrans* (Diptera : Muscidae). *Journal of Medical Entomology* **35**(2): 107-119.
- Manet G., X Guilbert, A. Roux, A. Vuillaume et A.L. Parodi** (1990). Transmission horizontale spontanée du virus de la leucose bovine enzootique (BLV) : le rôle essentiel des taons (*Tabanus* spp). *Bulletin de la Société Vétérinaire Pratique de France*, 74(8) : 439-449.
- McPheron L.**, Broce A.B. (1996). Environmental components of pupariation-site selection by the stable fly (Diptera : Muscidae). *Environmental Entomology* **25**(3): 665-671.
- Meyer J. A.**, Petersen J.J. (1983). Characterization and seasonal distribution of breeding sites of stable flies and house flies (Diptera : Muscidae) on Eastern Nebraska feedlots and dairies. *Journal of Economic Entomology* **76**: 103-108.
- Mihok S.**, Maramba O., Munyoki E., Kagoiya J. (1995a). Mechanical transmission of *Trypanosoma* spp. by African Stomoxyinae. *Tropical Medicine and Parasitology* **46**: 103-105.
- Mihok S.**, Kangethe E.K., Kamau G.K. (1995b). Trials of Traps and Attractants for *Stomoxys* Spp. (Diptera, Muscidae). *Journal of Medical Entomology* **32**(3): 283-289.
- Mihok S.**, Clausen P.H. (1996). Feeding habits of *Stomoxys* spp. stable flies in a Kenyan forest. *Medical and Veterinary Entomology* **10**: 392-394.
- Miller R.W.**, Pickens L.G., Morgan N.O., Thimijan R.W., Wilson R.L. (1973). Effect of Stable Flies (Diptera-Muscidae) on Feed Intake and Milk-Production of Dairy-Cows. *Journal of Economic Entomology* **66**(3): 711-713.
- Moutia A.**, (1928). Surra in Mauritius and its principal vector *Stomoxys nigra*. *Bulletin of entomological Research* **19**: 211-216.
- Ohshima K, K. Okada, S. Numakunai, Y. Yoneyama, S. Sato and K. Takahashi** (1981). Evidence on horizontal transmission of bovine leukemia virus due to blood-sucking tabanid flies. *Japanese Journal of Veterinary Science*, **43** : 79-81.

- Petolla-Fouche N.**, (1993). Contribution à l'étude de la leucose bovine enzootique : tentative de mise en évidence d'ADN proviral chez les insectes hématophages. Thèse de doctorat Vétérinaire : Alfort, 93 p.
- Potgieter F.T.**, Sutherland B., Biggs H.C. (1981). Attempts to transmit *Anaplasma marginale* with *Hippobosca rufipes* and *Stomoxys calcitrans*. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* **48**: 119-122.
- Rhodain F.**, Perez C. (1985). Précis d'entomologie médicale et vétérinaire. Paris, S.A.: 458p.
- Richard J.L.**, Pier A.C. (1966). Transmission of *Dermatophilus congolensis* by *Stomoxys calcitrans* and *Musca domestica*. *American Journal of Veterinary Research* **27**(117): 419-423.
- Schofield S.**, Brady J. (1996). Circadian activity pattern in the stable fly, *Stomoxys calcitrans*. *Physiological Entomology* **21**: 159-163.
- Schofield S.**, Torr S.J. (2002). A comparison of the feeding behaviour of tsetse and stable flies. *Medical and Veterinary Entomology* **16**: 177-185.
- Schwinghammer K.A.**, Knapp F.W., Boling J.A., Schillo K.K. (1986). Physiological and nutritional response of beef steers to infestations of the stable fly (Diptera: Muscidae). *Journal of Economic Entomology* **79**: 1294-1298.
- Sømme L.**, (1961). On the overwintering of house flies (*Musca domestica* L.) and stable flies (*Stomoxys calcitrans* (L.)) in Norway. *Norsk Entomologisk Tidsskrift* **11**: 191-223.
- Spence JR.**, Niemelä J., (1994). Community impacts of an exotic carabid : *Pterostichus melanarius* in Western Canadian forest. *Carabids beetles : ecology and evolution* Kluwer Academic Press, pp. 333-337
- Sutcliffe J.F.**, Dcambre C., Downe A.E.R. (1993). Effects of 2 blood-feeding regimes on mortality and female reproduction in a laboratory colony of Stable Flies, *Stomoxys calcitrans*. *Medical and Veterinary Entomology* **7**(2): 111-116.
- Sutherland B.**, (1979). Some effects of temperature on the adults, eggs and pupae of *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera: Muscidae). *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* **46**: 223-227.
- Taylor D.**, (2007). Stable Fly Population Dynamics in Eastern Nebraska in Relation to Climatic Variables.
- Tarry D.W.**, **L. Berna land S. Edwards** (1991) Transmission of bovine virus diarrhoea virus by blood feeding flies. *Vetrinary Record*, 128 (4) : 82-84.
- Weber A.F.**, Moon R.D., Sorensen D.K., Bates D.W., Meiske J.C., Brown C.A., Rohland N.L., Hooker E.C., Strand W.O. (1988). Evaluation of the stable fly (*Stomoxys calcitrans*) as a vector of enzootic bovine leukosis. *American Journal of Veterinary Research* **49**(9): 1543-1549.
- Wilson B.H.**, and R.B. Meyer (1966) Transmission studies of bovine anaplasmosis with the horseflies, *Tabanus fuscicostatus* and *Tabanus nigrovittatus*. *American Journal of Veterinary Research*, 27(116) : 367-369.
- Zumpt F.**, (1973). The Stomoxylene biting flies of the world. Taxonomy, biology, economic importance and control measures. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 175pp.