

## SOMMAIRE

<b>I. PRESENTATION DE L'ILE DE LA REUNION ET DE SON ELEVAGE BOVIN</b>	<b>1</b>
<b>1.1. PRESENTATION GENERALE DE L'ILE DE LA REUNION :</b>	<b>1</b>
1.1.1. GEOGRAPHIE	1
1.1.2. LES PARTICULARITES MORPHOPEDOLOGIQUES ET LEURS CONSEQUENCES AGRONOMIQUES (BLANFORT, 2000)	1
1.1.3. LES PARTICULARITES CLIMATIQUES ET LEURS CONSEQUENCES EN ELEVAGE (BLANFORT, 2000)	2
<b>1.2. L'ELEVAGE BOVIN A L'ILE DE LA REUNION</b>	<b>4</b>
1.2.1. CONTEXTE	4
1.2.2. DONNEES CHIFFREES RECENTES (DONNEES SUADER-EDE, 2002).	6
<b>II. GENERALITES SUR LES STOMOXES</b>	<b>8</b>
<b>2.1. SYSTEMATIQUE, REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIE GENERALE</b>	<b>8</b>
<b>2.2. BIOLOGIE DES STOMOXES</b>	<b>9</b>
2.2.1. LES STOMOXES : DES MOUCHES HEMATOPHAGES	9
2.2.2. LA REPRODUCTION DES STOMOXES	11
2.2.3. LES STADES IMMATURES	12
<b>2.3. IMPORTANCE DES STOMOXES</b>	<b>12</b>
2.3.1. LES EFFETS PATHOGENES DIRECTS	13
2.3.2. LES STOMOXES SONT DES VECTEURS POTENTIELS D'AGENTS PATHOGENES :	13
<b>2.4. IMPORTANCE PARTICULIERE DES STOMOXES A L'ILE DE LA REUNION</b>	<b>14</b>
<b>III. ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION DES STOMOXES</b>	<b>16</b>
<b>3.1. OBJECTIFS</b>	<b>16</b>
<b>3.2. MATERIELS ET METHODES</b>	<b>16</b>
3.2.1. PROTOCOLE COMMUN	16
3.2.2. EFFICACITE DU PIEGE EN FONCTION DE SON ENVIRONNEMENT	20
3.2.3. EVOLUTION DES DENSITES DE STOMOXES DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE	25
<b>3.3. RESULTATS</b>	<b>25</b>
3.3.1. EFFICACITE DES PIEGES EN FONCTION DE LEUR ENVIRONNEMENT	25
3.3.2. EVOLUTION DES DENSITES DE STOMOXES DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE	45
<b>3.4. DISCUSSION</b>	<b>56</b>

## Liste des figures

- figure 1 : carte hypsométrique de la Réunion
- figure 2a : Isohyètes moyennes annuelles de la Réunion pour la période 1951-1980
- figure 2b : Isothermes moyennes annuelles de la Réunion pour la période 1951-1980
- figure 3 : abdomens de *S. calcitrans* et de *S. niger*
- figure 4 : espacement des yeux de *S. calcitrans* et *S. niger* mâles et femelles.
- figure 5a : schéma de la tête de *S. calcitrans*
- figure 5b : schéma des pièces buccales des stomoxes.
- figure 6 : transect St Pierre-Plaine des Cafres
- figure 7 : photographie d'un piège vavoua.
- figure 8 : histogramme des écarts entre  $\log(\text{Stt}+1)$  et la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par éleveur et par semaine
- figure 9 : graphique de la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par facteur et de la moyenne des écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par facteur.
- figures 10 à 16 : écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez les éleveurs A à G.
- figure 17 : répartition des données sous forme de quantile 25/75.
- figure 18 à 25 : répartition des emlnstt en fonction de l'ensoleillement des pièges, de la distance aux cornadis, de la distance à la fosse à lisier, de la couverture au sol, de la végétation environnante, de la protection globale contre les vents, de la protection contre les vents locaux dominants le jour de la capture, de la protection contre les vents de sud-est.
- figures 26, 27 et 29 à 33 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de l'ensoleillement, de la proximité du bétail, de la position du piège par rapport aux cornadis, de la position du piège par rapport à la fosse à lisier, de la nature couverture au sol, de la végétation environnante, de l'altitude.
- figure 28 : sexe-ratio des comptages de *S. niger* et *S. calcitrans* en fonction de la proximité du bétail.
- figure 34 à 37 : captures hebdomadaires de *S. calcitrans* (SC), de *S. niger* (SN) et de stomoxes totaux (Stt) chez les éleveurs A à G.
- Figure 38 à 45 : pluviométrie et températures hebdomadaires relevées par les quatres stations météorologiques.

## Liste des tableaux

- tableau 1 : évolution des effectifs de bovins identifiés à la Réunion.  
tableau 2 : évolution des effectifs de bovins par classe.  
tableau 3 : caractéristiques des pièges qui réalisent des captures régulièrement au-dessus de la moyenne.  
tableau 4 : caractéristiques des pièges qui réalisent des captures régulièrement au-dessous de la moyenne.

## Liste des annexes

- annexe I : caractérisation de l'environnement des pièges.  
annexe II : étapes de la construction des modèles statistiques pour l'analyse de l'efficacité des pièges.  
annexe III: résultats des tests d'analyse de la variance pour l'analyse de l'efficacité des pièges.  
annexe IV: évolution des densités de stomoxes capturés dans le temps et dans l'espace.

## Liste des abréviations

- Cirad : centre international de recherche agronomique pour le développement  
Ede : établissement départemental de l'élevage  
Grdsbr : groupement régional de défense sanitaire du bétail de la Réunion  
Irat : institut de recherches agronomiques tropicales  
Poseidom : programme optionnel spécifique de l'éloignement et de l'insularité des départements d'Outre-mer  
Resir : réseau d'épidémiosurveillance de l'île de la Réunion  
Sicalait : société d'intérêt collectif agricole - lait  
Sicarevia : société d'intérêt collectif agricole - Réunion Viande  
Suader : service d'utilité agricole et de développement de l'élevage réunionnais.

# Introduction

A l'île de La Réunion, les pullulations de stomoxes sont particulièrement remarquables et n'ont cette ampleur nulle par ailleurs dans le monde. Deux espèces de stomoxes sont présentes : *Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger* causant d'importantes pertes économiques à la filière élevage actuellement en pleine expansion.

Le Groupement Régional de Défense Sanitaire du Bétail de La Réunion (Grdsbr), dans le cadre du programme Poseidom ("éradication des hémoparasitoses"), lutte contre les stomoxes, les axes de cette lutte intégrée sont la lutte chimique, la lutte biologique, la lutte mécanique par piégeage et la lutte environnementale.

Cependant il semble que le manque de connaissances scientifiques précises sur la biologie et la dynamique des populations des stomoxes en amont de la mise en place de ce programme limite l'impact escompté. La mauvaise maîtrise dans le temps et dans l'espace des différents moyens de lutte ne permettent pas d'observer des résultats significatifs dans la lutte contre les stomoxes.

C'est dans ce contexte que s'inscrivent les travaux de recherche de la thèse de troisième cycle de Jérémie Gilles, qui est réalisée en partenariat avec le Cirad, le Grdsbr (Poseidom et Resir) et les universités de La Réunion et de Montpellier. Les travaux présentés dans ce rapport ont été réalisés dans le cadre de cette thèse et constituent une première analyse des données recueillies sur le terrain, permettant de dégager des points devant faire l'objet d'approfondissement ultérieurs. Après une présentation du contexte régional et un rappel sur la biologie et l'importance médicale et économique des stomoxes, nous étudions l'effet de l'emplacement des pièges en terme d'efficacité dans la capture des stomoxes. Ensuite nous analysons les profils des captures hebdomadaires de stomoxes réalisées pendant une année dans sept élevages situés à quatre altitudes différentes.

## I. PRESENTATION DE L'ILE DE LA REUNION ET DE SON ELEVAGE BOVIN

### 1.1. présentation générale de l'île de la Réunion :

#### 1.1.1. Géographie

L'île de la Réunion est située dans la partie sud-ouest de l'océan Indien, à 700 kilomètres à l'est de Madagascar par 55,30° de longitude Est et 21° de latitude sud. Avec Maurice distante de 160 km et Rodrigues, elle forme l'archipel des Mascareignes, le groupe d'îles le plus méridional de l'océan indien tropical.

Cône volcanique émergeant de l'océan, la Réunion a, au niveau de la mer, un tracé elliptique ; elle mesure 70 km dans son grand axe nord-ouest – sud-est et 50 km perpendiculairement à celui-ci.

#### 1.1.2. Les particularités morphopédologiques et leurs conséquences agronomiques (Blanfort, 2000)

L'origine volcanique de l'île lui confère une géologie originale responsable d'une topographie et d'une pédologie contraignantes pour la mise en valeur du territoire par l'agriculture. A cet égard, les régions d'élevage se situent dans les zones délaissées par les autres activités agricoles du fait des conditions topographiques extrêmes et de l'altitude.

La Réunion est constituée de deux volcans boucliers imbriqués. Le piton des Neiges (3069 mètres) est profondément entaillé dans sa région centrale par trois larges excavations d'effondrement, les cirques. L'érosion y est très active. Ses flancs sont constitués de planèzes inclinées vers l'océan en pentes de 10 à 30%; c'est le cas des **Hauts de l'Ouest**, l'une des quatre zones herbagères principales. Le piton de la Fournaise (2632 mètres) s'est édifié sur les pentes sud-est du piton des Neiges, c'est un volcan toujours en activité. Il a aussi l'aspect d'un bouclier aux pentes régulières, inclinées d'une dizaine de degrés vers l'océan. L'effondrement entre les deux massifs forme deux plaines d'altitude, la **plaine des Cafres** et la **plaine des Palmistes**, qui constituent deux autres zones herbagères importantes. Le dernier secteur consacré à l'élevage, les **Hauts de Saint-Joseph**, occupe la partie de piedmont au sud du volcan.

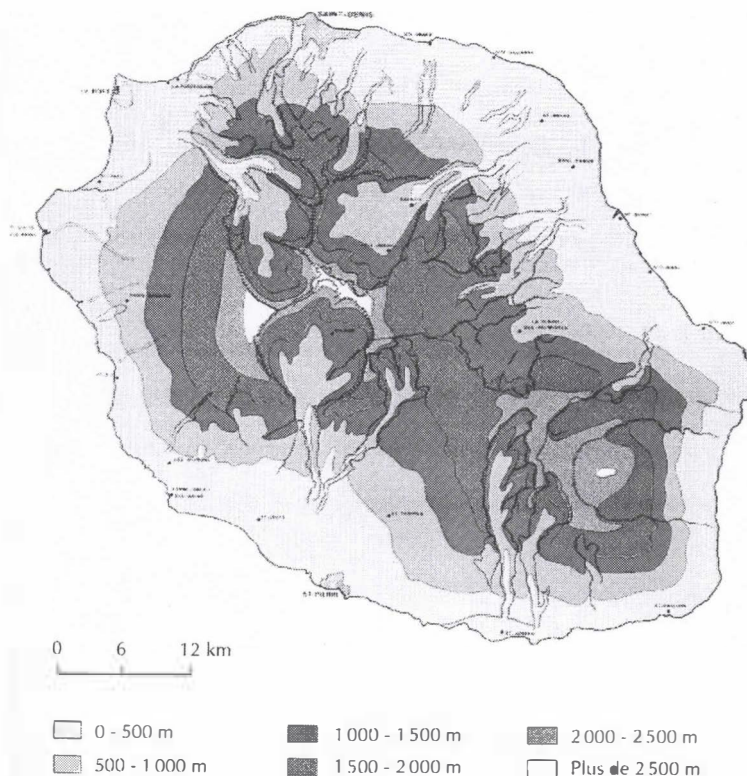


Figure 1 : carte hypsométrique de la Réunion ( d'après Raunet, 1991).

Les andosols couvrent près de 80% de l'ensemble de l'île. Ils concernent les régions d'élevage au-dessus de 1200 mètres d'altitude. Ce sont des sols généralement profonds et non pierreux mais qui présentent de très fortes contraintes liées à leurs propriétés physiques, hydriques et mécaniques (Perret, 1993). L'exploitation agricole des milieux andiques d'altitude est ainsi une source de perturbation pour les sols, qui peut sérieusement remettre en cause la pérennité des agrosystèmes. En effet, la mise en culture des andosols entraîne une évolution rapide des couches superficielles et augmente leur sensibilité naturelle à l'érosion. A cet égard, la mise en place d'exploitations d'élevage apparaît comme l'une des activités agricoles les mieux adaptées. En effet, les couverts herbacés pluriannuels ou pérennes sont remarquablement anti-érosifs. La topographie des parcelles constitue cependant une entrave majeure à la mécanisation pour l'installation des prairies, leur entretien et leur exploitation par la fauche.

### **1.1.3. Les particularités climatiques et leurs conséquences en élevage (Blanfort, 2000)**

La Réunion a un climat tropical humide contrasté. L'**hivers austral** frais communément appelé saison fraîche, de **mai à septembre**, est caractérisé par la présence de l'anticyclone de l'océan indien, qui engendre un régime d'alizés frais avec des vents d'est dominants. Pendant l'**été austral** de **décembre à avril**, l'air est chaud et humide et il y a d'intenses précipitations et des vents violents. C'est à cette saison que peuvent survenir les cyclones.

Il existe une dissymétrie entre la **côte au vent** (est), exposée aux alizés et très humide tout au long de l'année, et la **côte sous le vent** (ouest), protégée par le relief élevé et qui connaît chaque année une saison sèche marquée. Ces grandes tendances sont fortement nuancées par un gradient altitudinal prononcé qui entraîne une **baisse de la température et une augmentation de la pluviométrie et de l'humidité en altitude**. C'est l'une des caractéristiques remarquables de l'île, certaines parties ont un climat plutôt tropical, d'autres, plutôt tempéré. La zone tropicale se limite au littoral avec une température moyenne annuelle relativement élevée, de 23 à 26 °C. La zone tempérée est de plus en plus marquée avec l'altitude, la température moyenne y est de 12 à 17 °C entre 1 000 à 2 000 mètres. C'est dans cette zone que se pratique l'élevage.

Les pluies abondantes sont inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. La côte au vent humide, notamment la plaine des Palmistes, bénéficie de précipitations toute l'année avec des chiffres records en saison des pluies et une moyenne annuelle de 4000 à 6000 millimètres. La **plaine des Cafres**, à la limite de la façade au vent, est caractérisée par une **saison très pluvieuse**, avec une moyenne annuelle de 2000 à 4000 millimètres, au cours de laquelle la pluviosité est régulière en altitude et **rarement inférieure à 200 millimètres par mois**. La **saison fraîche** est moins pluvieuse mais la pluviosité n'y est **jamais inférieure à 50 millimètres par mois**. La façade sous le vent a des minimums de 500 millimètres sur la côte, mais pour les zones d'altitude qui intéressent l'élevage (Hauts de l'Ouest) la moyenne annuelle atteint 2000 millimètres. Les zones littorales ouest de l'île enregistrent jusqu'à 8 mois secs, qui se réduisent pour les zones d'altitude à 2 ou 3 mois, de juillet à octobre (Raunet, 1991).

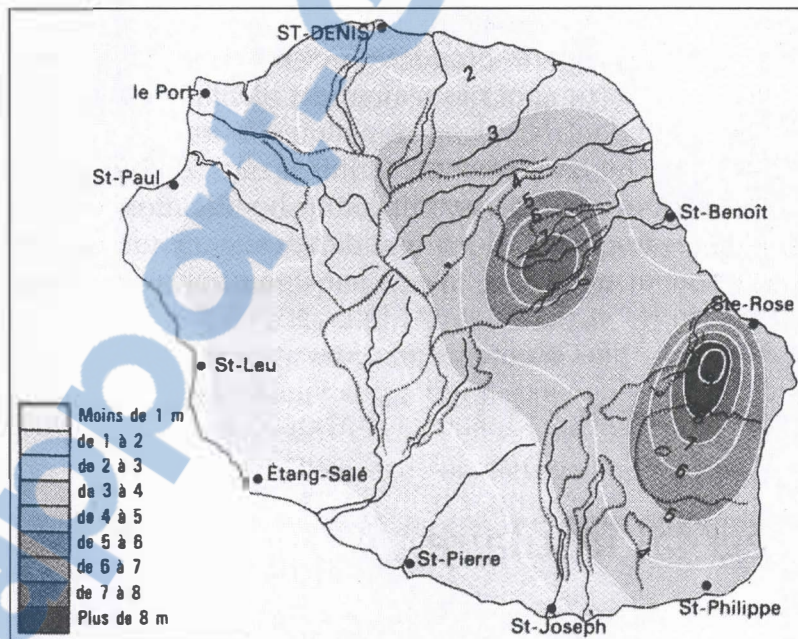


Figure 2a : Isohyètes moyennes annuelles de la Réunion pour la période 1951-1980 (d'après Bertile, 1987).

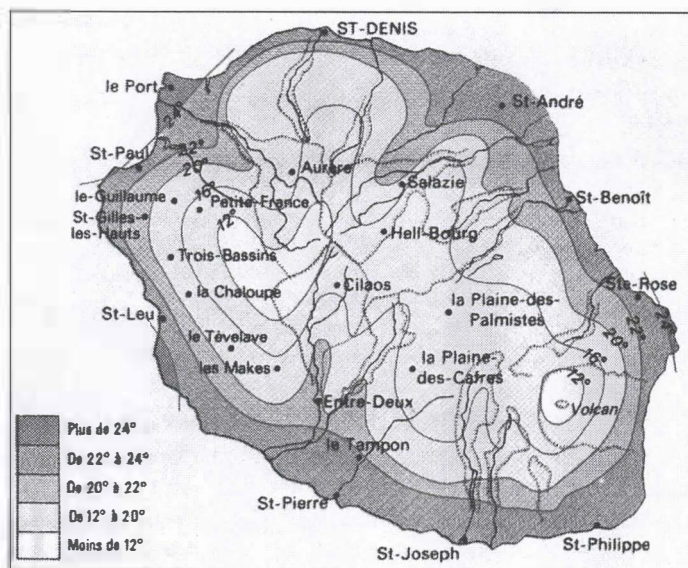


Figure 2b : Isothermes moyennes annuelles de la Réunion pour la période 1951-1980 (d'après Bertile, 1987).

Sur le plan de la gestion des ressources herbagères, ces traits dominants du climat constituent un paramètre majeur du fonctionnement des systèmes herbagers d'altitude. Ils entraînent, en particulier, des différences saisonnières marquées dans la vitesse de croissance des herbages. Cette production d'herbe irrégulière en quantité et en qualité au cours de l'année entraîne des situations de déséquilibre entre l'offre fourragère et la demande du troupeau. Ce schéma synthétique doit cependant être nuancé par la diversité des situations climatiques et par les caractéristiques des exploitations. D'un point de vue zootechnique, les variations climatiques se traduisent par des variations dans les performances de production et de reproduction des troupeaux.

## 1.2. L'élevage bovin à l'île de la Réunion

### 1.2.1. Contexte

La présence de bovins sur l'île est ancienne mais leur élevage est plutôt récent, il a commencé à s'organiser au XVIII<sup>e</sup> siècle. Au XX<sup>e</sup> siècle, les zébus qui servaient surtout au charroi ont été remplacés par des races à viande et des races laitières, importées principalement de métropole. En 1946, avec la départementalisation, des plans de relance de l'élevage bovin se sont mis en place et se sont traduits, avec l'aide de la Région et de l'Union Européenne, par des progrès rapides et considérables de l'élevage ainsi que par une organisation professionnelle de la filière (Mandret, 2000).

Cette professionnalisation s'exprime entre autres par la création en 1962 de la Sicalait (Mandret, 2000). Constituée alors sur l'initiative de huit éleveurs de la plaine des Cafres, la **Sicalait** rassemble aujourd'hui la plupart des producteurs de lait et a pour mission de collecter et de commercialiser la production. Elle a aussi un rôle de représentation et de défense des intérêts de la profession, mais aussi de proposition et d'orientation en matière de mesures visant à développer la production en collaboration avec les partenaires de l'agriculture et les décideurs politiques.



L'année 1962 voit aussi se mettre en place un organisme de recherche, l'Irat, Institut de recherches agronomiques tropicales et des cultures vivrières, intégré par la suite au Cirad. En 1968, le **Suader**, Service d'utilité agricole et de développement de l'élevage réunionnais, est créé par la chambre d'agriculture. Il sera agréé en 1976, en tant qu'Etablissement départemental d'élevage, **Ede**, pour le contrôle des performances, le contrôle laitier et l'identification des animaux. (Mandret, 2000).

En 1987, le Cirad et l'Inra créent le **Cirad-Elevage**, qui est chargé du programme de recherche appliqué au développement de l'élevage bovin à La Réunion. Dès 1993, son objectif est de « produire mieux, autrement et à moindre coût » (Mandret et al., 1994).

Les producteurs de viande se sont également organisés. La **Sicarevia** qui regroupe les principaux producteurs a pour objectif d'assurer l'approvisionnement de l'île en viande bovine. Elle a organisé la filière avec le naissage dans les hauts et l'engraissement dans les bas (Devimeux, 2000).

Comme nous l'avons évoqué ci-dessus, les contraintes écologiques des zones d'altitude de l'île de la Réunion constituent l'un des critères majeurs de l'essor de l'élevage dans ces zones, de préférence à d'autres activités agricoles (Blanfort, 2000). C'est pourquoi **l'élevage bovin se concentre aujourd'hui à la plaine des Cafres, la plaine des Palmistes, les Hauts de Saint-Joseph et les Hauts de l'Ouest.**

En 1930, A. Kopp, le directeur de la station agronomique de la Plaine des Palmistes écrivait déjà en parlant des plaines : « deux ont une importance agricole, celle des Palmistes [...] et celle des Cafres [...] Elles sont vouées aux cultures des régions tempérées et à l'élevage, c'est-à-dire tournées vers l'approvisionnement de l'île ». Il ajoute « un second facteur de prospérité de l'île [après la canne] existe dans la mise en valeur des Hauts de l'île, mise en valeur tournée vers l'élevage » (Kopp, 1930).

Le développement de l'élevage bovin y a d'abord privilégié les systèmes herbagers pour l'alimentation des animaux. En raison du déficit fourrager hivernal on s'est orienté par la suite vers le report fourrager sous forme d'ensilage d'herbe. A la fin des années 90 on assiste aussi à une mobilisation de ressources fourragères dans la zone cannière, source importante de biomasse, qui va permettre d'accroître les productions animales. Un transfert de paille de canne à sucre de la zone littorale vers les élevages des hauts est alors organisé, en particulier pour les élevages laitiers (Devimeux, 2000).

Ces 25 dernières années ont conforté le choix de l'élevage bovin dans les Hauts de La Réunion. D'un système semi-extensif fondé sur l'exploitation des ressources pastorales des Hauts, l'élevage a évolué vers une intensification sous l'influence des organismes professionnels et des pouvoirs publics.

L'enquête réalisée par le Cirad-Elevage en 1991 dénombre 307 élevages spécialisés sur les 3644 exploitations de l'île possédant des bovins (Salon, 1992). Ces 10% d'élevages spécialisés disposent des troupeaux les plus importants et des surfaces fourragères les plus étendues. Ce sont ces exploitations qui assurent 90% de la production de viande et de lait sur l'île. L'élevage bovin se développe à partir de ces exploitations spécialisées, notamment le secteur laitier qui bénéficie du soutien constant de l'Etat français, depuis le début des années 80, et de celui de l'Europe par la suite.

Malgré tous les efforts consentis au développement de ce secteur, la production de l'élevage bovin a doublé en valeur marchande depuis 1981 mais sa part par rapport aux autres produits animaux ne représente toujours que 15%. Il semble que la Réunion ait atteint un seuil en matière de développement de l'élevage bovin. S'il est vrai que les surfaces pour cette activité sont limitées, le potentiel de développement n'est pas atteint pour autant, car des voies d'amélioration sont techniquement possibles, toute entreprise d'amélioration devant tenir compte des contraintes socio-économiques et écologiques. (Mandret, 2000).



## 1.2.2 Données chiffrées récentes (Données Suader-Ede, 2002).

### 1.2.2.1. Les effectifs bovins :

D'après le rapport 2002 du Suader-Ede sur l'identification pérenne généralisée des bovins, on comptait **36 369 bovins** identifiés à l'île de la Réunion en **2001**, répartis **chez 3325 éleveurs**. On peut considérer que le nombre de bovins identifiés est très proche du nombre de bovins réellement présents sur l'île car lors des contrôles IPG (réalisés par la DSV), plus de 98% des animaux contrôlés étaient identifiés. Le nombre d'éleveurs ayant au moins un animal en 2001 diminue de 8,2% par rapport à 2000. Cela traduit le phénomène de détention épisodique d'un bovin sur une année.

	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Nombre d'éleveurs (au moins un animal)	3548	3444	3467	3495	3621	3325
% variation		-2,9%	0,7%	0,8%	3,6%	-8,2%
Nombre de bovins	28202	30173	32286	34347	36384	36369
% variation		7,0%	7,0%	6,4%	5,9%	0,0%

Tableau 1 : Evolution des effectifs de bovins identifiés (Données Suader-Ede 2002)

Au fil des années, la progression des éleveurs possédant plus de 40 bovins est régulière, en 1996 ils regroupaient 40% du cheptel total et près de 57% en 2001. Un quart des éleveurs sont à la tête des cheptels de plus de 100 bovins et rassemblent près de 10000 animaux.

Effectif bovin	Nb d'éleveurs	% élevage	Nb bovins	% bovins
[1-5]	2327	70,0%	5064	13,9%
[6-10]	382	11,5%	2908	8,0%
[11-15]	142	4,3%	1782	4,9%
[16-20]	72	2,2%	1275	3,5%
[21-30]	100	3,0%	2484	6,8%
[31-40]	61	1,8%	2195	6,0%
+ de 40	241	7,2%	20661	56,8%
TOTAL	3325	100,0%	36 369	100,0%

Tableau 2 : Evolution des effectifs par classe (Données Suader-Ede 2002)

### 1.2.2.2. Le cheptel laitier.

Notre étude se situe dans les élevages laitiers du sud de l'île de la Réunion, il est donc intéressant de fournir quelques précisions supplémentaires sur la filière laitière.

En 2001 on compte **112 éleveurs adhérents au contrôle laitier**, avec des élevages de **34,2 vaches** en moyenne soit 3830 vaches.

Le secteur de la **plaine des Cafres** regroupe presque **la moitié des élevages contrôlés** (47%). Les autres élevages sont répartis à la plaine des Palmistes (9%), les Hauts de l'Ouest (9%), la plaine des Grègues (16%) et Grand Coude (18%).

La race **Prim'Holstein** est prédominante avec environ 80% de l'effectif contrôlé, les autres races sont par ordre d'importance décroissante les vaches « **Métis** » issues de croisements divers et de saillies naturelles, les **Brunes des Alpes**, les Normandes et les Montbéliardes.

En 2001 à la Réunion le numéro moyen de lactation qui traduit l'âge moyen du cheptel laitier s'est élevé à 3,1 avec 26,3% de primipares, contre 2,63 lactations par vache et 33,1% de primipares en métropole.

L'amélioration génétique des troupeaux est constante puisque le choix des génisses de renouvellement est effectué selon leurs origines et des plans d'accouplement raisonnés sont réalisés couramment. Certains éleveurs constituent eux-même leur troupeau de renouvellement, d'autres achètent leurs génisses à la Sicalait qui élève un troupeau de génisses.

La **production laitière moyenne** des vaches de la Réunion est passée de 6021 Kg en 2000 à **6382 Kg en 2001**, soit 2,92% de lait en plus par vache et 22,9% de plus qu'en 1996. Les primipares de race Prim'Holstein réalisent de loin les meilleures performances. La durée moyenne de la lactation est de 325 jours et l'intervalle moyen entre deux vêlages est élevé, 427 jours, dû pour l'essentiel à des problèmes de reproduction.

En plus des facteurs limitant de l'élevage déjà évoqués (contraintes environnementales, climatiques, potentiel génétique), des contraintes sanitaires existent, et parmi celles-ci, les stomoxes jouent un rôle sans aucun doute non négligeable bien que non chiffré. Après une présentation générale de la biologie des stomoxes et de leur importance en tant que nuisance pour l'élevage, nous nous intéresserons plus particulièrement à leur piégeage et au suivi des densités de population dans le temps et dans l'espace.

## II. GENERALITES SUR LES STOMOXES

### 2.1. Systématique, répartition géographique et morphologie générale

Les *Stomoxyinae* appartiennent à la famille des *Muscidae* (*Diptera*) et forment une sous-famille aux caractères morphologiques et comportementaux bien définis : **mouches piqueuses, de 3 à 10 mm de longueur, hémato-phages ayant l'aspect d'une mouche domestique (*Musca domestica* Linnaeus, 1758) mais possédant un appareil buccal adapté à la piqûre, le proboscis (trompe), dirigé vers l'avant dans l'axe du corps et capable de percer la peau.** La sous-famille *Stomoxyinae* regroupe dix genres dont les plus importants sont *Haematobosca* Bezzi, 1907, *Haematobia* Lepeletier et Serville, 1828 et *Stomoxys* Geoffroy, 1762. ) (Zumpt, 1973).

Le genre *Stomoxys*, originaire de l'ancien monde, comprend 18 espèces (appelées vulgairement stomoxes), 17 à répartition essentiellement africaine dont *Stomoxys niger niger* Macquart, 1851, et une espèce cosmopolite : *Stomoxys calcitrans* (Linnaeus), 1758, (Zumpt, 1973).

A La Réunion, seules deux espèces de stomoxes (*Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger*) sont présentes du niveau de la mer jusqu'aux plaines d'altitude.

*S. calcitrans* appelée "stable fly" en anglais et "mouche bœuf" en créole est probablement d'origine paléarctique. Présente en Amérique du Nord depuis 1770 (Brues, 1913), elle est devenue l'espèce de stomoxe **la plus étudiée** en raison des problèmes qu'elle pose dans le monde entier.

*S. niger* (anciennement *S. niger*) a une distribution beaucoup plus limitée. Présente sur une large partie du continent africain, elle est l'espèce de stomoxe la plus commune dans la région Ethiopienne (Zumpt, 1973), en Ouganda (Kangwagye, 1974), à l'île Maurice (Kunz, 1976). Elle est présente dans les forêts tropicales humides jusqu'aux savanes mais absente dans les zones semi-arides et arides. Elle a été introduite depuis le continent africain, à Madagascar, à l'île de La Réunion et à l'île Maurice où elle est particulièrement nuisible (Zumpt, 1973). Cette distribution nettement plus restreinte que celle de *S. calcitrans* explique le **peu d'informations disponibles** sur sa biologie et son écologie.

*S. niger*, d'une longueur de 5 à 7 mm, possède un abdomen rayé de bandes noires perpendiculaires à l'axe du corps et un trait noir médian discontinu.

*S. calcitrans*, mesure 4 à 7 mm, possède un abdomen ponctué de taches noires de forme arrondie et un trait noir médian discontinu plus large que celui de *S. niger* (Zumpt, 1973). Les palpes maxillaires de *S. niger* mesurent le double de ceux de *S. calcitrans* (Garros, 2001).

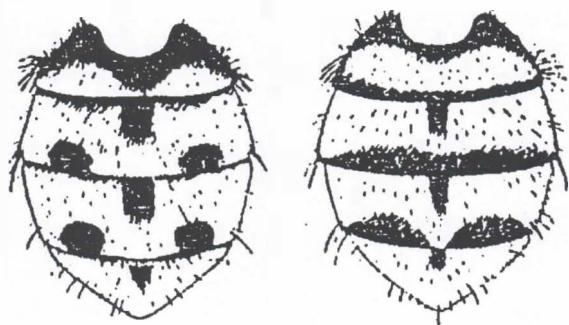


Figure 3 : abdomen de *S. calcitrans* (à gauche) et de *S. niger* (à droite) (d'après Zumpt, 1973)

Dans les deux espèces les mâles se distinguent des femelles par un écartement plus faible des yeux à l'apex de la tête, et par la présence d'un ovipositeur chez la femelle qui s'évagine sous une légère pression.

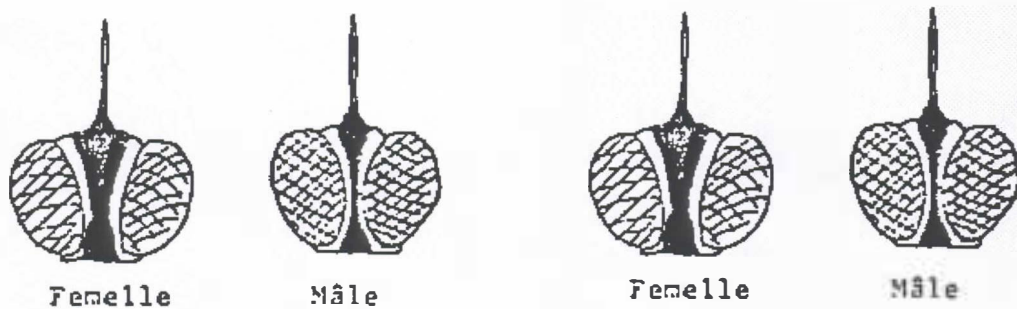


Figure 4 : écartement des yeux au sommet de la tête chez les femelles et les mâles de *S. calcitrans* (à gauche) et de *S. niger* (à droite) (d'après Barré, 1981).

## 2.2. Biologie des stomoxes

### 2.2.1. Les stomoxes : des mouches hémato-phages

Les stomoxes sont des mouches hémato-phages. 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 formant deux tubes. 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 (Zumt, 1973). Chez les deux espèces **les deux sexes sont hémato-phages**, le sang est **nécessaire à la reproduction** mais les mouches peuvent survivre en s'alimentant de nectar et de pollen (Foil, 1994).

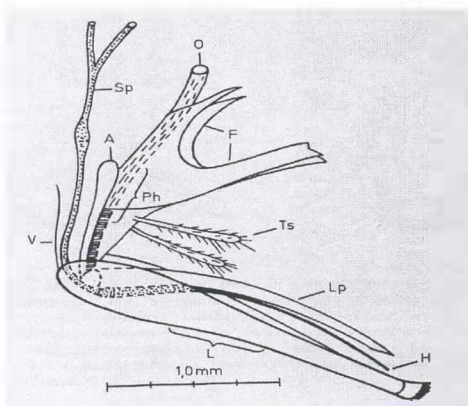
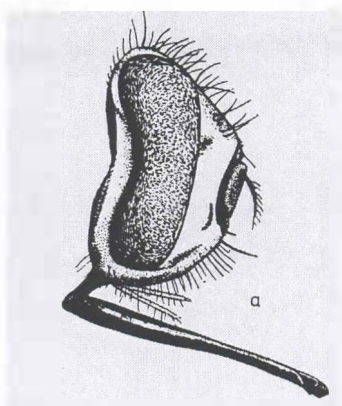


Figure 5a (à gauche) : schéma de la tête de *S. calcitrans*, on voit bien le proboscis.  
 Figure 5b (à droite) : schéma des pièces buccales des stomoxes. L = labium, H = hypopharynx, Lp = labre.(d'après Zumt, 1973).

Les stomoxes **attaquent de jour** (Harley, 1965), avec agressivité. Le choix de leur victime est fonction de la couleur, l'épaisseur du pelage, la taille, les mouvements et les odeurs (température cutanée, transpiration, CO<sub>2</sub>, odeurs particulières voire spécifiques). Chez ces mouches, le sens visuel et le thermotropisme sont excellents, le sens olfactif est en outre affiné par des chémorécepteurs de contact (Leclercq, 1971).

Les hôtes préférentiels de *S. calcitrans* sont, par ordre d'intérêt, les ânes, les chevaux, les buffles, les vaches, les chameaux, les moutons et les chèvres. *S. calcitrans* peut aussi se nourrir dans les conditions naturelles sur les hommes ou les chiens (Hafez, 1959). *S. niger* pique préférentiellement le ânes, les chevaux et les bovins alors que les moutons et les chèvres semblent être moins attractifs (Zumpt, 1973).

Chez les bovins, les stomoxes se nourrissent préférentiellement sur la **partie inférieure des membres** et en particulier sur les membres antérieurs, sans doute à cause des mouvements de queue qui les chassent des membres postérieurs. 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, 1976 ; Hafez, 1959 ; Lysyk, 1995).

Chez *S. calcitrans* un repas de sang complet dure en moyenne 7 minutes à 30°C, et 15 minutes à 21°C (Hafez et al., 1959). Chez *S. niger*, il faut en moyenne moins de deux minutes pour prendre un repas de sang complet et il est possible qu'un même individu prenne deux repas de sang dans une même journée (Kunz, 1976).

La quantité de *S. calcitrans* venant prendre un repas de sang est maximale à 30°C, nettement diminuée au delà de 34°C et nulle à 14°C et en dessous (Hafez, 1959). En 1995, Lysyk montre en conditions contrôlées que **la densité de stomoxes venant prendre un repas de sang et le temps passé sur les membres du bétail sont positivement corrélés à la température**. Il estime que la température minimale autorisant le vol est de 10,7 °C. Cette différence entre les températures minimales d'activité peut sans doute s'expliquer par le fait que la première étude a été menée en Egypte et la seconde au Canada, les mouches étant adaptées aux conditions climatiques de la région. Lysyk (1998) montre d'ailleurs que *S. calcitrans* possède une capacité d'adaptation aux basses températures importante comparativement aux autres espèces de mouches. Cette température critique a été estimée à 14°C à l'île Maurice pour *S. calcitrans* et *S. niger*. La pluie ne semble pas affecter de façon importante la prise des repas de sang (Kunz, 1976).

Globalement **deux pics d'activité** sont observés chez les deux espèces de stomoxes : un tôt le matin et un en fin d'après-midi (Hafez, 1959 ; Harley, 1965 ; Kunz, 1976 ; Mihok, 1996b ; Charlwood, 1996). Ces pics présentent des variations saisonnières et interspécifiques. Le second pic semble plus tardif chez *S. niger* que chez *S. calcitrans* (Kunz, 1976). Chez *S. calcitrans* on peut observer dans certaines conditions et notamment en saison fraîche un seul pic d'activité en début d'après-midi (Hafez., 1959 ; Harley, 1965). Pour les deux espèces ces pics d'activité interviennent plus tôt dans l'après-midi pendant la saison fraîche et la saison des pluies ainsi que pour les captures réalisées en zone ombragée (Harley, 1965).

*S. calcitrans* peut parcourir 5 km ou plus à la recherche d'un repas de sang (Hogsette, 1987 dans Foil et al., 1994), certaines mouches marquées ont même été retrouvées jusqu'à plus de 100 km de leur lieu de marquage (Foil et al., 1994). Des *S. niger* marqués ont également été capturés à 3 km de l'endroit où on les avait lâchés (Charlwood, 1996).

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). Barré (1981) a constaté à la Réunion que les aires de repos privilégiées des stomoxes sont des végétaux proches des animaux, hauts (herbacées et arbustes) et denses.

La survie des femelles et des mâles de *S. calcitrans* est maximale à 17°C. La moitié des individus survivent de plus de 30 jours à 15°C jusqu'à moins de 6 jours à 35°C (Lysyk, 1998). Nous ne disposons pas de données sur la survie des adultes de *S. niger* en fonction de la température.

## 2.2.2. La reproduction des stomoxes

L'accouplement et la ponte de *S. calcitrans* ont pu être étudiés au laboratoire. L'accouplement a lieu en quelques fractions de seconde pendant le vol. **Un même mâle peut s'accoupler avec plusieurs femelles mais cette dernière ne peut s'accoupler qu'avec un seul mâle** (Hafez, 1959b). 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 après 10 jours. Les adultes doivent prendre des repas de sang pour se reproduire avec succès, et les femelles ont besoin de repas de sang pour produire des œufs (Killough, 1965).

Chez *S. calcitrans* la maturation de la première ponte exige au moins trois repas de sang. En fait, 5 à 6 follicules se développent simultanément. Quand le premier follicule a achevé son développement 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 ponte d'œufs et des follicules qui la surmontent (Leclercq, 1971). Un repas de sang est nécessaire à la production de chaque nouveau lot d'œufs (Foil, 1994), c'est pourquoi les femelles doivent se nourrir de sang plus fréquemment que les mâles (Barré, 1981).

La fécondité moyenne des femelles de *S. calcitrans* est de 1.07, 8.89, 14.88, 26.22 et 7.90 œufs par femelle et par jour à 15, 20, 25, 30 et 35°C respectivement. Pendant toute leur vie les femelles pondent de moins de 30 œufs à 15°C à plus de 700 œufs à 25°C. Les températures extrêmes allongent la période de préoviposition mais réduisent le temps pendant lequel les femelles seront fécondes (Lysyk, 1998). La durée de la fécondité des femelles de *S. calcitrans* est maximale à 25°C (Lysyk, 1998).

Peu de données sont disponibles concernant les paramètres de reproduction de *S. niger*, elles se rapportent à des études anciennes et peu précises et sont sans doute éloignées de la réalité.

Les femelles des deux espèces bougent fréquemment pour déposer les œufs en petit nombre un peu partout sur le milieu de ponte choisi (Foil, 1994).

Pour *S. calcitrans*, la **matière organique d'origine 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 lieu de ponte. Les déjections pures d'animaux sont moins attractives (Zumpt, 1973 et Foil, 1994). Le milieu de ponte doit être **friable et poreux et avoir un fort taux d'humidité, et sa température comprise entre 15°C et 30°C**. Les milieux dont la température excède 31°C ou est inférieure à 8°C sont évités (Hafez, 1959b).

*S. niger* pond dans un **substrat végétal en décomposition, notamment les amas de feuilles de cannes à sucre** laissées sur le sol après la coupe, mais aussi dans différentes herbacées. Des pontes ont été observées dans les quatre heures suivant la coupe de la canne, et un développement larvaire observé dans des débris de canne vieux de trois à quatre mois. (Kunz *et al.*, 1976).

### 2.2.3. Les stades immatures

Dans le développement, il existe **trois stades larvaires** qui évoluent en fonction de la température et de l'humidité (Lysyk, 1998). A la fin du troisième stade, l'asticot s'immobilise sous la matière organique en décomposition, dans le sol humide et se tasse sur lui-même. 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 (Itard, 2000).

**Chez *S. calcitrans*, le cycle de vie, de l'œuf à l'adulte dure en moyenne de plus de 60 jours à 15°C à moins de 12 jours à 30°C, la durée minimale étant observée à 31°C** (Lysyk, 1998). La durée des étapes du cycle pour obtenir les adultes (œufs, larves, pupes) demandent respectivement : 1, 10-12 et 6-8 jours, à 25°C (Pospisil, 1961 dans Leclercq, 1971). En Ouganda, Parr (1962 dans Leclercq, 1971) a réalisé l'élevage à 26,6 °C et 80% d'humidité relative. L'éclosion des œufs a lieu 24 heures après la ponte, la pupaison le huitième jour et l'éclosion des adultes le dixième jour. La durée du cycle a encore été évaluée à 12-13 jours à 27°C et la température seuil pour le développement es immatures estimées à 12,3°C (Larsen, 1940 dans Foil, 1994). En hiver, les larves et les pupes se développent lentement mais il n'existe pas de vraie diapause (Lysyck, 1998).

**Chez *S. niger* le cycle de vie, de l'œuf à l'adulte, dure 28-32 jours à 27°C** (Monty, 1972 dans Foil, 1994). Une étude ancienne rapporte que les œufs éclosent en 2-3 jours, que la pupaison a lieu au bout de 14-18 jours et que les adultes émergent en 11-14 jours pour une température de 25 à 30°C (Moutia, 1928 dans Zumpt, 1973). Ces chiffres reposent sur des études anciennes et isolées, ils sont peut-être éloignés de la réalité.

Le comportement des larves de *S. calcitrans* a été étudié par Hafez et Gamal-Eddin (1961). 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 feces de cheval et de vaches et de certains produits chimiques comme l'ammoniaque, le triméthylamine, l'acétone, mais s'écartent des quatre acides organiques utilisés. Proches de la pupaison, les larves ont un faible odorat, préfèrent une humidité de 75 à 83% et une température de 15 à 25°C. La survie des immatures est maximale à 20-22°C (Lysyk, 1998).

## 2.3. Importance des stomoxes

*Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger* causent des pertes économiques importantes dans les élevages, par leur effet pathogène direct, par leur rôle dans la transmission de certaines maladies et en raison du coût engendré par la lutte. En 1993, aux Etats-Unis les pertes économiques infligées par les stomoxes à l'industrie du bétail ont été évaluées à 100 millions de dollars (Foil, 1994).



### 2.3.1. Les effets pathogènes directs

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 patte, de tête (Barré, 1981).

Au cours d'une pullulation exceptionnelle de *S. calcitrans* au nord du Texas, Bishopp (1913) nota que les conséquences étaient l'**anxiété** induite par le harcèlement du bétail par les mouches, une **spoliation sanguine** importante, une **diminution des défenses immunitaires** des animaux pouvant alors exprimer des 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 et plus récemment, les mêmes constats ont été faits par différents chercheurs en différents endroits du monde.

En période de forte infestation on peut voir des blessures sur les membres des bovins résultant directement des piqûres, ou faisant suite à des coups d'onglon que l'animal s'inflige en essayant de chasser les mouches avec ses membres postérieurs (Kunz, 1976).

Une corrélation négative existe entre l'abondance de *S. calcitrans* et la production de lait (Miller, 1973) et sa teneur en graisse durant la période estivale (Bruce, 1958). De plus, cette diminution de la production perdure des semaines, voire des mois, après la fin de la saison de vol des mouches (Bruce., 1958).

Les attaques incessantes des stomoxes provoquent également une perte du gain de poids de viande chez les bovins et une nuisance pour l'élevage dont les effets persistent encore bien longtemps après la disparition des mouches (Campbell, 1987). Des animaux convenablement traités contre les stomoxes avec un mélange d'insecticides et d'insectifuges ont un meilleur GMQ que des animaux non traités (Cheng, 1958 dans Leclercq, 1971).

A l'île Maurice, *S. niger* est décrite comme un facteur limitant pour la production laitière et celle de viande causant aux animaux de graves irritations et des pertes de sang importantes (Monty, 1972 dans Foil, 1994). La mort de bovins par spoliation sanguine a aussi été rapportée à Maurice (P. Halten, pers. Comm. dans Kunz, 1976) et à la Réunion (Barré, 1981).

### 2.3.2. Les stomoxes sont des vecteurs potentiels d'agents pathogènes :

Les stomoxes prennent des **repas de sang interrompus**, changeant fréquemment d'hôtes au cours d'un même repas. Ce mode de nourrissage joue un rôle important dans la **transmission mécanique** de maladies d'un animal à un autre par l'intermédiaire des pièces buccales contaminées (Leclercq, 1971; Zumpt, 1973; Rhodain., 1985). Les stomoxes sont aussi impliqués dans la transmission biologique de certains pathogènes (Zumpt, 1973).

Les stomoxes peuvent transmettre des Helminthes, *S. calcitrans* est reconnu comme étant un hôte intermédiaire de *Habronema microstoma* parasite des muqueuses et de la lumière intestinale des chevaux en Australie (Zumpt, 1973).

Les stomoxes sont aussi réputés transmettre des Protozoaires tels que des trypanosomes : *Trypanosoma evansi* (Zumpt, 1973), et on les suspecte de pouvoir jouer un rôle dans la transmission de *T. brucei* (Mihok *et al.*, 1995 dans Mihok *et al.*, 1996a), voire *Trypanosoma vivax* en République Centre Africaine (D'Amico *et al.*, 1996).

Des bactéries telles que *Erysipelothrix rhusopathiae* (Tolstyak, 1956 dans Leclercq, 1971), *Bacillus anthracis* (Knudson, 1987 dans Chantal, 1997), peuvent également être transmises expérimentalement par les stomoxes.

Les stomoxes sont aussi vecteurs de Rickettsies telles que les **anaplasmés**, à l'origine de maladies infectieuses, virulentes, inoculables, non contagieuses, qui affectent les ongulés domestiques et sauvages. Leur agent causal est une Rickettsiale, du genre *Anaplasma*, parasite intracellulaire des érythrocytes, transmise ordinairement par des tiques infectées (Itard, 2000).

Certains virus ont été également transmis expérimentalement par les stomoxes, *Stomoxys calcitrans* est notamment capable de transmettre mécaniquement le virus de l'anémie infectieuse équine (Zumpt, 1973).

Le stomoxe est aussi un transporteur phorétique important des œufs de la mouche *Dermatobia hominis* dont les larves provoquent une myiase cutanée chez de nombreux mammifères (Zeledon, 1957 dans Leclercq, 1971).

#### 2.4. Importance particulière des stomoxes à l'île de la Réunion

Les **pullulations de stomoxes sont particulièrement remarquables à l'île de La Réunion et à l'île Maurice**, et n'ont cette ampleur nulle par ailleurs dans le monde. A la Réunion la spoliation sanguine peut être énorme en période de pullulation, allant jusqu'à un litre de sang par jour et par animal, des pertes de sang de l'ordre du demi-litre de sang par jour devant être fréquentes (Barré, 1981).

A l'île de La Réunion l'examen nécrologique de 482 bovins, en 2000, a montré que les hémoparasitoses sont la première cause de mortalité. Le suivi par mois des cas mortels dus à des hémoparasitoses a permis d'identifier leur période d'incidence maximale de février à avril, correspondant à la période de pullulation des stomoxes. L'anaplasmose est responsable de 67% de ces morts par hémoparasitose. La répartition des hémoparasitoses par type de production montre que la filière lait est beaucoup plus concernée par les hémoparasitoses que la filière viande (72% contre 28% en 2000) (données RESIR : Réseau d'Epidémiologie-Surveillance de la Réunion). Deux enquêtes sérologiques réalisées en 1994 puis en 1998 sur un échantillon de bovins de l'île a montré que l'anaplasmose, et les babésioses (à *Babesia bigemina* et *Babesia bovis*) sont souvent associées confirmant une certaine communauté des vecteurs de transmission (tiques), néanmoins l'évolution différente de la prévalence sérologique de l'anaplasmose par rapport à l'évolution des prévalences des babésioses entre les deux enquêtes confirme l'existence de différences dans l'épidémiologie des deux maladies et donc l'intervention possible des stomoxes dans l'épidémiologie de l'anaplasmose (Tillard, 1998).

L'anaplasme présent à La Réunion est *Anaplasma marginale* Theiler, 1910, agent de l'anaplasmose maligne des bovins. Sa distribution est pantropicale et correspond à celle des espèces de tiques du genre *Boophilus* qui sont considérées comme ses vecteurs principaux. La présence et le rôle des tiques ne rendent pas toujours compte de certaines modalités observées dans des foyers d'endémie ou lors d'épidémies d'anaplasmose. La facilité de transmission de l'anaplasme par des quantités réduites de sang infecté fait que, dans des conditions locales de prolifération ou de pullulation de *Stomoxys calcitrans* ou *S. niger*, le rôle de ces insectes prend a priori considérablement plus d'importance que celui des tiques.

Les stomoxes ont donc à la Réunion un impact important sur l'élevage bovin, par des effets pathogènes directs et par la transmission de l'anaplasmosse responsable de pertes importantes.

Le Groupement Régional de Défense Sanitaire du Bétail de La Réunion (Grdsbr), dans le cadre du **programme Poseidom** ("éradication des hémoparasitoses"), lutte contre les stomoxes, les axes de cette lutte intégrée sont :

**La lutte chimique** : le programme insiste sur la nécessité de traiter les animaux contre les stomoxes à l'aide d'un insecticide rémanent pendant les périodes de pullulation de manière à diminuer les populations d'adulte. Le produit le plus utilisé est le Butox ® qui contient de la deltaméthrine sous deux formes galéniques, en « pour-on » et en solution pulvérisable.

**La lutte biologique** : elle utilise des auxiliaires naturels identifiés à La Réunion. Trois Hyménoptères parasitoïdes ont été identifiés et un seul revêt un intérêt pour la lutte biologique pour sa rusticité et son omniprésence sur l'île.

**La lutte mécanique** : elle utilise des pièges de différentes sortes, adhésifs ou non.

**La lutte environnementale** : il s'agit d'agir sur les milieux de ponte et de développement larvaire de sorte que les larves ne puissent plus se développer ou en nombre limité. Cela peut consister par exemple en un épandage de ces substances sur une surface importante de manière à ce qu'elles sèchent et que les larves meurent (Zumpt, 1973).

Cependant il semble que le manque de connaissances scientifiques précises sur la biologie et la dynamique des populations des stomoxes en amont de la mise en place de ce programme limite l'impact escompté. La mauvaise maîtrise dans le temps et dans l'espace des différents moyens de lutte ne permettent pas d'observer des résultats significatifs dans la lutte contre les stomoxes.

C'est dans ce contexte que s'inscrivent les travaux de recherche de la thèse de troisième cycle de Jérémie Gilles, qui est réalisée en partenariat avec le Cirad, le Grdsbr (Poseidom et Resir) et les universités de La Réunion et de Montpellier. Les travaux présentés dans la suite de ce rapport ont été réalisés dans le cadre de cette thèse et constituent une première analyse des données recueillies sur le terrain, permettant de dégager des points devant faire l'objet d'approfondissement ultérieurs.

### III. ETUDE DE LA DYNAMIQUE DE POPULATION DES STOMOXES

#### 3.1. Objectifs

L'étude de la dynamique de population des deux espèces de stomoxes, *Stomoxys calcitrans* et *Stomoxys niger*, dans les élevages laitiers du sud de l'île de la Réunion fait l'objet de la thèse de troisième cycle de Jérémie Gilles.

Les objectifs généraux de cette thèse sont :

- étudier les fluctuations des populations d'adultes dans le temps (en fonction des saisons durant deux ans de suivi) et dans l'espace (à différentes altitudes) et les mettre en relation avec les facteurs météorologiques et des caractéristiques des élevages.

- étudier "l'effet emplacement" du piège en terme d'efficacité dans la capture de stomoxes.

- ajuster un modèle prévisionnel de la dynamique de population élaboré à partir des données sur la biologie des deux espèces obtenues en conditions contrôlées.

Au cours de notre étude nous apporterons des éléments de réponse aux deux premiers objectifs et dégagerons les facteurs d'importance qu'il sera intéressant d'approfondir par la suite et sur une plus longue période de suivi.

#### 3.2. matériels et méthodes

Nous allons dans un premier temps détailler le protocole commun mis en place pour répondre aux différentes questions, puis nous détaillerons séparément les matériels et méthodes spécifiques à chacun des deux volets de l'étude.

##### **3.2.1. protocole commun**

###### **3.2.1.1. Site et durée d'étude :**

L'étude se déroule dans **sept élevages bovins laitiers situés sur le transect St Pierre-Tampon-Plaine des Cafres** (cf. Figure 6). Ce transect couvre une aire géographique regroupant 90 % des élevages laitiers.

Les relevés ont débuté en juin 2002 et se poursuivront jusqu'en décembre 2003. Pour chaque volet de notre étude nous analyserons les résultats sur des périodes plus restreintes en raison de différentes contraintes. Les périodes analysées et les raisons de ces choix seront précisées ultérieurement.

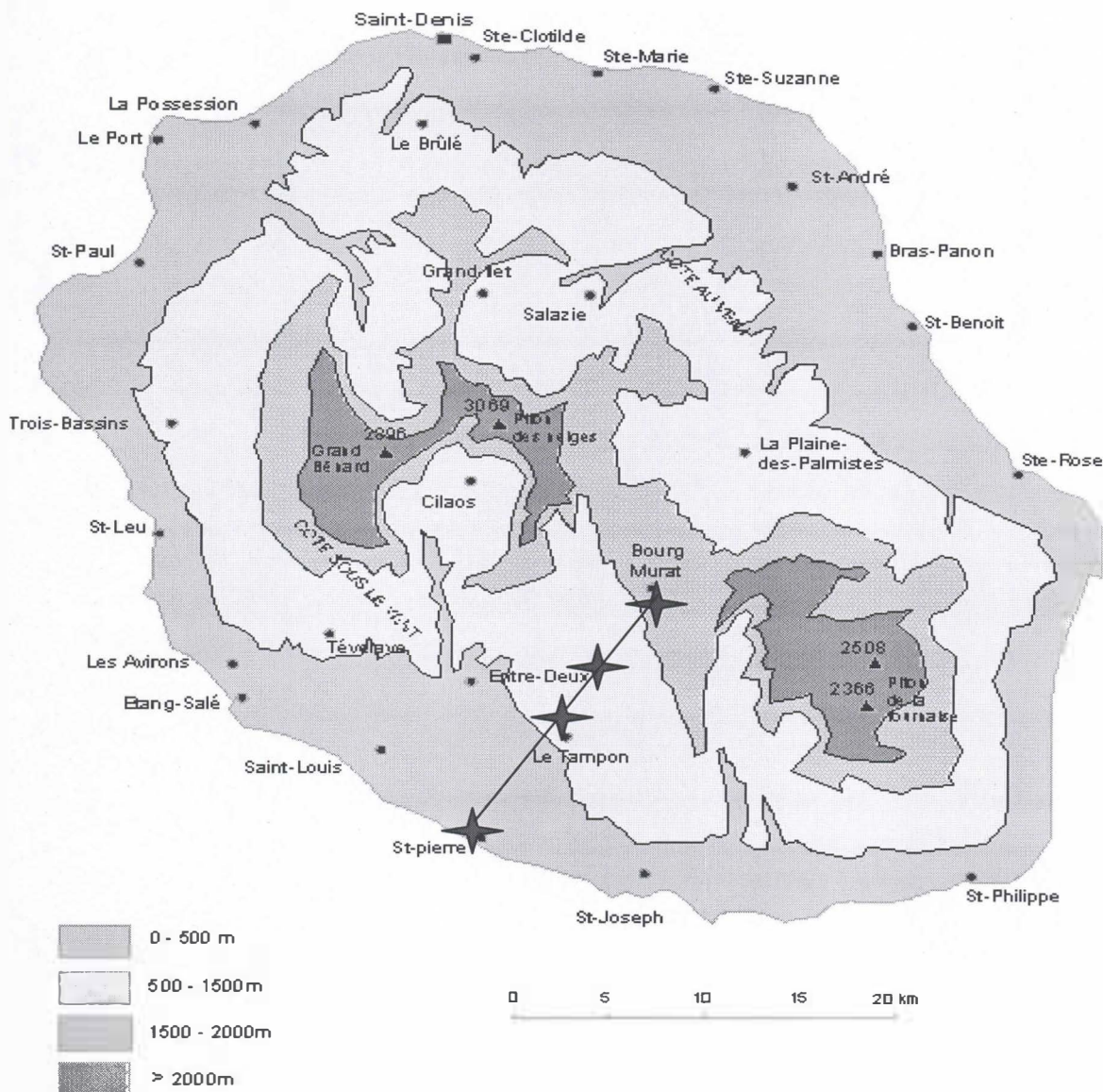


Figure 6 : transect St Pierre-Plaine des Cafres

### 3.2.1.2. Choix des élevages :

Les élevages sélectionnés ne sont pas suivis dans le cadre du programme de lutte et suivi de densité de stomoxes et de tiques réalisé par le Grdsbr. Ils sont exempts des lâchers inondatifs de parasitoïdes (*Spalangia sp.*) utilisés pour la lutte biologique. Les élevages distants de moins de deux kilomètres des élevages où ont lieu les lâchers, n'ayant pas été retenus. On suppose ici que la dispersion des parasitoïdes est inférieure à deux kilomètres.

Nous avons choisi en priorité des **élevages situés à proximité** (à moins d'un kilomètre) **des stations météorologiques** du Cirad et de Météo France.

Pour chaque altitude, nous avons choisi deux élevages, excepté à basse altitude où l'on ne trouve qu'un seul élevage laitier :

- un élevage à 150m d'altitude, (Basin Plat, St Pierre)
- deux élevages à 900m d'altitude, (Bras Creux, lycée du 14<sup>ième</sup> )
- deux élevages à 1250m d'altitude, (19<sup>ième</sup> kilomètre, Piton Hyacinthe)
- deux élevages à 1550m d'altitude, (Bourg Murât)

### 3.2.1.3. Choix du piège et mise en place :

Le piège **Vavoua** est le piège utilisé pour le suivi. Le piège Vavoua (Laveissière et Grébaut, 1990), dérivé des pièges biconique et bipyramidal, est composé 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, initialement conçu pour la capture des glossines en Afrique, a montré son efficacité dans la capture des stomoxes (Mihok et al., 1995). Les stomoxes sont attirés par le bleu phtalogène (Holloway et al., 1991, Mihok *et al.*, 1995) et se posent sur le tissu noir à l'intérieur du piège, ils sont capturés par le récipient fixé à l'extrémité du cône de tulle moustiquaire lorsqu'ils s'envolent.

Lors d'une étude comparative (Gilles, 2001) entre quatre pièges différents (deux à colle et deux en tissus), le piège Vavoua s'est avéré être parmi les plus efficaces dans la capture des deux espèces de stomoxes. Les captures de chaque espèce de stomoxes étaient nettement supérieures aux captures des autres espèces de mouches témoignant de sa sélectivité. De plus, il permet aisément de distinguer les deux espèces et de sexer les individus (contrairement aux pièges à colle). Il demande peu d'entretien et se révèle moins coûteux que les autres pièges testés.



Figure 7 : photographie d'un piège vavoua.

**Dans chacun des élevages, huit pièges Vavoua** sont posés à des emplacements différents. La zone de stabulation sera le point de repère commun aux sept élevages. Les pièges seront disposés **sur quatre axes dont l'intersection correspond à la zone de stabulation**. Sur chaque axe figurent deux pièges, le premier situé à environ 10 mètres de la zone de stabulation et le second distant du premier d'environ cinquante mètres. Les pièges sont placés à 50 cm au dessus du sol car les stomoxes ont une préférence pour les perchoirs bas (Black et al., 1995 ; Dagnogo et al., 1985).

#### 3.2.1.4. Conduite des captures et comptages

Une fois par semaine, les pièges Vavoua sont déposés entre 8h00 et 11h00 du premier au dernier éleveur, ils sont laissés **24h00**. Lors du passage dans l'exploitation, nous notons à proximité de quels pièges se trouve le bétail. Lors du retrait des pièges, les mouches prises au piège sont tuées avec un insecticide. Les captures sont analysées au laboratoire.

Pour chaque piège, on compte le **nombre de stomoxes capturés**, on effectue la **distinction des deux espèces** (*S. calcitrans* et *S. niger*) basée sur la forme des tâches noires situées sur la partie supérieure de l'abdomen ainsi que la **détermination du sexe** pour chacun des individus, basée sur l'écartement des yeux et la forme de l'appareil génital. Lorsque les captures sont trop importantes, on réalise le comptage et la détermination sur un échantillon d'au moins 150 mouches et on applique les proportions trouvées au nombre total de mouches capturées.

Pour chaque piège et chaque date de capture on obtient ainsi cinq valeurs de comptages : le nombre de *Stomoxys calcitrans* mâles, **Scm**, le nombre de *Stomoxys calcitrans* femelle, **Scf**, le nombre de *Stomoxys niger* mâles, **Snm**, le nombre de *Stomoxys niger* femelle, **Snf** et le nombre de stomoxes totaux, **Stt** (égal à la somme des quatre autres comptages).

#### 3.2.1.5. Données météorologiques

Nous avons recueilli pour chaque altitude les enregistrements de la station météorologique la plus proche des élevages que nous suivons. Pour le site de Bassin Plat à Saint-Pierre, il s'agit de la station Cirad « Ligne Paradis », et nous disposons de données météorologiques sur la période du 13 juin 2002 au 26 juin 2003. Pour le site de Bras Creux au 14<sup>ème</sup> kilomètre, il s'agit de la station Cirad « Tampon PK14 », nous disposons de données météorologiques du 3 juillet 2002 (date de mise en service) au 26 juin 2003. Pour le site de Piton-Hyacinthe au 19<sup>ème</sup> kilomètre, nous avons du installer une station météorologique pour les besoins de l'étude, celle-ci se trouve sur une des deux exploitations suivies à cette altitude et nous l'avons baptisée station Cirad « Dix-neuvième ». En raison de sa mise en service plus tardive, nous ne disposons pour cette altitude de données météorologiques qu'à partir du 30 octobre 2002 et jusqu'au 26 juin 2003. Pour le site de Bourg-Murât, nous recueillons les enregistrements météorologiques de la station Météo France « Plaine des Cafres ».

Pour chacune de ces stations météorologiques nous disposons des informations suivantes :

- la pluviométrie en millimètre heure par heure à partir de laquelle nous calculons la **pluviométrie quotidienne** et le **nombre d'heures de pluies de la journée**. La journée débute à 6h00 et s'achève à 5h59 le lendemain matin, ceci dans un souci d'homogénéité avec les calculs de Météo France. Ce découpage horaire date de l'époque où les relevés de pluviométrie étaient effectués quotidiennement par une personne à 6h00 du matin. Pour les autres paramètres quotidiens, la journée s'étend de 0h00 à 23h59.
- les **températures minimale, maximale et moyenne par 24 heures** en degrés celsius.
- l'**humidité relative minimale, maximale et moyenne sur 24 heures** en pourcentage. Pour la station « Plaine des cafres » on calcule l'humidité relative moyenne comme la moyenne de l'humidité maximale et minimale sur 24 heures alors que pour les autres stations c'est la moyenne des valeurs de l'humidité relative moyenne horaire sur 24 heures.

- le **vent total quotidien en kilomètre de vent passé par jour**. Pour les stations CIRAD, le vent passé par jour est mesuré à 2 mètres de hauteur. La station « Plaine des cafres » mesure le vent passé à 10 mètres de hauteur. Près du sol, des forces de frottement ralentissent le vent, c'est pourquoi il nous a fallu convertir les valeurs du vent total de la station « Plaine des Cafres » pour avoir des données comparables grâce à une équation qui donne la vitesse du vent à 2 mètres au dessus du sol à partir de la vitesse du vent à une hauteur z (Allen, 1977).

- le vent quotidien dans les huit directions cardinales ( Nord, Nord-Est, Est, Sud-Est, Sud, Sud-Ouest, Ouest, Nord-Ouest) en kilomètres de vent passé par jour sauf pour la station « Plaine des Cafres ». Pour cette station nous disposons de la direction du vent moyen maximal sur 24h00. A partir de ces données nous avons créé une nouvelle donnée qui est le **vent dominant quotidien**, qui correspond à la direction pour laquelle le vent passé dans la journée est maximal, ou bien pour la station « Plaine des Cafres » à la direction du vent moyen maximal.

### 3.2.2. efficacité du piège en fonction de son environnement

Il s'agit de déterminer quel est l'effet de l' emplacement du piège sur l'efficacité des captures.

#### 3.2.2.1. Caractérisation de l'environnement du piège.

Nous avons relevé divers paramètres de l'environnement de chacun des pièges dans les exploitations de manière à analyser quels sont les paramètres qui ont une influence sur les captures de stomoxes.

Certains paramètres de l'environnement du piège sont constant au cours du temps, d'autre changent pour des dates de capture différentes.

Les paramètres environnementaux constants sont :

- **la distance aux cornadis (discorc, modalités 1 ou 2)**. Cette distance correspondant en fait à la distance des pièges à la zone de stabulation. Nous avons dans un premier temps mesuré la distance en mètres entre les pièges et le milieu des cornadis. Puis nous avons distingué deux classes de pièges d'après le profil des captures en fonction de la distance aux cornadis (cf. annexe I). Ceux situés à moins de 40 mètres des cornadis sont dis « près de la stabulation » (modalité 1), ceux situés à plus de 40 mètres des cornadis sont dis « loin de la stabulation » (modalité 2).

- **la distance à la fosse à lisier (distfosc, modalités 1 ou 2)**. Nous avons également mesuré la distance en mètres entre le piège et la fosse à lisier le cas échéant, ou entre le piège et la zone de l'élevage où le lisier s'accumule en grande quantité. De même les pièges pour lesquels cette distance est inférieure à 40 mètres (cf. annexe I) sont dis « près de la fosse à lisier » (modalité 1), et les autres « loin de la fosse à lisier » (modalité 2).

- **la nature du sol** dans un rayon de cinq mètres autour du piège (**natsol, modalités 1 ou 2**). Nous avons distingué les pièges pour lesquels le sol dans un rayon de cinq mètres est constitué de pierres, de terre, de boue ou d'un mélange de ces éléments et d'herbe (modalité 1), des pièges qui sont posés sur un sol totalement herbeux (modalité 2).



- la **nature de la végétation** dans un rayon de cinq mètres autour du piège (**natvg**, modalité 1 ou 2). Nous avons relevé la présence (modalité 1) ou l'absence (modalité 2) de végétaux hauts (buissons, canne à sucre ou fourragère, arbres, arbustes) dans un rayon de cinq mètres autour du piège.

- l'**ensoleillement** des pièges (**ensol**, modalité 1 ou 2). Nous avons distingué les pièges qui sont à l'ombre à midi (modalité 1) des pièges qui sont au soleil à midi (modalité 2), en partant du principe que les pièges qui sont à l'ombre à midi, c'est-à-dire lorsque le soleil est à son zénith sont à l'ombre une majeure partie de la journée.

- la **protection globale contre les vents** (**pvg**, modalité 1, 2 ou 3). Nous avons dans un premier temps noté la présence et la description (nature, hauteur, largeur) d'obstacles présents dans les huit directions cardinales autour du piège. A partir de ces relevés, nous avons attribué aux pièges des notes de protection contre les vents dans chacune des huit directions, la note 1 correspondant à une bonne protection, la note 2 à une protection partielle et la note 3 à une protection nulle. Pour attribuer ces notes nous nous sommes inspirés des travaux réalisés par Sinyigaya en 1994 qui a étudié au Sénégal la protection des animaux contre les vents. Il a mesuré qu'une palissade normale (tiges de mil bien tressées, sans trou, d'une hauteur comprise entre 1,50 et 1,80 mètres) offre une protection totale contre le vent aux animaux jusqu'à une distance de 3 m. Entre 3 et 6 mètres la protection est partielle et on enregistre des turbulences de l'air. Au delà de 6 mètres, la protection est nulle. En ce qui nous concerne, nous attribuons la note 3 lorsque la hauteur de l'obstacle est inférieure à 1,50 mètres ou lorsqu'il est situé à plus de six mètres du piège quelque soit ses dimensions. Lorsque l'obstacle mesure plus de 1,50 mètres de haut et qu'il fait au moins 1 mètre de large à 1 mètre de distance du piège, 1,50 mètres de large à 2 mètres de distance, 2,50 mètres à trois mètres de distance, on attribue la note 1 s'il est de nature dense c'est-à-dire si sa nature lui permet de bien couper le vent, 2 sinon. Enfin si l'obstacle mesure plus de 1,50 mètres de haut et qu'il mesure au moins 3 mètres de large à 4 mètres de distance du piège, 4 mètres de large à 5 mètres de distance, 5 mètres de large à 6 mètres de distance, nous attribuons la note 2 s'il est de nature dense, et la note 3 sinon. En faisant la somme des huit notes pour chaque piège, on a obtenu des notes allant de 15 à 24, ce qui nous a permis d'obtenir une seule variable de protection globale contre les vents à trois modalités : les pièges dont la note est strictement inférieure à 19 sont considérés comme étant bien protégés contre les vents (modalité 1), les pièges dont la note est strictement supérieure à 22 n'ont aucune protection contre les vents (modalité 3) et les autres pièges sont partiellement protégés contre les vents (modalité 2).

#### Les paramètres environnementaux qui changent d'une capture à l'autre sont :

- La **protection contre le vent local dominant de la journée de capture** (**protvd**, modalité 1, 2 ou 3). Nous avons décrit précédemment la méthode utilisée pour déterminer le vent dominant quotidien pour chaque station météo et donc pour chaque site d'étude. En croisant cette donnée météo et les notes de protection des pièges contre les vents dans les huit directions cardinales, nous avons établi que pour un vent dominant dans une direction donnée le jour de la capture, la note de protection contre le vent local dominant de la journée est égal à la note de protection du piège contre le vent dans cette direction, avec là encore trois modalités, à savoir que le piège peut-être bien protégé (modalité 1), partiellement protégé (modalité 2) ou non protégé (modalité 3) contre le vent local dominant du jour de la capture.

- La **distance du piège par rapport au bétail (distbetc, modalité 0 ou 1)**. Pour renseigner ce paramètre environnemental, nous avons dû étudier les pratiques des éleveurs. Après avoir effectué un suivi des mouvements du bétail sur une journée dans chaque exploitation, nous avons pu constater que les vaches en lactation passent approximativement au moins la moitié de la journée en zone de stabulation et l'autre moitié sur une aire d'exercice ou sur une pâture et un même élevage peut posséder plusieurs aires d'exercice ou pâturages utilisés alternativement. A chaque passage hebdomadaire sur l'exploitation lors de la pose des pièges, nous notons sur quelle aire d'exercice ou pâture les animaux passeront la journée. De même nous notons lorsque certains animaux sont déplacés de manière exceptionnelle à proximité d'un piège (animaux à l'attache par exemple). Par ailleurs, certains lots d'animaux comme les vaches tarées ou les génisses sont localisés toujours au même endroit sur l'exploitation. A partir de ces constatations, nous avons renseigné pour chaque piège et chaque date de capture si des animaux se trouvaient à proximité du piège une partie de la journée (modalité 1) ou non (modalité 0).

### 3.2.2.2. Analyse des données de capture :

Nous cherchons à mettre en évidence quels sont les paramètres qui conditionnent les différences d'efficacité des pièges entre eux chez un même éleveur, et les différences d'efficacité d'une capture à l'autre pour un même piège.

Nous allons travailler sur les captures réalisées par les huit pièges chez nos sept éleveurs depuis le début du mois de novembre 2002 jusqu'à la fin du mois de mai 2003, soit 24 dates de capture pour 56 pièges ce qui fait un total de **1344 observations**. Nous travaillons sur cette période plus restreinte que la durée totale de suivi déjà réalisée de manière à avoir le même nombre de captures chez tous les éleveurs et à se situer dans une seule saison, celle de pullulation des stomoxes, ainsi on supprime la variabilité liée à la saison.

Pour chaque piège et chaque date de capture nous avons les variables suivantes : les comptages de stomoxes (Scm, Scf, Snm, Snf et Stt) et les paramètres environnementaux du piège constants au cours du temps ( dictcorc, distfosc, natsol, natvg, ensol, pvg) ou variables d'une date de capture à l'autre (distbetc, protvd).

Les analyses statistiques dont nous allons présenter les résultats sont des tests d'analyse de la variance (ANOVA). Nous avons travaillé sur trois modélisations différentes.

#### Modélisation No1 (Cf. annexe II, p II).

Dans cette modélisation nous travaillons sur les comptages de stomoxes totaux par piège et par date de capture, toutes espèces et sexes confondus, c'est-à-dire la **variable Stt**, pour savoir quels sont les paramètres environnementaux qui la font varier de façon significative mais nous mettons de côté pour le moment la variable distbetc qui n'est pas toujours renseignée.

Nous travaillons sur les **écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$**  ce qui nous permet d'avoir une variable dont la distribution est la plus proche possible de la loi normale (cf. figure 8) et de supprimer la variabilité qui existe entre les éleveurs à une même altitude, entre les altitudes différentes et en fonction de différents événements qui peuvent avoir une incidence sur la population réelle de stomoxes dans l'environnement, autrement dit on supprime toute la variabilité liée à l'éleveur, à l'altitude et à la semaine de comptage et on se focalise sur les pièges (cf ; figure 9).

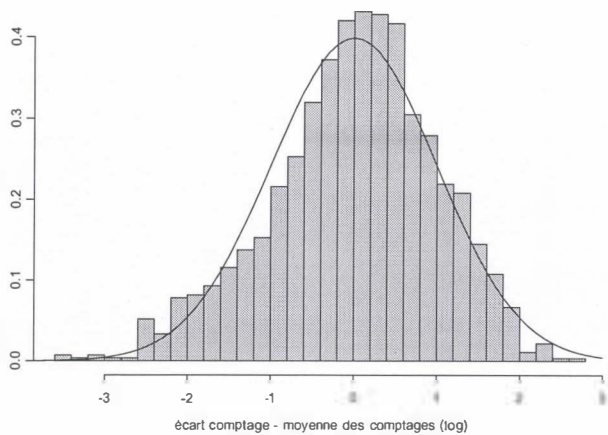


Figure 8 : histogramme des écarts entre  $\log(Stt+1)$  et la moyenne des  $\log(Stt+1)$  par éleveur et par semaine.

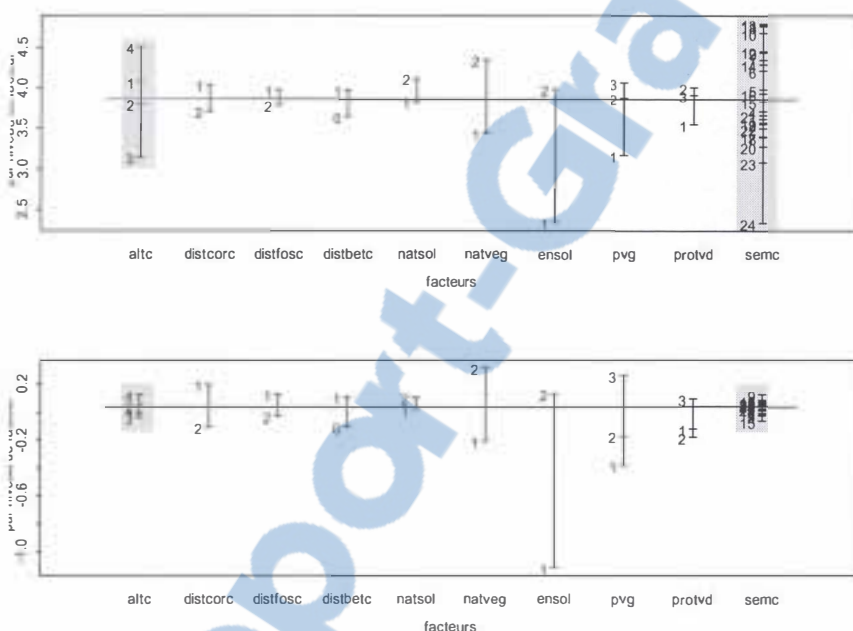


Figure 9 : graphique de la moyenne des  $\log(Stt+1)$  par facteur (en haut) et de la moyenne des écarts à la moyenne des  $\log(Stt+1)$  par facteur (en bas). On voit qu'on a nettement diminué la variabilité liée à l'altitude et donc à l'éleveur (à gauche) et la variabilité liée à la semaine de comptage (à droite).

Nous sommes en présence de **séries de données chronologiques**. Nous avons testé successivement plusieurs modèles et avons pris en compte l'effet piège et modélisé de plusieurs façons la structure de corrélation des résidus à l'intérieur d'un piège. En définitive nous avons retenu un **modèle linéaire généralisé, avec prise en compte d'une structure hiérarchique des données** (nous avons des élevages, des pièges dans ces élevages et des observations dans ces pièges), **avec modélisation de la structure de corrélation des résidus à l'intérieur d'un piège de type autorégressif de rang 1 et 2**.

C'est à partir de ce modèle que nous ferons le test d'analyse de la variance. avec une variable à expliquer qui est l'écart à la moyenne, et des variables explicatives qui sont l'ensoleillement (ensol, 2 modalités), la distance aux cornadis (distcorc, 2 modalités), la distance à la fosse à lisier (distfosc, 2 modalités), la nature du sol dans un rayon de cinq mètres autour du piège (natsol, 2 modalités), la nature de la végétation dans un rayon de cinq mètres autour du piège (natvg, 2 modalités), la protection contre les vents locaux dominants du jour de la capture (protvd, 3 modalités) et la protection générale contre les vents (pvg, 3 modalités).

### Modélisation No2 (cf Annexe II, p XVI)

Pour cette seconde modélisation nous travaillons sur un deuxième jeu de données qui correspond au jeu de données précédent sans les résultats de capture pour lesquelles la variable distbtet n'est pas renseignée, soit un total de **1115 observations**.

Nous cherchons à savoir quels sont les paramètres de l'environnement du piège qui font varier significativement les **comptages de stomoxes totaux, par espèce et par sexe**. Nous travaillons comme précédemment sur les **écarts à la moyenne des comptages**.

Après avoir testé différents modèles, celui que nous retenons pour faire nos tests d'analyse de la variance est un **modèle linéaire généralisé qui prend en compte la structure hiérarchique des données** (effet éleveur, effet piège), **avec modélisation de la structure de corrélation des résidus à l'intérieur d'un piège de type exponentielle** avec l'ajout d'un nugget (Pinheiro, 2000). La modélisation exponentielle nous autorise à travailler sur des séries de données chronologiques même s'il y a des données manquantes entre des rangs d'observation.

Nous effectuons de nouveau un test d'analyse de la variance. La variable à expliquer sera successivement l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Scm}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Scf}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Snm}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Snf}+1)$ . Les variables explicatives seront tous les paramètres de l'environnement du piège constants ou variables d'une capture à l'autre.

### Modélisation No3.

Dans cette troisième modélisation nous voulons comparer les comptages dans les différents pièges toutes semaines confondues. Nous faisons donc la **moyenne des logarithmes népériens des comptages sur les 24 semaines d'observation pour chaque piège**. Il nous reste donc un jeu de **56 observations** (8 pièges chez 7 éleveurs). Nous effectuons une ANOVA après prise en compte de l'hétérogénéité de la variance des résidus.

### 3.2.3. évolution des densités de stomoxes dans le temps et dans l'espace

#### 3.2.3.1. Paramètres supplémentaires

Pour analyser l'évolution des captures de stomoxes dans le temps et dans l'espace, nous avons considéré des paramètres influents supplémentaires.

Un de ces paramètres est l'application d'un **traitement insecticide** aux animaux. C'est le seul moyen de lutte utilisé par les éleveurs chez lesquels nous effectuons le suivi.

Par ailleurs nous voulons voir s'il y a une influence de la **météo du jour de la capture** sur les effectifs de stomoxes piégés ainsi que l'influence de la **météo des semaines 1, 2, 3 et 4** (c'est-à-dire de la semaine précédent la capture en excluant le jour de capture, de la semaine précédente etc). Nous avons donc réalisé des cumuls hebdomadaires à partir des données quotidiennes dont nous disposons. Nous avons fait la somme des données de pluviométrie sur une semaine (pluviométrie en millimètres et nombre d'heures de pluie) et la moyenne hebdomadaire des autres facteurs météorologiques c'est-à-dire les températures minimales, moyennes et maximales et l'humidité moyenne. Nous avons créé deux autres nouveaux paramètres qui sont la plus faible température minimale de la semaine et la plus forte température maximale de la semaine.

#### 3.2.3.2. Analyse des données

Les données de capture sur lesquelles nous travaillons sont la somme des comptages Scm, Scf, Snm, Snf des huit pièges de chaque élevage par date de capture. Le choix de faire la somme des comptages des huit pièges sera justifié plus loin après l'analyse des différences d'efficacité des pièges.

Dans un premier temps nous allons décrire et comparer le profil des captures chez les sept éleveurs sur toute la durée du suivi. Nous essaierons ensuite de voir ce qui se passe lorsqu'un traitement insecticide est appliqué. Enfin nous essaierons de dégager des liens entre les fluctuations des populations de stomoxes et les paramètres météorologiques. Aucune analyse statistique ne sera faite dans cette partie de l'étude en raison de la nature des données à étudier qui se révèle être d'une très grande complexité.

## 3.3. Résultats

### 3.3.1. efficacité des pièges en fonction de leur environnement

#### 3.3.1.1. Exploration graphique

##### Analyse des courbes des $\log(\text{Stt}+1)$ en fonction des dates de capture

Sur ces graphiques, sont représentés en trait fin et coloré les logarithmes népériens des comptages de stomoxes totaux réalisés par chaque piège et en trait épais et noir, il s'agit de la moyenne sur les huit pièges de ces  $\log(\text{Stt}+1)$  pour chaque date de capture. Ainsi nous pouvons facilement distinguer les pièges qui sont fréquemment au-dessous ou au-dessus de la moyenne de ceux qui réalisent des captures moyennes ou aléatoirement au-dessus ou au-dessous de cette moyenne.

Chez l'éleveur A (cf. figure 10), les pièges 1, 2 et 6 réalisent régulièrement des captures au-dessus de la moyenne. Le piège 1 est disposé à proximité de la zone de stabulation, sur un sol mixte, il y a des végétaux hauts dans son environnement proche, il est au soleil à midi et est partiellement protégé contre les vents. Les pièges 2 et 6 sont éloignés de la zone de stabulation, ils sont posés sur un sol herbeux, il y a des végétaux hauts dans leur environnement, ils sont au soleil à midi et ils sont respectivement non et partiellement protégés contre les vents. Le piège 7 est régulièrement en dessous de la moyenne. Ce piège est situé à proximité de la zone de stabulation, sur un sol mixte, il est au soleil à midi, il y a présence de végétaux hauts dans son environnement proche et il est partiellement protégé contre les vents. Les autres pièges réalisent des performances moyennes ou aléatoires.

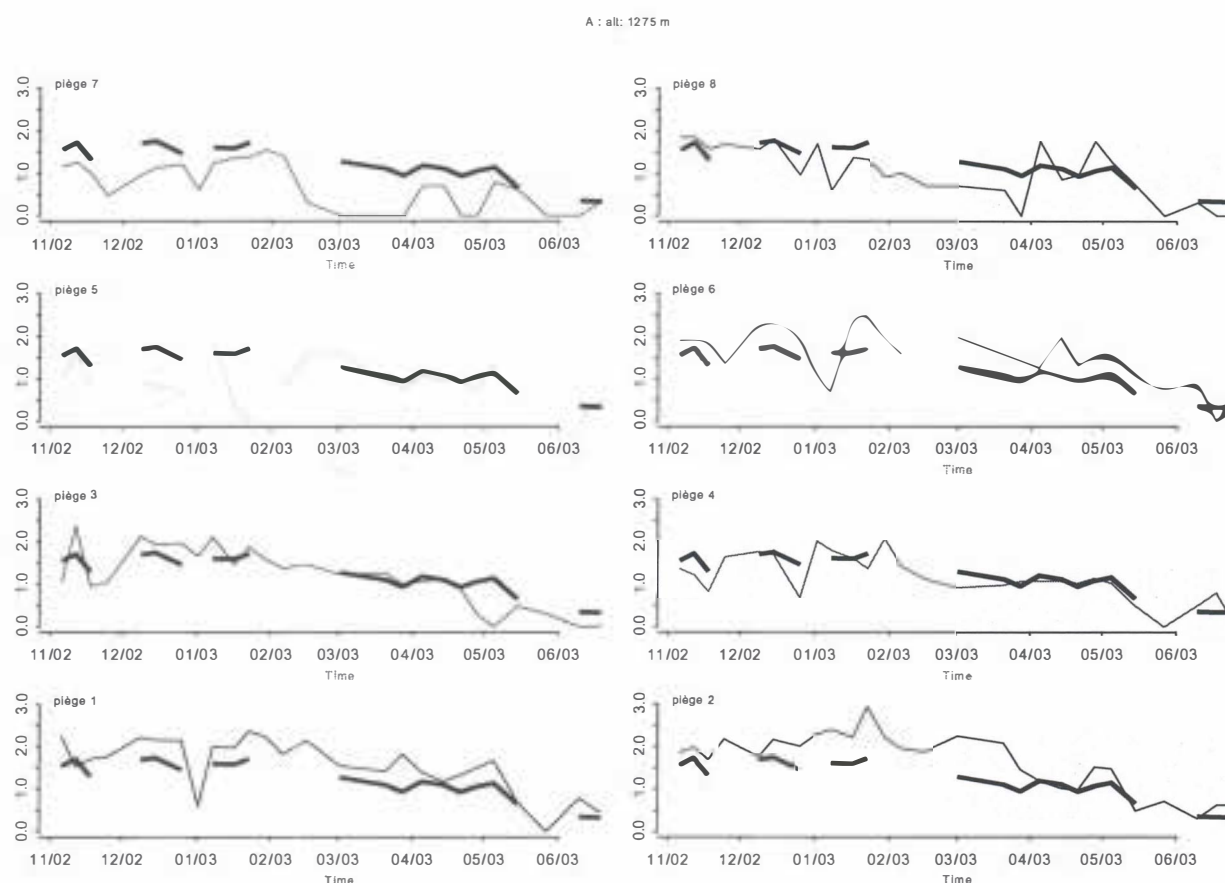
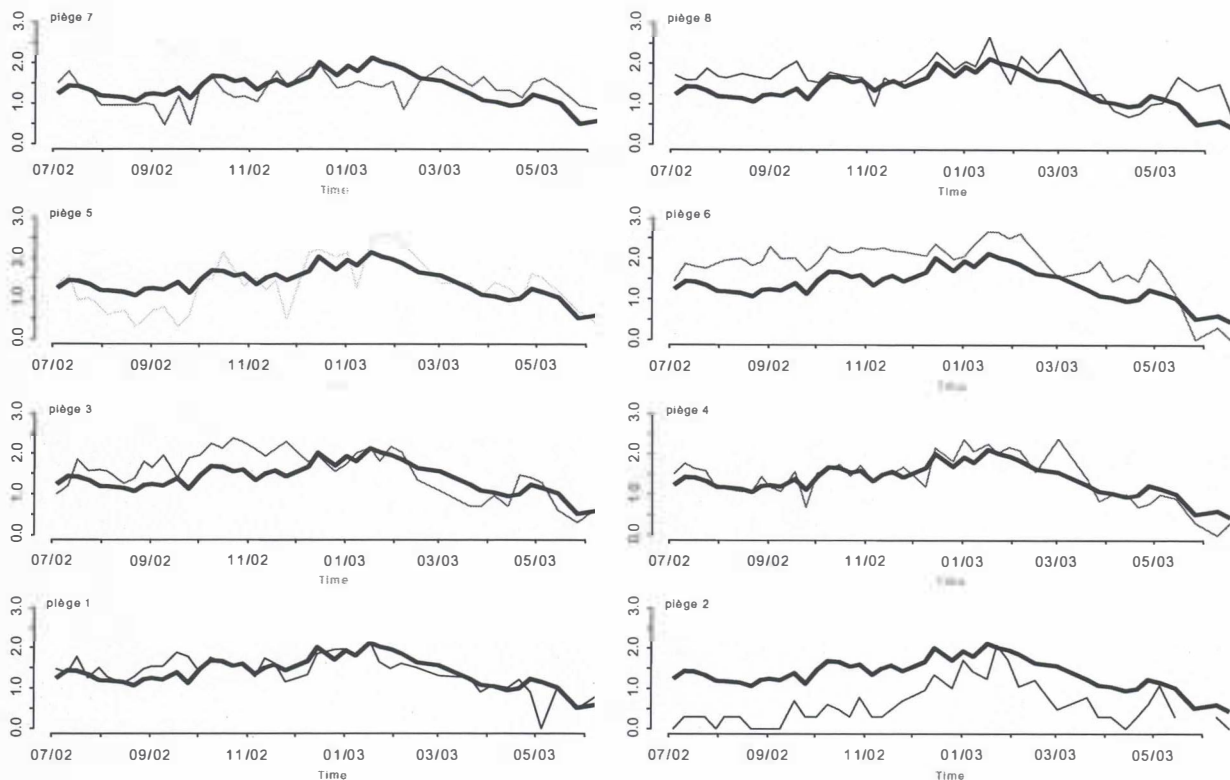


Figure 10 : écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'éleveur A

Chez l'éleveur B (cf. figure 11), le piège 6 semble être régulièrement meilleur que les autres tandis que le piège 2 semble moins efficace que les autres tout au long de l'année. Le piège 6 est situé à proximité de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, il est posé sur un sol mixte, il n'y a pas de végétaux hauts dans son environnement proche, il est au soleil à midi et n'est pas protégé contre le vent. Le piège 2 est loin de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, il est posé sur un sol mixte, il y a des végétaux hauts dans son environnement proche, il est au soleil à midi et est bien protégé contre les vents. Les autres pièges sont d'une efficacité moyenne ou irrégulière.



**Figure 11** : écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'éleveur B

Chez l'éleveur C (cf. figure 12), les pièges 4 et 6 sont toujours largement au dessus de la moyenne. Ils sont situés loin de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, sur un sol mixte, il n'y a pas de végétaux hauts dans leur environnement proche, ils sont au soleil à midi et ne sont pas protégés contre les vents. Chez cet éleveur le plus mauvais piège semble être le piège 2, ses captures sont régulièrement très en dessous de la moyenne. Ce piège est disposé loin de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, sur un sol mixte, il y a des végétaux hauts dans son environnement proche, il est à l'ombre à midi et n'est pas protégé contre les vents. Les autres pièges réalisent des performances moyennes ou aléatoires.

Chez l'éleveur D (cf. Figure 13), les pièges 5 et 7 réalisent des captures qui sont nettement au dessus de la moyenne toute l'année. Ces deux pièges sont posés à proximité de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, ils sont tous les deux posés sur un sol mixte, n'ont pas de végétaux hauts dans leur environnement proche, ils sont au soleil à midi et sont respectivement non et partiellement protégés contre les vents. Les pièges 2, 3 et 8 ont des performances de capture nettement sous la moyenne toute l'année. Ces pièges sont situés loin de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, ils sont posés sur un sol mixte, des végétaux hauts sont présents dans leur environnement proche, le piège 8 est à l'ombre à midi, les autres sont au soleil, les pièges 2 et 8 sont partiellement protégés contre les vents et le piège 3 ne l'est pas du tout.

C : alt: 1280 m

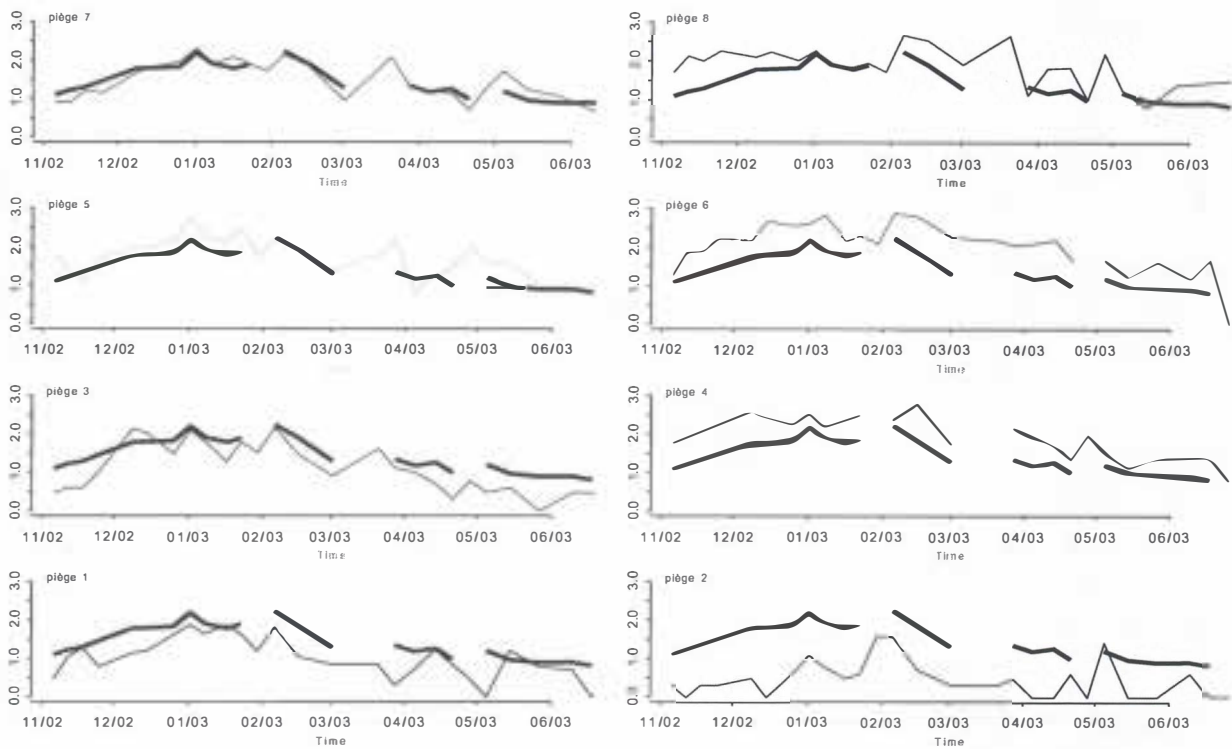


Figure 12 : écarts à la moyenne des  $\log(Stt+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'éleveur C.

D : alt: 1530 m

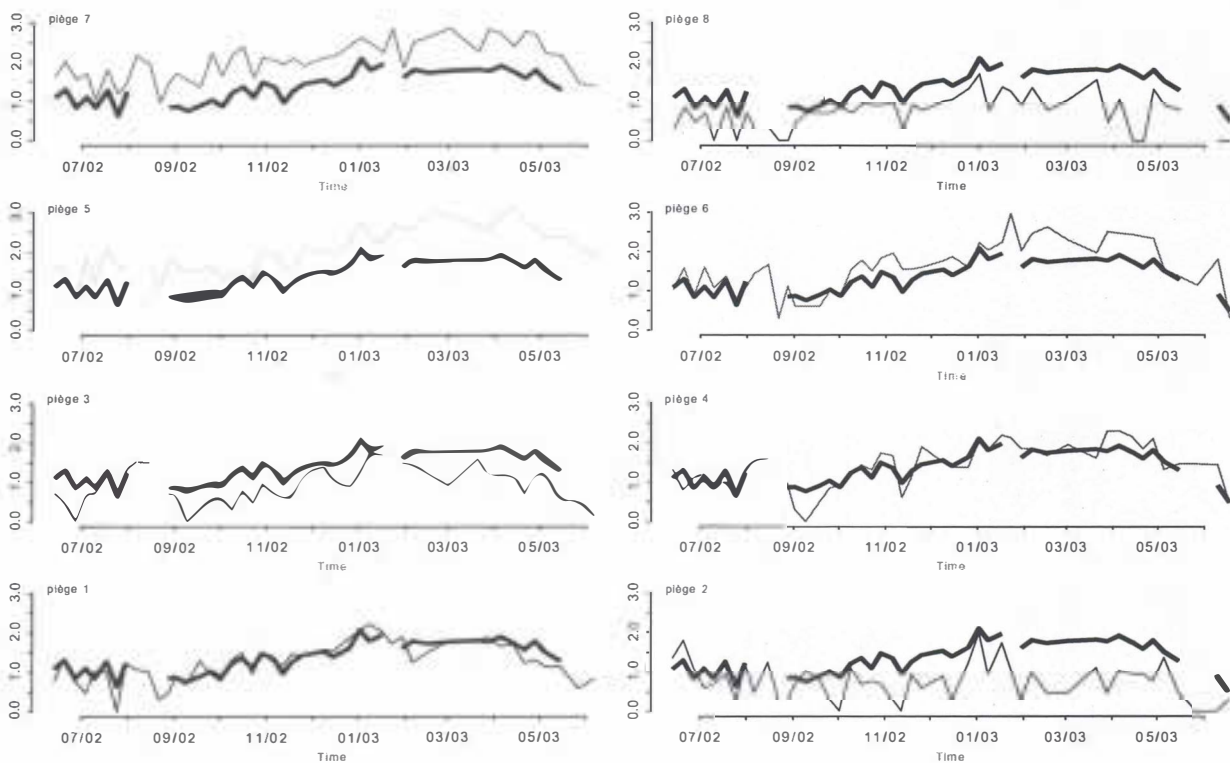


Figure 13 : écarts à la moyenne des  $\log(Stt+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'éleveur D.



Chez l'éleveur E (cf. figure 14), le piège 3 semble réaliser des captures souvent largement au dessus de la moyenne, alors que le piège 4 semble être fréquemment moins performant. Le piège 3 se trouve près de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, sur un sol mixte, il est ensoleillé à midi, il n'y a pas de végétaux hauts dans son environnement proche et il ne bénéficie d'aucune protection contre les vents. Le piège 4 est situé loin de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, sur un sol herbeux, il est à l'ombre à midi, a des végétaux hauts dans son environnement proche et bénéficie d'une protection partielle contre les vents. Les courbes représentant les captures des autres pièges de cet éleveur sont plus proches de la moyenne ou sont alternativement au dessus ou en dessous de la courbe moyenne.

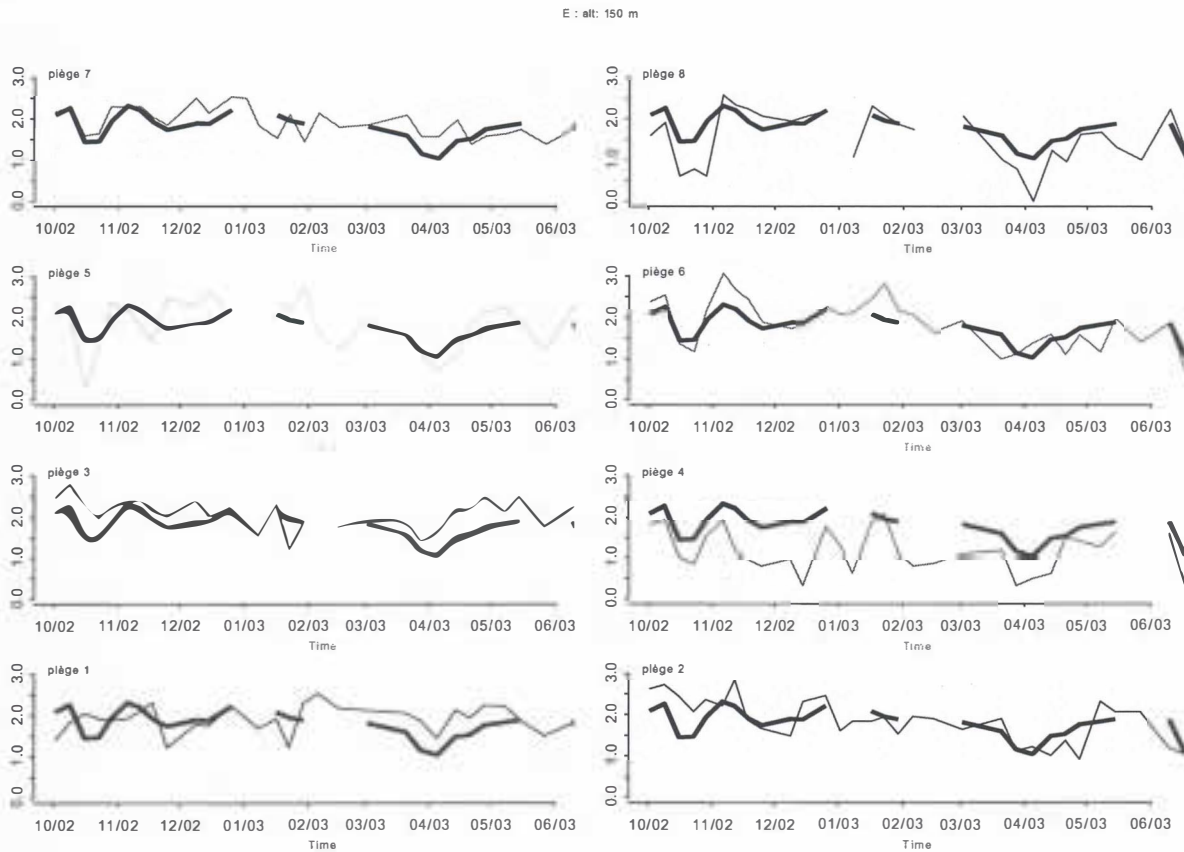


Figure 14 : écarts à la moyenne des  $\log(Stt+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'éleveur E.

Chez l'éleveur F (cf. figure 15), les captures réalisées par le piège 7 sont toujours largement au dessus de la moyenne. Ce piège est proche de la zone de stabulation et de la fosse à lisier, il est posé sur un sol mixte, il y a des végétaux hauts dans son environnement proche, il est au soleil à midi et il est partiellement protégé contre les vents. Le piège 1 est mauvais en saison fraîche et moyen en saison chaude, le piège 5 est moyen en saison fraîche et bon en saison chaude et le piège 8 est moyen en saison fraîche et mauvais en saison chaude. Les autres pièges réalisent des performances moyennes.

F : alt: 920 m

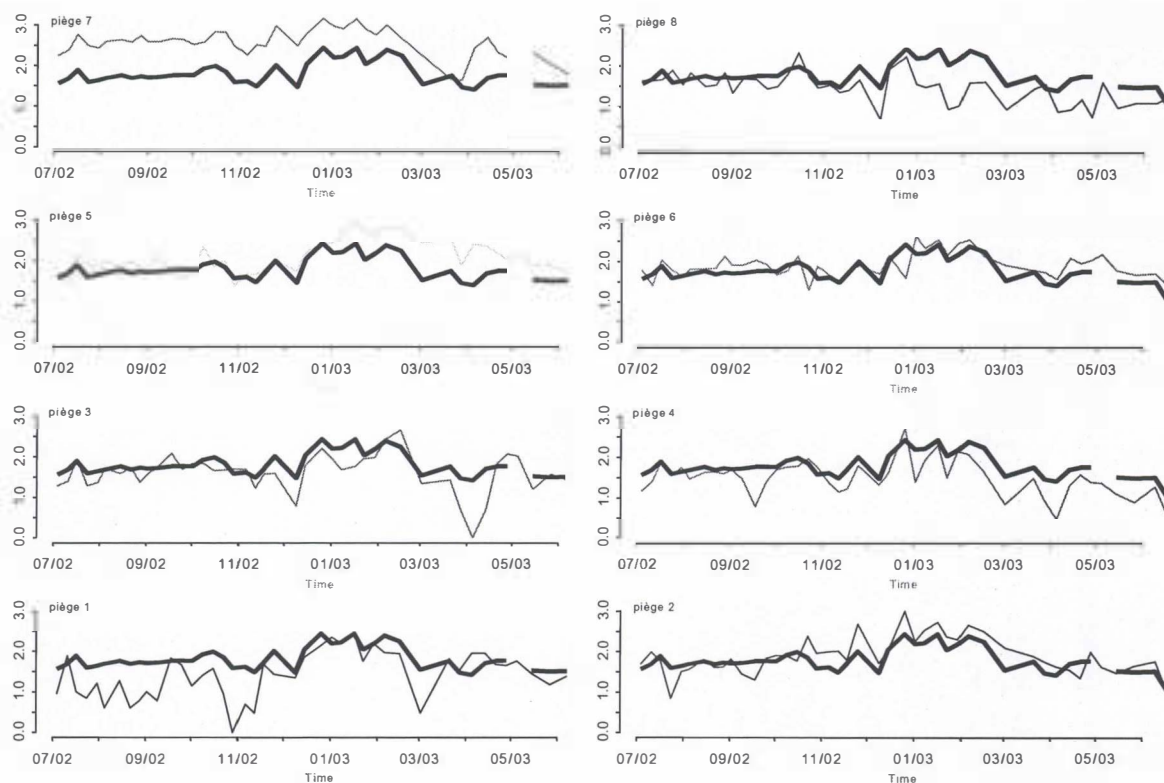


Figure 15 : écarts à la moyenne des  $\log(Stt+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'élèveur F.

Chez l'élèveur G, les courbes de tous les pièges sont toujours très proches de la courbe moyenne, il n'y a à première vue pas de différence nette d'efficacité entre les pièges, pourtant ces pièges diffèrent par certaines caractéristiques de leur environnement.

G : alt: 1616 m

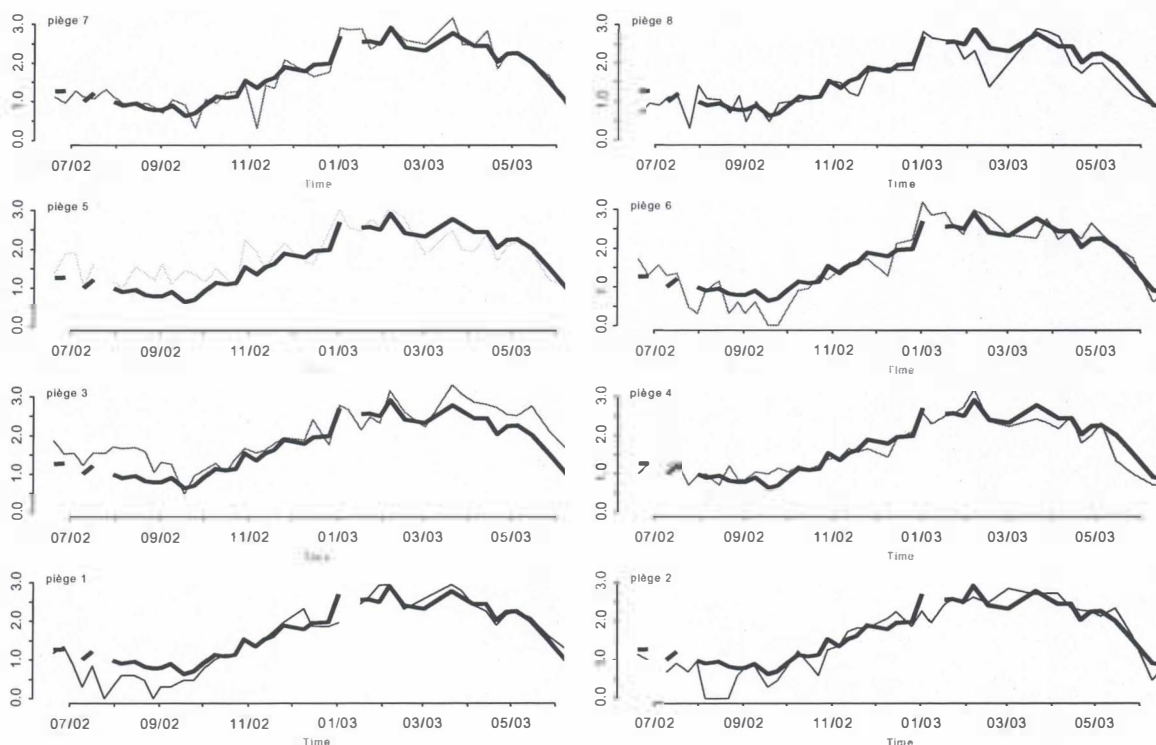


Figure 16 : écart à la moyenne des  $\log(Stt+1)$  pour les pièges 1 à 8 chez l'élèveur G.

CLERO Marianne

Mémoire de CEAV « pathologies animales en régions chaudes et épidémiologie »

Chez tous ces éleveurs et à partir de ces mêmes courbes nous avons tenté d'explorer plus en détail certaines variations dans l'efficacité des pièges pour des dates précises où par exemple une partie des pièges capturerait plus de stomoxes que la fois précédente alors que d'autres en captureraient moins ou bien lorsqu'un piège habituellement premier venait à réaliser une « contre performance ». Nous avons essayé de mettre en relation ces événements ponctuels avec certains éléments dont nous disposions (situation du bétail les jours de capture, paramètres météorologiques, hauteur d'herbe au niveau du piège). Malheureusement nous n'avons dégagé aucune règle générale, les informations dont nous disposions étant parcellaires et les fluctuations d'efficacité des pièges les uns par rapport aux autres d'une date à l'autre faisant sans aucun doute intervenir un grand nombre de paramètres.

Néanmoins, lorsque nous comparons les caractéristiques des pièges les meilleurs par rapport aux pièges les moins bons (cf. tableaux 3 et 4), nous pouvons remarquer que **les meilleurs pièges sont tous au soleil à midi, ils ont moins souvent de végétaux hauts dans leur environnement proche et sont moins bien protégés contre les vents que les pièges les moins performants**. De même les meilleurs pièges sont **plus souvent proches de la zone de stabulation et de la fosse à lisier**.

éleveur	piège	distcorc	distfosc	natsol	natveg	ensol	pvg
A	1	1	1	1	1	2	2
A	2	2	2	2	1	2	3
A	6	2	2	2	1	2	2
B	6	1	1	1	2	2	3
C	4	2	2	1	2	2	3
C	6	2	2	1	2	2	3
D	5	1	1	1	2	2	3
D	7	1	2	1	2	2	3
E	3	1	1	1	2	2	3
F	7	1	1	1	1	2	2

Tableau 3 : caractéristiques des pièges qui réalisent des captures régulièrement au-dessus de la moyenne.

éleveur	piège	distcorc	distfosc	natsol	natveg	ensol	pvg
A	7	1	1	1	1	2	2
B	2	2	2	1	1	2	1
C	2	2	2	1	1	1	3
D	2	2	2	1	1	2	2
D	3	2	2	1	1	2	3
D	8	2	2	1	1	1	2
E	4	2	2	2	1	1	2

Tableau 4 : caractéristiques des pièges qui réalisent des captures régulièrement au dessous de la moyenne.

Ceci constitue une première approche de l'analyse de l'efficacité des pièges en fonction de leur environnement. Voyons maintenant quelles sont les tendances que nous pouvons dégager à partir de la représentation graphique de la répartition des observations pour chaque modalité des variables.

## Répartition des écarts à la moyenne des $\log(\text{Stt}+1)$ en fonction des caractéristiques des pièges.

Nous travaillons dans cette sous partie sur les écarts à la moyenne des logarithmes népériens des comptages de stomoxes totaux en fonction des paramètres environnementaux des pièges.

Sur les graphiques présentés ci-après, nous visualisons la répartition de ces écarts à la moyenne sous forme de quantiles 25/75 pour les différentes modalités de chaque variable environnementale. Comme illustré par la figure 17, le grand rectangle contient 50% des observations, l'ensemble du grand et du petit rectangle contient 95% des observations et au delà il s'agit des valeurs extrêmes.

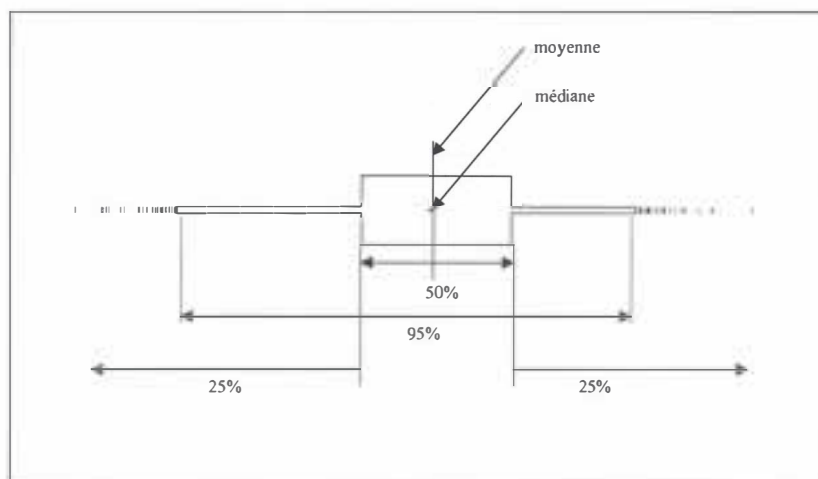


Figure 17 : répartition des données sous forme de quantile 25/75.

**Les écarts à la moyenne des comptages de stomoxes totaux (emlnstt) des pièges exposés au soleil à midi semblent être nettement plus élevés que les écarts à la moyenne des pièges exposés à l'ombre à midi** (cf. figure 18). Les écarts à la moyenne des comptages des pièges situés loin de la zone de stabulation et loin de la fosse à lisier semblent être légèrement moins élevés que les écarts à la moyenne des comptages des pièges situés respectivement à proximité de la zone de stabulation et à proximité de la fosse à lisier (cf. figures 19 et 20). Les écarts à la moyenne des comptages semblent être légèrement plus élevés lorsque les pièges sont posés sur un sol herbeux ou en l'absence de végétaux hauts dans leur environnement proche (cf. figures 21 et 22). Enfin il semble que moins les pièges sont protégés contre les vents en général (pvg), contre les vents locaux dominants du jour de la capture (protvd) ou contre les vents de sud-est (qui sont les vents dominants le plus souvent dans cette région), et plus les écarts à la moyenne sont élevés (cf. figures 23, 24 et 25).

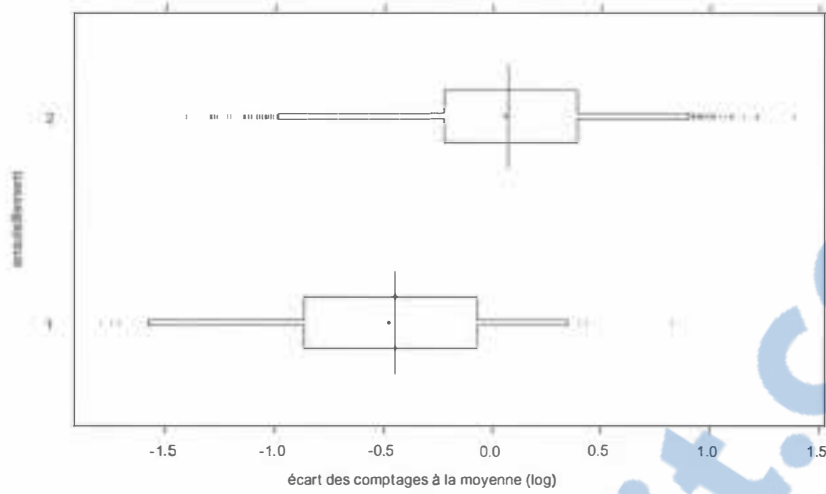


Figure 18 : répartition des emlnstt en fonction de l'ensoleillement des pièges (1=à l'ombre, 2=au soleil)

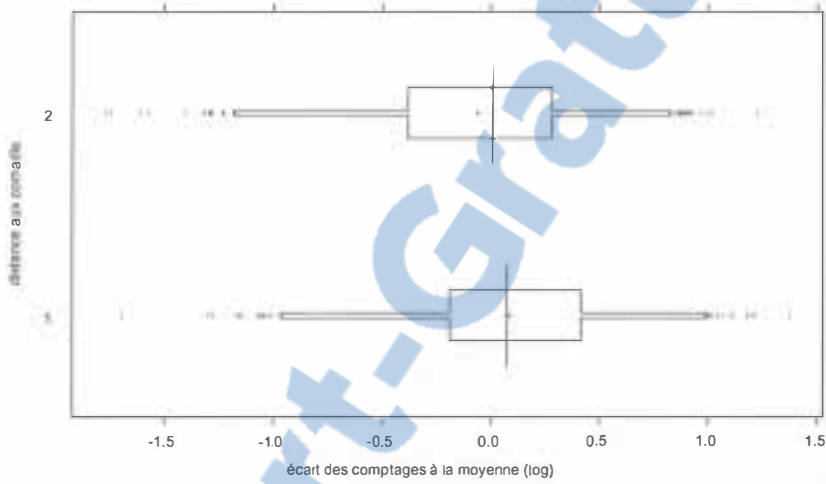


Figure 19 : répartition des emlnstt en fonction de la distance aux cornadis (1=près, 2=loin)

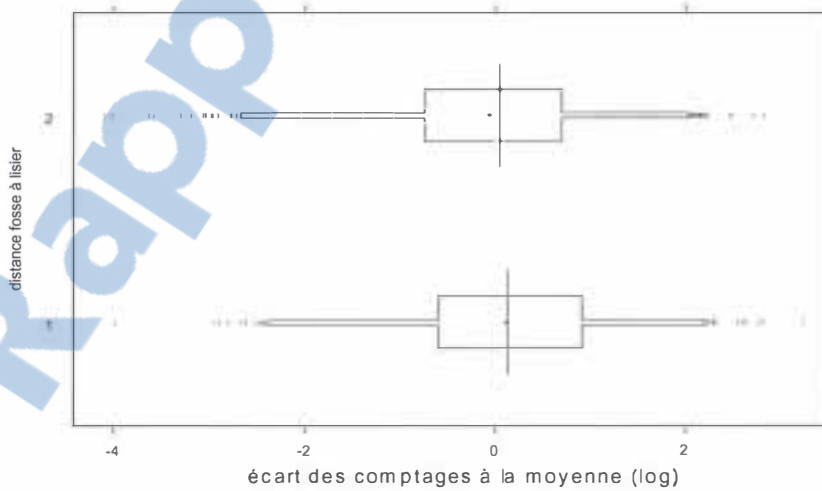


Figure 20 : répartition des emlnstt en fonction de la distance à la fosse à lisier

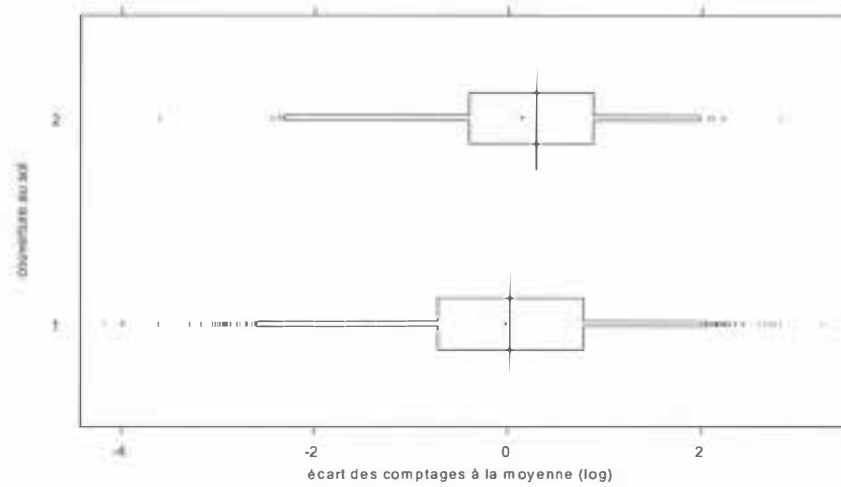


Figure 21 : répartition des emlnstt en fonction de la couverture au sol (1=mixte, 2= herbe)

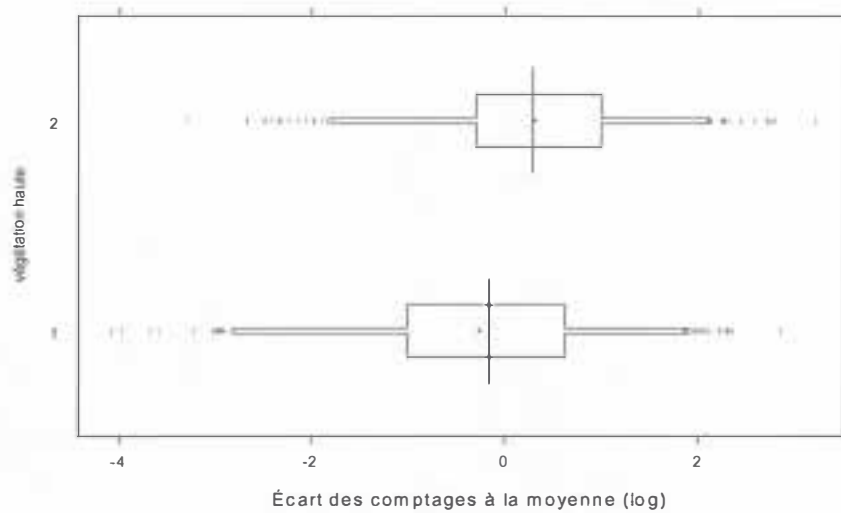


Figure 22 : répartition des emlnstt en fonction de la végétation environnante (1=présence, 2= absence de végétaux hauts).

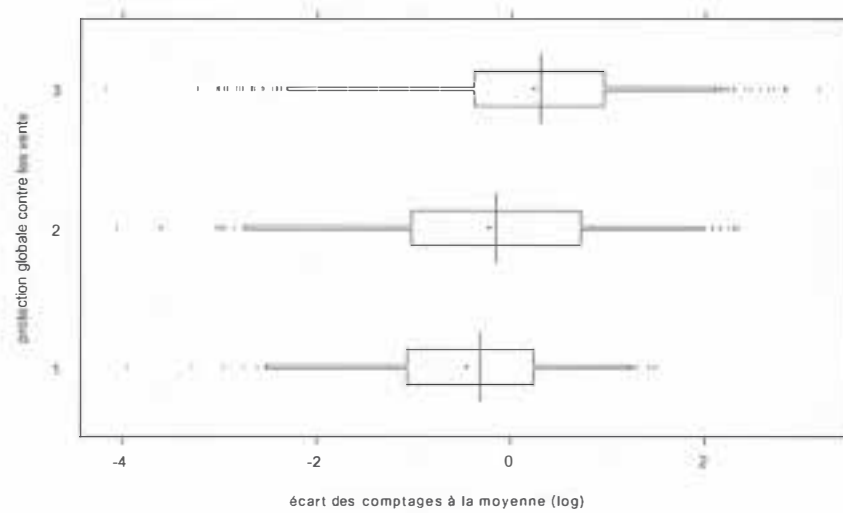


Figure 23 : répartition des emlnstt en fonction de la protection globale contre les vents (1=bonne, 2= partielle, 3= nulle)

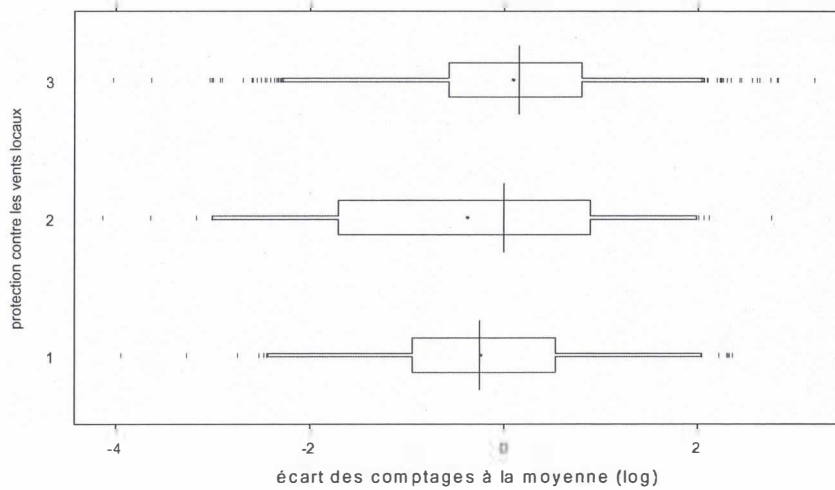
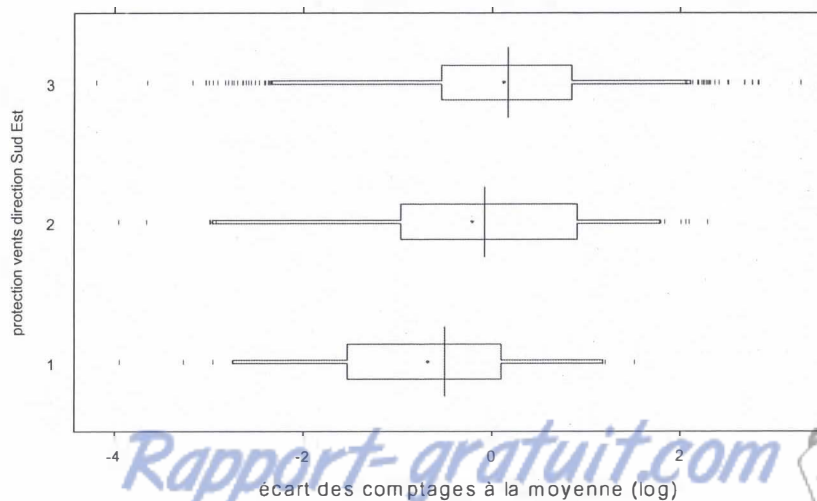


Figure 24 : répartition des emlnstt en fonction de la protection contre les vents locaux dominants le jour de la capture



Rapport-gratuit.com  
 LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Figure 25 : répartition des emlnstt en fonction de la protection contre les vents de sud-est  
Répartition des logarithmes des comptages par espèce et par sexe en fonction des caractéristiques des pièges.

Cette fois-ci nous avons exploré graphiquement la répartition des  $\log(\text{Scm})$ ,  $\log(\text{Scf})$ ,  $\log(\text{Snm})$  et  $\log(\text{Snf})$  pour les différentes modalités de chaque variable environnementale.

De même que pour les comptages de stomoxes totaux, **les comptages par sexe et par espèce sont plus élevés pour les pièges exposés au soleil à midi** (cf. figure 26). Cependant il ne semble pas y avoir d'interaction entre l'ensoleillement d'une part, et l'espèce et le sexe des mouches capturées d'autre part, c'est-à-dire que les écarts de captures entre espèces ou entre sexes sont identiques pour les deux modalités d'ensoleillement.

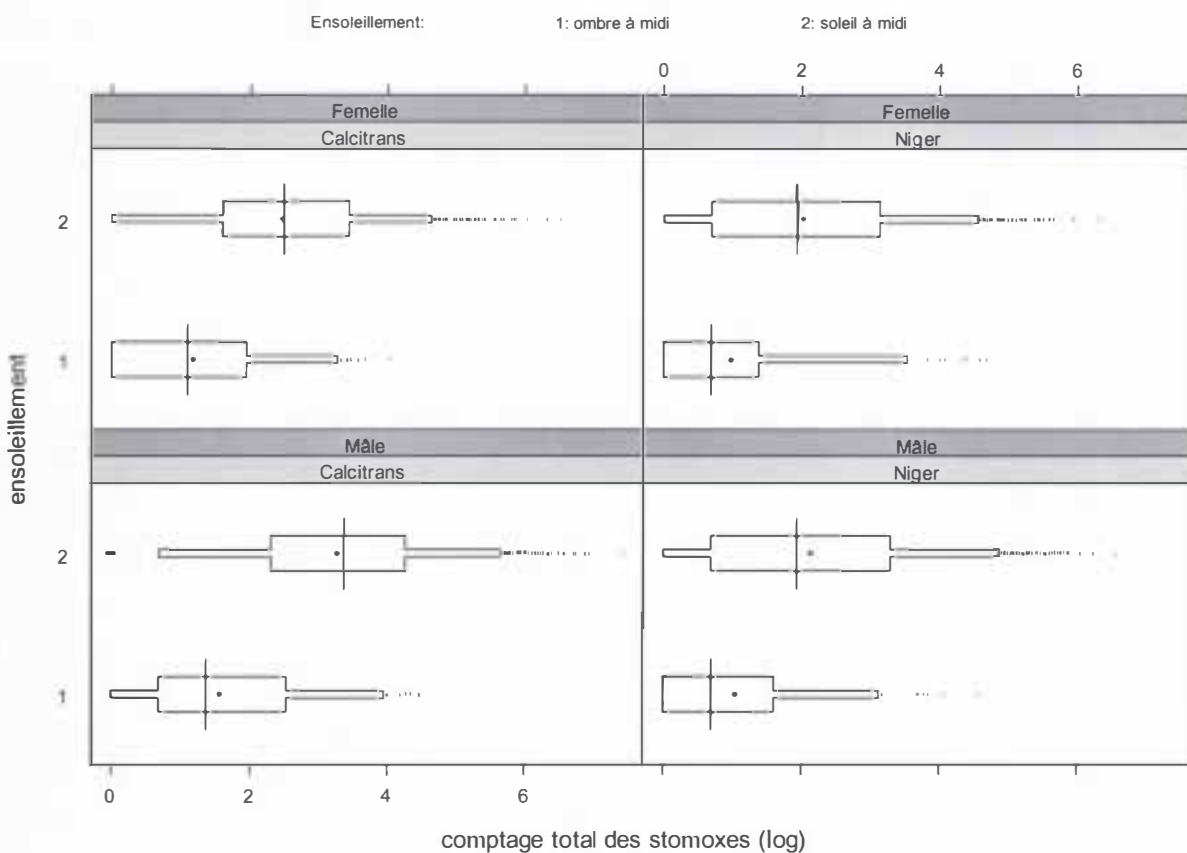


Figure 26 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de l'ensoleillement.

**Il semble que les comptages de stomoxes soient plus élevés lorsque le bétail se trouve à proximité des pièges le jour de la capture**, (cf. figure 27). Par ailleurs, les écarts de comptage entre les deux sexes d'une même espèce semblent amoindris lorsque le bétail est à proximité des pièges, il semble donc y avoir une interaction entre la proximité du bétail et le sexe.

Nous pouvons recouper cette information à l'aide d'un second graphique (cf. figure 28) qui nous montre que **les sexe-ratio** (pourcentage de mâles) **semblent moins élevés lorsque le bétail se trouve à proximité du piège**, et le sexe-ratio des *S. niger* semble toujours plus faible que le sexe-ratio des *S. calcitrans*.



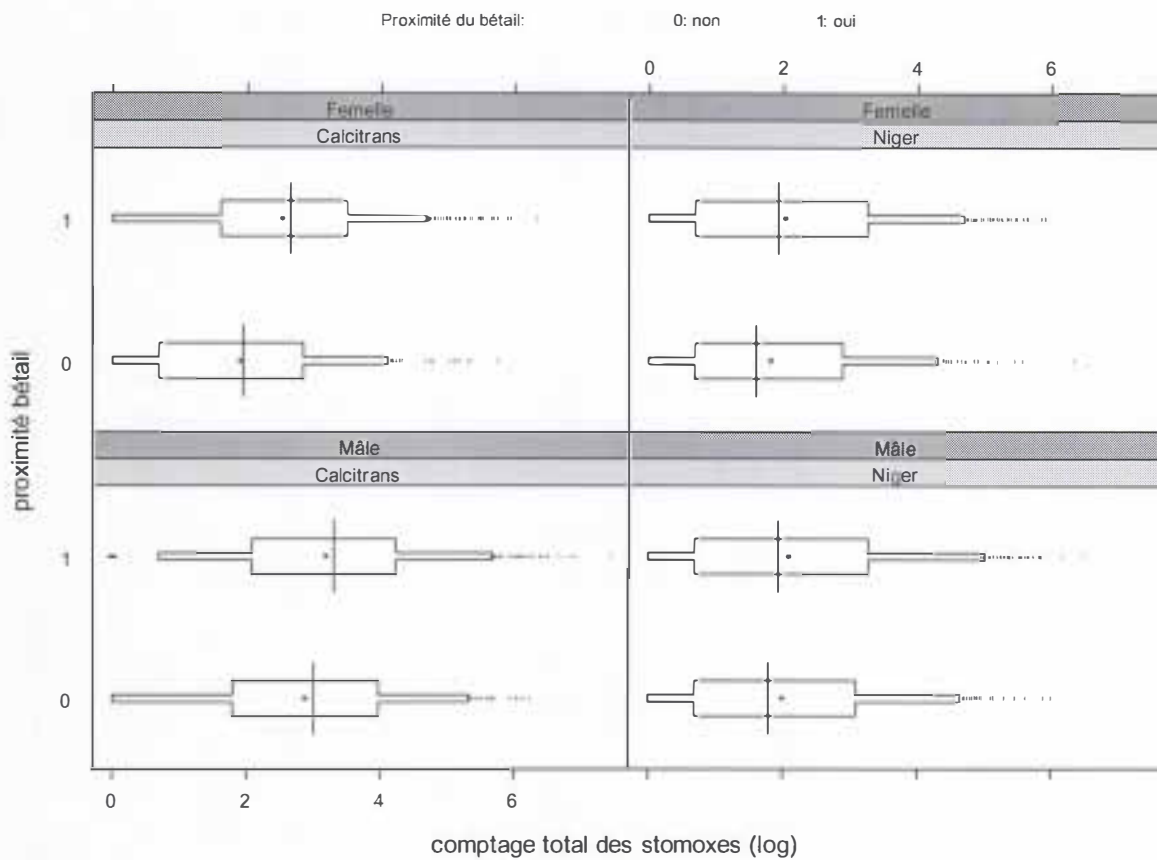


Figure 27 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de la proximité du bétail (0= bétail absent, 1= bétail à proximité du piège)

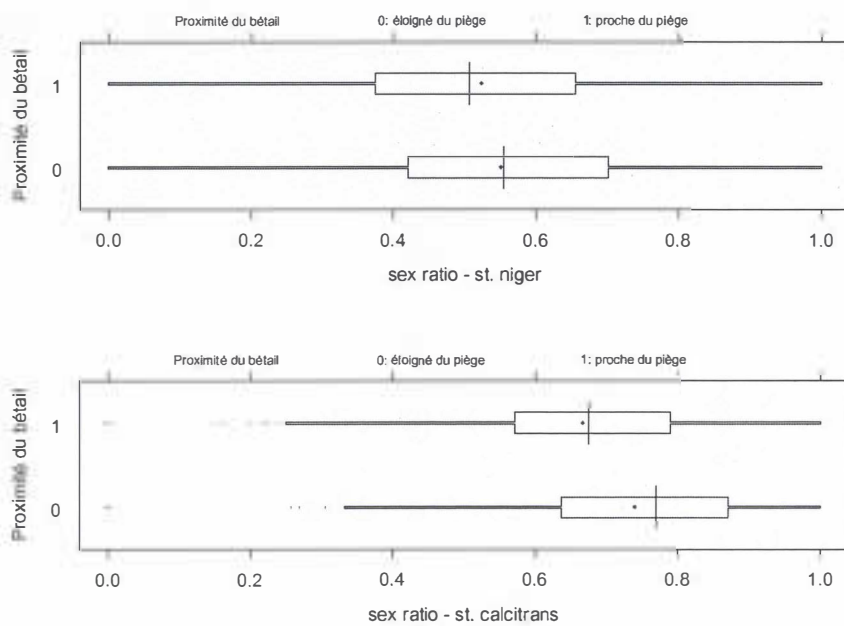


Figure 28 : sexe-ratio des comptages en fonction de la proximité du bétail.

Les captures de *S. calcitrans* semblent être légèrement plus faibles dans les pièges qui sont disposés loin des cornadis (cf. figure 29), il n'y a pas de différence nette pour *S. niger*, mais les écarts entre les comptages pour un sexe et une espèce donnée ne sont pas différents entre les pièges situés à proximité ou loin des cornadis, il n'y a donc apparemment pas d'interaction entre la distance du piège aux cornadis d'une part et l'espèce ou le sexe des stomoxes capturés d'autre part.

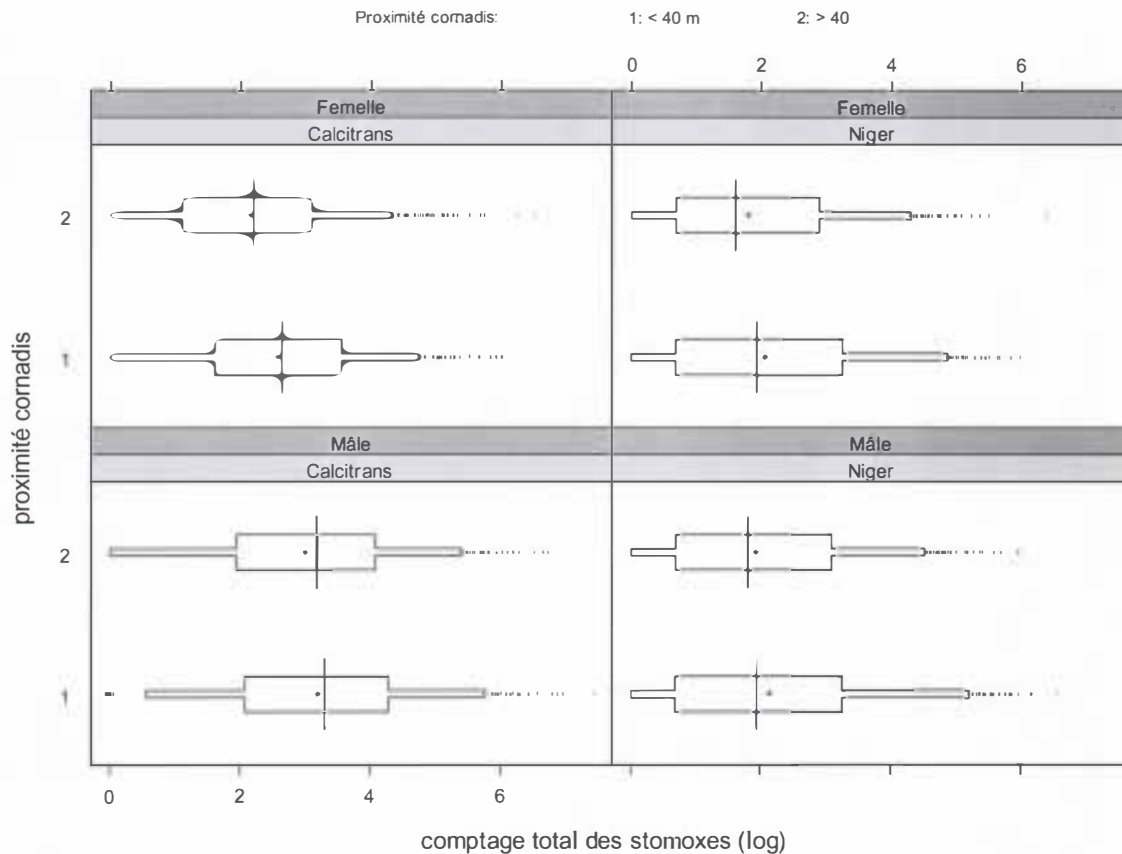
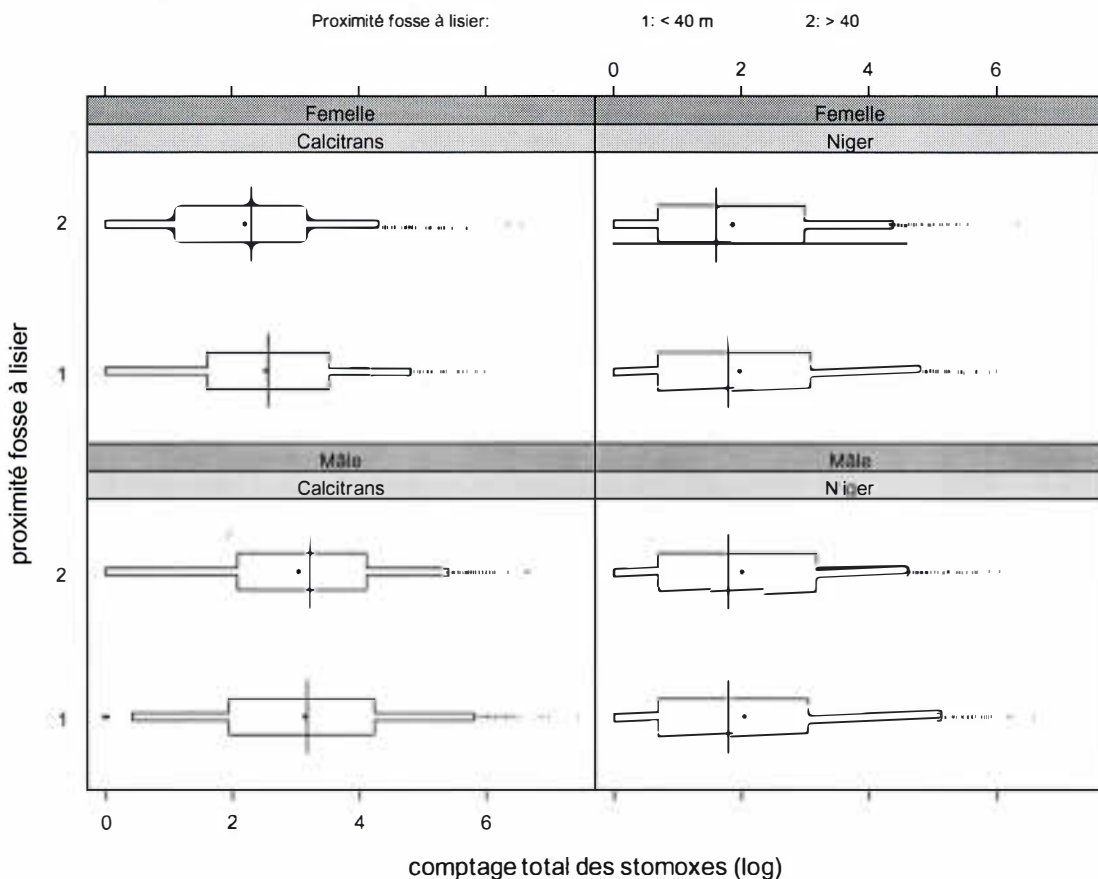


Figure 29 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de la position du piège par rapport aux cornadis.

Les captures de *S. calcitrans* femelle semblent légèrement plus faibles pour les pièges disposés loin de la fosse à lisier, et l'écart entre les sexes ou entre les espèces ne semble pas différent que le piège soit près ou loin de la fosse à lisier. Il n'y a pas d'interaction entre la distance à la fosse à lisier et l'espèce ou le sexe des stomoxes capturés.



**Figure 30** : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de la position du piège par rapport à la fosse à lisier.

**Pour les deux espèces de stomoxes, les comptages de mâles semblent être plus élevés lorsque le piège est posé sur un sol herbeux** (cf. figure 31). Il semble exister une interaction entre la nature de la couverture au sol et le sexe des stomoxes capturés car l'écart des comptages entre les sexes pour chaque espèce est supérieur quand les pièges sont sur un sol herbeux.

Les comptages semblent être supérieurs lorsqu'il n'y a pas de végétaux hauts dans l'environnement proche du piège pour chaque espèce et chaque sexe, mais il n'y a pas d'interaction entre la végétation haute et l'espèce ou le sexe des stomoxes (cf. figure 32).

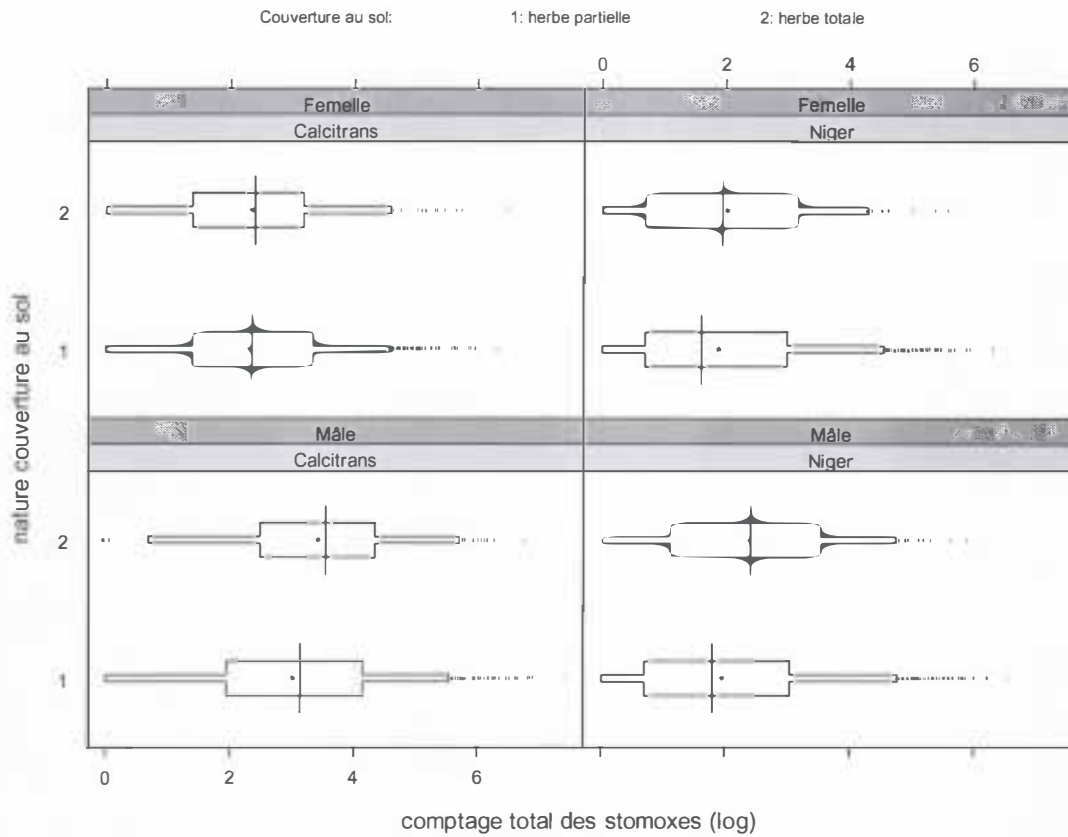


Figure 31 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de la nature couverture au sol.

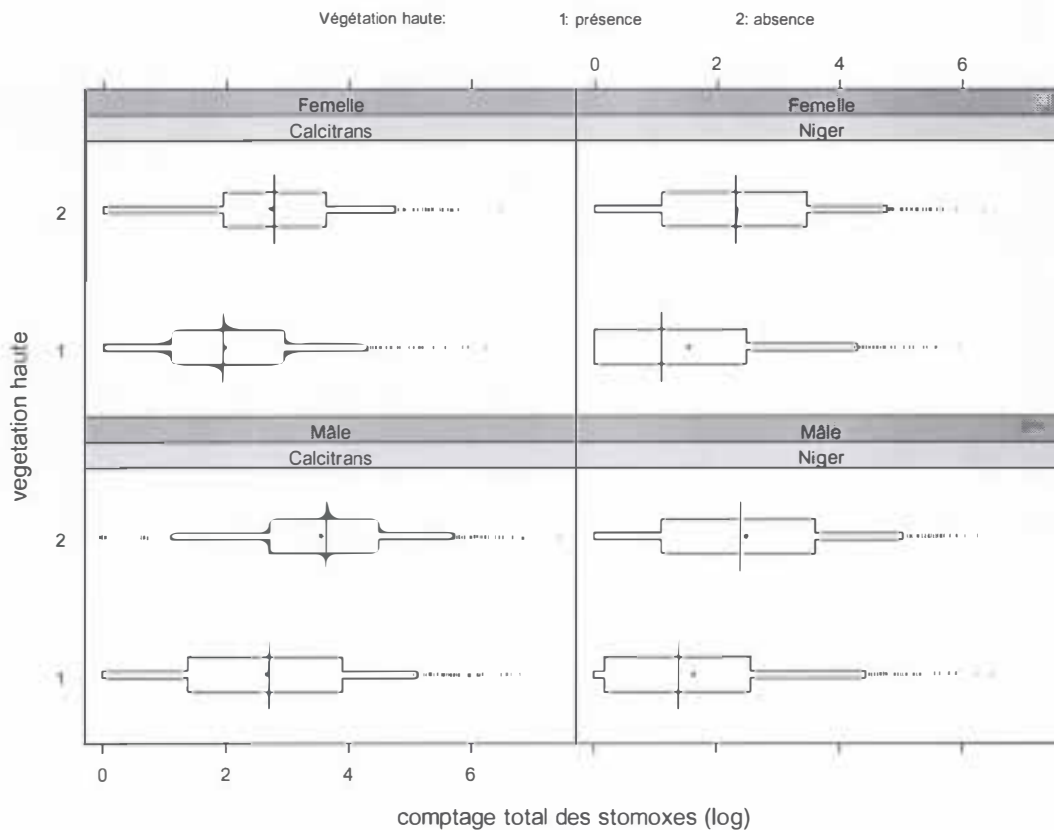


Figure 32 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de la végétation environnante.

Il semble qu'il y ait toujours moins de *Stomoxys calcitrans* femelle que de mâles capturés quelque soit l'altitude alors qu'il n'apparaît pas de différence notable entre les comptages des deux sexes de *Stomoxys niger*. En revanche, l'écart entre les comptages de *S. calcitrans* et de *S. niger* semble augmenter avec l'altitude. Il semble donc exister une interaction entre l'altitude et l'espèce des stomoxes capturés (cf. figure 33). Par ailleurs nous pouvons voir sur tous ces graphiques qu'il y a apparemment le plus souvent plus de *Stomoxys calcitrans* capturés que de *Stomoxys niger* tout sexe confondu.

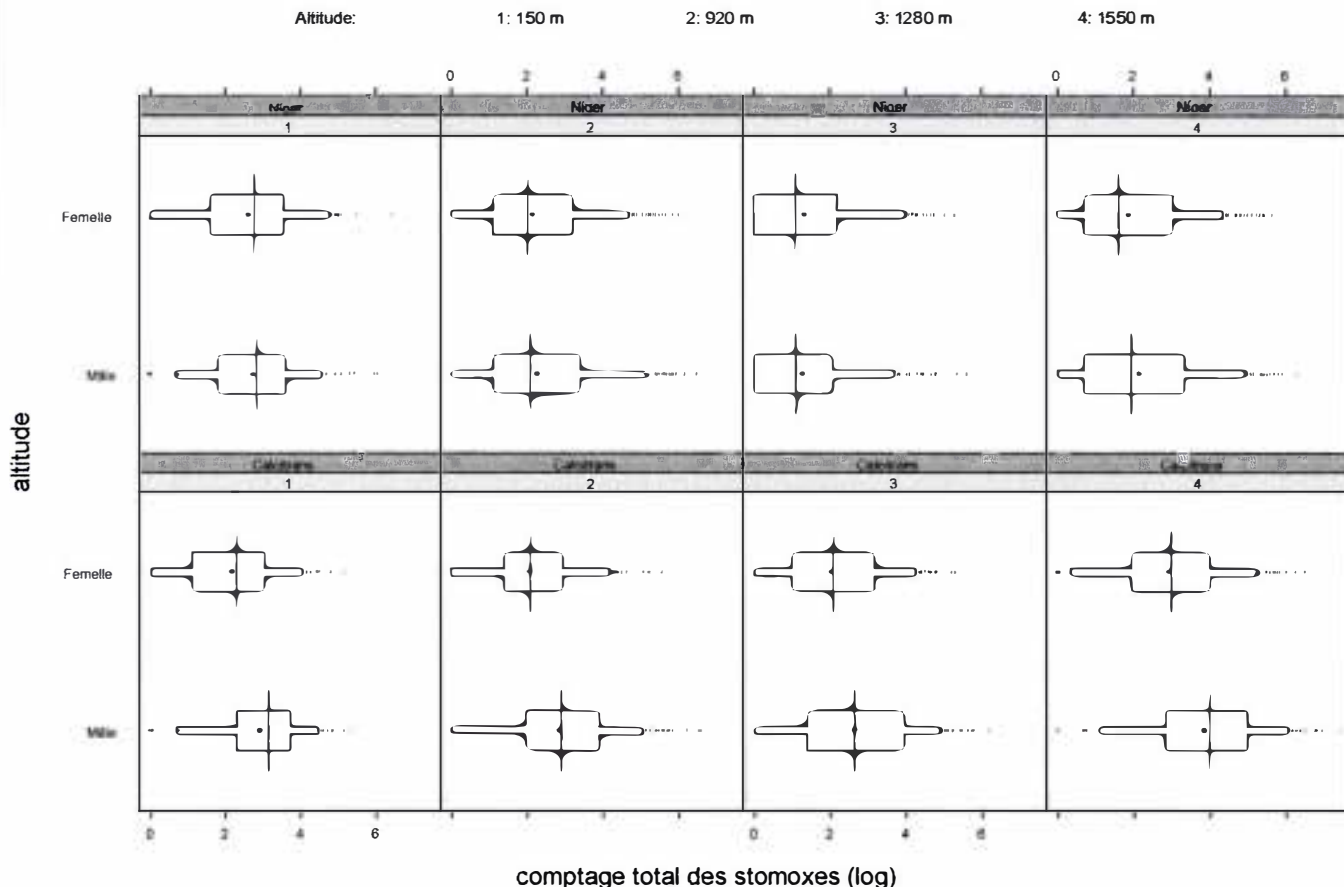


Figure 33 : répartition des comptages par sexe et par espèce en fonction de l'altitude.

Après cette phase d'exploration graphique il semble que :

- les pièges au soleil capturent nettement plus de stomoxes totaux, ceci étant également vrai pour les captures par espèce et par sexe.
- les pièges qui sont près de la stabulation capturent légèrement plus de stomoxes totaux, et cela reste vrai pour *S. calcitrans* mais pas pour *S. niger*.
- les pièges qui sont près de la fosse à lisier capturent légèrement plus de stomoxes totaux et cela reste vrai pour les *S. calcitrans* femelles mais pas pour les autres.
- les pièges posés sur un sol herbeux capturent légèrement plus de stomoxes totaux, cela reste ensuite valable pour les mâles des deux espèces mais pas pour les femelles.
- en l'absence de végétaux hauts à proximité du piège les captures de stomoxes totaux sont plus élevées, cela reste vrai par espèce et par sexe.
- plus les pièges sont protégés contre les vents et moins les captures de stomoxes totaux sont importantes.
- lorsque le bétail se trouve à proximité des pièges, les captures de stomoxes par sexe et par espèce sont plus élevées et le sexe-ratio diminue.
- les captures de *S. calcitrans* sont toujours plus élevées que les captures de *S. niger*, l'écart entre les captures de *S. calcitrans* et *S. niger* augmente avec l'altitude et on capture plus de *S. calcitrans* femelle que de *S. calcitrans* mâle.

### 3.3.1.2. Résultats des tests statistiques

#### Modélisation N°1 :

Nous avons fait un test d'analyse de la variance avec une variable à expliquer qui est l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$ , et des variables explicatives qui sont l'ensoleillement (ensol), la distance aux cornadis (distcorc), la distance à la fosse à lisier (distfosc), la nature du sol dans un rayon de cinq mètres autour du piège (natsol), la nature de la végétation dans un rayon de cinq mètres autour du piège (natvg), la protection contre les vents locaux dominants du jour de la capture (protvd) et la protection générale contre les vents (pvg).

Aux vues des résultats (cf. annexe III, p XX) nous concluons que **les écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour les pièges au soleil à midi sont très significativement supérieurs à ceux des pièges à l'ombre à midi au seuil de 5% (  $p=0,0005$ ).**

Par ailleurs **l'interaction entre la présence ou l'absence de végétaux hauts et la protection contre les vents locaux dominants le jour de la capture s'avère elle aussi significative** au seuil de 5% ( $p=0,0015$ ).

Nous avons calculé la valeur moyenne de l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour chaque niveau d'un facteur, indépendamment des autres facteurs

Pour la variable « ensol » :

ensol :	1	2
	-0.9337319	0.1068555

L'écart à la moyenne d'un piège au soleil à midi est supérieur de 1,039 points à celui d'un piège à l'ombre à midi.

Pour l'interaction entre « natveg » et « protvd » :

	protvd 1	protvd 2	protvd 3
natveg 1	-0.4592882	-0.9146953	-0.5534738
natveg 2	-0.4578461	0.1283603	-0.2236861

La différence entre les valeurs moyennes des écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  est minimum pour la modalité 1 de protvd, augmente et est maximum pour la modalité 2 de protvd, puis diminue pour la modalité 3 de protvd.

Les paramètres de l'Anova nous montrent que **la variabilité intra-piège**, liée aux variations des comptages d'une date sur l'autre en partie due à la fluctuation de la population de stomoxes présente dans l'environnement, est **aussi élevée que la variabilité entre les pièges** (cf. annexe III, p XXI).

#### Modélisation N°2 :

Pour cette seconde modélisation nous travaillons sur un deuxième jeu de données qui correspond au jeu de données précédent sans les résultats de capture pour lesquelles la variable distbetc n'est pas renseignée.

La variable à expliquer sera successivement l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Scm}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Scf}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Snm}+1)$ , l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Snf}+1)$ . Les variables explicatives seront tous les paramètres de l'environnement du piège constants ou variables d'une capture à l'autre.

- Effet des paramètres de l'environnement du piège sur les écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  (=emlnstt). Cf. Annexe III, p XIII.

A partir de ce nouveau jeu de données nous retrouvons le fait que les emlnstt sont significativement plus élevés pour les pièges au soleil à midi ( $p=0,0019$ )

**Nous apprenons en plus que les emlnstt sont significativement plus élevés lorsque le bétail se trouve à proximité du piège le jour de la capture ( $p=0,0449$ ).**

Enfin, l'interaction  $\text{distbetc}*\text{protvd}$  est significative ( $p=0,0058$ ).

Nous avons calculé les moyennes ajustées des emlnstt pour chaque niveau des facteurs de l'interaction  $\text{distbetc}*\text{protvd}$  :

	protvd1	protvd2	protvd3
distbetc0	-0.4641281	-0.9526064	-0.5555961
distbetc1	-0.5183244	-0.1706552	-0.3930976

Nous pouvons constater que l'écart entre les deux modalités de la variable distbetc augmente de la modalité 1 à 2 de protvd, puis diminue de la modalité 2 à 3 de protvd.

- Effet des paramètres de l'environnement du piège sur les écarts à la moyenne des  $\log(\text{Scm}+1)$  (=emlnscm). Cf. Annexe III, p XXV.

**Les emlnscm sont significativement plus élevés pour les pièges au soleil à midi ( $p=0,0017$ ).** Il n'y a pas d'effet significatif de la variable distbetc ( $p=0,1680$ ) ni de la variable protvd ( $p=0,7830$ ) mais l'interaction  $\text{distbetc}*\text{protvd}$  est significative ( $p=0,0295$ ).

- Effet des paramètres de l'environnement du piège sur les écarts à la moyenne des  $\log(\text{Scf}+1)$  (=emlnscf). Cf. Annexe III, p XXVI.

**Les emlnscf sont significativement plus élevés lorsque les pièges sont au soleil à midi ( $p=0,0044$ ) et lorsque le bétail se trouve à proximité du piège le jour de la capture ( $p=0,0014$ ).** L'interaction  $\text{distbetc}*\text{protvd}$  est significative.

- Effet des paramètres de l'environnement du piège sur les écarts à la moyenne des  $\log(\text{Snm}+1)$  (=emlnsnm). Cf. Annexe III, p XVII.

Il n'y a pas d'effet significatif de l'ensoleillement à midi sur les emlnsnm ( $p=0,0532$ ). **Les emlnsnm sont significativement plus élevés lorsque le bétail se trouve à proximité du piège le jour de la capture ( $p=0,005$ ).** L'interaction  $\text{distbetc}*\text{protvd}$  est significative ( $p=0,0025$ ).

- Effet des paramètres de l'environnement du piège sur les écarts à la moyenne des  $\log(Snf+1)$  (=emlnsnf). Cf. Annexe III, p XXVIII.

Les emlnsnf sont **significativement plus élevées pour les pièges au soleil à midi ( $p=0,0133$ ) et lorsque le bétail se trouve à proximité des pièges le jour de la capture ( $p=0,001$ )**. L'interaction **disbetc\*protvd est significative ( $p=0,0066$ )**.

Pour la modélisation N°2 on note aussi le fait que pour chaque Anova, la variabilité entre les pièges est élevée et qu'elle est équivalente à la variabilité intra-pièges.

### Modélisation N°3 :

Dans cette troisième modélisation nous comparons les comptages dans les différents pièges toutes semaines confondues grâce à un test d'Anova.

Dans un premier temps nous pouvons constater que les **comptages moyens de stomoxes par piège sont significativement plus élevés pour les pièges exposés au soleil à midi et pour les pièges posés sur un sol herbeux ( $p<0,0001$ )**.

Les autres résultats nous donnent des éléments de comparaison des captures moyennes de stomoxes par piège en fonction de l'espèce, du sexe et de l'altitude. Ces résultats ne nous donnent pas d'information sur l'efficacité des pièges en fonction de leur environnement mais plutôt sur le profil général des captures quelque soit le piège.

Il apparaît dans les résultats du test d'Anova que les **comptages moyens par piège de *Stomoxys calcitrans* sont significativement plus élevés que les comptages moyens par piège de *Stomoxys niger***, et que les **comptages moyens par piège de stomoxes mâles sont significativement plus élevés que les comptages moyens de stomoxes femelles**.

L'interaction entre l'espèce et le sexe des stomoxes capturés est significative. En effet, **pour les deux espèces les comptages de mâles sont plus élevés que les comptages de femelles et cet écart est significativement plus important pour les *Stomoxys calcitrans* que pour les *Stomoxys niger***.

Il existe également des différences significatives entre les comptages moyens de stomoxes à des altitudes différentes. **Le nombre moyen de stomoxes capturés par piège diminue de l'altitude 1 à l'altitude 3 alors qu'ils sont les plus élevés à l'altitude 4**.

Enfin, **l'interaction entre l'altitude et l'espèce est significative**. Globalement les comptages moyens de *Stomoxys calcitrans* sont plus élevés que les comptages moyens de *Stomoxys niger* mais cette différence varie avec l'altitude. En réalité les comptages de *Stomoxys niger* sont légèrement plus élevés que les comptages de *Stomoxys calcitrans* à l'altitude 1, la tendance est inversée à l'altitude 2 puis l'écart se creuse davantage quand on passe à l'altitude 3 puis à l'altitude 4.



Résumé des résultats de l'analyse statistique :

modélisation N°1 et N°2 :

Les pièges au soleil capturent significativement plus de stomoxes totaux, de *S. calcitrans* mâle et femelle et de *S. niger* femelle.

Les pièges capturent significativement plus de stomoxes totaux, de *S. calcitrans* femelle et de *S. niger* mâle et femelle lorsque le bétail se trouve à proximité du piège le jour de la capture.

La variable protvd (protection contre les vents dominants locaux du jour de la capture) intervient dans plusieurs interactions avec la variable natveg et la variable distbetc.

Modélisation N° 3 :

Les comptages moyens de stomoxes par piège sont significativement plus élevés pour les pièges au soleil et les pièges posés sur un sol herbeux.

Les pièges capturent en moyenne significativement plus de *S. calcitrans* que de *S. niger*, de mâles que de femelles, l'écart entre les mâles et les femelles étant significativement supérieur pour *S. calcitrans*. L'écart entre les captures de *S. calcitrans* et *S. niger* est significativement différent en fonction de l'altitude (plus on monte et plus il y a de *S. calcitrans* par rapport aux *S. niger*).

### 3.3.2. évolution des densités de stomoxes dans le temps et dans l'espace

#### 3.3.2.1. Etude descriptive captures de stomoxes

Chez tous les éleveurs, les **captures de *Stomoxys calcitrans* mâles sont presque toujours nettement inférieures aux captures de *Stomoxys calcitrans* femelles**, le sexe ratio calculé sur la somme de toutes les captures pour chaque éleveur allant de 64 à 73 % de mâles. En revanche, les captures de *Stomoxys niger* mâles et femelles diffèrent souvent peu, avec un léger avantage des mâles, le sexe ratio allant de 49 à 60 % de mâles. Les fluctuations des captures de mâles et de femelles sont la majeure partie du temps similaires, c'est pourquoi nous pouvons faire la somme des captures de mâles et de femelles dans chaque espèce pour suivre l'évolution des effectifs de stomoxes capturés (cf. Annexe IV, p XXXII).

Chez l'éleveur **E**, à l'altitude **1**, **33270 stomoxes** ont été capturés du 13 juin 2002 au 18 juin 2003. Parmi les stomoxes que l'on a pu identifier, 16 171 étaient des *S. calcitrans* et 15 811 étaient des *S. niger*, soit une proportion de **51% de *S. calcitrans***. Les deux espèces de stomoxes sont capturées tout au long de l'année. Il n'y a **pas de saisonnalité bien marquée des captures de *S. calcitrans***, celles-ci sont élevées toute l'année, et les plus fortes captures sont réalisées en octobre et en janvier. **Peu de *S. niger*** sont capturés de **juin à septembre**, il y a des **pullulations importantes en octobre et en novembre** et les captures se maintiennent à un haut niveau du mois de décembre jusqu'à la fin du mois de mai. Les populations de *S. calcitrans* et de *S. niger* semblent suivre approximativement les mêmes fluctuations, l'amplitude étant plus grande pour *S. calcitrans* de juin à septembre et plus importante pour *S. niger* en octobre et novembre. Il y a nettement plus de *S. calcitrans* que de *S. niger* de juin à septembre puis les deux courbes s'entrecroisent. La saisonnalité apparente des captures de stomoxes totaux est donc principalement liée à la saisonnalité des captures de *S. niger*.

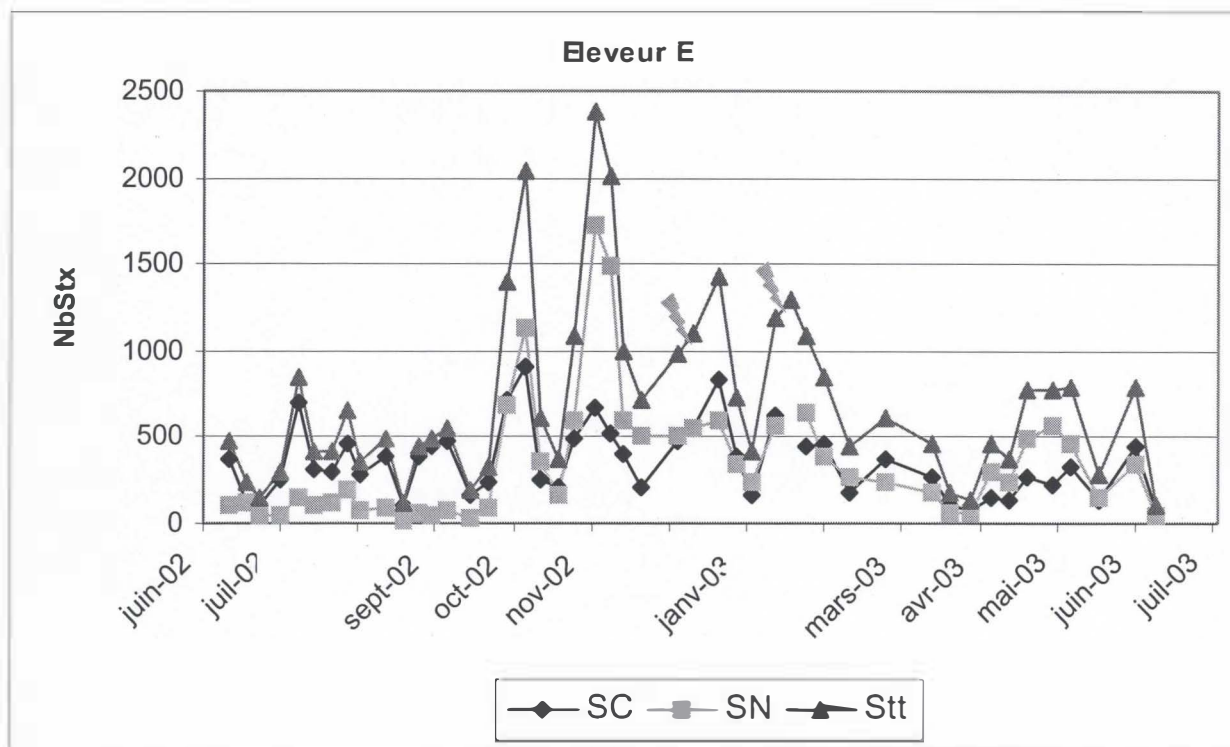
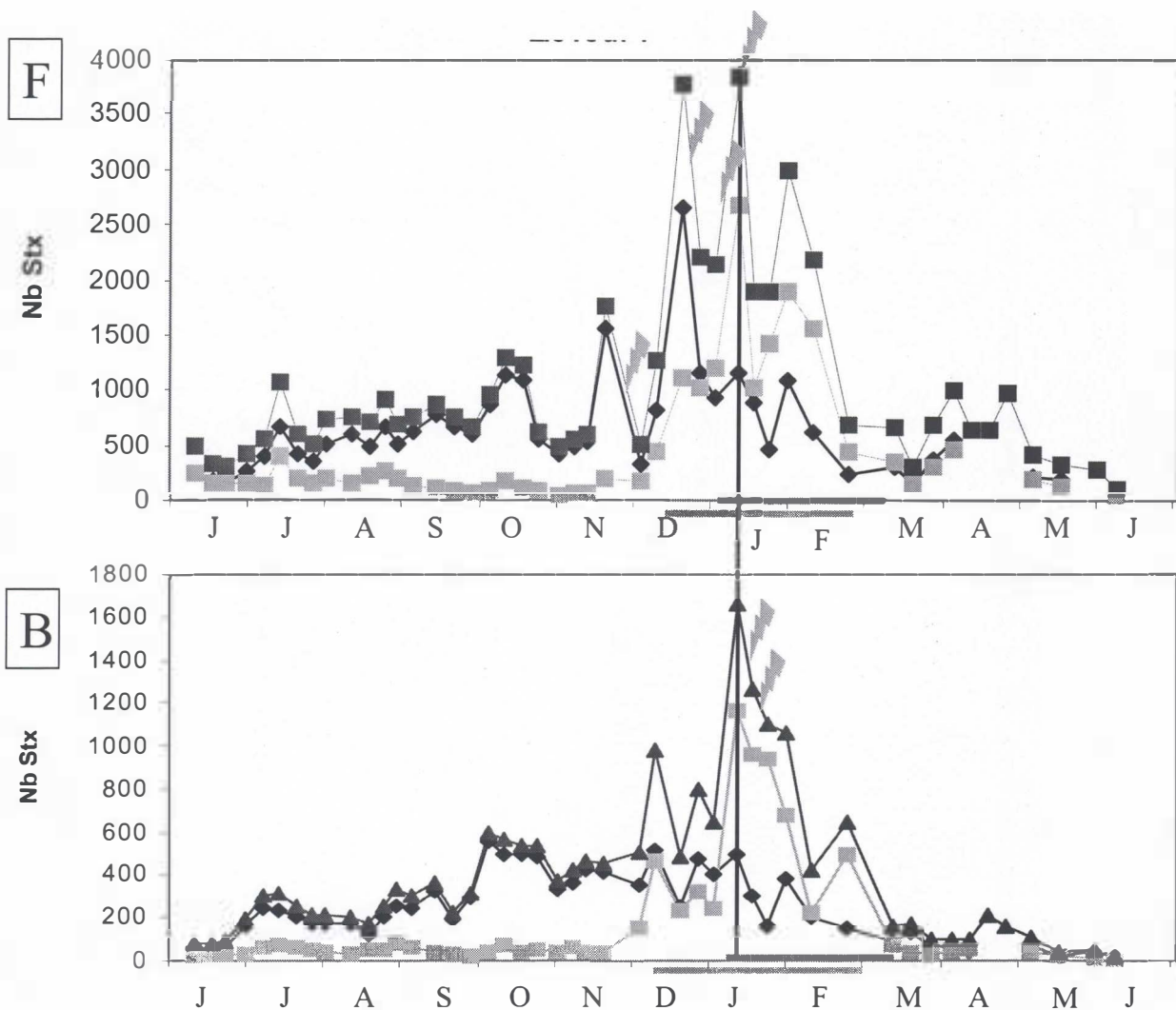


Figure 34 : captures hebdomadaires de *S. calcitrans* (SC), de *S. niger* (SN) et de stomoxes totaux (Stt) chez l'éleveur E. Les flèches symbolisent l'application d'un traitement insecticide aux animaux.

Chez l'éleveur B, à l'altitude 2, 18671 stomoxes ont été capturés du 13 juin 2002 au 18 juin 2003. Il y avait 10960 *S. calcitrans* et 7332 *S. niger* identifiés soit **60% de *S. calcitrans***. Les deux espèces sont capturées tout au long de l'année. Il n'y a **pas de saisonnalité marquée des captures de *S. calcitrans***, avec tout de même une abondance nettement plus faible de mars à juin. Les captures de *S. niger* sont séparées en deux saisons bien différenciées, une saison de **forte abondance de décembre à février**, et une saison de **faible abondance de mars à novembre**.

Chez l'éleveur F, à l'altitude 2, 48295 stomoxes ont été capturés du 13 juin 2002 au 18 juin 2003. Il y avait 27 135 *S. calcitrans* et 18601 *S. niger* identifiés, soit **60% de *S. calcitrans***. Les deux espèces sont capturées tout au long de l'année. Il y a une saisonnalité un peu plus marquée des captures de *S. calcitrans* que chez les éleveurs précédents, les **plus fortes captures étant réalisées en novembre et décembre**, et la **saison de moins forte abondance allant de mars à septembre**, avec tout de même un niveau élevé des captures de *S. calcitrans* tout au long de l'année. La saison de **pullulation des *S. niger* s'étend de décembre à février**. Les captures de *S. niger* sont **faibles de mars jusqu'à la fin du mois de novembre**.

Les captures de stomoxes chez les deux éleveurs situés à l'altitude 2 sont semblables en certains points. Il y a **toujours plus de *S. calcitrans* que de *S. niger*** (nettement plus de juillet à novembre) **sauf du début du mois de janvier à la mi-mars** correspondant à la saison de pullulation des *S. niger* chez les deux éleveurs. Le pourcentage de *S. calcitrans* capturés calculé sur l'ensemble du suivi est d'ailleurs identique pour les deux éleveurs (60%) bien que les captures soient beaucoup plus élevées chez l'éleveur F que chez l'éleveur B (2,5 fois plus de mouches capturées). La saisonnalité des captures de *S. niger* est plus marquée que celle des captures de *S. calcitrans*. On ne note pas vraiment de pullulation des *S. calcitrans* chez l'éleveur B contrairement à ce qui se passe chez l'éleveur F, et à l'échelle de la semaine de capture il y a des différences remarquables dans les fluctuations des populations de mouches capturés entre les deux éleveurs.

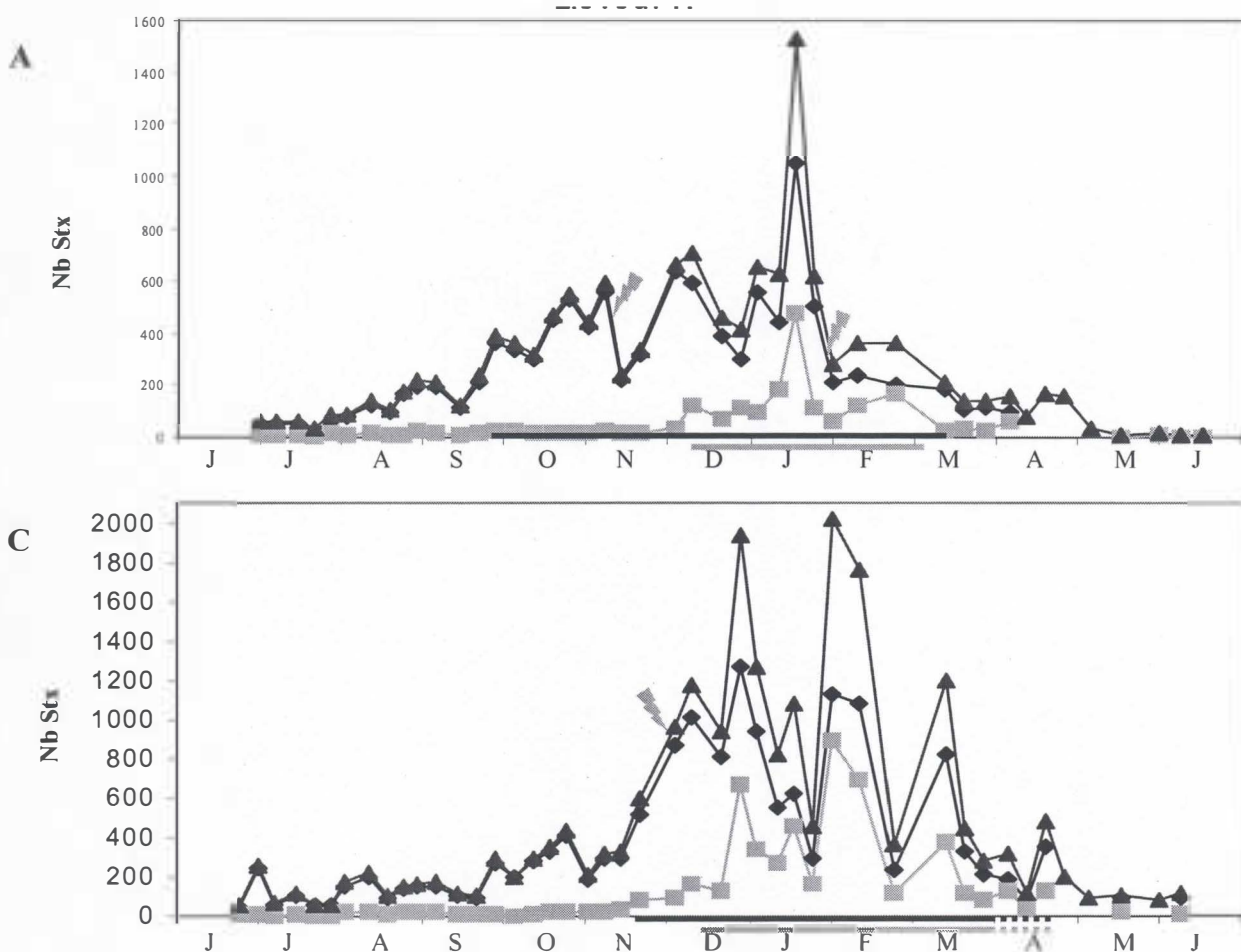


**Figure 35** : captures hebdomadaires de *S. calcitrans* (SC), de *S. niger* (SN) et de stomoxes totaux (Stt) chez les éleveurs B et F. Les flèches symbolisent l'application d'un traitement insecticide aux animaux.

Chez l'éleveur A, à l'altitude 3, 13114 stomoxes ont été capturés du 4 juillet 2002 au 26 juin 2003. Parmi ceux-ci il y avait 10592 *S. calcitrans* et 2082 *S. niger* identifiés soit **84% de *S. calcitrans***. Les deux espèces sont présentes tout au long de l'année. La saison de plus forte abondance de *S. calcitrans* s'étend du mois d'octobre jusqu'à la mi-mars, et la saison de plus faible abondance s'étend de la mi-mars jusqu'au mois de septembre, avec des captures vraiment faibles en mai, juin et juillet. Peu de *S. niger* sont capturées de fin mars à fin novembre, la saison d'abondance se situant de décembre à février. Le pic de plus forte abondance a lieu à la même date pour les deux espèces.

Chez l'éleveur C, à l'altitude 3, 21083 stomoxes ont été capturés du 27 juin 2002 au 18 juin 2003. Nous avons identifié 15408 *S. calcitrans* et 5293 *S. niger*, soit **74% de *S. calcitrans***. Les deux espèces sont présentes tout au long de l'année. Nous notons une période de plus faible abondance des *S. calcitrans* du moi de mai à la mi-novembre, et une période de forte abondance de fin novembre à fin mars. *S. niger* est présente en faible effectif de mai à début décembre, puis est capturée en abondance de mi-décembre à la fin du mois de mars. Nous pouvons remarquer que de la fin décembre jusqu'en avril les fluctuations des effectifs de *S. calcitrans* et de *S. niger* sont assez synchrones chez cet éleveur.

Si nous comparons les profils des captures chez ces deux éleveurs, nous pouvons remarquer que le pourcentage de *S. calcitrans* capturés est élevé chez les deux (74 et 84 %), les **captures de *S. calcitrans* étant toujours plus élevées que les captures de *S. niger***. La saisonnalité des captures de *S. niger* est très marquée et d'avantage que celle des captures de *S. calcitrans* qui est présent en nombre relativement important tout au long de l'année. Les captures de *S. niger* augmentent en même temps pour les deux éleveurs, d'abord doucement puis de manière importante, mais elles restent élevées un peu plus longtemps pour l'éleveur C. Les captures de stomoxes ont été 1,6 fois plus importantes chez l'éleveur C que chez l'éleveur A pendant toute la durée du suivi. Comme précédemment nous ne pouvons pas établir de similitudes plus précises entre les deux éleveurs à l'échelle de la semaine de capture.



**Figure 36** : captures hebdomadaires de *S. calcitrans* (SC), de *S. niger* (SN) et de stomoxes totaux (Stt) chez les éleveurs A et C. Les flèches symbolisent l'application d'un traitement insecticide aux animaux.

Chez l'éleveur D, à l'altitude 4, 28560 stomoxes ont été capturés du 13 juin 2002 au 18 juin 2003, dont 16307 *S. calcitrans* et 9997 *S. niger* identifiés, soit **62% de *S. calcitrans***. Les deux espèces sont capturées tout au long de l'année. Il y a une **forte abondance des *S. calcitrans* de la fin du mois de décembre jusqu'au mois d'avril** (avec un début d'augmentation lente de la population dès le mois de novembre). En revanche il y a **nettement moins de *S. calcitrans* capturés de juin à octobre**. Peu de *S. niger* sont capturés de **juin à décembre**, et la saison de forte abondance de *S. niger* s'étend de **janvier à avril**. Il

y a quasiment toujours plus de *S. calcitrans* que de *S. niger* sauf pour quelques dates pendant la saison de pullulation de *S. niger* (matérialisées en rouge sur la figure 37).

Chez l'éleveur G, à l'altitude 4, 57667 stomoxes ont été capturés du 20 juin 2002 au 18 juin 2003, dont 48116 *S. calcitrans* et 8066 *S. niger* identifiés, soit 86% de *S. calcitrans*. La saison de relativement faible abondance des *S. calcitrans* se situe de juin à octobre, la saison de forte abondance de novembre à décembre et la période de très forte abondance de décembre à mai. Les *S. niger* sont capturés en faible effectif du mois de juin au mois de décembre et en forte abondance du mois de janvier au mois d'avril. Il y a toujours moins de *S. niger* que de *S. calcitrans*.

Au total nous avons capturé deux fois plus de stomoxes chez l'éleveur G que chez l'éleveur D et cette différence est liée aux captures de *S. calcitrans*. La saisonnalité des captures des deux espèces est bien marquée et est similaire chez les deux éleveurs. Comme précédemment il ne semble pas y avoir de similitudes entre les fluctuations de stomoxes des deux éleveurs à l'échelle de la semaine de capture.

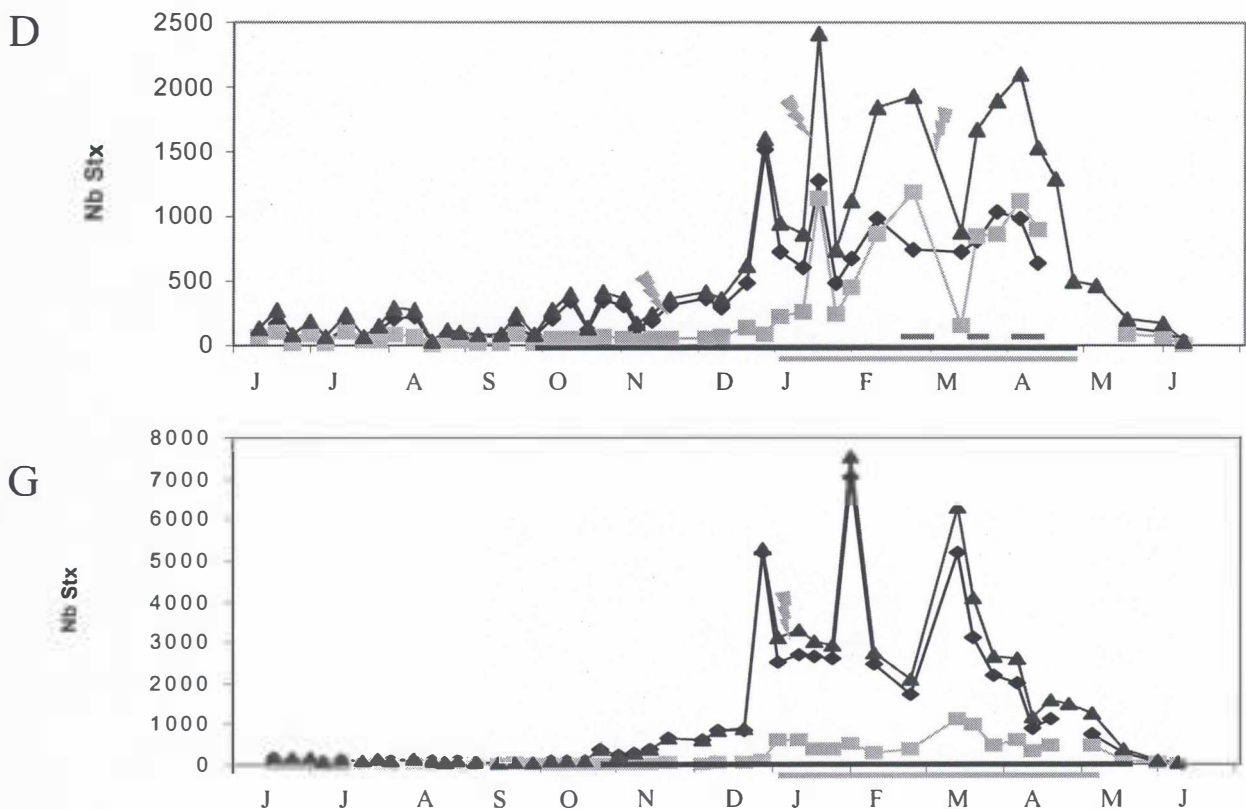


Figure37 : captures hebdomadaires de *S. calcitrans* (SC), de *S. niger* (SN) et de stomoxes totaux (Stt) chez les éleveurs D et G. Les flèches symbolisent l'application d'un traitement insecticide aux animaux.

### 3.3.2.2. observation des données météorologiques en relation avec les captures de stomoxes

Les relevés de pluviométrie et de température hebdomadaires de l'altitude 1 sont représentés sur les figures 38 et 39.

Les chutes de pluie ont été importantes à la fin du mois de juin et le début du mois de juillet 2002. Les chutes de pluie sont faibles et assez rares d'août à novembre, puis elles sont faibles à modérées mais régulières de décembre à mai. La température moyenne hebdomadaire est d'environ 20°C de juin à mi-septembre, puis elle augmente progressivement jusqu'à 27°C en janvier et diminue lentement jusqu'à revenir à 20°C en juin. Les températures hebdomadaires minimales et maximales suivent la même évolution mais respectivement 4°C en-dessous et 5°C au-dessus, de sorte que les températures minimales sont toujours supérieures à 15°C.

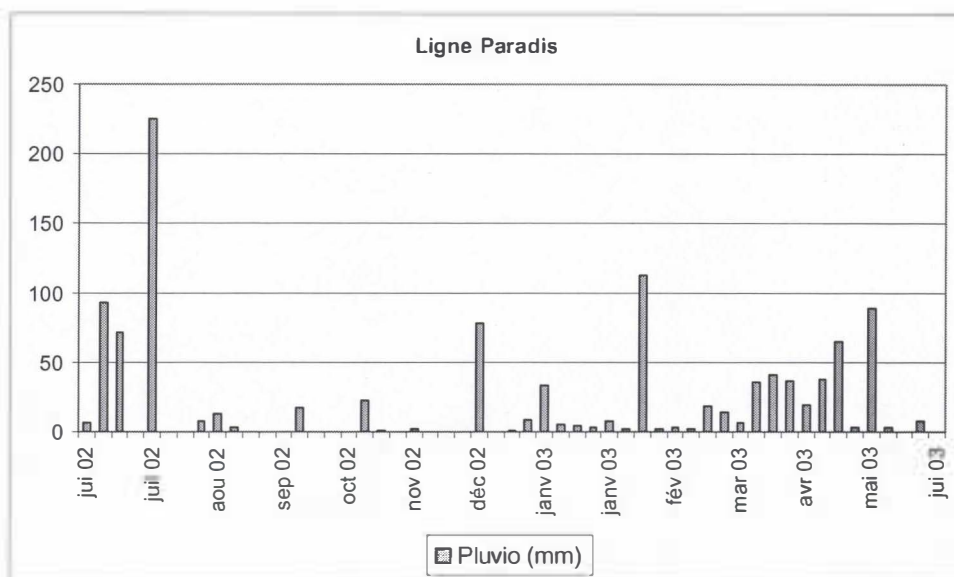


Figure 38 : pluviométrie hebdomadaire relevée par la station Cirad « Ligne Paradis ».

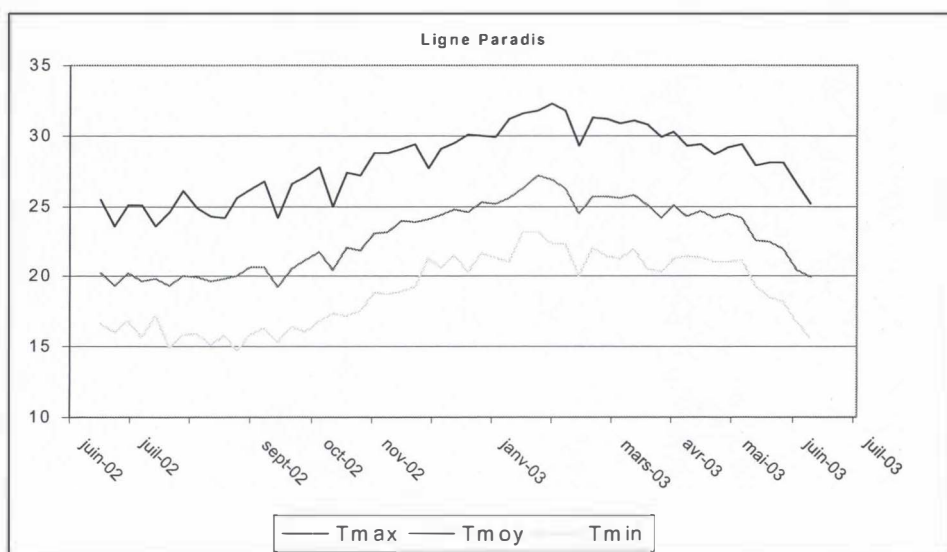


Figure 39 : températures hebdomadaires relevées par la station Cirad « Ligne Paradis »

La température est assez élevée toute l'année. D'août à novembre, la température a à peine augmenté et la pluviométrie est faible, c'est pourtant à ce moment qu'on observe les plus forts effectifs de stomoxes des deux espèces. De décembre à mai, les températures sont élevées et les pluies régulières, les captures de mouches sont assez élevées pour les deux espèces mais pas les plus élevées. De juin à septembre quand les températures sont les plus faibles on capture beaucoup moins de *S. niger* que de *S. calcitrans*.

Les relevés de pluviométrie et de température hebdomadaires de l'altitude 2 sont représentés sur les figures 40 et 41.

Les chutes de pluie sont d'intensité variable de juillet à octobre et assez irrégulières dans le temps avec des périodes assez longues sans chute de pluie. Les chutes de pluie sont régulières et assez importantes de novembre à mai. Les températures suivent la même évolution que pour l'altitude 1 mais sont toujours inférieures d'environ 5°C.

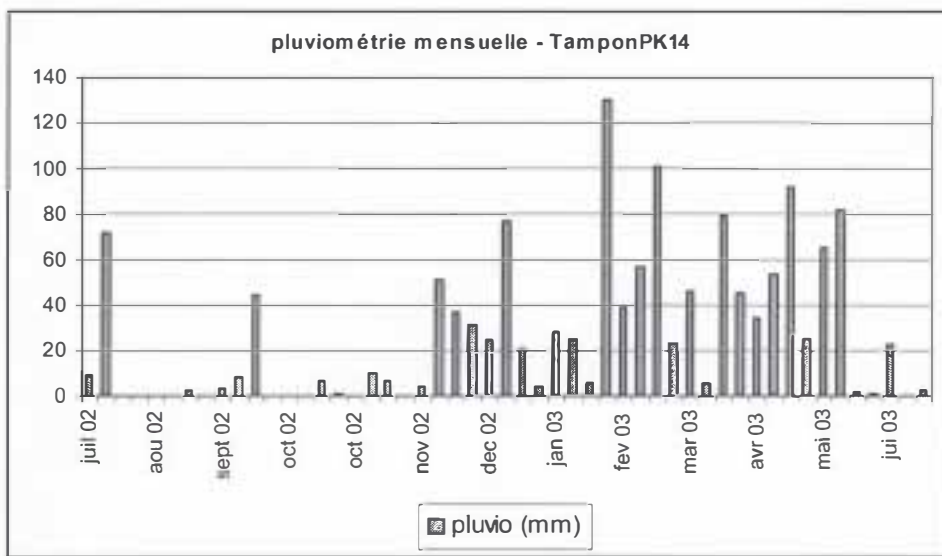


Figure 40 : pluviométrie hebdomadaire relevée par la station Cirad « TamponPK14 ».

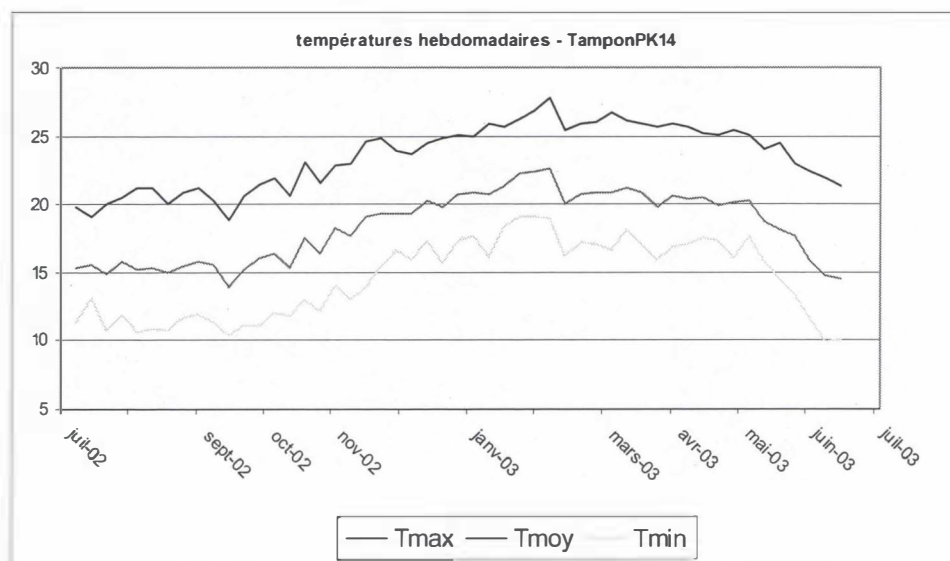


Figure 41 : températures hebdomadaires relevées par la station Cirad « TamponPK14 ».

Les captures de *S. calcitrans* sont assez élevées toute l'année. Chez l'éleveur F il y a des captures de *S. calcitrans* nettement plus importantes en novembre et décembre alors que la température et la pluviométrie commencent juste à augmenter. De janvier à avril alors que la pluviométrie et les températures sont les plus élevées, les captures de *S. calcitrans* restent à un niveau moyen. Du mois de juillet au mois de novembre, les captures de *S. niger* sont nettement plus faibles que les captures de *S. calcitrans* chez les deux éleveurs. C'est à cette période qu'il y a le moins de pluie et la température moyenne est inférieure à 20°C. Les *S. niger* pullulent de décembre à février alors à une période où les températures et la pluviométrie sont élevées mais les captures de *S. niger* baissent dès le mois de mars alors que les températures et la pluviométrie restent élevées jusqu'en mai.

Les relevés de pluviométrie et de température hebdomadaires de l'altitude 3 sont représentés sur les figures 42 et 43.

Cette station météorologique ayant été mise en service tardivement, nous ne disposons des relevés météorologiques que depuis le début du mois de novembre 2002. Il pleut régulièrement, l'intensité des chutes de pluie étant faible en novembre, élevée de décembre à avril, puis faible en mai et juin. Les températures semblent être inférieures d'environ 3 ou 4 °C de moins par rapport à l'altitude précédente, la température moyenne étant voisine de 17°C pendant les mois de décembre à avril.

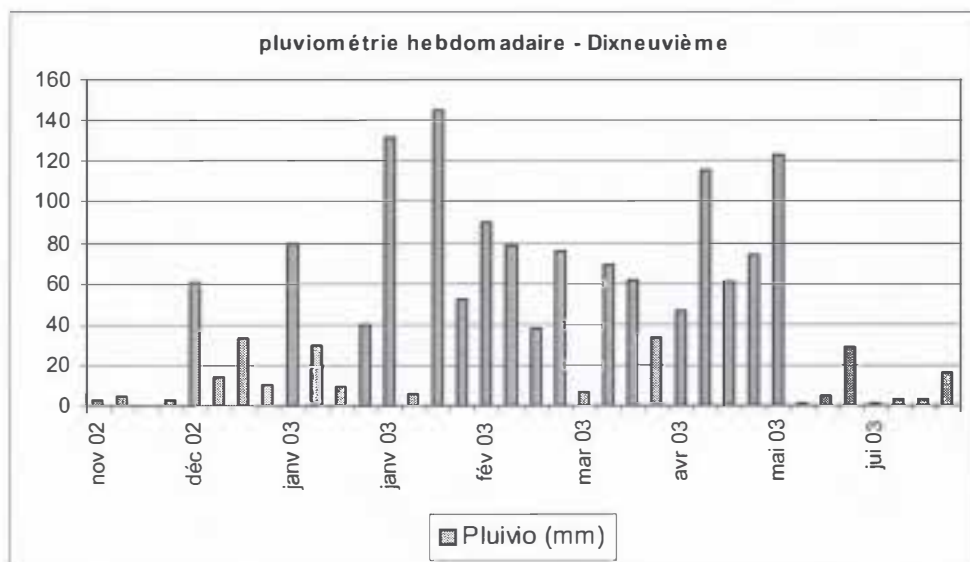


Figure 42 : pluviométrie hebdomadaire relevée par la station Cirad « Dix-neuvième ».



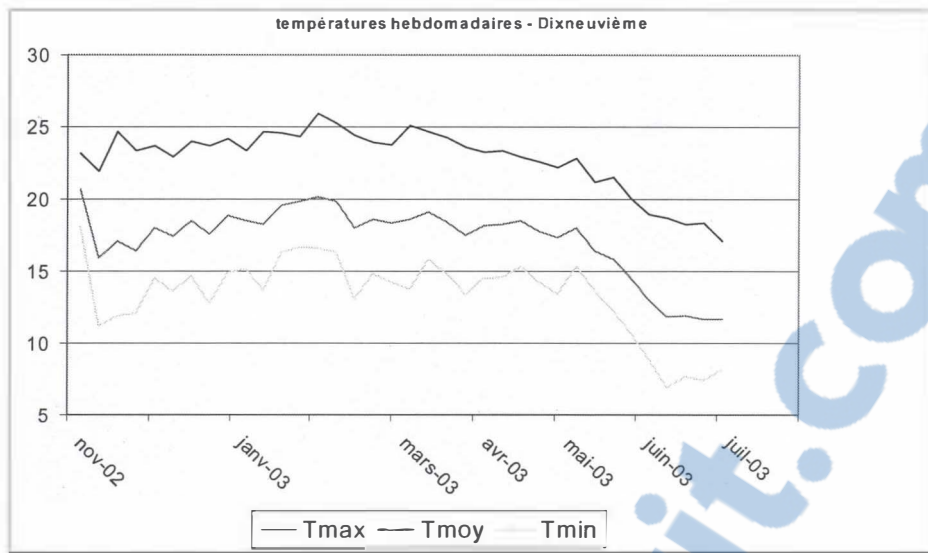


Figure 43 : températures hebdomadaires relevées par la station Cirad « Dix-neuvième »

Nous observons une saisonnalité des captures de *S. calcitrans* plus marquée qu'à l'altitude précédente. La période de plus forte abondance s'étend d'octobre à janvier pour l'éleveur A et de novembre à fin mars pour l'éleveur C. Nous ne connaissons pas la météo d'avant le mois de novembre mais nous pouvons voir que la pluviométrie et les températures sont élevées dès le mois de décembre, elles ne diminuent nettement qu'à partir de la mi-mai alors que les fortes captures de *S. calcitrans* s'arrêtent bien avant, en janvier ou en mars. Les captures de mai, juin et juillet sont vraiment faibles, correspondant à une diminution de la température et de la pluviométrie. Les captures de *S. niger* se maintiennent à un faible niveau de juillet à novembre comme à l'altitude précédente et sont très inférieures à celle de *S. calcitrans*, d'ailleurs elles restent inférieures aux captures de *S. calcitrans* toute l'année. La saison de pullulation s'étend de décembre à février alors que les températures et la pluviométrie restent à un niveau assez élevé de décembre jusque la mi-mai.

Les relevés de pluviométrie et de température hebdomadaires de l'altitude 4 sont représentés sur les figures 44 et 45.

Il pleut toutes les semaines de l'année, les plus fortes intensités sont relevées de décembre à début mai, et les plus faibles intensités le reste de l'année. Les températures sont faibles jusqu'à la mi-septembre, augmentent de octobre à début décembre, restent à leur niveau maximum pendant les mois de décembre à avril puis chutent en mai. Pendant la période la plus fraîche les températures minimale, moyenne et maximale sont respectivement voisines de 6, 10 et 15°C. Pendant la période la plus chaude les températures minimale, moyenne et maximale sont voisines de 13, 17 et 21°C.

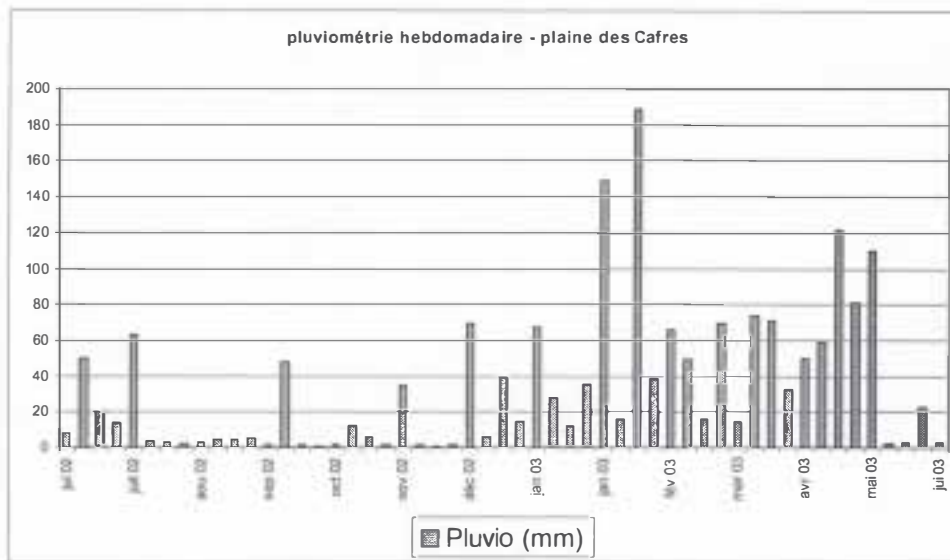


Figure 44 : pluviométrie hebdomadaire relevée par la station Météo France « plaine des Cafres ».

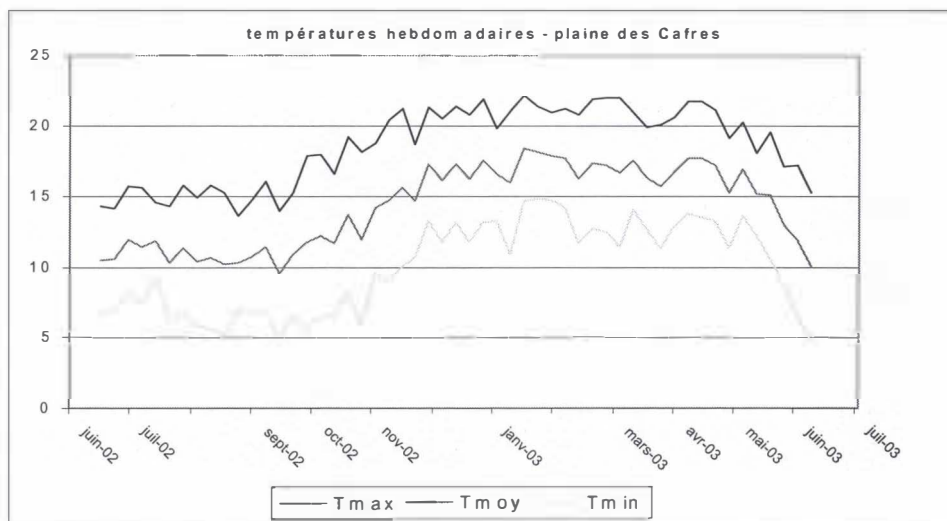


Figure 45 : températures hebdomadaires relevées par la station Météo France « plaine des Cafres ».

La saisonnalité des captures de *S. calcitrans* est encore plus marquée qu'aux autres altitudes. Il y a relativement peu de *S. calcitrans* de juin à octobre. A ce moment de l'année les températures sont plus faibles et la pluviométrie peut-être assez élevée (fin juin, début juillet) ou plus faible mais toujours régulière. Les captures de *S. calcitrans* augmentent vers la fin du mois de novembre, cela correspond au début des pluies abondantes et au début de l'augmentation des températures. Les captures de *S. calcitrans* se maintiennent élevées jusqu'à la mi-mai, c'est à ce moment qu'il y a une nette diminution des températures et la pluviométrie diminue aussi. Les captures de *S. niger* sont faibles de juin à décembre, elles sont élevées du mois de janvier au mois d'avril c'est-à-dire un mois après le début du maintien des températures et de la pluviométrie à un niveau plus élevé que le reste de l'année et jusqu'à ce que les températures et la pluviométrie diminuent.

Nous avons tenté de rechercher graphiquement une relation entre les captures de stomoxes et la météorologie du jour de la capture, de la semaine ayant précédé la capture, de la deuxième, troisième et quatrième semaine ayant précédé la capture. Nous avons pu observer que les captures de stomoxes ne sont pas anormalement basses les jours où il pleut ou les jours de plus fort vent. Aucune relation évidente ne nous est apparue sinon entre la météorologie et les captures à l'échelle de la semaine.

### **3.3.2.3. observation de l'impact des traitements insecticides sur les captures de stomoxes.**

Sur les figures 34 à 37, nous avons représenté par une flèche les traitements insecticides appliqués aux animaux lorsque nous possédions cette information. Il s'avère que l'on observe parfois une diminution du nombre de stomoxes capturés après un traitement insecticide, parfois la diminution n'intervient pas à la capture qui suit immédiatement le traitement mais à une ou deux dates de capture d'intervalle, parfois rien ne semble se passer. Par ailleurs, il y a également des chutes importantes du nombre de stomoxes capturés pendant la saison d'abondance qui ne sont reliées à aucun traitement insecticide.

### **3.3.2.3. comparaison des différences de quantité de stomoxes entre les éleveurs et des différences d'effectif bovin et de gestion des effluents.**

A l'altitude 2, beaucoup plus de stomoxes ont été capturés chez l'éleveur F que chez l'éleveur B que ce soit pour *S. calcitrans* ou pour *S. niger*. Ces deux éleveurs possèdent approximativement le même nombre de bovins, soit une quarantaine de bêtes. L'éleveur F a une fosse à lisier à ciel ouvert qui a débordé à plusieurs reprises dans l'année une partie du lisier s'écoulant sur la végétation environnante. L'éleveur B a une fosse à lisier couverte et qui n'a jamais débordé, ici c'est l'éleveur qui réalise une moins bonne gestion des effluents qui a le plus de stomoxes.

A l'altitude 3, nous avons capturé plus de stomoxes chez l'éleveur C que chez l'éleveur A, dans les mêmes proportions pour *S. calcitrans* et *S. niger*. L'éleveur A possède environ 30 bovins alors que le C en possède 70. L'éleveur A ne possède pas de fosse à lisier, les bovins restent en permanence sur une aire d'exercices et les déjections de la salle de traite sont poussées directement sur le sol à l'extérieur. L'éleveur C possède une fosse à lisier non couverte mais qui n'a jamais débordé. Ici c'est l'éleveur qui a la meilleure gestion des effluents mais qui a le plus de bovins qui a le plus de stomoxes.

A l'altitude 4, les captures de *S. niger* sont approximativement égales, par contre on a capturé beaucoup plus de *S. calcitrans* chez l'éleveur G que chez l'éleveur D. L'éleveur D possède environ 60 bovins, contre 84 pour l'éleveur G. Les deux éleveurs ont une fosse à lisier à ciel ouvert qui a débordé à plusieurs reprises dans l'année. Les deux éleveurs ont donc de forts effectifs de bovins, et une mauvaise gestion des effluents.

### 3.4 .Discussion

Les pièges au soleil capturent significativement plus de *S. calcitrans* mâle et femelle et de *S. niger* femelle, ils capturent également plus de *S. niger* mâle mais la différence n'est pas significative. Les pièges disposés au soleil sont donc plus efficaces que les autres pièges. Rappelons tout de même que la distinction entre les pièges était basée sur une approximation, à savoir que les pièges dits au soleil sont tous les pièges qui ne sont pas à l'ombre à midi. Il serait intéressant de voir s'il existe une gradation identique dans l'efficacité des pièges en fonction de leur exposition au soleil tôt le matin et/ou en fin d'après-midi correspondant aux périodes d'activité des stomoxes décrites dans la littérature. En effet nous ne savons pas si l'attractivité des pièges Vavoua est, comme pour les pièges en alsynite (matériau utilisé dans la fabrication de pièges à stomoxes en raison de sa capacité à réfléchir des ultra-violets) reliée aux comportements de repos, d'accouplement et de thermorégulation (Bushman, 1981) ou au comportement de prise du repas de sang, le piège étant pris pour un hôte potentiel.

Les pièges capturent significativement plus de *S. calcitrans* femelle et de *S. niger* mâle et femelle lorsque le bétail se trouve à proximité du piège le jour de la capture. Les captures de *S. calcitrans* mâle sont également supérieures mais pas de manière significative. Cela est en accord avec les conclusions d'études d'efficacité des pièges en alsynite en fonction de leur emplacement (Black, 1985 ; Guo, 1998). **Par ailleurs les pièges capturent significativement plus de mâles que de femelles**, c'est surtout évident pour *S. calcitrans* lorsque l'on observe les courbes des captures hebdomadaires mais le pourcentage de mâles semble diminuer lorsque l'on se rapproche du bétail. De même les pièges en alsynite capturent plus de mâles que de femelles de *S. calcitrans* (Black, 1985 ; Guo, 1998 ; Schleich, 1999). Par contre les captures de stomoxes au filet à main directement sur les animaux montrent une tendance inverse également plus prononcée pour *S. calcitrans* que pour *S. niger* (Kangwagye, 1974 ; Kunz, 1976 ; Harley, 1965). Cela semble indiquer une plus grande attractivité des pièges pour les mâles que pour les femelles, les femelles restant davantage à proximité de leurs hôtes en raison d'une plus grande nécessité de prendre des repas de sang. Nous pouvons dès lors en tirer l'enseignement que dans le but de mieux lutter contre les stomoxes il faut placer les pièges autant que possible près du bétail, car on capture davantage de stomoxes qui sont autant de stomoxes en moins venant piquer le bétail, et par ailleurs on capture une plus grande proportion de femelles, permettant un impact plus important sur les futures générations de stomoxes.

Les captures de stomoxes ne sont pas significativement différentes pour les pièges situés près ou loin de la zone de stabulation ou de la fosse à lisier bien que nous suspicions une tendance graphique. Ces deux variables tiennent compte à la fois de l'influence du bétail (qui passe toujours une partie de la journée en zone de stabulation et donc de la fosse à lisier qui se trouve le plus souvent très près de la stabulation) et des lieux de ponte des stomoxes (le lisier ou les abords de la fosse à lisier, les restes de fourrages en décomposition, la litière des animaux...). Il semble donc que le paramètre qui a de l'influence est la présence du bétail, puisque considéré seul il a une action significative sur les captures, et que la proximité de sites de ponte n'aie pas d'influence sur les captures comme cela a pu être montré auparavant (Black, 1985 ; Gilles, 2000) ou bien que pour explorer l'influence éventuelle de ce paramètre il faudrait avoir recours à une autre variable car les sites de ponte potentiels sont nombreux sur une exploitation et pas seulement concentrés au niveau de la zone de stabulation et de la fosse à lisier.

Les interactions entre la protection contre les vents dominants du jour de la capture et la proximité du bétail d'une part, et la nature de la végétation au sol d'autre part sont significatives. Cependant, les interactions ne sont pas « logiques », ce qui souligne une anomalie dans la codification de notre variable. Par ailleurs, la protection globale contre les vents et la protection contre les vents dominants du jour de la capture n'ont pas d'effet significatif sur l'efficacité des captures. Lors de la conception de ces variables environnementales, nous pensions que les pièges seraient plus efficaces à l'abri du vent, les stomoxes recherchant des aires de repos plus chaudes et abritées du vent (Lysyk, 1993a). En fait il semble que la tendance soit plutôt inversée relativement aux figures de l'exploration graphique. De même, nous pensions que les captures de stomoxes seraient plus importantes lorsque les pièges sont posés à proximité de végétaux hauts qui constituent des reposoirs (Gilles, 2000), mais là encore il semble que la tendance soit contraire. Il semble donc que nous nous soyons trompé d'objectif, que la protection contre le vent et la présence de végétaux hauts masquent en réalité un autre paramètre qui est la visibilité du piège. En effet, les stomoxes sont surtout sensibles à la mise en évidence du piège dans son environnement (Pospisil, 1965). Par ailleurs, l'efficacité du piège est proportionnelle à sa taille (Dagnogo, 1985). Le piège sera donc sans doute plus efficace s'il est visible dans plus de directions et dans son intégralité. D'ailleurs Rugg (1982) suggère que les aires ouvertes doivent être choisies pour assurer un meilleur piégeage. A partir du moment où le piège est visible il attirera davantage de stomoxes, et alors ceux-ci se poseront sur le côté du piège qui se trouve sous le vent, comme ce qui a été observé par Broce (1991) sur les pièges cylindriques en alsynite.

L'analyse statistique à partir des données de la modélisation N°3 indique aussi que les captures sont significativement plus élevées lorsque les pièges sont posés sur un sol herbeux. Nous pensons qu'il faut considérer ce résultat avec précaution, car d'une part les données de la modélisation N°3 sont beaucoup moins précises, par ailleurs même si la tendance apparaissait graphiquement elle ne semblait pas plus nette que pour d'autres tendances qui ne se sont pas avérées significatives. Enfin, cette variable a fait l'objet d'un remodelage postérieur aux relevés de terrain car elle comportait au départ trois modalités mais qui se sont avérées très déséquilibrées. Nous avons donc choisi de regrouper les pièges posés sur un sol fait de boue, de terre, de pierre avec les pièges posés sur un sol mixte. Il est possible que nous ayons perdu alors de la précision et qu'il ait mieux valu retourner sur le terrain pour séparer les pièges en deux nouvelles catégories, une pour les sols couverts en majorité d'herbe, et la deuxième pour les sol couverts en majorité d'autre chose et d'un peu d'herbe.

Pour finir, il s'avère que **la variabilité intra-piège est élevée, en partie liée aux fluctuations des populations de stomoxes dans l'environnement, mais la variabilité entre les pièges est aussi élevée**, ce qui suppose de prendre des précautions quant à l'interprétation des données de capture dans le temps et dans l'espace. Nous avons choisi d'analyser ces captures à partir de la somme des captures des huit pièges chez chaque éleveur, réalisant ainsi le meilleur compromis, les huit pièges répartis sur toute l'exploitation devant rendre compte de ce qui s'y passe globalement et les fluctuations anarchiques des captures d'un piège à une date donnée pour une raison x ou y étant modérées par les fluctuations des captures des autres pièges. Cela nous permet aussi de pouvoir comparer les éleveurs les uns par rapport aux autres en terme de quantité de mouches capturées, en faisant l'hypothèse que chez chaque éleveur il y a des pièges d'efficacité variable et donc ces différences s'équilibrent.

L'analyse des courbes de captures de stomoxes au cours du temps chez chaque éleveur nous permet de constater que **des individus des deux espèces sont capturés tout au long de l'année à toutes les altitudes**, les deux espèces de stomoxes trouvent donc de 150 à 1600 mètres d'altitude des conditions nécessaires à leur développement tout au long de l'année, certaines périodes étant particulièrement propices et permettant de véritables pullulations.

La comparaison des profils de capture entre les éleveurs à une même altitude ou entre les éleveurs à des altitudes différentes nous permettent d'observer un certains nombre de points communs et de différences que nous pouvons imputer à des facteurs de variation communs ou différents entre les éleveurs.

Nous avons étudié l'influence des paramètres météorologiques sur les captures. **Les profils généraux des captures, à l'échelle du mois, sont identiques pour les éleveurs d'une même altitude** or ils sont soumis à la même météorologie.

Nous observons également une certaine logique lorsqu'on compare les captures des altitudes 2, 3 et 4. A ces altitudes, **les plus fortes captures des deux espèces de stomoxes ont lieu en début de saison chaude et humide**. Les captures de *S. calcitrans* montrent une saisonnalité d'abord très peu marquée puis de plus en plus marquée à mesure que l'altitude augmente. **Les captures de *S. niger* montrent une saisonnalité toujours marquée, la période de forte abondance étant plus restreinte que pour *S. calcitrans* et débutant plus tard**. Le nombre de *S. niger* capturés est nettement plus faible que le nombre de *S. calcitrans* pendant la saison fraîche. **Au fur et à mesure que l'altitude augmente la proportion de *S. calcitrans* capturés diminue**, exception faite de l'élevru D à l'altitude 4, cela correspond à **l'interaction significative entre l'altitude et l'espèce** qui apparaît dans les résultats de l'Anova réalisée avec la modélisation N°3. Le nombre de *S. niger* capturés diminue de l'altitude 1 à l'altitude 3 puis est de nouveau plus élevé à l'altitude 4. Le nombre de *S. calcitrans* capturés ne suit aucune tendance particulière en fonction de l'altitude et est variable d'un éleveur à l'autre. Sachant que lorsqu'on monte en altitude la température diminue mais que la pluie devient plus fréquente et plus abondante, on peut supposer que le principal **facteur qui est responsable de la saisonnalité des captures de stomoxes est l'existence de températures basses** qui freinent le développement des stades immatures, mais également diminuent l'activité des adultes et leur durée de vie, **les *S. niger* étant plus sensibles aux faibles températures que les *S. calcitrans***. Lysyk (1998) a montré que *S. calcitrans* a une capacité à s'adapter à de faibles températures, ce qui expliquerait d'ailleurs sa vaste distribution dans les zones tempérées. En revanche, si la première moitié de la saison chaude et humide est favorable aux pullulations des deux espèces de stomoxes aux altitudes 2, 3 et 4 (développement des stades immatures plus rapide, longévité plus importante des adultes) il semble exister un autre facteur limitant qui intervient dans la seconde partie de la saison chaude et humide aux altitudes 2 et 3 car les populations de stomoxes capturés diminuent avant la diminution des températures et de la pluie. Pendant les saison fraîche les périodes les plus pluvieuses ne semblent pas associées à de plus grandes quantités de stomoxes confirmant l'impact plus important de la température.

A l'altitude 1 nous observons des profils de capture nettement différents. Le nombre de *S. calcitrans* capturés est moyen toute l'année et est faible pour *S. niger* de juin à septembre, élevé en octobre et novembre et moyen ensuite. **Les plus fortes captures de *S. niger* ont donc lieu en octobre et novembre alors qu'il y a très peu de pluie et que les températures commencent tout juste à augmenter.** Il n'y a pas de pullulation importante de stomoxes pendant la saison chaude et humide, le nombre de stomoxes capturés se maintenant à un niveau moyen. Il semble donc qu'à cette altitude ni la température ni la pluviométrie ne soit un facteur limitant pour la multiplication des *S. calcitrans*, la température limite peut-être davantage la multiplication des *S. niger* pendant les mois les plus froids. Cependant il semble qu'il existe un facteur limitant les pullulations de stomoxes pendant la saison chaude et humide. Ce facteur limitant est peut-être un manque de disponibilité en milieu de ponte et de développement larvaire et un manque d'hôtes, la densité en élevages étant plus faible à cette altitude et dans cette zone assez urbanisée. La coupe de la canne à sucre débute en août, lorsque les *S. niger* commencent à se multiplier davantage cela fait donc au moins un mois que la coupe a commencé, lui fournissant davantage de milieux de ponte, mais la coupe de la canne dure plusieurs mois et les *S. niger* sont capables de se reproduire dans d'autres substrats. Nous devons aussi prendre en compte le fait que le début octobre 2002 correspond à l'arrivée de nouveau animaux sur l'exploitation après un abattage progressif du précédent troupeau, cette arrivée a pu être accompagnée d'une importation de fourrages contenant des pupes de *S. niger* et provoquer l'augmentation ponctuelle de la population de *S. niger*. Nous sommes confrontés à un manque d'information précise sur ce qui s'est passé à ce moment là, d'autant plus que nous ne suivons qu'un élevage à cette altitude et n'avons donc pas de référentiel de comparaison, nous ne tirons donc aucune conclusion définitive des observations menées à l'altitude 1.

Des études de dynamique des populations de stomoxes ont montré que les deux espèces de stomoxes sont présentes tout au long de l'année à l'île Maurice, quand les chutes de pluie sont suffisantes le facteur limitant la multiplication de *S. niger* est la température alors que quand la température est élevée la population de *S. niger* diminue s'il n'y a pas assez de pluie, *S. niger* pullule pendant la saison chaude et humide alors que *S. calcitrans* y est apparemment plus abondant pendant la saison fraîche et sèche. Il existe également des différences de niveau d'infestation d'un site d'étude à un autre (Kunz, 1976). Les deux espèces sont également présentes tout au long de l'année en Ouganda (Harley, 1965). *S. niger* est plus abondant de la fin de la saison des pluies jusqu'à la moitié de la saison sèche en Ouganda (Harley, 1965 ; Kangwagye, 1974). Une étude précédente a montré qu'à la Réunion, la saison d'abondance des stomoxes s'étendait de janvier à mai, les populations commençant à s'accroître dès les premières précipitations. *S. niger* prédominait dans les bas, le niveau d'infestation était plus faible en altitude et le pic d'abondance plus bref (Barré, 1981). Nous retrouvons donc dans ces études un certain nombre de similitudes venant confirmer le fait que les deux espèces de stomoxes peuvent se multiplier toute l'année dans les zones chaudes et relativement humides et que *S. niger* est plus sensible aux faibles température que *S. calcitrans*.

Les stomoxes sont capables de parcourir de grandes distances, dès lors nous pouvons nous demander si des migrations de stomoxes n'ont pas lieu depuis des altitudes plus propices à la multiplication vers des altitudes plus hostiles, les adultes partant à la recherche d'hôtes pour les repas de sang. Il a été écrit que les stomoxes à la Réunion sont électivement inféodés à l'étage de la canne à sucre et qu'ils diffusent vers les savanes et les pâturages d'altitude (au moins pour *S. niger*) par essaimage (de façon nette en période de pullulation) à partir des sites de ponte (canne) vers des sources de nourriture (bovins) disséminées (Barré, 1981). Cependant nous constatons que les pullulations de *S. niger* n'ont pas lieu au même moment à l'altitude de la canne (altitude 1) qu'aux autres altitudes (même si le profil des populations demande à être confirmé par des observations supplémentaires à cette altitude). Par ailleurs, il y a progressivement moins de *S. niger* aux altitudes 2 puis 3, mais il y en a de nouveau plus à l'altitude 4. Ces constatations nous laissent à penser que même si des migrations de stomoxes existent, *S. niger* peut se reproduire à toutes les altitudes, à fortiori *S. calcitrans* qui s'adapte plus facilement aux faibles températures. Une étude est en cours pour chercher à savoir s'il existe des différences de structure génétique des populations de stomoxes aux différentes altitudes. Les résultats de cette étude apporteront une réponse plus fiable à cette question.

Nous observons que les quantités de stomoxes capturés sont très différentes d'un éleveur à l'autre à une même altitude. Il est difficile de mettre en rapport le niveau d'infestation des élevages avec les effectifs de bovin et la gestion des effluents d'élevage, d'une part parce que le nombre d'éleveurs suivi est faible, ensuite parce qu'il existe des quantités importantes d'autres facteurs d'influence, telle que la densité d'élevages à proximité de l'élevage suivi et leur niveau d'infestation ou la quantité de sites de ponte et de développement des immatures disponibles dans et à proximité de l'élevage.

Il existe par ailleurs des fluctuations plus ou moins importantes des captures d'une semaine à l'autre. Ces fluctuations ne sont a priori pas expliquées par les paramètres météorologiques. En effet, après une exploration graphique détaillée, nous ne mettons en évidence aucune relation simple entre les captures hebdomadaires et la météorologie de chacune des quatre semaines ayant précédé la capture. Une étude réalisée au Canada a cependant montré qu'il existait une relation significative entre le taux d'augmentation de stomoxes (*S. calcitrans*) d'une semaine sur l'autre et l'augmentation de la température moyenne de la semaine de capture. Il n'y avait pas de relation entre ce même taux et la pluviométrie hebdomadaire. Les pics d'augmentation du nombre de stomoxes étaient espacés d'un nombre à peu près constant de degrés-jours supérieurs à 10°C, 10°C étant la température en-dessous de laquelle il n'y avait pas de développement des immatures, chaque nouveau pic étant interprété alors comme une nouvelle génération de stomoxes (Lysyk, 1993b). Nous avons tout de même pu observer que **la pluviométrie et l'intensité du vent du jour de la capture ne semblent pas avoir d'incidence sur la quantité de stomoxes capturés.**

Les fluctuations hebdomadaires ne sont le plus souvent pas synchrones entre les éleveurs d'une même altitude et ne sont pas à intervalles réguliers chez un même éleveur, il semble donc que ces fluctuations soient régies par un nombre de paramètres très important. Il faudrait en effet prendre en compte au moins le temps de développement larvaire en fonction de la température (et de l'humidité), le temps de survie des adultes et leur fécondité, les événements ponctuels sur l'élevage que sont entre autres les traitements insecticide, l'apport ou la suppression d'un substrat de ponte (importation de fourrages « contaminés » ou non, enlèvement d'un tas de fumier...). On entrevoit dès lors la complexité de la démarche nécessitant un recueil d'information important et la nécessité d'avoir des données plus précises concernant la biologie des stomoxes à la Réunion (durée des étapes de développement, survie et fécondité pour les deux espèces de stomoxes).



Il n'apparaît pas de relation évidente entre l'application des traitements insecticides et les fluctuations des populations de mouches à l'échelle de la semaine chez les éleveurs. Le premier problème réside dans la fiabilité de l'information. En effet, celle-ci repose sur la bonne volonté de l'éleveur et sur la rigueur de la personne qui interroge celui-ci. Il s'avère que par exemple chez l'éleveur A, il a été noté par la personne responsable des relevés de terrain « cinq traitement insecticides ont été appliqués entre le 16 novembre 2002 et le 16 février 2003 », ou encore « il y a eu un traitement insecticide vers la fin février chez l'éleveur D ». De telles informations sont inexploitable et rendent le reste de l'information sujette à caution. Par ailleurs, si l'information relative aux traitement était connue de façon complète et précise, il faut encore considérer le fait que pendant la période de pullulation des stomoxes, il y a autant voir plus d'adultes qui émergent chaque jour que de stomoxes tués par l'insecticide, d'autant plus que l'effet insecticide du produit est modérée par le faible temps que passent les stomoxes sur leur hôte. Si effet il y a, il sera donc décalé car dû à la diminution du nombre de pontes qui seront autant de nouvelles mouches en moins, mais il sera modéré par le fait que dans la génération précédente des femelles auront pondu pendant plusieurs jours d'affilée et que le développement des immatures est de durée variable, si bien que les générations ne sont pas bien cloisonnées. Ainsi il se peut que le traitement insecticide n'ait pas d'impact évident sur la quantité de mouches dans l'environnement mais plutôt sur le nombre de mouches qui se nourrissent sur le bétail.

## Conclusion

L'analyse de l'efficacité des pièges en fonction de leur environnement a montré que les pièges capturent plus de stomoxes lorsqu'ils sont disposés au soleil et à proximité du bétail. Ces emplacements devront donc être choisis en priorité pour assurer une lutte mécanique efficace. Nous devons garder à l'esprit que les pièges capturent plus de mâles que de femelles, en particulier chez *S. calcitrans*, ce qui nous permet d'insister sur la nécessité d'utiliser une lutte intégrée permettant de mieux contrôler les futures générations de stomoxes, la lutte chimique par application permettant de supprimer une plus forte proportion de femelles. L'efficacité des pièges ne semble pas modifiée lorsqu'il pleut ou lorsque le vent souffle un peu plus fort le jour de la capture. Dans la suite du suivi, il sera intéressant d'analyser l'efficacité des pièges en fonction de leur visibilité et en fonction de la proximité et de l'abondance des sites de développement larvaires grâce à la création de nouvelles variables environnementales.

L'analyse du profil des captures hebdomadaires de stomoxes nous apprend que les deux espèces de stomoxes sont présentes tout au long de l'année depuis 150 m jusqu'à 1600 mètres d'altitude. Les températures influencent nettement les fluctuations des populations de stomoxes, en agissant sur la durée du développement des stades immatures, la survie, et la fécondité des adultes. Les *S. niger* sont plus sensibles aux faibles températures que les *S. calcitrans*. La pluviométrie ne semble pas être un facteur limitant de la multiplication des stomoxes à la Réunion. Ces tendances demandent bien sûr à être confirmées par une deuxième année de suivi.

Pour interpréter de façon plus fine les fluctuations des captures de stomoxes et lever certaines inconnues quant aux facteurs qui favorisent ou limitent la multiplication des stomoxes, nous aurions besoin d'un recueil d'informations plus complet et plus précis concernant ce qui se passe sur et autour des exploitations. L'analyse de la disponibilité en milieu de développement dans le temps et dans l'espace nous semble être un point qui nécessite d'être étudié de façon approfondie, et il est impératif que l'information concernant l'application de traitements insecticides soit relevée avec plus de précision. Par ailleurs nous avons besoin de données plus précises sur la biologie des deux espèces de stomoxes à la Réunion. Des études de laboratoire sont en cours sur les caractéristiques du cycle de développement des stomoxes à différentes températures et apporteront des réponses précieuses pour l'analyse des données de capture. Mieux connaître les facteurs qui régissent les fluctuations des populations de stomoxes permet de lutter de façon plus ciblée et plus efficace.

Nous avons par ailleurs évoqué le fait que cette étude se situe dans le cadre du programme Poseidom « éradication des hémoparasitoses ». En effet sont réputés jouer un rôle important dans la transmission mécanique de l'anaplasmose. Nous avons donc mis en place un suivi sérologique des bovins des sept exploitations, il manque encore une série de prélèvements qui sera effectuée au courant du mois de septembre 2003 et les sérums ne sont pas encore analysés. Une fois les résultats disponibles nous chercherons s'il existe une relation entre l'évolution des statuts sérologiques des animaux et les périodes de forte pullulation de stomoxes.

## Bibliographie

- Allen, R.G., and J.L. Wright. 1977. Translating wind measurements from weather stations to agricultural crops. *J. Hydrologic Engineering, ASCE* 2 (1):26-35.
- Barré, N. 1981. Les stomoxes ou "mouches boeuf" à La Réunion. Pouvoir pathogène, écologie, moyen de lutte. *Maison Alfort (FRA) - GERDAT - IEMVT*:90 p.
- Bertile, W. 1987. La réunion : atlas thématique et régional. *Saint-Denis, Réunion.*:162 p.
- 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., and E.S. Krafur. 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.
- Blanfort, M. 2000. Le contexte écologique. In *L'élevage bovin à la Réunion : synthèse de quinze ans de recherche*. Saint-Pierre, Réunion.: Cirad.
- Broce, A.B., J.R. Schwenke, and K.E. Hampton. 1991. Landing pattern of stable flies (Diptera: Muscidae) on the Alsynite cylinder trap: effect of wind speed and direction. *Journal of Medical Entomology* 28:730-733.
- Bruce, W.N., and G.C. Decker. 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.
- Buschman, L.L., and R.S. Patterson. 1981. Assembly, mating, and thermoregulation behavior of stable flies under field conditions. *Environmental Entomology* 10:16-21.
- Campbell, J.B., I.L. Berry, D.J. Boxler, R.L. Davis, D.C. Clanton, and G.H. Deutscher. 1987. Effects of stable flies (Diptera: Muscidae) on weight gain and feed efficiency of feedlot cattle. *Journal of Economic Entomology* 80:117-119.
- Chantal, J. 1997. Actualités de l'Anthrax ou fièvre charbonneuse. *Médecine Tropicale* 57:52-60.
- Charlwood, J.D., and S. Sama. 1996. The age structure, biting cycle and dispersal of *Stomoxys niger* Macquart (Diptera : Muscidae) from Ifakara, Tanzania. *African Entomology* 4 (2):274-277.
- Dagnogo, M., and J.P. Gouteux. 1985. Comparaison de différents pièges à tsé-tsé (Diptera , Glossinidae) en Côte-d'Ivoire et au Congo. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux* 38 (4):371-378.

- D'Amico, F., J. Moussa-Poussinga, J.P. Gouteux, F. Le Gall, F. Blanc, M. Mainguet, J.M. Guillerme, A. Kota-Guinza, and D. Cuissance. 1993. Les Stomoxyinae dans une zone d'élevage en savanes humides de République Centrafricaine. Leur rôle dans la transmission des trypanosomoses bovines. *14ème réunion de l'OIE sur les trypanosomoses animales non transmises par les glossines, Paris, le 26 mai 1993.*
- Devimeux, T., A. Michon, Y. Evenat, J.L. Caminade, and G. Augé. 2000. Le contexte socio-économique. In *L'élevage bovin à la Réunion : synthèse de quinze ans de recherche*. Saint-Pierre, Réunion: Cirad.
- Foil, L.D, and J.A. Hogsette. 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.
- Garros, C. 2001. Contribution à l'étude morphométrique et génétique de *Stomoxys calcitrans* (LINNE) 1758 et *S. niger* Macquart 1851, (Diptera : Muscidae) à l'île de La Réunion. *Rapport de stage*.
- 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. Montpellier: université Paul Valéry-Montpellier III.
- Guo, Y-J., G.L. Greene, and M.D. Butine. 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., and F.M. Gamal-Eddin. 1959a. Ecological studies 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., and F.M. Gamal-Eddin. 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., and F.M. Gamal-Eddin. 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.
- 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.
- Holloway, M.T.P., and R.J. Phelps. 1991. The responses of *Stomoxys* spp. (Diptera : Muscidae) to traps and artificial host odours in the field. *Bulletin of entomological Research* 81:51-55.
- Itard, J., C. Chartier, P.C. Morel, and P.M. Troncy. 2000. Précis de parasitologie vétérinaire tropicale. *Edition TECet DOC; Edition médicale internationale. Paris, Cachan.*
- 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.

- Killough, R. A., and McKinstry. 1965. Mating and oviposition studies of the stable fly. *Journal of Economic Entomology* 58 (3):489-491.
- Kunz, S.E., and J. Monty. 1976. Biology and ecology of *Stomoxys nigra* Macquart and *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera, Muscidae) in Mauritius. *Bulletin of entomological Research* 66:745-755.
- Laveissiere, C., and P. Grebaut. 1990. The trapping of tsetse flies (Diptera : Glossinidae). Improvement of a model : the Vavoua trap. *Tropical and Medical Parasitology* 41 (2):185-192.
- Leclercq, M. 1971. *Les mouches nuisibles aux animaux domestiques*, Presses agronomiques de Gembloux.
- Lysyk, T.J. 1993a. 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. 1993a. Seasonal abundance of stable flies and house flies (Diptera : Muscidae) in dairies in Alberta, Canada.
- Lysyk, T.J. 1995. Temperature and population density effects on feeding activity of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) on cattle. *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.
- Mandret, G. 2000. Les grandes mutations de la société réunionnaise. In *L'élevage bovin à la Réunion : synthèse de quinze ans de recherche*. Saint-Pierre, Réunion: Cirad.
- Mandret, G., J.Y. Latchimy, V. Blanfort, O. Fontaine, J.M. Paillat, F. Lanot, J. Pelot, and C.E. Bigot. 1994. Rapport annuel 1993. Saint-Pierre, Réunion: Cirad-Elevage.
- Mihok, S., and P.H. Clausen. 1996. Feeding habits of *Stomoxys* spp. stable flies in a Kenyan forest. *Medical and Veterinary Entomology* 10:392-394.
- Mihok, S., E.K. Kang'Ethe, and G.K. Kamau. 1995. Trials of traps and attractants for *Stomoxys* spp. (Diptera : Muscidae). *Journal of Medical Entomology* 32 (3):283-289.
- Mihok, S., O. Maramba, E. Munyoki, and K. Saleh. 1996. Phenology of Stomoxyinae in a Kenyan forest. *Medical and Veterinary Entomology* 10:305-316.
- Miller, R.W., L.G. Pickens, N.O. Morgan, R.W. Thimijan, and Wilson R.L. 1973. Effect of stable flies on feed intake and milk production of dairy cow. *Journal of Economic Entomology* 66 (3):711-713.
- Perret. S. 1993. Propriétés physiques, hydriques et mécaniques de sols andiques de la Réunion : facteurs naturels et anthropiques d'évolution des horizons cultureux, implications agronomiques et écologiques. Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure agronomique, Montpellier, France.



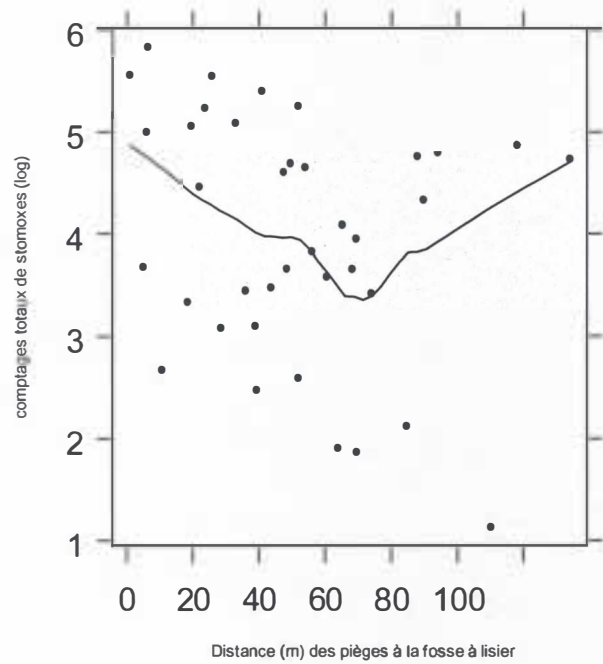
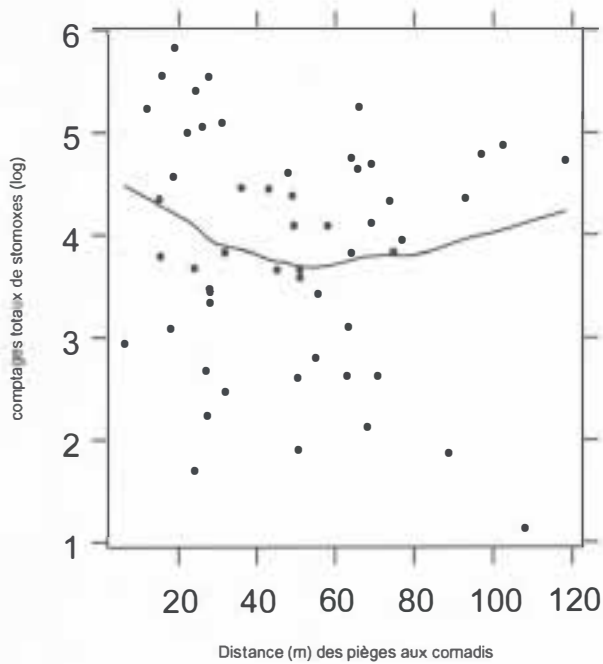
- Pinheiro, J.C., and D.M. Batis. 2000. *Mixed-Effects : models in S and S-plus, Statistics and computing*. New York: Springer Verlag.
- Pospisil, J., and J. Zdarek. 1964. On the visual orientation of the stable fly (*Stomoxys calcitrans* L.) to colours. *Acta. ent. bohemoslov.* 62:85-91.
- Raunet, M. 1991. *Le milieu physique et les sols de l'île de la Réunion : conséquences pour la mise en valeur agricole*. Edited by Cirad. Saint-Denis, Réunion.
- Rhodain, F., and C. Perez. 1985. *Précis d'entomologie médicale et vétérinaire*. Paris: Maloine S.A.
- Rugg, D. 1982. Effectiveness of Williams traps in reducing the numbers of stable flies (Diptera : Muscidae). *Journal of Economic Entomology* 75:857-859.
- Salon, S. 1992. Typologie des élevages bovins, île de la Réunion, 1991-1992. Saint-Pierre, Réunion: Cirad-Elevage.
- Schleich, S.S. 1999. Population structure of stable flies, *Stomoxys calcitrans* (L.) (Diptera : Muscidae), sampled by different trapping methods, Department of Entomology College of Agriculture, Kansas state university, Kansas.
- Sinyigaya, I. 1994. Etude du logement des petits ruminants en milieu traditionnel dans la zone de Ndiagne (région de Louga). Bambey: Ecole nationale des cadres ruraux de Bambey (ENCR).
- S-Plus. 2001. *S-Plus 6 - Guide of statistics*. Seattle, WA: Insightful corporation.
- Tillard, E., and S. Messad, eds. 1998. *Bilan statistique et épidémiologique des données sérologiques, entomologiques, cliniques et zootechniques du POSEIDOM VÉTÉRINAIRE "Eradication des babésioses et de l'anaplasmose à la Réunion"*. Saint-Pierre, La Réunion: Cirad.
- Zumpt, F. 1973. *The Stomoxyine biting flies of the world. Taxonomy, biology, economic importance and control measures*. Edited by G. Fischer. Stugart.

# ANNEXES

# ANNEXE N° I

## CARACTERISATION DE L'ENVIRONNEMENT DES PIEGES

- **Comptages de stomoxes totaux par piège en fonction de la distance du piège aux cornadis ou à la fosse à lisier**



La courbe de lissage fait apparaître que les comptages diminuent progressivement au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la stabulation ou de la fosse à lisier jusqu'à une distance approximative de 40 mètres.

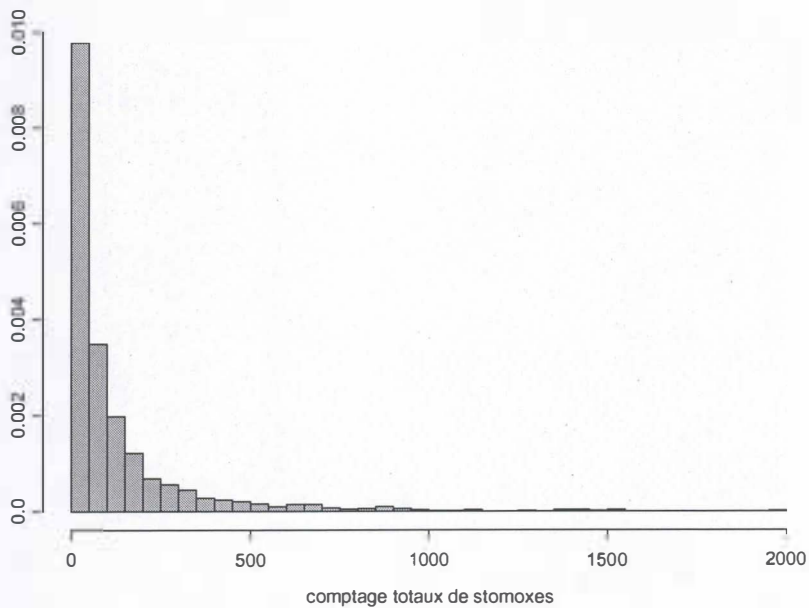


## ANNEXE N° II

### ETAPES DE LA CONSTRUCTION DES MODELES STATISTIQUES POUR L'ANALYSE DE L'EFFICACITE DES PIEGES

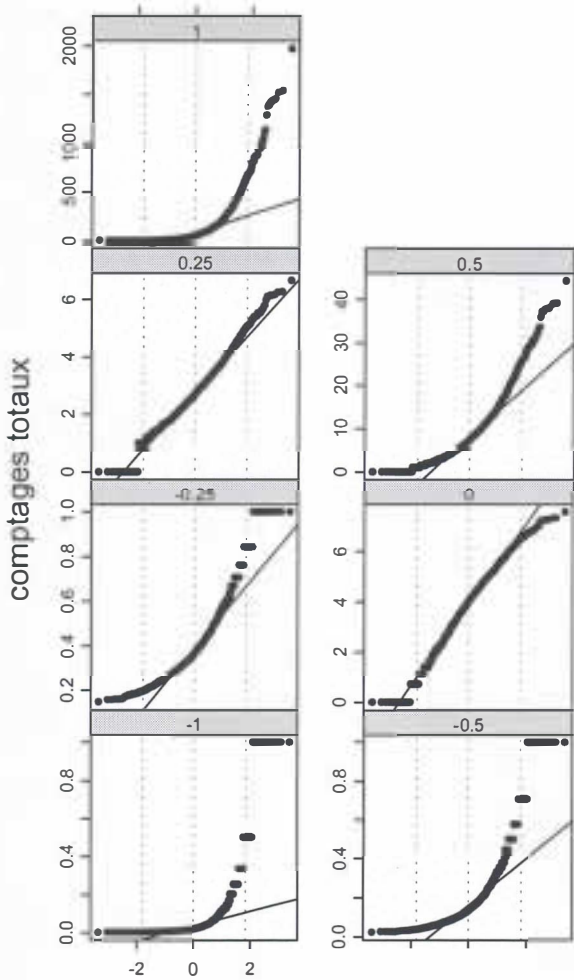
#### MODELISATION N°1

- **Histogramme des comptages totaux de stomoxes (Stt) :**



La distribution de notre variable n'est absolument pas normale, son utilisation en analyse statistique n'est donc pas valable telle quelle, nous devons envisager une transformation de la variable.

- **Test de différentes transformations de la variable Stt :**



quantiles de la loi normale

Test de 7 transformations différentes de la variable Stt :

1=Stt

0,25 = racine 4 de Stt

0,5 = racine carrée de Stt

0 = logarithme népérien de Stt+1,  $\log(\text{Stt}+1)$

-1 = 1/Stt

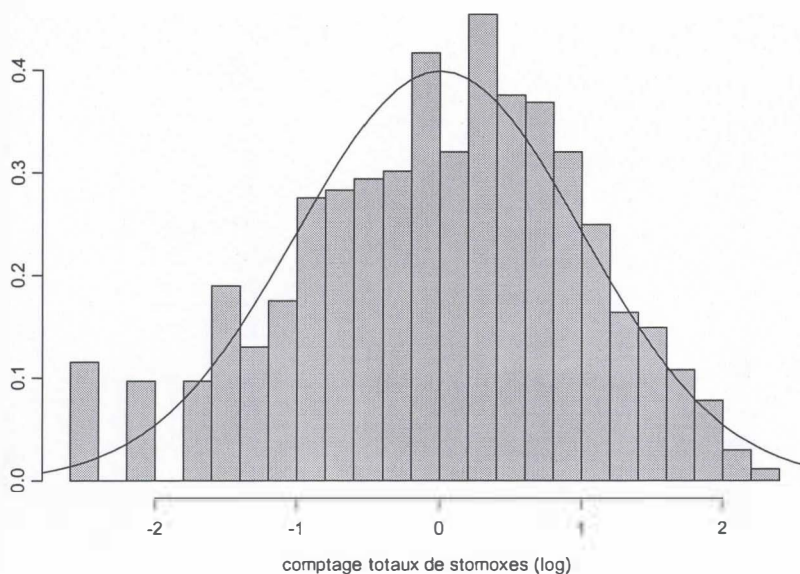
-0,5 = 1/racine carrée de Stt

-0,25 = 1/racine 4 de Stt.

Sur chaque graphe la ligne droite correspond à la distribution normale et les points correspondent à la distribution de la variable Stt transformée.

Aucune de ces transformations ne rend notre variable normale mais c'est la transformation  $\log(\text{Stt}+1)$  qui s'en rapproche le plus, c'est donc cette transformation que nous retenons.

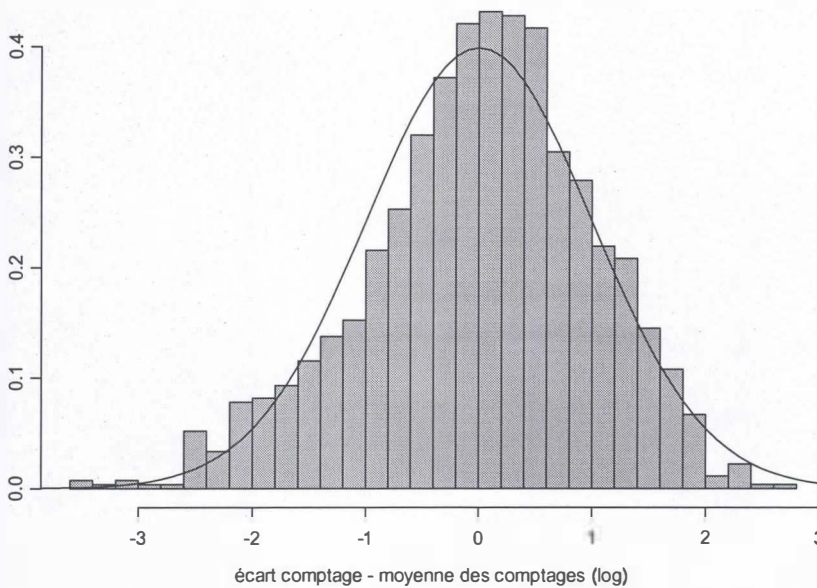
- **Histogramme des  $\log(\text{Stt}+1)$  :**



La distribution des  $\log(\text{Stt}+1)$  n'est pas normale (on visualise très bien les écarts à la normalité représentée par la courbe sur la figure ci-dessus) mais elle s'en rapproche

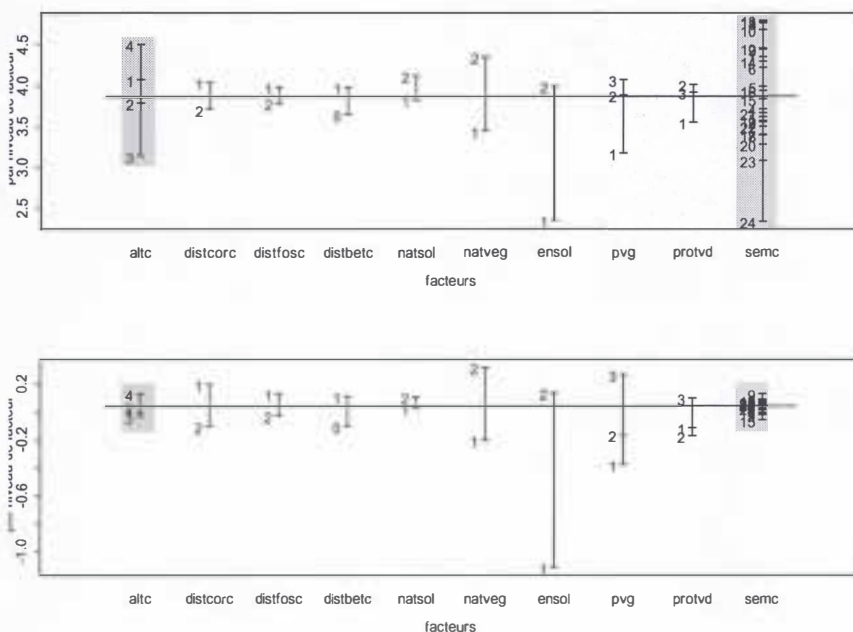
Par ailleurs nous savons qu'il existe des variations des comptages entre les éleveurs à une même altitude, à des altitudes différentes et en fonction de différents évènements qui peuvent avoir une incidence sur la population réelle de stomoxes dans l'environnement, ce qui nous entraîne à choisir de travailler sur les écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par troupeau et par semaine et non directement sur les  $\log(\text{Stt}+1)$ , le fait de travailler sur les écarts à la moyenne nous permettant de supprimer toute la variabilité liée à l'éleveur, à l'altitude et à la semaine de capture :

- **Histogramme des écarts entre  $\log(\text{Stt}+1)$  et la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par éleveur et par semaine :**



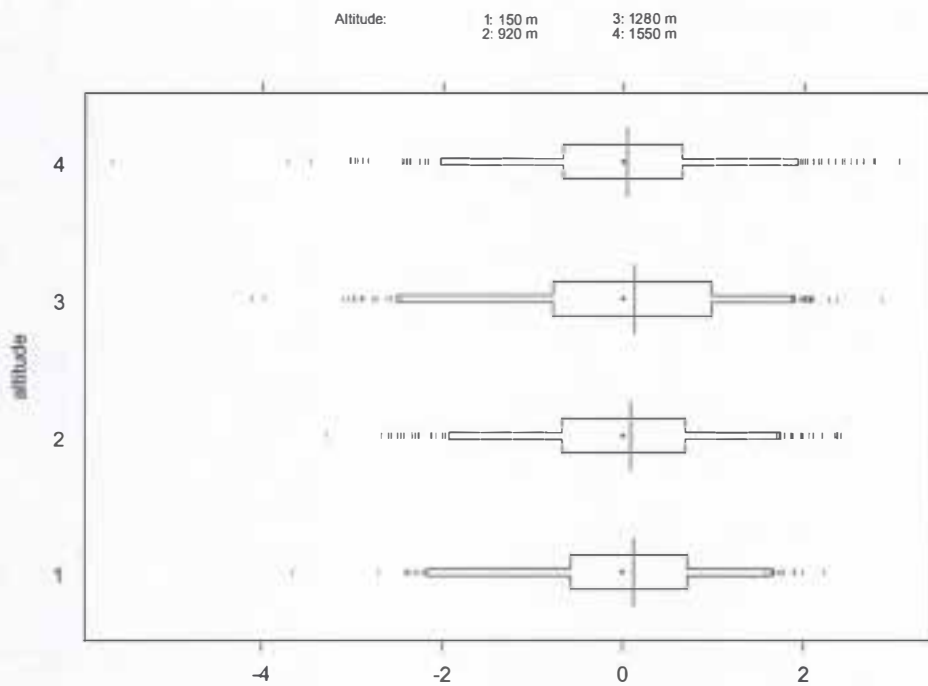
La distribution de cette nouvelle variable n'est pas normale mais c'est celle qui s'en rapproche le plus.

- **Graphique de la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par facteur (en haut) et de la moyenne des écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  par facteur (en bas) :**



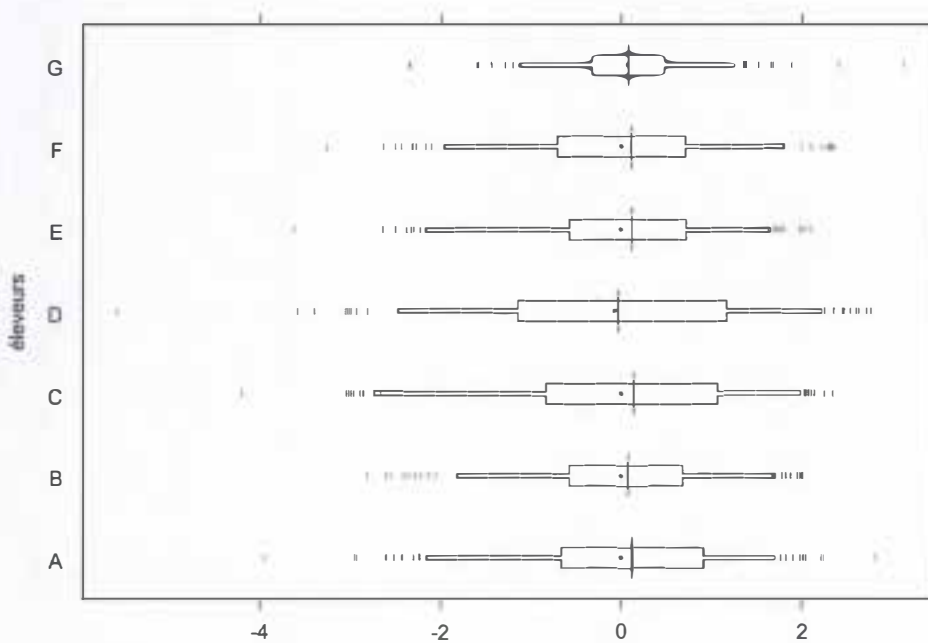
Nous visualisons bien sur la figure précédente que la variabilité liée à l'altitude (comprenant également la variabilité liée à l'éleveur) et à la semaine de capture est nettement atténuée.

- **Écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  aux différentes altitudes :**



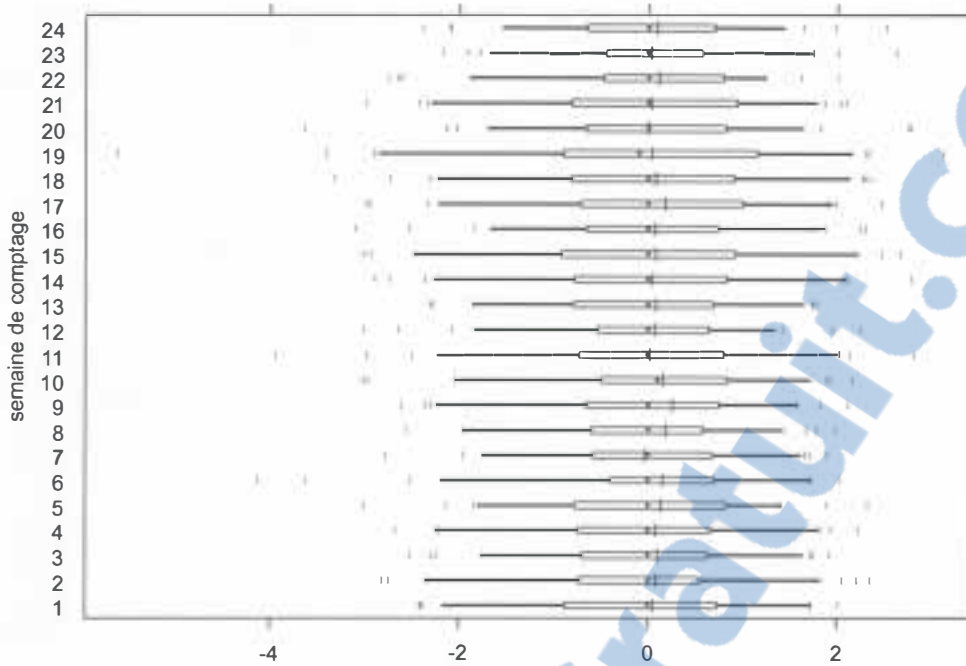
Nous observons qu'il y a peu de variabilité liée à l'altitude.

- **Écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  chez les différents éleveurs :**



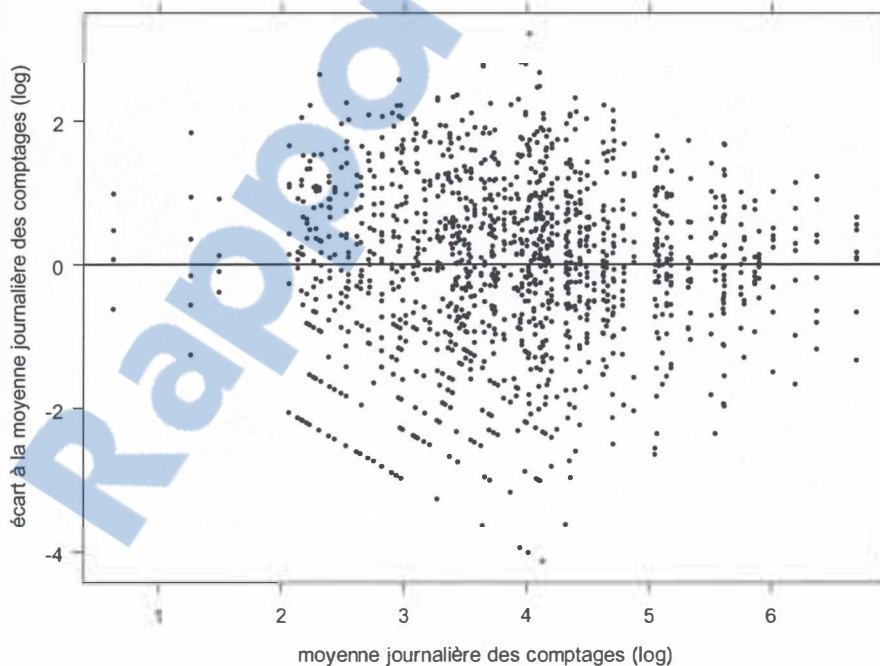
Nous observons qu'il y a peu de variabilité liée à l'éleveur.

- **Écarts à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour les différentes semaines de capture :**



Nous observons qu'il y a peu de variabilité liée à la semaine de capture.

- **Représentation graphique de l'écart à la moyenne journalière des  $\log(\text{Stt}+1)$  en fonction de la moyenne journalière des  $\log(\text{Stt}+1)$  :**



Nous avons également vérifié qu'il n'y a aucune relation entre la valeur de la moyenne journalière des  $\log(\text{Stt}+1)$  et l'écart à la moyenne journalière des  $\log(\text{Stt}+1)$ .

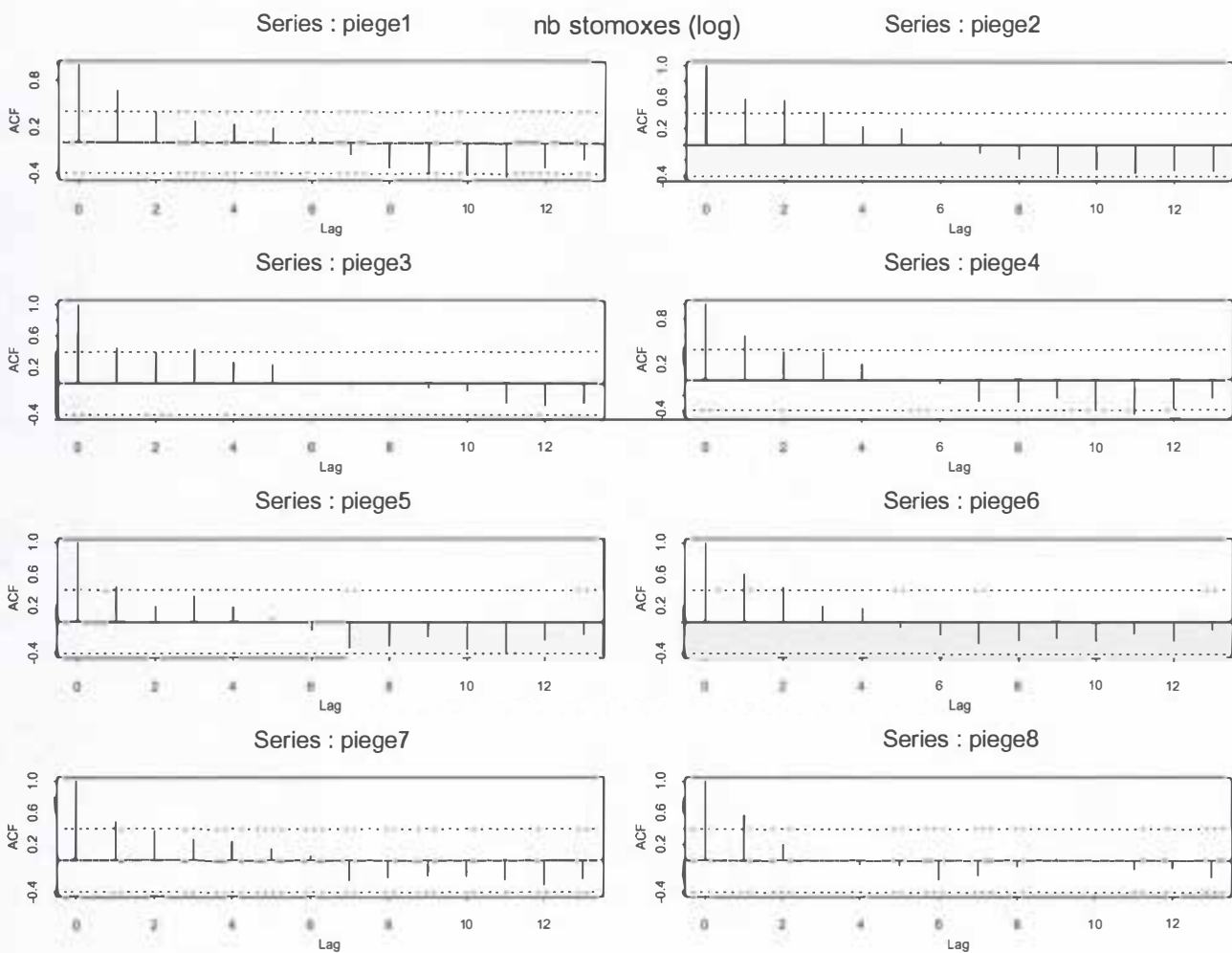
Un des autres avantages que nous avons à travailler sur les écarts à la moyenne est que les autocorrélations sont moins fortes. En effet il est important que les autocorrélations soient

le plus faible possible car pour réaliser un test d'Anova les observations doivent être indépendantes.

Autocorrélations directes entre une observation  $y$  à  $T$  et une observation  $y$  à  $T+k$  : on compare directement deux colonnes de données.  
 Autocorrélations partielles : on élimine par exemple l'effet de  $y(T+1)$  sur  $y(T+2)$  et on compare  $y(T)$  à cette nouvelle variable dont on a éliminé l'effet de  $y(T+1)$ .

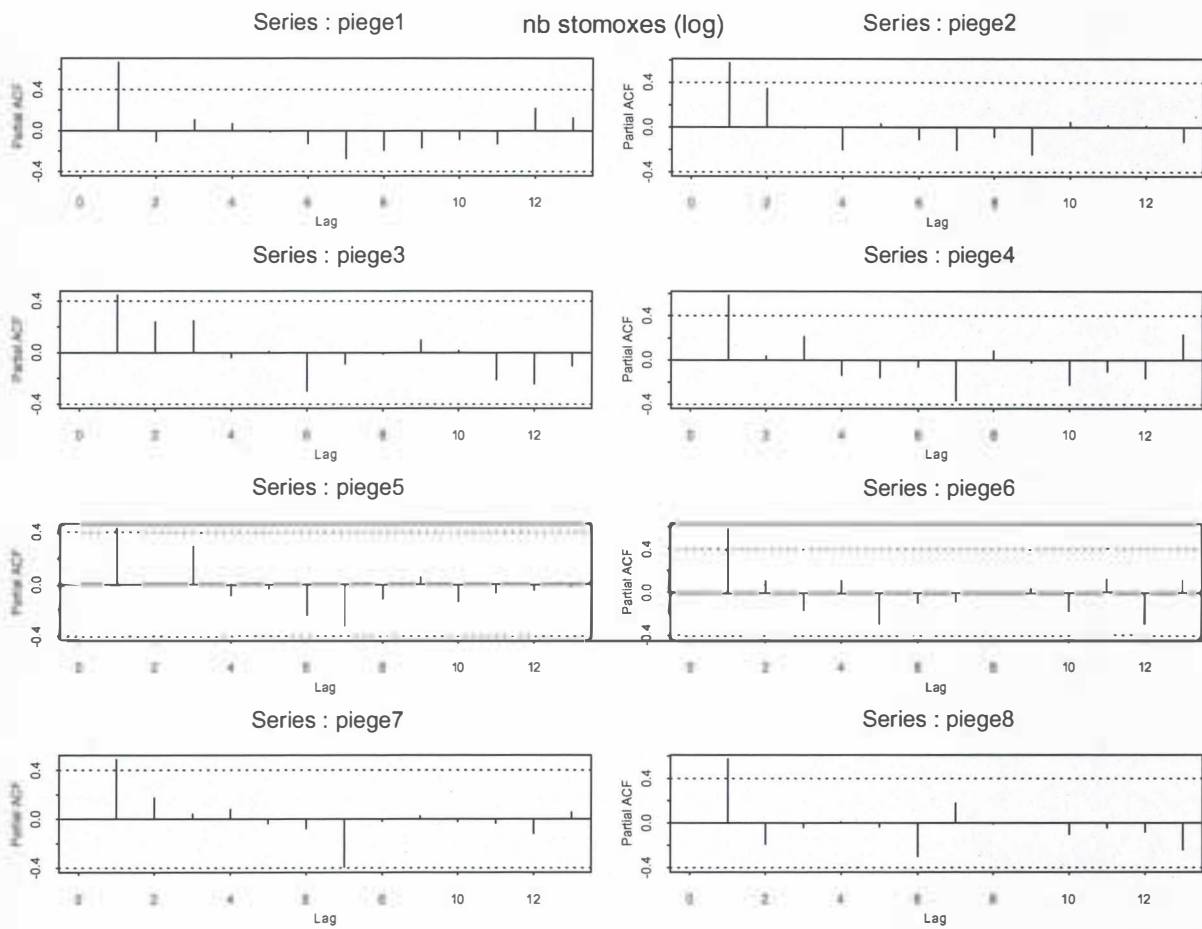
- **Autocorrélations directes des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour l'éleveur G :**

Quand les barres verticales dépassent le trait pointillé horizontal, cela signifie que les données de rang  $T_n$  sont corrélées avec celles de rang  $T_{n+1}$  ou 2 etc. en fonction de la barre qui dépasse.



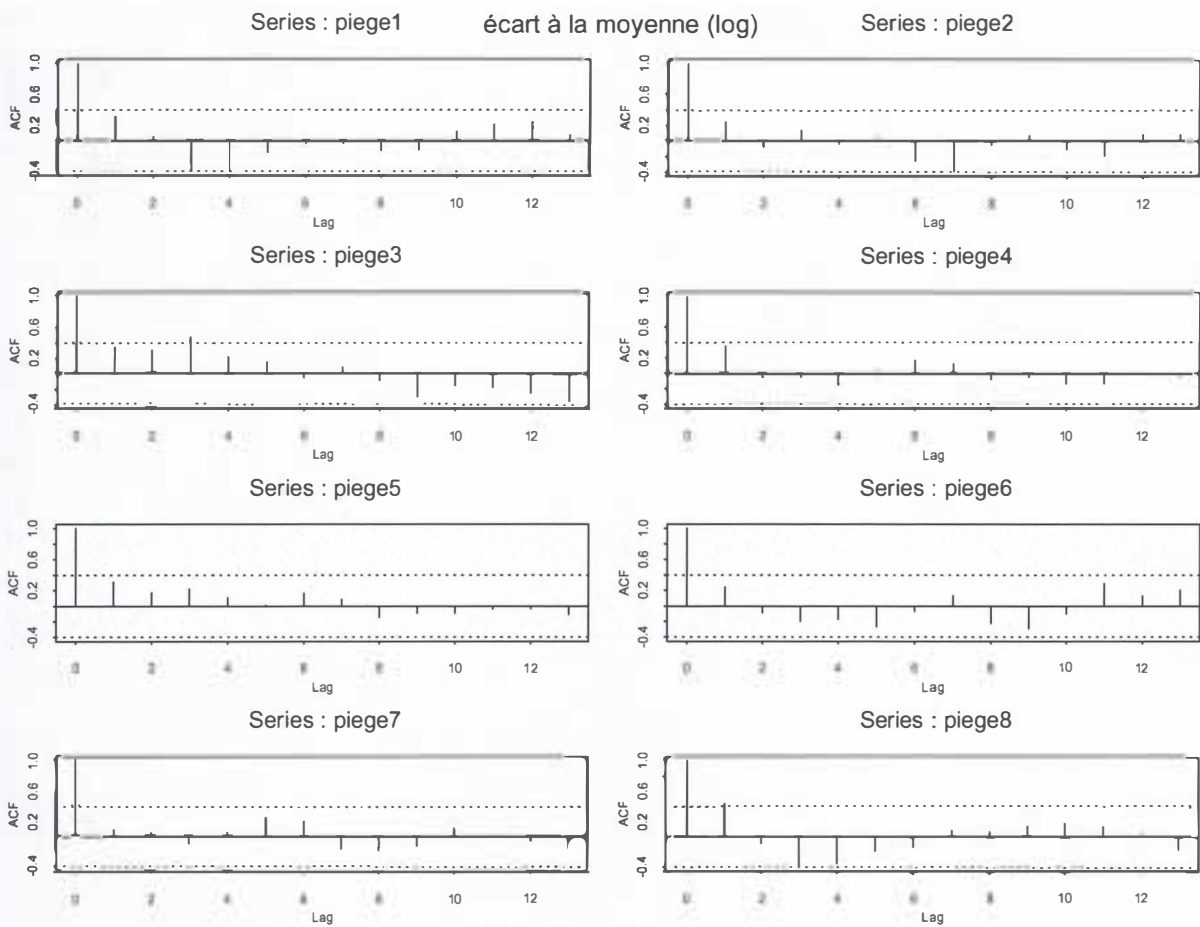
Nous voyons ici qu'il y a beaucoup de corrélations, les observations ne sont pas indépendantes, ce n'est pas satisfaisant pour l'analyse statistique.

- Autocorrelations partielles des  $\log(\text{Stt}+1)$  pour l'éleveur G.



Il existe encore des corrélations de rang 1 essentiellement.

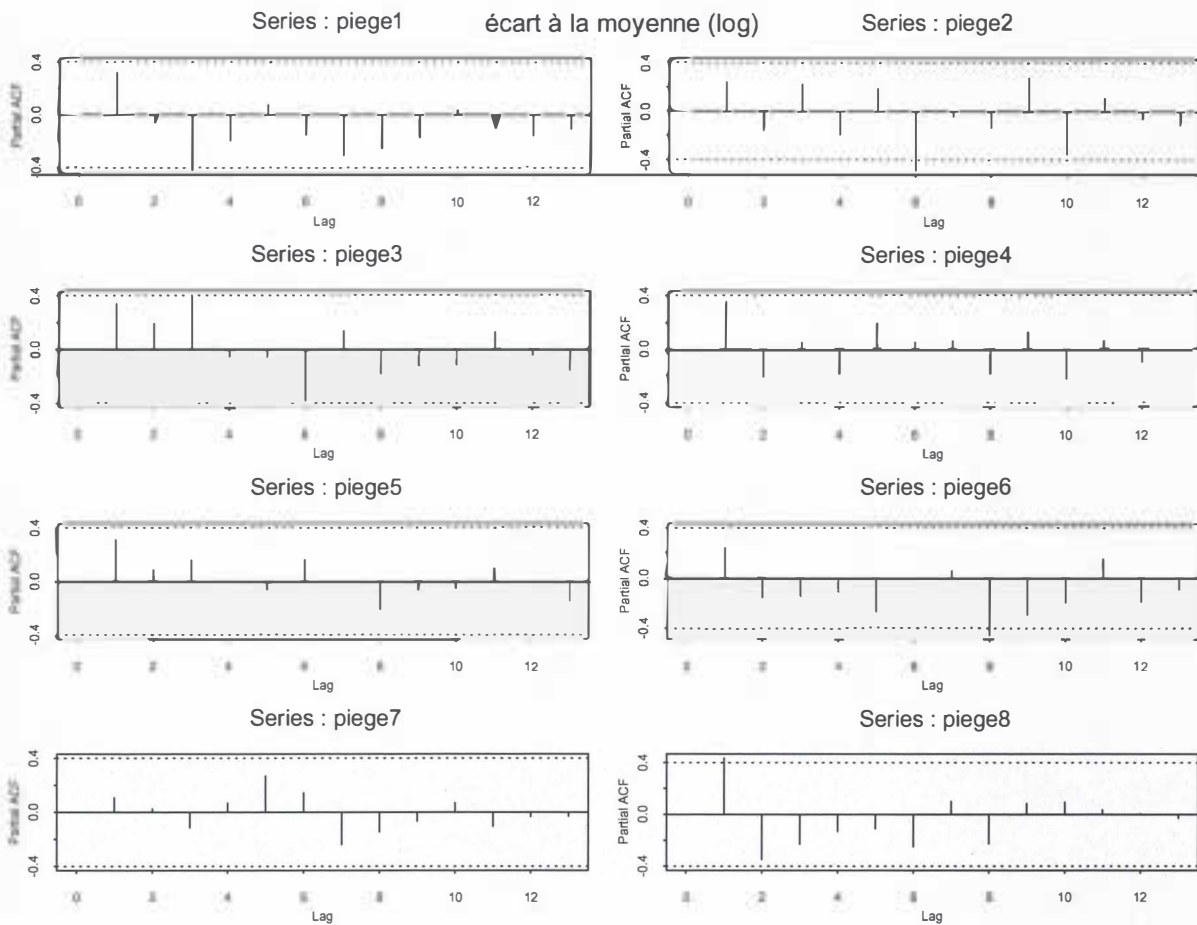
- **Autocorrélations directes des écarts à la moyenne pour l'élèveur G :**



Nous voyons que les autocorrélations directes sont moins importantes lorsque nous travaillons sur les écarts à la moyenne. Il n'y en a quasiment plus.



- **Autocorrélations partielles des écarts à la moyenne pour l'éleveur G :**



De même que pour les autocorrélations directes il n'y en a quasiment plus.

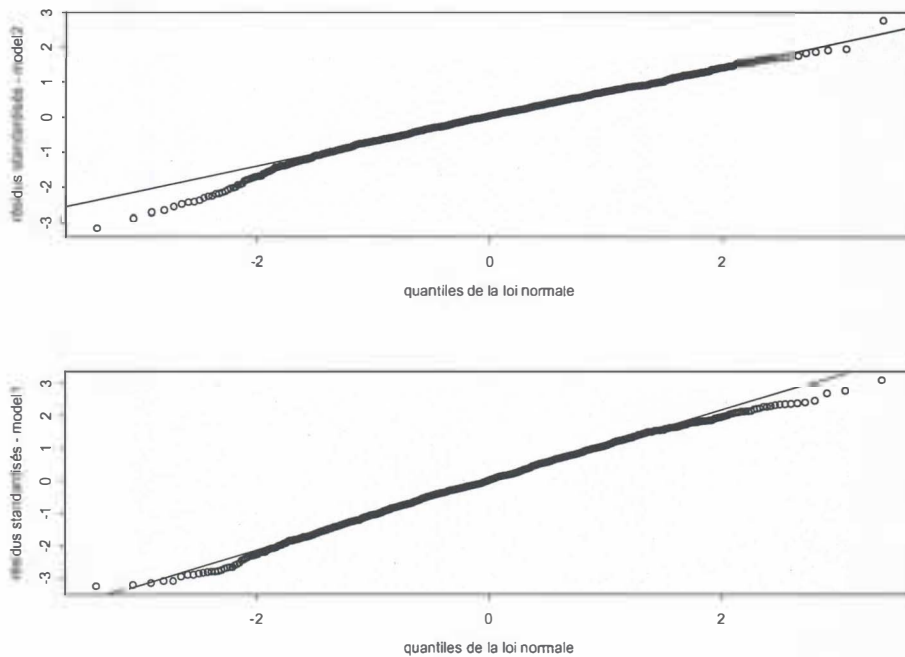
Nous faisons tourner un premier modèle, le modèle 1 : analyse de la variance avec une variable à expliquer qui est l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$ , et des variables explicatives qui sont l'ensoleillement (ensol, 3 modalités), la distance aux cornadis (distcorc, 2 modalités), la distance à la fosse à lisier (distfosc, 2 modalités), la nature du sol dans un rayon de cinq mètres autour du piège (natsol, 2 modalités), la nature de la végétation dans un rayon de cinq mètres autour du piège (natveg, 2 modalités), la protection contre les vents locaux dominants du jour de la capture (protVd, 3 modalités) et la protection générale contre les vents (pvg, 3 modalités)

Tout est significatif, à savoir que chaque variable explicative influence de façon significative les variations de la variable à expliquer.

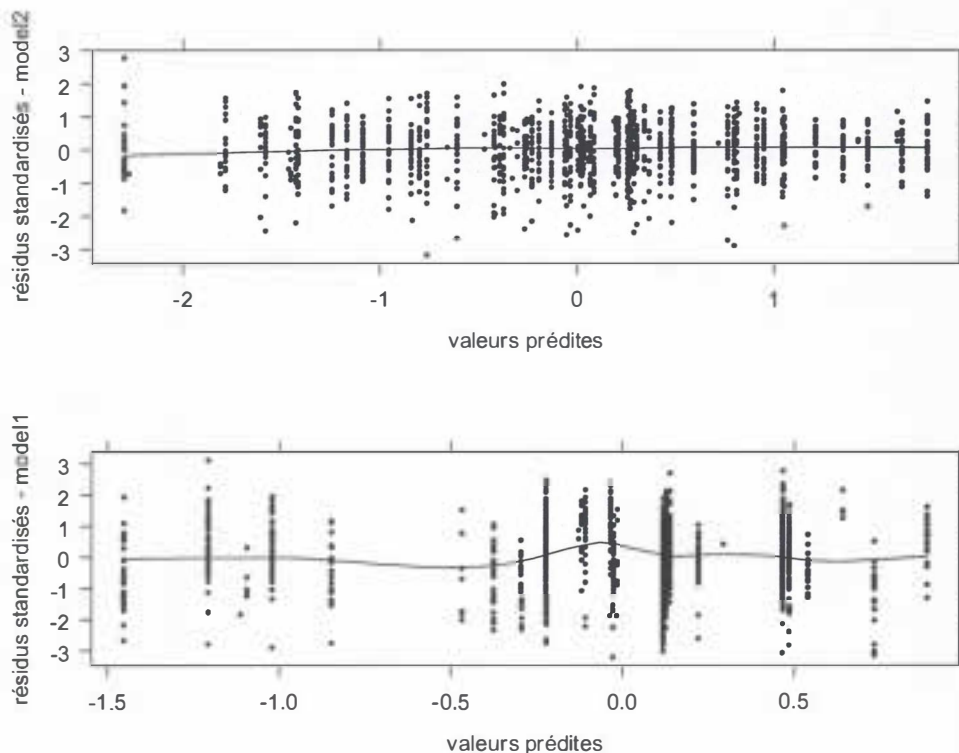
Nous examinons les résidus : la distribution est quasiment normale, mais si nous visualisons les résidus en fonction des valeurs prédites, nous pouvons voir que ceux-ci sont structurés, ce n'est pas satisfaisant : c'est l'effet piège.

Nous réalisons donc un deuxième modèle, le modèle 2, où nous tenons compte de l'effet piège. Dans ce cas la distribution des résidus n'est ni plus ni moins proche de la distribution normale mais les résidus en fonction des valeurs prédites n'ont plus de structure, c'est donc mieux.

- Représentation de la distribution des résidus du modèle 1 (en bas) et du modèle 2 (en haut) en comparaison à la distribution normale :



- Représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle 1 (en bas) et le modèle 2 (en haut) :

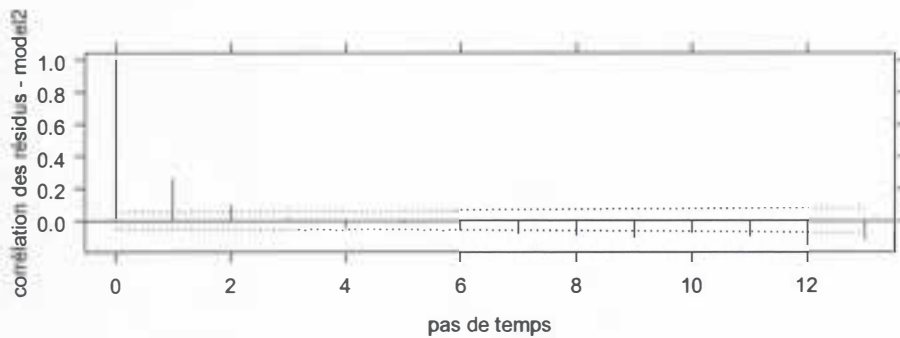
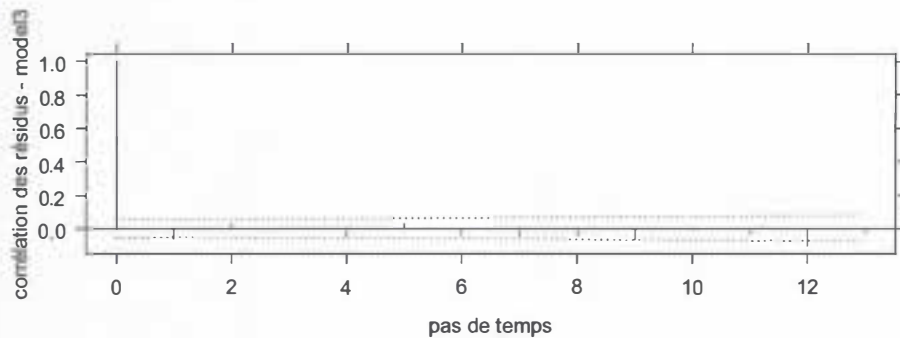


Par ailleurs les critères d'Akaike et la vraisemblance sont améliorés de manière très significative ( $p < 0,001$ ) (cf. tableau 1).

Nous examinons également pour ce modèle 2 la corrélation des résidus. Il y a beaucoup de corrélations notamment de rang 1 et 2, donc ce n'est pas encore satisfaisant pour l'analyse statistique.

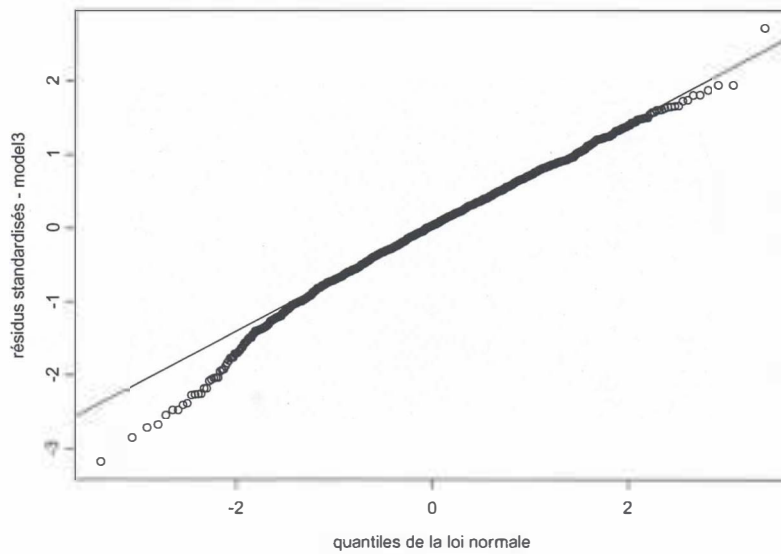
Nous intégrons alors une structure de corrélation des résidus de type autorégressif de rang 1 ( $p=1$ ) dans un nouveau modèle, le modèle 3. Cela signifie que nous tenons compte dans ce modèle du fait que les observations de rang  $n$  et  $n+1$  sont corrélées. Nous pouvons constater sur la figure suivante que nous améliorons le modèle puisque nous décorrélons les résidus

- **Autocorrélations des résidus du modèle 2 (en bas) et du modèle 3 (en haut) :**

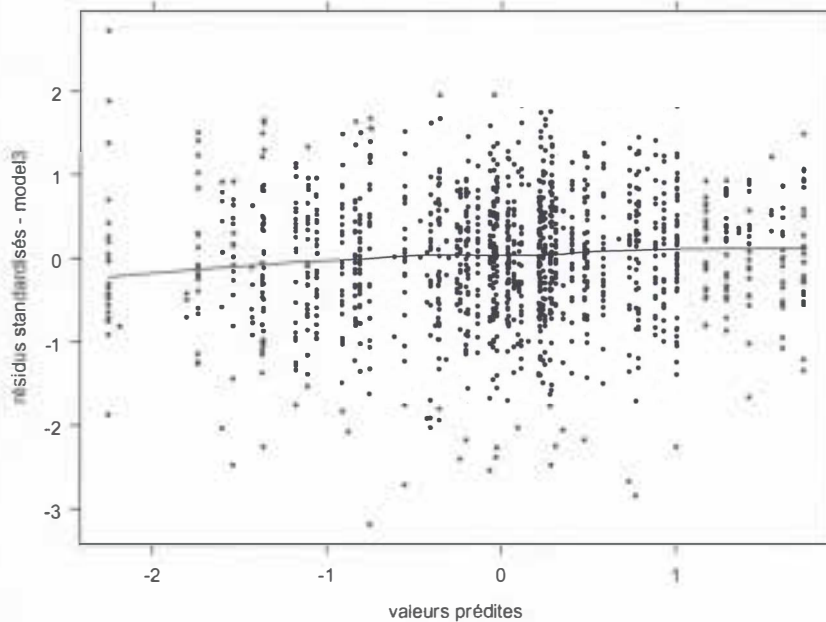


Pour le modèle 3 nous vérifions que les résidus ne sont pas structurés et de distribution normale.

- Représentation de la distribution des résidus du modèle 3 en comparaison à la distribution normale :



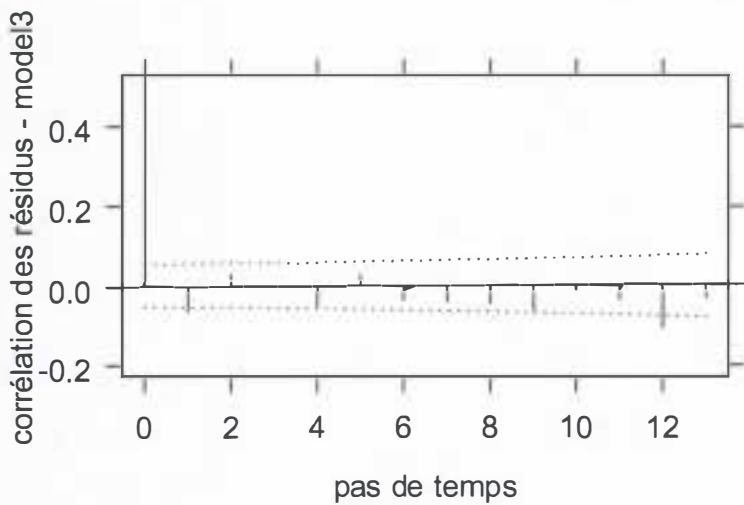
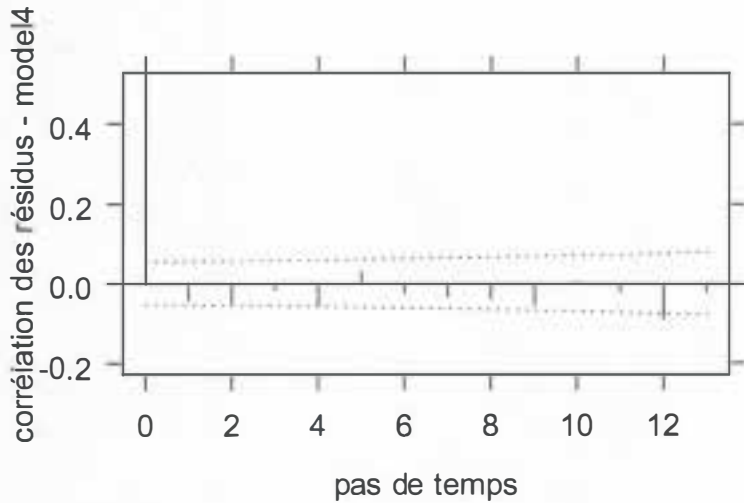
- Représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle 3:



Cette fois encore le critère d'Akaike et la vraisemblance sont améliorés de manière très significative ( $p < 0,0001$ ) (cf. tableau 1).

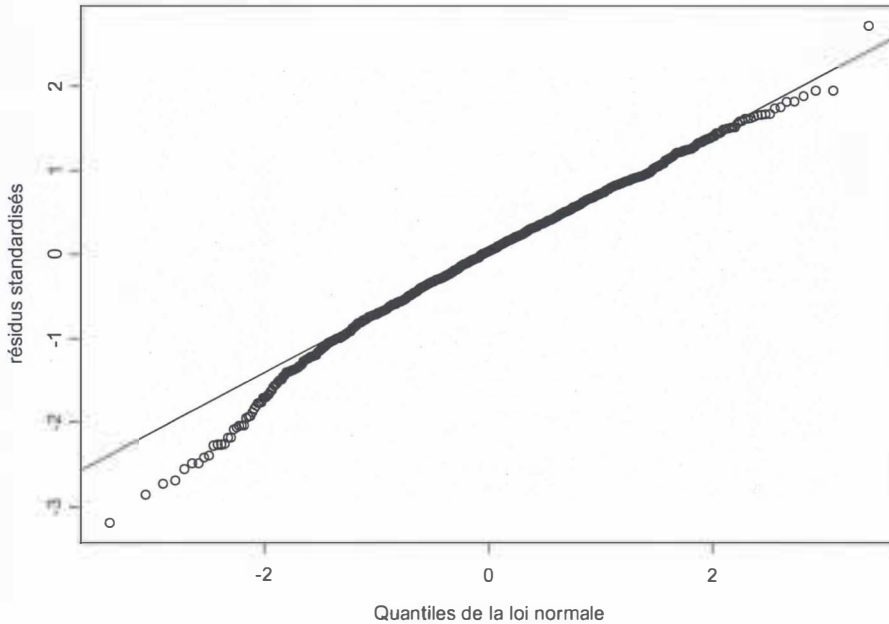
Dans un quatrième modèle, le modèle 4 nous intégrons une structure de corrélation des résidus de type autorégressif de rang 1 et 2 ( $p=2$ ). Le résultat est encore meilleur, les résidus sont moins corrélés.

- Autocorrélations des résidus du modèle 3 (en bas) et du modèle 4 (en haut) :

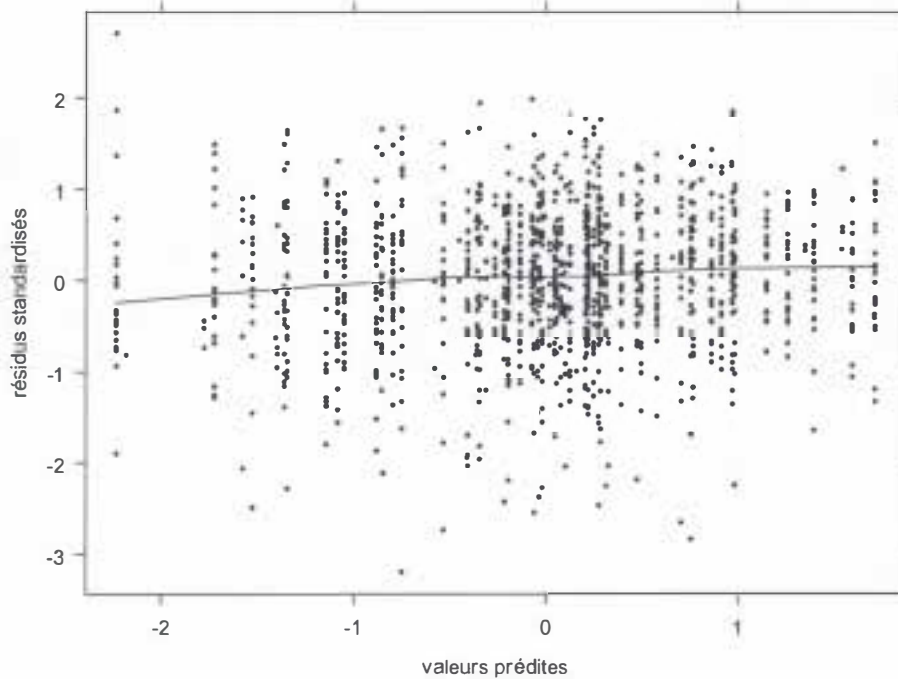


Les résidus ont toujours une distribution quasi normale et sont toujours sans structure.

- **Représentation de la distribution des résidus du modèle 4 en comparaison à la distribution normale :**



- **Représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle 3:**



Le critère d'Akaike et la vraisemblance sont encore améliorés de manière significative ( $p < 0,036$ ) (cf. tableau 1).

Après ce modèle nous en avons essayé un dernier, le modèle 5, avec une structure de corrélation des résidus de rang 1, 2, et 3. Ce modèle n'apporte rien de plus, il augmente le critère d'Akaike, nous ne le retenons pas. C'était d'ailleurs prévisible dès le modèle 2 car nous pouvions voir alors que les corrélations portaient sur les rangs 1 et 2.

	modèle 1	modèle 2	modèle 3	modèle 4	modèle 5
Critère d'Akaike	4007,5	3308,2	3189,9	3183,5	3184,1
vraisemblance	-1994,7	-1643,1	-1582,9	-1578,7	-1578,1
p-value		<0,0001	<0,0001	<0,0036	<0,2467

**Tableau 1** : caractéristiques des modèles successifs de la modélisation N°1.

**Nous retenons donc le modèle 4. En définitive nous avons un modèle linéaire généralisé, avec prise en compte d'une structure hiérarchique des données (il y a des troupeaux, des pièges dans ces troupeaux et des observations dans ces pièges) et modélisation de la structure de corrélation des résidus à l'intérieur d'un piège de type autorégressif de rang 1 et 2.**

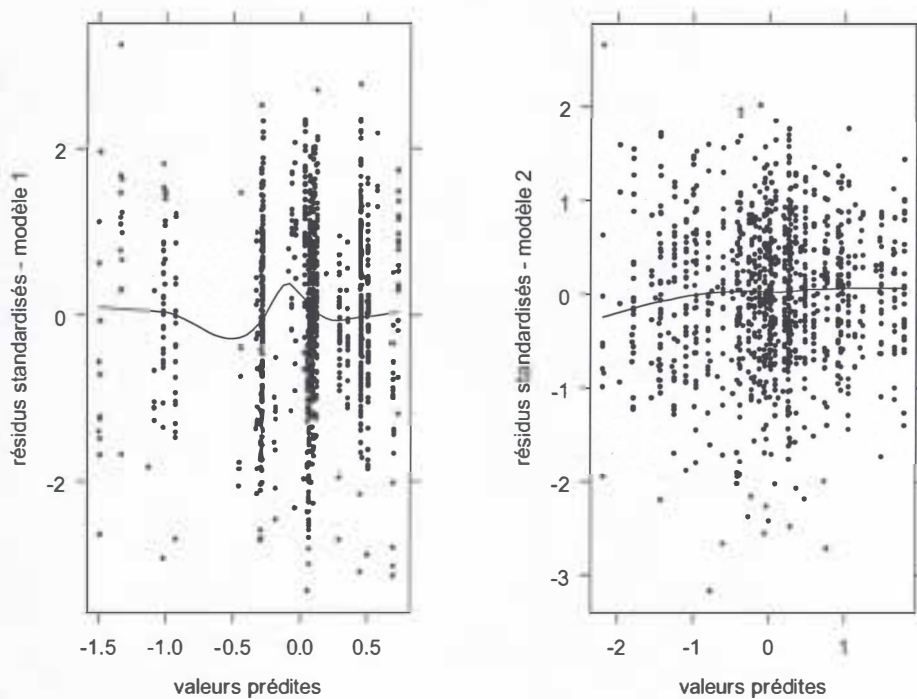
### MODELISATION N°2 :

Pour cette seconde modélisation nous travaillons sur un deuxième jeu de données qui correspond au jeu de données précédent sans les résultats de capture pour lesquelles la variable distbetc n'est pas renseignée, soit un total de 1115 observations.

Nous faisons tourner un premier modèle, le modèle 1 : analyse de la variance avec une variable à expliquer qui est l'écart à la moyenne des  $\log(\text{Stt}+1)$  et des variables explicatives qui sont les paramètres environnementaux des pièges constants ou variables d'une date de capture à une autre. Tout est significatif, à savoir que chaque variable explicative influence de façon significative les variations de la variable à expliquer, sauf pour la variable protvd.

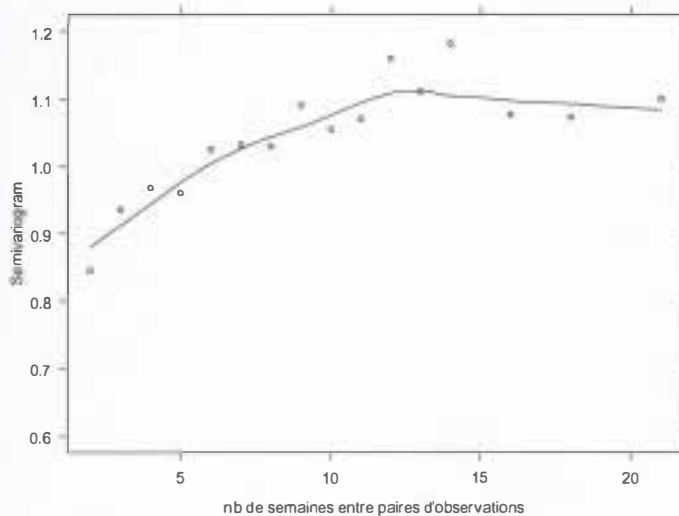
Nous examinons les résidus, nous pouvons voir que ceux-ci sont structurés. Nous réalisons donc le modèle 2 où nous prenons en compte l'existence d'une structure hiérarchique des données (effet éleveur, effet piège). Avec ce deuxième modèle les résidus ne sont plus structurés et nous avons amélioré de façon significative le critère d'Akaike et la vraisemblance (cf. tableau 2)

- Représentation des résidus en fonction des valeurs prédites par le modèle 1 (à gauche) et le modèle 2 (à droite) :



A partir de notre modèle 2 nous réalisons un semivariogramme (variance des écarts à la moyenne divisée par 2 pour une distance donnée entre deux observations) qui nous permet d'envisager une modélisation exponentielle (Pinheiro, 2000). La modélisation exponentielle nous autorise à travailler sur des séries de données chronologiques même s'il y a des données manquantes entre des rangs d'observation.

- Semivariogramme du modèle 2 :

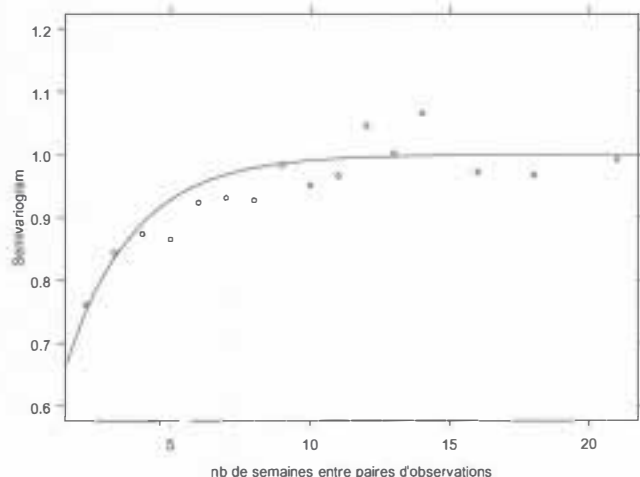




Nous réalisons donc le modèle 3 qui comprend la modélisation de la corrélation des résidus de type exponentielle : nous avons amélioré de façon significative le critère d'Akaike et la vraisemblance (cf tableau 2).

Sur le semivariogramme du modèle 2 nous observons une évolution rapide du semivariogramme pour les faibles distances, pour mieux modéliser cette évolution nous rajoutons un paramètre au modèle : un nugget (Pinheiro, 2000). Nous obtenons le modèle 4 que nous décidons de conserver pour l'analyse statistique car il améliore de façon significative le critère d'Akaike et la vraisemblance (cf tableau 2).

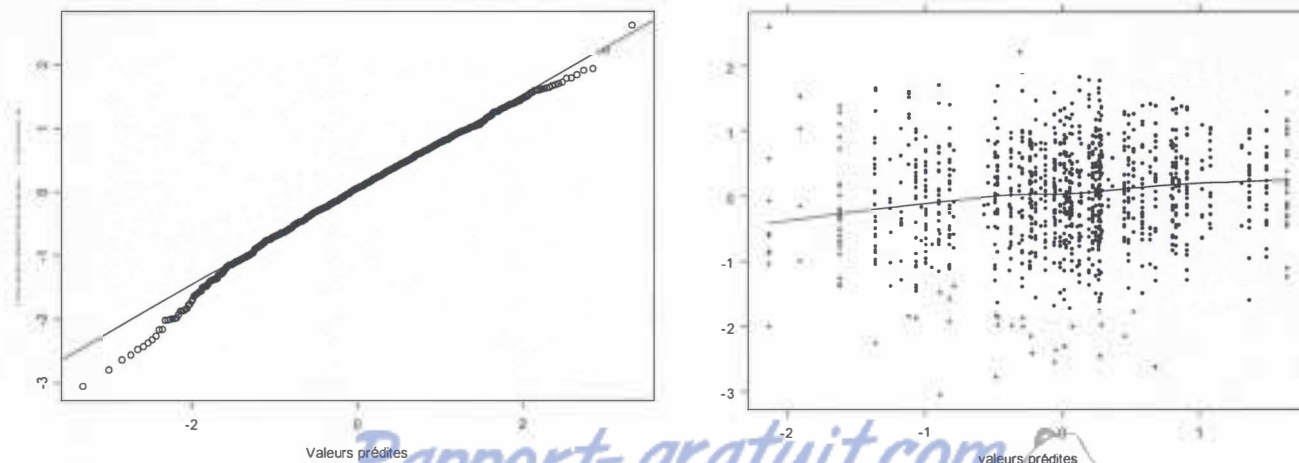
- **Semivariogramme du modèle 4 :**



Sur ce semivariogramme nous pouvons voir que la courbe des valeurs prédites par le modèle 4 passe bien au milieu des points réels ce qui nous indique que nous avons bien modélisé les corrélations des résidus.

Nous vérifions enfin pour ce modèle l'absence de structure des résidus et leur distribution proche de la loi normale

- **Représentation de la distribution des résidus en comparaison à la distribution normale (à gauche) et en fonction des valeurs prédites par le modèle (à droite) pour le modèle 4 :**



	modèle 1	modèle 2	modèle 3	modèle 4
Critère d'Akaike	3326,7	2791,0	2681,9	2671,5
vraisemblance	-1653,4	-1383,5	-1327,9	-1321,7
p-value		0,0001	0,001	0,0004

**Tableau 2** : caractéristiques des modèles successifs de la modélisation N°2.

**Le modèle que nous retenons pour faire nos tests d'analyse de la variance est un modèle linéaire généralisé qui prend en compte la structure hiérarchique des données (effet éleveur, effet piège), avec modélisation de la structure de corrélation des résidus à l'intérieur d'un piège de type exponentielle et ajout d'un nugget.**

## ANNEXE N°III

### RESULTATS DES TESTS D'ANALYSE DE LA VARIANCE POUR L'ANALYSE DE L'EFFICACITE DES PIEGES EN FONCTION DE LEUR ENVIRONNEMENT

#### MODELISATION N°1

**Variable à expliquer : écart à la moyenne des logarithmes népériens des comptages hebdomadaires de stomoxes totaux.**

**Variables explicatives :**

- l'ensoleillement : **ensol** (1= à l'ombre à midi, 2= au soleil à midi).
- la distance aux cornadis : **distcorc** (1= près des cornadis, 2= loin des cornadis).
- la distance à la fosse à lisier : **distfosc** (1= près de la fosse à lisier, 2= loin de la fosse).
- la nature du sol dans un rayon de cinq mètres autour du piège : **natsol** (1= sol mixte, 2= sol herbeux).
- la nature de la végétation dans un rayon de cinq mètres autour du piège : **natveg** (1=présence de végétaux hauts dans un rayon de cinq mètres, 2= absence).
- la protection contre les vents locaux dominants du jour de la capture : **protvd** (1= bonne protection, 2= protection partielle, 3= aucune protection).
- la protection générale contre les vents : **pvg** (1= bonne protection, 2= protection partielle, 3= aucune protection).

**> Anova**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1284	0.00000	1.0000
<b>ensol</b>	1	47	13.92474	<b>0.0005</b>
natveg	1	47	2.36671	0.1307
protvd	2	1284	0.20807	0.8122
<b>natveg:protvd</b>	2	1284	6.51735	<b>0.0015</b>

**> summary**

Linear mixed-effects model fit by REML

Data: mlgrept

AIC	BIC	logLik
3182.545	3244.923	-1579.273

Random effects:

Formula: ~ 1 | chp

(Intercept)

StdDev: 0.00117707

CLERO Marianne

Mémoire de CEAV « pathologies animales en régions chaudes et épidémiologie »

Annexes

XX

### Variabilité inter et intra pièges :

Formula: ~ 1 | piege %in% chp

(Intercept) Residual

StdDev: **0.7500304 0.7877391**

Correlation Structure: ARMA(2,0)

Formula: ~ 1 | chp/piege

Parameter estimate(s):

Phi1 Phi2

0.3011798 0.09171399

Fixed effects: emlnstt ~ ensol + natveg \* protvd

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	-0.4134382	0.1825718	1284	-2.264524	0.0237
ensol	-0.5202937	0.1808851	47	-2.876377	0.0060
natveg	-0.2290476	0.1204928	47	-1.900924	0.0635
protvd1	-0.0451290	0.1149620	1284	-0.392555	0.6947
protvd2	0.0202707	0.0867383	1284	0.233699	0.8153
natveg1protvd1	0.2283265	0.1149620	1284	1.986104	0.0472
natveg1protvd2	-0.2924802	0.0867383	1284	-3.371985	0.0008

Standardized Within-Group Residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-4.069942	-0.5803265	0.05370635	0.6369065	3.450711

**Number of Observations: 1344**

Number of Groups:

chp piege %in% chp

7 56

**Moyennes ajustées : moyenne pour chaque niveau d'un facteur, indépendamment des autres facteurs**

```
> tapply(model.matrix(emlnstt ~ ensol + natveg * protvd, mlgrcpt)[, c(1, 2)] %*%  
fixef(mlmodel311)[c(1, 2)], mlgrcpt$
```

```
ensol, mean)
```

```
1 2
```

```
-0.9337319 0.1068555
```

```
> tapply(model.matrix(emlnstt ~ ensol + natveg * protvd, mlgrcpt)[, c(1, 3)] %*%  
fixef(mlmodel311)[c(1, 3)], mlgrcpt$
```

```
natveg, mean)
```

```
1 2
```

```
-0.6424858 -0.1843906
```

```
> tapply(model.matrix(e mlnstt ~ ensol + natveg * protvd, mlgrcpt)[, c(1, 4, 5)] %*%
fixef(mlmodel311)[c(1, 4, 5)],
      mlgrcpt$protvd, mean)
      1      2      3
-0.4585671 -0.3931675 -0.3885799
```

```
> tapply(model.matrix(e mlnstt ~ ensol + natveg * protvd, mlgrcpt)[, c(1, 3, 4, 5, 6, 7)] %*%
fixef(mlmodel311)[c(1, 3,4, 5, 6, 7)], list(mlgrcpt$natveg, mlgrcpt$protvd), mean)
      1      2      3
1 -0.4592882 -0.9146953 -0.5534738
2 -0.4578461 0.1283603 -0.2236861
```

## MODELISATION N°2

**Variable à expliquer :** écart à la moyenne des logarithmes népériens des comptages hebdomadaires de stomoxes totaux (Stt), de *Stomoxys calcitrans* mâle (Scm), de *Stomoxys calcitrans* femelle (Scf), de *Stomoxys niger* mâle (Snm), de *Stomoxys niger* femelle (Snf).

### **Variables explicatives :**

- **ensol** (1= à l'ombre à midi, 2= au soleil à midi)
- **distcorc** (1= près des cornadis, 2= loin des cornadis).
- **distfosc** (1= près de la fosse à lisier, 2= loin de la fosse).
- **natsol** (1= sol mixte, 2= sol herbeux).
- **natveg** (1=présence de végétaux hauts dans un rayon de cinq mètres, 2= absence).
- **protvd** (1= bonne protection, 2= protection partielle, 3= aucune protection).
- **pvg** (1= bonne protection, 2= protection partielle, 3= aucune protection).
- la position du bétail par rapport au piège le jour de la capture : **distbetc** (1= bétail à proximité du piège le jour de la capture, 0= pas de bétail à proximité du piège le jour de la capture).

### COMPTAGES DE STOMOXES TOTAUX:

#### **> Summary**

Linear mixed-effects model fit by REML

Data: mlgrcptd

	AIC	BIC	logLik
	2672.894	2733.018	-1324.447

Random effects:

Formula: ~ 1 | chp

(Intercept)

StdDev: 0.0017202

CLERO Marianne

Mémoire de CEAV « pathologies animales en régions chaudes et épidémiologie »

Annexes

### Variabilité inter et intra pièges:

Formula: ~ 1 | piege %in% chp  
(Intercept) Residual  
StdDev: 0.7538938 0.8109347

Correlation Structure: Exponential spatial correlation

Formula: ~ 1 | chp/piege

Parameter estimate(s):

range	nugget
2.407242	0.4446438

### Fixed effects: emlnstt ~ ensol + distbetc \* protvd

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	-0.5090680	0.1956755	1055	-2.601593	0.0094
ensol	-0.5849686	0.1953073	47	-2.995119	0.0044
distbetc	-0.1483756	0.0674101	1055	-2.201088	0.0279
protvd1	0.0178417	0.1086322	1055	0.164240	0.8696
protvd2	-0.0525628	0.0910456	1055	-0.577324	0.5638
distbetcprotvd1	0.1754737	0.0942558	1055	1.861676	0.0629
distbetcprotvd2	-0.2426000	0.0784964	1055	-3.090590	0.0020

Standardized Within-Group Residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-3.614173	-0.5780349	0.05689765	0.6375071	3.488562

### Number of Observations: 1115

Number of Groups:

chp	piege	%in%	chp
7	55		

### > Anova

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	1055	0.01393	0.9061
<b>ensol</b>	1	47	10.87624	<b>0.0019</b>
<b>distbetc</b>	1	1055	4.03278	<b>0.0449</b>
protvd	2	1055	0.04180	0.9591
<b>distbetc:protvd</b>	2	1055	5.17579	<b>0.0058</b>

**Moyennes ajustées : moyenne pour chaque niveau d'un facteur, indépendamment des autres facteurs**

```
> tapply(model.matrix(emlnstt ~ ensol + distbetc * protvd, mlgrcptd)[, c(1, 2)] %*%  
fixef(mlmodel3dnl)[c(1, 2)], mlgrcptd$  
ensol, mean)  
1 2  
-1.094037 0.0759006
```

```
> tapply(model.matrix(e mlnstt ~ ensol + distbetc * protvd, mlgrcptd)[, c(1, 3)] %*%
fixef(mlmodel3dn1)[c(1, 3)], mlgrcptd$
  distbetc, mean)
  0 1
-0.6574436 -0.3606924
```

```
> tapply(model.matrix(e mlnstt ~ ensol + distbetc * protvd, mlgrcptd)[, c(1, 4, 5)] %*%
fixef(mlmodel3dn1)[c(1, 4, 5)],
  mlgrcptd$protvd, mean)
  1 2 3
-0.4912263 -0.5616308 -0.4743469
```

```
> tapply(model.matrix(e mlnstt ~ ensol + distbetc * protvd, mlgrcptd)[, c(1, 3, 4, 5, 6, 7)]
%*% fixef(mlmodel3dn1)[c(1, 3, 4, 5, 6, 7)], list(mlgrcptd$distbetc, mlgrcptd$protvd), mean)
  1 2 3
0 -0.4641281 -0.9526064 -0.5555961
1 -0.5183244 -0.1706552 -0.3930976
```

COMPTAGES DE CALCITRANS MALE

```
> summary
Linear mixed-effects model fit by REML
Data: mlgrcptd1
      AIC   BIC   logLik
2508.149 2567.616 -1242.075
```

```
Random effects:
Formula: ~ 1 | chp
(Intercept)
StdDev: 0.003644586
```

```
Variabilité inter et intra pièges
Formula: ~ 1 | piege %in% chp
      (Intercept)  Residual
StdDev      0.7344327  0.7661305
```

```
Correlation Structure: Exponential spatial correlation
Formula: ~ 1 | chp/piege
Parameter estimate(s):
      Range      nugget
2.251308  0.5932611
```

**Fixed effects: emlnscm ~ ensol + distbetc \* protvd**

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	-0.4874947	0.1878336	996	-2.595355	0.0096
ensol	-0.5703672	0.1875087	47	-3.041817	0.0038
distbetc	-0.1177318	0.0693065	996	-1.698712	0.0897
protvd1	-0.0347193	0.1080060	996	-0.321457	0.7479
protvd2	-0.0019089	0.0918670	996	-0.020778	0.9834
distbetcprotvd1	0.1434562	0.0945744	996	1.516862	0.1296
distbetcprotvd2	-0.2043308	0.0800452	996	-2.552693	0.0108

Standardized Within-Group Residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-3.675661	-0.538014	0.04680104	0.6534675	2.681784

**Number of Observations: 1056**

Number of Groups:

chp piege %in% chp  
7 55

**> Anova**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	996	0.02452	0.8756
<b>ensol</b>	1	47	11.03605	<b>0.0017</b>
distbetc	1	996	1.90366	0.1680
protvd	2	996	0.24472	0.7830
<b>distbetc:protvd</b>	2	996	3.53520	<b>0.0295</b>

COMPTAGES DE CALCITRANS FEMELLE

> summary

Linear mixed-effects model fit by REML

Data: mlgrcptd2

AIC	BIC	logLik
2412.333	2471.8	-1194.166

Random effects:

Formula: ~ 1 | chp

(Intercept)

StdDev: 0.0001155176

**Variabilité inter et intra pièges:**

Formula: ~ 1 | piege %in% chp

(Intercept) Residual

StdDev: 0.5496117 0.7524145



Correlation Structure : Exponential spatial correlation

Formula: ~ 1 | chp/piege

Parameter estimate(s):

range	nugget
2.67044	0.5675689

**Fixed effects: emlnscf ~ ensol + distbetc \* protvd**

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	-0.3486658	0.1501862	996	-2.321557	0.0205
ensol	-0.3663944	0.1496228	47	-2.448788	0.0181
distbetc	-0.2456168	0.0642576	996	-3.822380	0.0001
protvd1	-0.0576676	0.1000310	996	-0.576497	0.5644
protvd2	0.0016999	0.0865970	996	0.019630	0.9843
distbetcprotvd1	0.1591644	0.0888297	996	1.791793	0.0735
distbetcprotvd2	-0.2754523	0.0760638	996	-3.621331	0.0003

Standardized Within-Group Residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-3.791158	-0.5875633	0.0511021	0.6083506	3.175979

**Number of Observations: 1056**

Number of Groups:

chp	piege	%in%	chp
7	55		

> Anova

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	996	0.08684	0.7683
<b>ensol</b>	1	47	8.97809	<b>0.0044</b>
<b>distbetc</b>	1	996	10.26215	<b>0.0014</b>
protvd	2	996	0.65225	0.5211
<b>distbetc:protvd</b>	2	996	7.85991	<b>0.0004</b>

COMPTAGES DE NIGER MALE

> summary

Linear mixed-effects model fit by REML

Data: mlgreptd3

AIC	BIC	logLik
2693.221	2752.688	-1334.61

Random effects:

Formula: ~ 1 | chp

(Intercept)

StdDev: 0.00002107463

### Variabilité inter et intra pièges:

Formula: ~ 1 | piege %in% chp  
(Intercept) Residual  
StdDev: 0.7017811 0.8823596

Correlation Structure: Exponential spatial correlation

Formula: ~ 1 | chp/piege

Parameter estimate(s):

range	nugget
3.047436	0.499753

### Fixed effects: emlnsnm ~ ensol + distbetc \* protvd

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	-0.3017376	0.1908293	996	-1.581191	0.1142
ensol	-0.3206322	0.1902843	47	-1.685016	0.0986
distbetc	-0.2730061	0.0745065	996	-3.664194	0.0003
protvd1	0.0365923	0.1160551	996	0.315301	0.7526
protvd2	-0.0572802	0.0991069	996	-0.577964	0.5634
distbetcprotvd1	0.0527838	0.1023525	996	0.515706	0.6062
distbetcprotvd2	-0.2213659	0.0865263	996	-2.558366	0.0107

Standardized Within-Group Residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-3.11465	-0.6268057	0.01704509	0.6059392	3.162535

### Number of Observations: 1056

Number of Groups:

chp	piege	%in%	chp
7	55		

### > Anova

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	996	0.050049	0.8230
ensol	1	47	3.933372	0.0532
<b>distbetc</b>	1	996	7.899430	<b>0.0050</b>
protvd	2	996	0.183789	0.8321
<b>distbetc:protvd</b>	2	996	6.034216	<b>0.0025</b>

### COMPTAGES DE NIGER FEMELLE

> summary(mlmodel3dn14)

Linear mixed-effects model fit by REML

Data: mlgrcptd4

AIC	BIC	logLik
2612.595	2672.062	-1294.298

Random effects:  
 Formula: ~ 1 | chp  
 (Intercept)  
 StdDev: 0.00003101076

**Variabilité inter et intra pièges:**  
 Formula: ~ 1 | piege %in% chp  
 (Intercept) Residual  
 StdDev: 0.6381105 0.8776973

Correlation Structure: Exponential spatial correlation  
 Formula: ~ 1 | chp/piege  
 Parameter estimate(s):  
 Range nugget  
 3.09529 0.4172419

**Fixed effects: emlnsnf ~ ensol + distbetc \* protvd**

	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	-0.3391797	0.1800824	996	-1.883470	0.0599
ensol	-0.4012846	0.1794695	47	-2.235948	0.0301
distbetc	-0.3076804	0.0711757	996	-4.322826	<.0001
protvd1	0.0166984	0.1106955	996	0.150850	0.8801
protvd2	0.0083154	0.0945033	996	0.087991	0.9299
distbetcprotvd1	0.1141844	0.0979722	996	1.165478	0.2441
distbetcprotvd2	-0.2280944	0.0825986	996	-2.761481	0.0059

Standardized Within-Group Residuals:  
 Min Q1 Med Q3 Max  
 -3.50388 -0.6006422 -0.01365581 0.6310073 2.457347

**Number of Observations: 1056**

Number of Groups:  
 chp piege %in% chp  
 7 55

**> Anova**

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	996	0.09436	0.7588
ensol	1	47	6.61898	<b>0.0133</b>
distbetc	1	996	16.59074	<b>0.0001</b>
protvd	2	996	0.93244	0.3939
distbetc:protvd	2	996	5.05107	<b>0.0066</b>



### MODELISATION N°3

> summary

Generalized least squares fit by REML

Model: mls ~ espece \* sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg

Data: cpt5mpiegedf

AIC	BIC	logLik
523.0711	586.8462	-242.5355

Variance function:

Structure: Different standard deviations per stratum

Formula: ~ 1 | chp

Parameter estimates:

98322011	98122338	98322015	98122275	98122064	98016076	98122278
1	1.216547	0.675237	0.6845376	0.2402844	0.3467907	0.6999359

Coefficients:

	Value	Std.Error	t-value	p-value
(Intercept)	2.021906	0.06974576	28.98967	<.0001
espece	0.363882	0.04023643	9.04361	<.0001
sexe	0.267739	0.03249251	8.24003	<.0001
altc1	0.182595	0.06146189	2.97087	0.0033
altc2	-0.253001	0.08480927	-2.98318	0.0032
altc3	-0.428752	0.07850059	-5.46177	<.0001
ensol	-0.532359	0.07067066	-7.53296	<.0001
natveg	-0.169615	0.03450144	-4.91618	<.0001
espece:sexe	0.169921	0.03249251	5.22954	<.0001
especealtc1	-0.432277	0.06129519	-7.05238	<.0001
especealtc2	-0.265276	0.08477353	-3.12923	0.0020
especealtc3	0.148619	0.07666214	1.93863	0.0539

Standardized residuals:

Min	Q1	Med	Q3	Max
-2.771977	-0.7860643	-0.001183332	0.6134767	2.302098

Residual standard error: 1.066693

Degrees of freedom: 224 total; 212 residual

> Anova

Denom. DF: 212

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	7064.208	<.0001
espece	1	280.038	<.0001
sexe	1	67.898	<.0001
altc	3	62.159	<.0001
ensol	1	79.886	<.0001
natveg	1	24.169	<.0001
espece:sexe	1	27.348	<.0001
altc:espece	3	58.158	<.0001

**Moyennes ajustées : moyenne pour chaque niveau d'un facteur, indépendamment des autres facteurs**

```
> tapply(model.matrix(mls ~ espece * sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg,
cpt5mpiegedf)[, c(1, 2)] %*% coef(mod2)[
  c(1, 2)], cpt5mpiegedf$espece, mean)
  1      2
2.385789  1.658024
```

```
> tapply(model.matrix(mls ~ espece * sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg,
cpt5mpiegedf)[, c(1, 3)] %*% coef(mod2)[
  c(1, 3)], cpt5mpiegedf$sexe, mean)
  1      2
2.289646  1.754167
```

```
> tapply(model.matrix(mls ~ espece * sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg,
cpt5mpiegedf)[, c(1, 4, 5, 6)] %*% coef(
  mod2)[c(1, 4, 5, 6)], cpt5mpiegedf$altc, mean)
  1      2      3      4
2.204501  1.768905  1.593154  2.521064
```

```
> tapply(model.matrix(mls ~ espece * sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg,
cpt5mpiegedf)[, c(1, 2, 3, 4, 5, 6,
9, 10, 11, 12)] %*% coef(mod2)[c(1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12)],
list(cpt5mpiegedf$espece, cpt5mpiegedf$
sexe, cpt5mpiegedf$altc), mean)
```

**altitude**

**en ligne: espece**

**en colonne: le sexe**

1

	1	2
1	2.573767	1.698447
2	2.370714	2.175078

2

	1	2
1	2.305173	1.429852
2	1.768117	1.572480

3

	1	2
1	2.543316	1.6679957
2	1.178471	0.9828343

4

	1	2
1	3.871541	2.99622
2	1.706067	1.51043

```
> tapply(model.matrix(mls ~ espece * sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg,
cpt5mpiegedf)[, c(1, 7)] %*% coef(mod2)[
c(1, 7)], cpt5mpiegedf$ensol, mean)
```

	1	2
1	1.489547	2.554265

```
> tapply(model.matrix(mls ~ espece * sexe + altc + altc:espece + ensol + natveg,
cpt5mpiegedf)[, c(1, 8)] %*% coef(mod2)[
c(1, 8)], cpt5mpiegedf$natveg, mean)
```

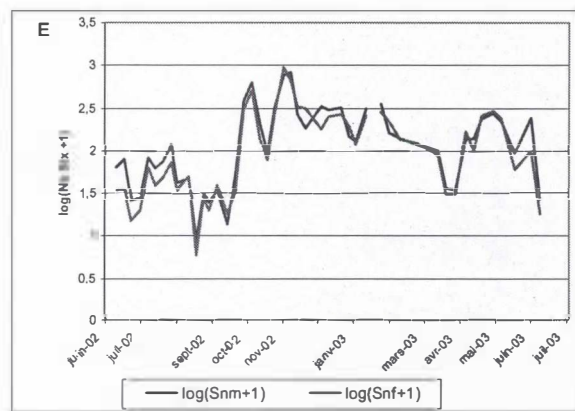
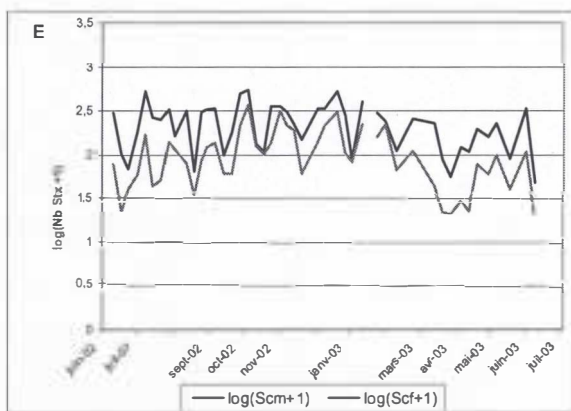
	1	2
1	1.852291	2.191522

## ANNEXE N°IV

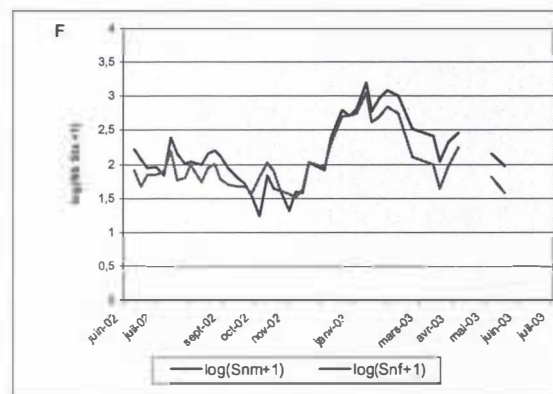
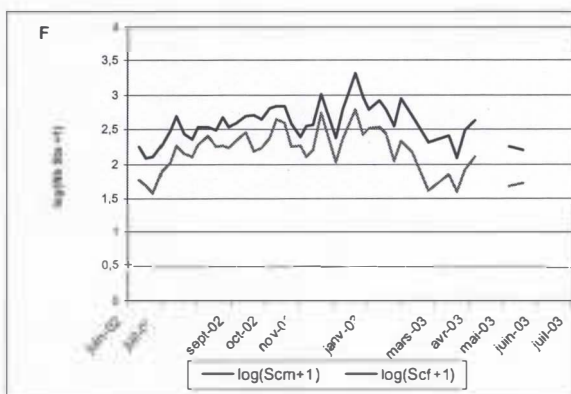
### EVOLUTION DES DENSITES DE STOMOXES CAPTURES DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

- Comparaison des captures de mâles et de femelles des deux espèces chez chaque éleveur

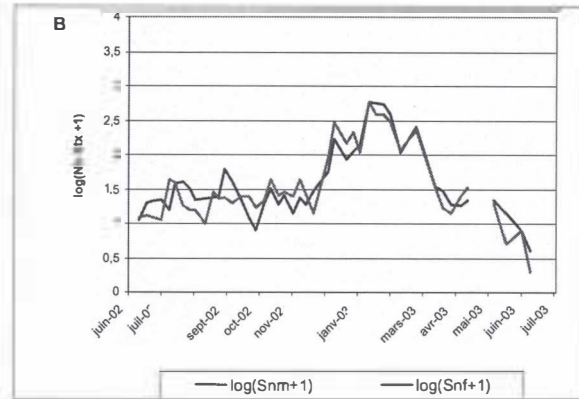
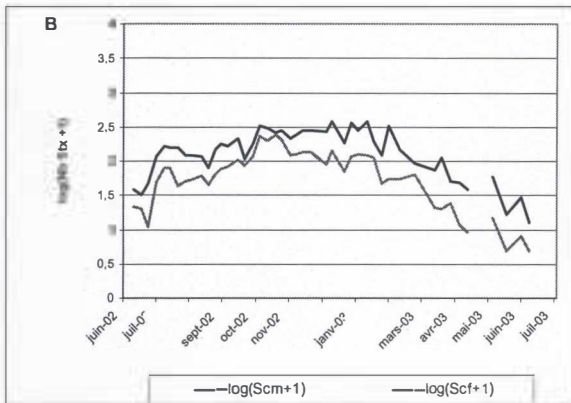
Altitude 1 : éleveur E.



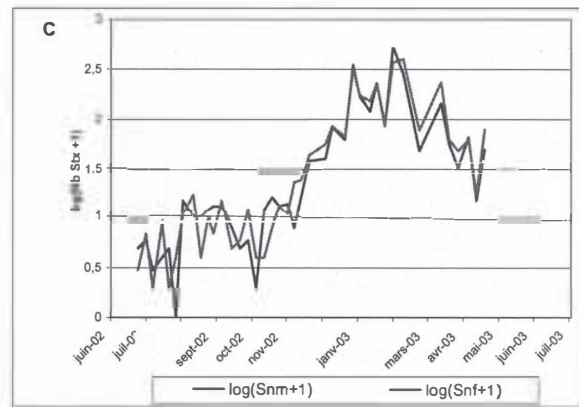
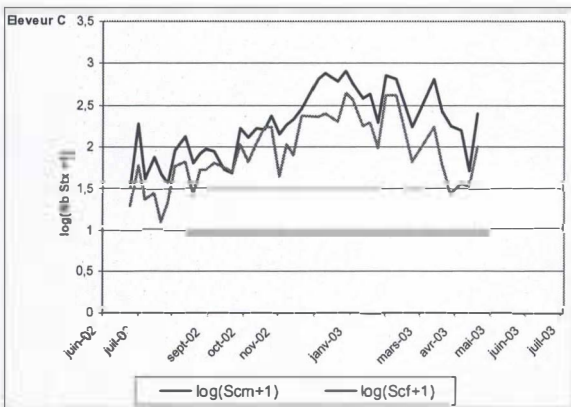
Altitude 2 : éleveur F



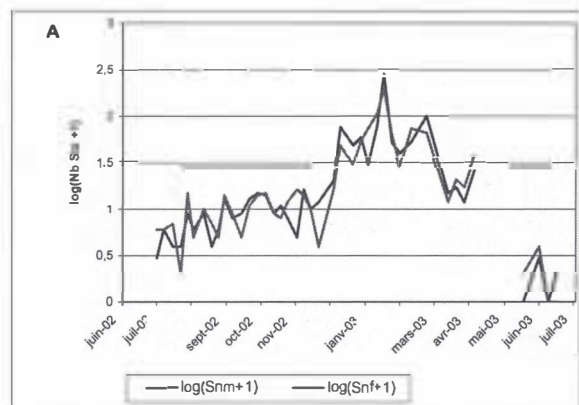
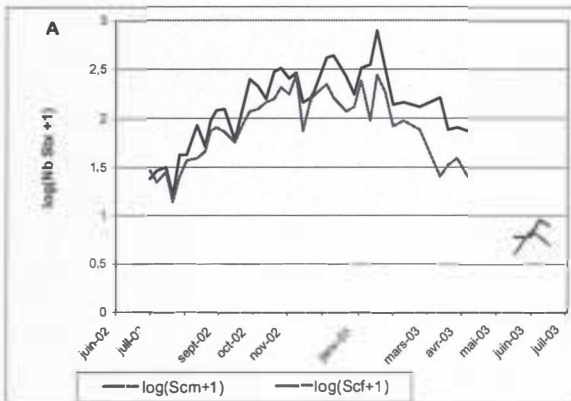
éleveur B



Altitude 3 : éleveur C

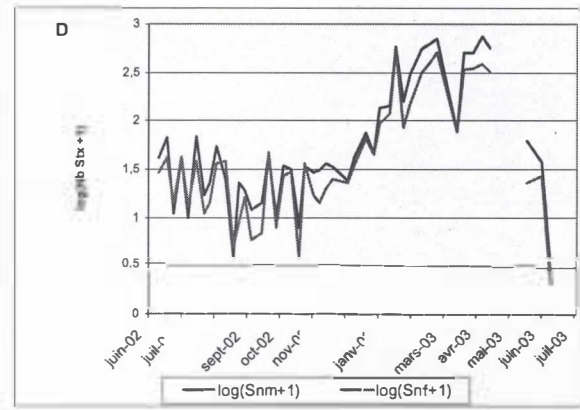
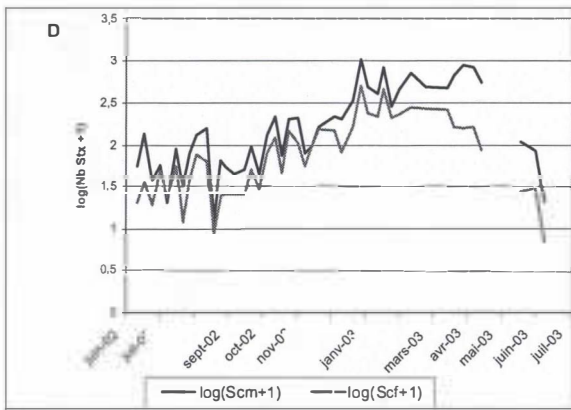


éleveur A





Altitude 4 : éleveur D



éleveur G

