Université d'Auvergne, IUT de Clermont-Ferrand,

Campus universitaire d'Aurillac, Département génie Biologique

Gestion de pièges à moustiques pour une évaluation de la nuisance et une estimation des paramètres environnementaux entourant les pièges



Rapport présenté par Corentin ROLLET, étudiant en deuxième année de DUT génie Biologie option génie de l'Environnement

Maître de stage : Madame Brigitte POULIN, docteur en écologie et directrice du département Ecosystème

Professeur référent : Monsieur Abdel BELKORCHIA, enseignant chercheur en microbiologie

Année 2016 - 2017

Remerciements

Mon stage a duré 2 mois et demi pourtant j'ai l'impression qu'il vient juste de commencer. La première raison pour laquelle il est passé si vite et que j'ai été extrêmement bien accueillit et l'ambiance de travail été juste top. C'est pourquoi je voudrais remercier toutes les personnes qui ont permis ce bon déroulement.

Tout d'abord, je remercie Jean Jalbert, directeur général de la Tour du Valat, pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein de la Tour du Valat.

Ensuite j'adresse un grand merci à Brigitte Poulin et Gëtan Lefebvre, qui m'ont pris en main et mon guider tout au long de mon stage. Votre aide m'a été précieuse et je continue d'apprendre à vos côté. Toujours de bonne humeur, vos anecdotes m'ont fait rire plus d'une fois !

Merci également à Sam, qui m'a aidé dans mon travail et qui continu de le faire. Son calme et sa patience remarquable n'ont d'égale que sa folie lors de son passage au labo.

Enfin je remercie toutes les personnes avec qui j'ai partagé mon quotidien, que ce soit au travail ou en dehors. Les moments passés avec vous n'ont été que fous rire et bonheur.

Je n'ai maintenant qu'une hâte, c'est de poursuivre ce service civique à la Tour du Valat, et continuer de m'épanouir à vos côtés.

Résumé

La Camargue est une région possédant un écosystème atypique qui l'a protégée pendant de nombreuses années d'une démoustication industrielle. Cependant, au vu d'une croissance toujours plus accrue de moustiques, la démoustication a été inévitable.

C'est ainsi qu'en 2006 une démoustication au Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis),* dont l'impact était suivi par la Tour du Valat, commença dans certaines zones de Camargue. Malheureusement, cette bactérie toxique envers les larves de Nématocères, s'est révélée également toxique pour les larves de Chironomes. Ces derniers étant à la base de la chaîne trophique, les conséquences sur la faune se sont faites ressentir à travers une diminution de la population de certaines espèces comme les hirondelles des fenêtres, les odonates ou encore les araignées.

C'est ainsi que la Tour du Valat a eu l'idée de mettre en place une barrière protectrice autour des zones habitées grâce à des pièges à moustiques Techno-Bam. L'année dernière, une étude a été menée sur cette nouvelle technique de démoustication. Elle a ainsi révélé une baisse de 82% de la nuisance, un impact quasiment nul sur la faune environnante et pour un prix moins important que pour une démoustication au Bti.

L'étude décrite dans ce rapport met en corrélation le taux de capture des pièges selon différents facteurs environnementaux. Elle a pour objet de déterminer l'influence de ces facteurs sur le pouvoir attractif des pièges.

Trois paramètres ont été retenus : l'influence du vent, de l'ensoleillement et du type d'environnement entourant les pièges. Des relevés ont donc été réalisés près des pièges sur une durée de deux mois et demie.

Ces résultats ont permis de mettre en évidence quatre facteurs ayant une influence sur les pièges :

- Les champs et pelouses
- Les barrières physiques
- Le vent du sud
- La lumière du jour

Les barrières physiques sont les seules parmi les quatre facteurs à avoir un effet négatif sur les pièges, alors que les autres améliorent le rendement des pièges.

Cependant, il reste d'autres facteurs qu'environnementaux pouvant également influencer l'attraction des pièges.

Abstract

Camargue region is an area located in the Rhone delta in Southern France. Its particular ecosystem has allowed a natural mosquito control for many years. However, due to the ever-increasing mosquito growth, the industrial mosquito control was inevitable. Thus, in 2006 a Bti (*Bacillus Thuringiensis Israelensis*) mosquito control began in some areas of Camargue, followed by Tour du Valat. Unfortunately, this bacterium, which is toxic to larvae of *Nematocera,* is also toxic to *Chironomid* larvae. These larvae, being at the base of the trophic chain, had consequences on the fauna with a decrease of the population of certain species like the swallows of the windows, the dragonflies or the spiders.

This is the reason why Tour du Valat decided to set up a protective barrier around inhabited areas, using *Techno-Bam®* mosquito's traps. In 2016 a study was carried out with this new technique of mosquito control. It revealed the 82% of decrease in nuisance, virtually no impact on the surrounding fauna and economical benefits with a lower price compared to a Bti mosquito control.

The study described in this report correlates the catch rate of traps with different environmental factors in order to determine their influence on the attractive power of traps. Three factors have been selected: The influence of wind, of sunshine and the type of environment surrounding the traps. Surveys were carried out near the traps over a period of two years and a half. As a result, four factors influence the traps:

- Fields and lawns
- Physical barriers
- South wind
- Day light

Physical barriers was the only factors having a negative effect on the traps, the others have improved the performance of the traps.

However, there are other non-environmental factors that may also influence traps's attraction.

Sommaire

Introduction 7

1. La démoustication en Camargue 10

1.1. La démoustication à l'aide de Bacillus thuringiensis israelensis .. 10

1.2. La démoustication à l'aide de bornes anti-moustiques 11

2. Les différents facteurs influençant le taux de capture des pièges 13

2.1 Le vent 14

2.2 L'ensoleillement 15

2.3 L'environnement entourant les pièges 16

3. Résultats et discussion 17

3.1 Résultats 17

a) Expérience 1 liée au vent 17

b) Expérience 2 liée à l'ensoleillement 18

c) Expérience 3 liée à l'environnement 18

3.2 Discussion 14

Conclusion 16

Bibliographie

Table des figures et tableaux

Annexes

Introduction

L'histoire du domaine de la Tour du Valat commence deux ans après la seconde guerre mondiale, suite à son acquisition par Luc Hoffman, docteur en biologie. Ce passionné d'ornithologie tombe amoureux de la Camargue, région aux multiples paysages, dotée d'un patrimoine écologique exceptionnel. Il achète ce magnifique domaine de 1250 hectares en 1947 dans le but d'observer les nombreux oiseaux d'eau s'y trouvant. Au fil des années Luc Hoffman comprend l'importance de préserver ces territoires possédant de riches écosystèmes et crée en 1954 le centre de recherche de la Tour du Valat. A ses débuts, la fondation se concentre sur l'observation des oiseaux d'eau et la conservation des zones humides. Puis ses domaines d'activités se sont diversifiés en de nombreux secteurs comme l'hydrologie, la géomatique ou encore la biologie végétale. La Tour du Valat a ainsi joué un rôle prépondérant dans le maintien des zones humides en lançant en 1962 une première initiative internationale pour la conservation des zones humides, qui a abouti à la convention de Ramsar, neuf ans après, et en participant en 1991 à l'initiative MedWet sur la gestion des zones humides. Elle abrite aujourd'hui de nombreux chercheurs et scientifiques et se trouve être le centre d'importants programmes de recherche visant à protéger et conserver les zones humides méditerranéennes. A l'heure actuelle, la Tour du Valat se penche davantage sur les aspects socio-économiques afin de concilier les activités humaines, comme la riziculture et les productions de sel, et la préservation de la biodiversité des zones humides, gérées par la Réserve Naturelle Nationale de Camargue, le Parc Naturel Régional de Camargue et la Tour du Valat.

Le domaine de la Tour du Valat représente une surface de 2700 hectares dont 1844 sont classés en réserve naturelle régionale. Il possède une grande diversité d'habitats naturels comportant les marais, les sansouires, les montilles, les boisements et autres paysages flaviolacustres. Soixante-dix salariés travaillent à la Tour du Valat, le poste de directeur général étant actuellement occupé par Jean Jalbert. Les employés sont répartis dans différents domaines d'activités :

- La direction
- La communication
- L'équipe de gestion du domaine
- L'équipe de gestion administrative
- L'équipe du programme de recherche

Cette dernière équipe représente le groupe salarial le plus nombreux de la Tour et est divisée en trois départements. Le département « Conservation des espèces et de leur population dans le contexte de changements globaux » dirigé par A.Béchet, le département « Suivi-évaluation et politiques des zones humides » dirigé par P.Grillas et le département « Conservation des écosystèmes » dirigé par B.Poulin, département auquel je suis rattaché.

La Camargue possède une position géographique particulière au bord de la Méditerranée alimentée par le delta du Rhône, ce qui en fait une région avec de nombreux points d'eau dotés d'une végétation exceptionnelle, réunissant les conditions propices à une forte concentration de moustiques. Afin de pallier au problème posé par ces derniers, tout en respectant l'environnement, des pièges à moustiques (pièges techno-BAM) ont été mis en place il y a deux ans. Seize pièges ont été installés au Sambuc, village se trouvant à proximité de la Tour du Valat, afin d'avoir un accès simple et rapide aux pièges. De plus, ce village est suffisamment petit pour que les pièges aient un impact sur quasiment toute sa superficie. Ces bornes anti-moustiques ont été posées à la fois en vue d'une réduction de la nuisance mais aussi dans un but scientifique, afin d'évaluer si elles offrent une efficacité comparable à la démoustication au Bti (insecticide utilisant une bactérie appelée Bacillus thuringiensis). Après deux années test offrant des résultats prometteurs, il s'est avéré pertinent d'optimiser la performance des pièges en répondant à la question suivante: Quels sont les paramètres environnementaux influençant le taux de capture des pièges à moustiques ?

Après une explication des différentes méthodes de démoustication utilisées en Camargue, trois paramètres jouant un rôle sur l'attraction des pièges seront mesurés : le pourcentage d'ensoleillement à la surface des pièges, le type de végétation entourant les bornes, et enfin, l'exposition des pièges au vent. En relevant les données de ces différents paramètres et en les mettant en corrélation avec le nombre de moustiques présents dans les pièges, une conclusion pourra être tirée de ces résultats quant aux conditions idéales pour un taux de capture optimale.

1. La démoustication en Camargue

1.1. La démoustication à l'aide de Bacillus thuringiensis israelensis

La Camargue est une région formée par le delta du Rhône, se situant au bord de la mer Méditerranée (figure 1). L'eau douce apportée par le Rhône et l'eau salée de la Méditerranée ont permis l'apparition de deux zones distinctes : un territoire fluvio-lacustre riche en eau douce au nord de la Camargue, favorisant le développement de la riziculture, et une Camargue laguno-marine au sud, façonnée par l'entrée incessante de la mer dans les terres. Seuls les marais et les étangs permettent de relier ces deux zones. Cette pluralité de paysages permet à la Camargue de posséder une biodiversité exceptionnelle avec plus de 5700 espèces différentes dont 317 espèces d'oiseaux, 1600 espèces d'invertébrés, 23 espèces de plantes protégées et 30 espèces inscrites sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature.

En 1963, le tourisme se développe dans le Languedoc-Roussillon suite à la création de la Mission Interministérielle pour l'Aménagement Touristique. Suite à une forte augmentation de touristes, la région se voit obligée de mettre en place un programme de démoustication, afin de garder cette avancée socio-économique. Cependant, la Camargue n'est pas retenue pour ce projet, au vue de sa richesse écologique unique. Au départ la démoustication s'est faite à partir d'un agent organophosphoré, mais ce dernier n'ayant pas une toxicité sélective et affectant la faune environnante, notamment les oiseaux, il a été remplacé par le Bti (*Bacillus thuringiensis israelensis*) suite à sa découverte en 1976 (*bti effects JAE*). Cette bactérie vivant naturellement dans nos sols, produit une protéine cristallisée durant sa sporulation, très toxique pour les larves de moustiques. Lors de son ingestion par ces dernières, les cristaux se transforment en molécules protéiques toxiques et détruisent les parois de l'estomac. Le Bti n'a pas d'effets sur les autres animaux et sa toxine est rapidement dégradée dans l'environnement par l'activité des micro-organismes et les rayons du soleil (*bti effects JAE*).

En 2005, suite à une concentration de moustiques exceptionnelle, une démoustication au Bti se met en place en même temps qu'un suivi scientifique mesurant son impact (figure 2). Cependant, par manque de financement, cette démoustication ne se fait que dans certaines villes de Camargue. De plus le suivi scientifique pris en charge par la Tour du Valat a démontré que le Bti a un impact sur l'écosystème. En effet, sa toxicité touche aussi les larves de chironomes, organismes à la base du réseau trophique (*ACTOEC2782*). Cela a pour conséquence une réduction importante de la population d'hirondelles des fenêtres, des odonates et des araignées (*ACTOEC2782*). Le Bti ne pouvant plus être utilisé, une méthode alternative doit être trouvée afin de concilier la biodiversité et le confort des habitants.

1.2. La démoustication à l'aide de bornes anti-moustiques

Pour répondre à ce nouveau problème, la Tour du Valat a eu l'idée de mettre en place un système de démoustication à base de pièges à moustiques, afin de créer une barrière protectrice autour des habitations. Elle utilise pour cela des pièges Bam (Bornes Anti-Moustiques) développés par deux ingénieurs Arlésiens, ayant l'avantage d'être utilisés par les collectivités locales et territoriales et pouvant ainsi se répandre dans toute la ville (figure 3).

Dans un souci de respect de l'environnement et de réduction de la nuisance, les pièges n'utilisent pas de produits toxiques. Ils se servent de l'attraction provoquée par la combinaison de CO2 et d'un olfactif pour capturer les moustiques. Le CO2 contenu dans une bouteille à l'intérieur du piège est émis de façon à imiter au mieux la respiration humaine. Il est associé à un attractif comme l'octénol ou l'acide lactique, afin de rappeler la sueur humaine, et simuler ainsi la présence de l'homme. Les moustiques attirés sont ensuite aspirés à travers la bouche d'aération par l'intermédiaire d'un ventilateur et sont capturés dans des filets prévus à cet effet (annexe 1). Le pouvoir attractif des pièges est estimé à environ 60 mètres, soit le rayon de détection du CO2 par les moustiques.

Les pièges ont également l'avantage de n'attirer que les moustiques femelles. En effet, après l'accouplement, les femelles ont besoin de sang afin de faire arriver leurs œufs à maturation. Elles vont donc capter le CO2 que nous dégageons grâce à leurs antennes et se diriger naturellement vers la source qui en émet le plus. Une fois arrivées à proximité de la source, elles vont se repérer en détectant d'autres éléments comme notre odeur corporelle, d'où la présence d'olfactif dans les pièges, et en détectant toute source de chaleur. Les moustiques sont donc capables de détecter les rayonnements infrarouges, et ainsi se repérer dans leur environnement en identifiant de nouveaux facteurs attractifs. C'est pour cette raison que les pièges sont noirs, cette couleur permettant d'absorber et de stocker le plus de chaleur. Le fait de ne capturer que les femelles et de ne pas détruire les larves de moustiques permet de minimaliser l'impact sur la chaine trophique qu'aurait une démoustication traditionnelle au Bti, et de préserver la faune environnante. Cependant les moustiques mâles, attirés par les moustiques femelles grâce à leurs sensilles, peuvent se retrouver piégés en voulant féconder les femelles se trouvant à proximité des pièges.

Un suivi a également été mis en place sur cette nouvelle méthode de démoustication. Il avait pour intérêt de savoir si cette démoustication était aussi efficace qu'une démoustication traditionnelle au Bti, et si elle pouvait être utilisée à long terme. Une étude de son impact sur les populations d'hirondelles des fenêtres nichant à proximité a alors été menée. Enfin, les moustiques capturés par les pièges été comptés et identifiés afin de mesurer la diminution de la nuisance. Les résultats plutôt concluants n'ont pas montré d'impact sur la faune se trouvant à proximité et ont permis une réduction de 70% de la nuisance due aux moustiques (*Mosquito Traps: An Innovative, Environmentally Friendly Technique to Control Mosquitoes*).

2. Les différents facteurs influençant le taux de capture des pièges

Suite aux taux de capture très variables selon les pièges en 2016, il fut décidé d'étudier l'impact des facteurs de l'environnement immédiat des pièges pouvant influencer leur performance : exposition au vent, ensoleillement, proximité de la végétation et présence de structures faisant écran.

Le site d'étude se situe au Sambuc (figure 7), village de 560 habitants, se trouvant à environ 25 Km au sud d'Arles et appartenant à la commune d'Arles. Ce site a été choisi pour plusieurs raisons. Tout d'abord, sa proximité avec la Tour du Valat (5 Km) permet un accès simple et rapide aux pièges. Ensuite, le village est entouré de zones humides telles que les marais du Verdier, ainsi que de nombreuses rizières. Autant de points d'eau permettant l'apparition de moustiques. En effet ces derniers ont l'habitude de pondre sur des zones potentiellement inondables ou à même l'eau stagnante puisque des œufs vont sortir des larves, avec comme la particularité d'être aquatiques. Enfin, il se situe dans le Parc Naturel Régional de Camargue, premier organisme apportant son soutien au projet.

Actuellement, 16 pièges se trouvent au Sambuc selon une disposition en étoile, sa configuration ne permettant pas l'élaboration d'une barrière de protection anti-moustiques (figure 8). Ils ont été mis en route le 23 avril 2017.

Les filets présents dans les pièges sont collectés trois fois par semaine et mis au congélateur afin de tuer leur contenu qui sera pesé avec une balance à 0.0001 g de précision. Les insectes non-cibles sont enlevés des échantillons. Le nombre de moustiques capturés est ensuite extrapolé à partir de l'examen détaillé des échantillons de deux pièges, une fois par semaine avec détermination des insectes non-cibles à l'ordre et des moustiques à l'espèce, sous loupe binoculaire. Ces données permettent de quantifier l'abondance des moustiques au cours de la saison et

d'estimer si les pièges sont plus efficaces envers certaines espèces de moustiques selon les olfactifs utilisés et leur position.

Un test du mollet est également réalisé à proximité de trois pièges au Sambuc (figure 9) ainsi qu'à Salin de Giraud, au Grand Mas d'Avignon et aux marais du Verdier, deux sites se trouvant respectivement à 800 mètres avant et 1 km après le Sambuc. Ce test est réalisé au moins une fois par semaine lorsque les conditions météorologiques le permettent. Le principe de ce test est de laisser son mollet à découvert afin que les moustiques puissent venir s'y déposer. Une fois le moustique repéré il est attrapé à l'aide d'un aspirateur à bouche (figure 10). Le test dure 10 minutes sur chaque zone et les moustiques capturés sont ensuite comptés et identifiés. La comparaison du nombre de tentatives de piqûres dans la zone avec pièges (Sambuc) et hors pièges (témoins) permet d'obtenir un taux de réduction de la nuisance relatif à l'efficacité des pièges.

2.1 Le vent

Le vent est abondant en Camargue puisqu'il souffle en moyenne 300 jours par an. Il est cependant moins présent en petite Camargue que sur la partie est, correspondant à la grande Camargue. Il existe deux vents dominants en Camargue (figure 11) :

- Le mistral, vent sec soufflant du Nord-Ouest
- Le vent marin, plus humide qui apporte bien souvent la pluie et souffle du Sud-Est

D'autres types de vent peuvent être repérés mais ils n'ont pas été pris en compte lors de cette étude du fait de leur rareté.

La présence de ces deux vents est capable d'influencer l'activité des moustiques. En effet, ces derniers se déplacent en volant sur une distance fluctuant entre quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres selon l'espèce. Cependant, leur petite taille et leur légèreté les obligent à se déplacer selon le vent. Un vent avec

une faible force permet aux moustiques de parcourir de grandes distances, alors que de grandes bourrasques les obligent à se poser au risque de se faire déporter sur de grandes distances.

Le vent va également être responsable de la direction du CO2. Un vent du nord ne permet au CO2 de se diffuser qu'au sud et inversement pour un vent marin, qui ne permet une diffusion qu'au nord. Cela va donc réduire considérablement la force d'attraction des pièges.

L'exposition des pièges au vent en fonction de sa direction, définie comme étant la direction à partir de laquelle le vent souffle, a donc été mesurée. La valeur moyenne de sa vitesse a été observée pour chaque direction sur chacun des pièges, grâce à un anémomètre (figure 12) pendant une période de 10 minutes sous des conditions de mistral (1 fois, force moyenne de 5.53 km/h) et de vent sud-est (1 fois, force moyenne de 2.54 km/h).

2.2 L'ensoleillement

Avec une moyenne de 200 jours par an où le soleil domine du matin au soir par un ciel clair ou peu nuageux, la Camargue est une des régions les plus ensoleillées de France. C'est pourquoi l'ensoleillement a semblé être un facteur important à prendre en compte pour cette étude.

A l'aide d'un luxmètre (figure 13), le pourcentage de la surface du piège exposé au soleil a été mesuré pour chaque heure de la journée entre 7h et 20h. Une mesure de surface éclairée la nuit a également été réalisée, afin d'évaluer notamment l'effet de la proximité des lampadaires sur les taux de captures des moustiques, la lune n'étant pas une source lumineuse assez puissante pour avoir une influence sur les pièges.

2.3 L'environnement entourant les pièges

Enfin, le type d'environnement se trouvant autour des pièges a été quantifié. En effet, le taux d'attraction des pièges ne sera pas le même s'il est entouré de végétation ou s'il se trouve sous un lampadaire au bord d'une route goudronnée. L'entourage des pièges a donc été partagé en deux parties : la couverture en végétation et le substrat.

La couverture végétale a également été divisée en deux parties :

- Les champs et pelouses
- Les haies

Les champs et pelouses formant un tapis herbacé, ils peuvent ainsi servir de support pour les moustiques qui, lors de grands vents ou lorsqu'ils sont fatigués, peuvent s'y accrocher. Les haies servent de barrière, empêchant le CO2 de passer et limite le champ d'action des olfactifs. Cependant, elles servent aussi de refuge pour les moustiques.

Les substrats se scindent eux aussi en deux parties :

- Le goudron
- Les graviers

L'environnement entourant les pièges a été relevé dans un rayon de 5 m, 10 m et 20 m à l'aide d'un décamètre. La proximité d'eau ou la présence d'arbres jouant le rôle de couverture aérienne ont également été notées. Enfin, la proximité d'habitations ou de parois faisant office d'obstacles pour le passage des moustiques a également été prise en compte.

3. Résultats et discussion

L'influence des différents facteurs environnementaux a été estimée à l'aide de Modèles de Régression Généralisés (GRM), en comparaison avec les taux de capture des pièges observés d'avril à octobre 2016.

3.1 Résultats

Pour l'analyse, ne sera retenue que l'échelle spatiale la plus significative (annexe 2).

a) Expérience 1 liée au vent

Les résultats du test lié au vent montrent un fort contraste entre le vent du Sud et le vent du Nord. Pour un vent du Nord nous obtenons des effets allant plutôt à l'encontre d'une bonne attractivité des pièges (figure 14). Malheureusement, il s'agit souvent du vent primaire en Camargue, pouvant atteindre des vitesses relativement élevées (vitesse maximum mesurée de 11.7 km/h). Dans ces conditions, les pièges sont inutilisables puisque le dégagement de CO2 et l'émission de l'attractif se font au gré du vent. Les résultats ont montré un taux de capture faible lors des jours de mistral avec une moyenne de 4928 moustiques piégés. Cependant, ces conditions climatiques rendent le déplacement des moustiques difficile et par conséquent diminue la nuisance.

En revanche, un vent du Sud, souvent moins fort, améliore le taux de capture des pièges. Plus le vent du Sud est fort et plus on retrouve de moustiques dans les pièges (figure 15).

b) *Expérience 2 liée à l'ensoleillement*

Concernant la luminosité, on obtient encore une fois deux graphiques très différents selon si elle a été mesurée le jour ou la nuit. On remarque une nette augmentation du taux de capture lors d'une importante luminosité tandis qu'un piège faiblement éclairé a un taux de capture plus faible (figure 16), les pics de luminosité se trouvant entre 13h et 17h.

La nuit, la luminosité étant quasiment nulle, elle n'a pas un impact suffisamment fort pour jouer un rôle dans le taux de capture des pièges (figure 17). Cependant, on observe un taux de capture légèrement supérieur pour les pièges se trouvant sous les éclairages publics.

c) *Expérience 3 liée à l'environnement*

L'environnement entourant les pièges a donc été fractionné en plusieurs catégories. Les champs et pelouses représentant la couverture végétale au sol, regroupent les espaces agricoles comme les rizières, les pâturages et les jardins des particuliers. Les espaces goudronnés ou terreux, nommés substrats, représentent un sol neutre, sans végétation. Les arbres servent de couverture aérienne et apportent de l'ombre à la surface des pièges. Les haies jouant le rôle de barrières végétales, représentent un obstacle pour les moustiques qui ne peuvent la franchir, ainsi que pour le CO2 et les olfactifs qui ne peuvent pas passer à travers et être transmis de l'autre côté. Les moustiques sont alors séparés entre ceux se trouvant dans la zone ouverte près du piège et ceux étant de l'autre côté de la haie, non affectés par le pouvoir attractif du piège.

Cependant, au vu des résultats, il semblerait que les haies permettent aux moustiques de se poser, ce qui représenterait un impact plus fort que la rupture occasionnée, dans le pouvoir attractif des pièges. Les haies empêchent donc certains moustiques de se rendre jusqu'au piège mais offrent un abri permanent qui leur permet de rester à

proximité du dit piège. Ayant un rôle similaire à celui des haies, les barrières physiques, comportant les murs et les maisons, représentent une 4è fraction. Cette fois-ci, leur présence n'a qu'une seule fonction, celle de barrière physique puisque ni les moustiques ni le CO2 et les olfactifs ne peuvent la traverser. Et contrairement aux haies, les moustiques ne s'y installent pas. Enfin, l'eau constitue la dernière fraction. Elle comporte les eaux stagnantes (mares et étangs), et les endroits pouvant faire office de mares temporaires. Toutes ces catégories ont été analysées sur 5 mètres, 10 mètres et 20 mètres (annexe 2).

On observe 3 types d'environnements ayant un effet négatif sur les taux de capture des pièges :

Les substrats (goudrons, cailloux, terre) qui ne présentent aucun végétal, ni abri sur lesquels les moustiques pourraient venir se déposer. Cependant leur impact n'est pas très important parmi les différents facteurs environnementaux.

Les couvertures aériennes, qui ont également une conséquence négative sur les pièges en étant une source d'ombre pour les pièges.

Enfin les barrières physiques, qui ont un fort impact sur l'effet attractif des pièges, ainsi que sur le passage des moustiques jusqu'à ces derniers.

Les 2 autres types d'environnements améliorent le rendement des pièges. Comme dit précédemment, les haies représentent une source régulière d'approvisionnement pour les pièges puisqu'elles forment un abri pour les moustiques. Les champs et pelouses permettent également aux moustiques de se poser. De plus les animaux qui peuvent s'y trouver (sauvages ou domestiqués), attirent les moustiques près des pièges, ce qui augmente donc le nombre de moustiques capturés.

Enfin, la présence d'eau ne semble pas avoir une influence sur le taux de capture des pièges puisque le nombre de moustiques capturés fluctue entre 100 et 140 en présence ou en absence d'eau. De plus, les incertitudes trop élevées ne permettent pas une comparaison approfondie du taux de capture dans les zones en présence d'eau et les zones en absence d'eau (figure 18).

Au vu des résultats, 4 facteurs semblent avoir un impact majeur sur le taux d'attraction des pièges :

- Les barrières physiques
- Les champs et pelouses
- La lumière du jour
- Le vent du sud

Ces 4 éléments représentent à eux seuls 63% des phénomènes environnementaux ayant une influence sur le taux de capture des pièges (figure 20).

3.2 Discussion

Les barrières physiques et la lumière du jour sont les deux facteurs les plus importants. Le premier a un effet négatif sur le pouvoir attractif, en compartimentant les pièges. Le second en revanche, améliore le taux de capture, au même titre que le vent du sud et les champs et pelouses, en chauffant les pièges et permettant ainsi aux moustiques de les repérer plus facilement lorsqu'ils sont à proximité en émettant plus d'infrarouges.

Comme on peut le voir sur le tableau, les barrières physiques et la lumière du jour ont un pourcentage d'influence similaire. On peut supposer que les deux facteurs peuvent se neutraliser s'ils sont en présence l'un de l'autre. Si un piège est à proximité d'un mur mais qu'il est bien éclairé, le mur a un impact négatif qui serait compensé par l'impact positif de la lumière (tableau 2).

On peut également distinguer une corrélation entre les barrières physiques et les 3 autres facteurs, selon s'ils sont absents ou pas. Une barrière physique de type mur, apporte de l'ombre au piège à certains moments de la journée en empêchant les rayons du soleil d'arriver jusqu'au piège. Il sépare également le piège des pelouses et /ou champs se trouvant à proximité en étant un obstacle pour la diffusion de CO2 et des olfactifs, et en bloquant l'accès des moustiques au piège qui ne peuvent franchir cet obstacle. Leur vol étant plutôt rasant, les moustiques s'aventurent rarement à des

hauteurs dépassant 3 mètres. Enfin il arrête le vent du sud, privant ainsi les pièges d'un apport en moustiques.

Un piège aurait donc un taux de capture optimal si les trois facteurs positifs sont réunis et s'il est en absence de barrières physiques.

Conclusion

Plusieurs conclusions sont à tirer de cette étude :

- Les facteurs environnementaux omniprésents en Camargue ont une influence sur les pièges. Il s'agit du vent, de l'ensoleillement et des aménagements entourant les pièges.
- 3 facteurs principalement permettent une bonne attraction des moustiques par les pièges : le vent du sud, la lumière du jour et les champs et pelouses.
- Les éléments principaux responsables d'une diminution du taux de capture par les pièges sont les barrières physiques.

Cependant une étude plus approfondie permettrait de cibler davantage les conditions de capture optimales des pièges. Tout d'abord, en prenant d'autres types de facteurs environnementaux, comme l'influence de la faune vivant aux alentours qui pourrait se nourrir de moustiques ou au contraire être une source d'apport de moustiques. Il serait également intéressant de savoir si une espèce de plante peut attirer ou repousser les moustiques, et si ces plantes sont présentes près des pièges.

De plus, cette expérience a été réalisée en englobant tous les types de moustiques, connaître quels facteurs sont plus efficaces ou peu sur un type de moustiques précis pourrait être un avantage pour une démoustication ciblée.

Enfin, une barrière protectrice comportant davantage de pièges permettrait d'une part de réduire encore plus la nuisance et d'une autre part d'améliorer les résultats en ayant accès à des valeurs plus nombreuses.

Cette étude a été très enrichissante aussi bien sur le plan personnel que professionnel. Elle m'a permis de développer mes connaissances et d'approfondir mes compétences tout en travaillant aux côtés de professionnels à l'écoute et disponibles. Le travail d'équipe a été essentiel à la bonne réalisation du projet, le partage des expériences m'a beaucoup apporté.

De même, l'environnement particulier dans lequel j'ai vécu, sur place, au cœur même de la Camargue, m'a conforté dans mon choix professionnel, à savoir poursuivre mes études dans le domaine de la gestion et de la protection de l'environnement, notamment à travers l'analyse et l'inventaire de la biodiversité.

Bibliographie

S. C. Gouvernement du Canada, “ARCHIVÉE - Fiche technique sur le Bti - Bacillus thuringiensis variété israelensis [Santé Canada, 2011],” 13-Jan-2009. [Online]. Available: http://www.hc-sc.gc.ca/cps-spc/pubs/pest/_fact-fiche/bti/index-fra.php.

“EID Mediterranee.” [Online]. Available: http://www.eid-med.org/.

“Historique de la démoustication sur le littoral méditerranéen | Tour du Valat.” [Online]. Available: http://www.tourduvalat.org/fr/documentation/dossiers_thematiques/historique_de_la_demoustication_sur_le_littoral_mediterraneen.

“Qista - solution anti-moustique.” [Online]. Available: https://qista.eu/fr/.

« Techno-Bam: Une Innovation au service des zones humides pour concilier gestion des moustiques et biodiversité | Tour du Valat ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.tourduvalat.org/fr/actualites/projets/techno_bam_une_innovation_au_service_des_zones_humides_pour_concilier_gestion_des.

« Vous attirez les moustiques ? Voici pourquoi ! - Le Point ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.lepoint.fr/sante/vous-attirez-les-moustiques-voici-pourquoi-23-08-2016-2063246_40.php.

« Camargue ». [En ligne]. Disponible sur: http://www.bouvine.info/Camargue,4671.

« An Unstructured Numerical Model to Study Wind-Driven - Article olivier_wind driven numerical model.pdf ».

« EID Atlantique, service public, démoustication, lutte contre les moustiques, veille sanitaire, lutte anti-vectorielle, moustique, expertise, moustique tigre, albopictus, chikungunya, dengue, West Nile, établissement public, bti, littoral atlantique ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.eidatlantique.eu/page.php?P=118.

« [Ochlerotatus (Ochlerotatus) caspius] Moustique - Le Monde des insectes ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.insecte.org/forum/viewtopic.php?t=129259.

« Windguru ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.windguru.cz/.

« La sansouïre flore de camargue | Le Petit Camarguais ». [En ligne]. Disponible sur: https://www.lepetitcamarguais.fr/la-sansouire-flore-de-camargue/.

“ACTOEC2782 (1).pdf.”.

“Indirect effects of mosquito control using Bti on dragonflies and damselflies (Odonata) in the Camargue - Bti impacts on Odonata - ICD2016.pdf.”.

“Perturbation and delayed recovery of the reed invertebrate assemblage in Camargue marshes sprayed with *Bacillus thuringiensis israelensis* - Reed invertebrates.pdf.”.

“Untitled - bti effects JAE 2010.pdf.”.

“Mosquito Traps: An Innovative, Environmentally Friendly Technique to Control Mosquitoes - ijerph-14-00313.pdf.”.

Table des figures et Tableaux

Table des figures

Numéro	Titre	Source
Figure 1	carte de la petite et grande Camargue	LocationGrauduRoi.fr
Figure 2	carte de la démoustication au Bti en Camargue	TourduValat.org
Figure 3	Photo d'une borne anti-moustique	Qista.eu
Figure 4	photo de l'intérieur d'un piège Techno-Bam	Qista.eu
Figure 5	photo d'un leurre à moustiques	Qista.eu
Figure 6	photo d'un filet à moustiques	Qista.eu
Figure 7	carte de la position géographique du Sambuc	Google map
Figure 8	photo satellite de la position des pièges au Sambuc	TourduValat.org
Figure 9	photo satellite de la position des leurres et du test du mollet au Sambuc	Corentin Rollet
Figure 10	photo d'un aspirateur à bouche	Artdoctor.fr
Figure 11	rose des vent de la vitesse moyenne et la direction des vents en Camargue	Wind driven numerical model.pdf
Figure 12	photo de la mesure du vent à l'aide d'un anémomètre	Corentin Rollet
Figure 13	photo d'un luxmètre	ManoMano.fr
Figure 14	graphique du nombre de capturés en fonction du vent du nord	Corentin Rollet
Figure 15	graphique du nombre de moustiques capturés en fonction du vent du sud	Corentin Rollet
Figure 16	graphique représentant le nombre de moustiques capturés en fonction de la lumière du jour	Corentin Rollet
Figure 17	graphique représentant le nombre de moustiques capturés en fonction de la lumière nocturne	Corentin Rollet
Figure 18	graphique montrant l'impact de la présence/absence d'eau à 5 mètres sur le taux de capture	Corentin Rollet
Figure 19	graphique montrant l'impact de la présence/absence d'eau à 10 mètres sur le taux de capture	Corentin Rollet
Figure 20	graphique montrant l'impact de la présence/absence d'eau à 20 mètres sur le taux de capture	Corentin Rollet
Figure 21	graphique montrant l'influence de la combinaison des 4 facteurs en fonction des valeurs observées	Corentin Rollet

Table des tableaux

Numéro	Titre	Source
Tableau I	Tableau montrant l'influence des différents facteurs environnementaux sur les pièges	Corentin Rollet
Tableau II	Tableau montrant l'influence des quatre facteurs étudiés sur le taux de capture des pièges	Corentin Rollet

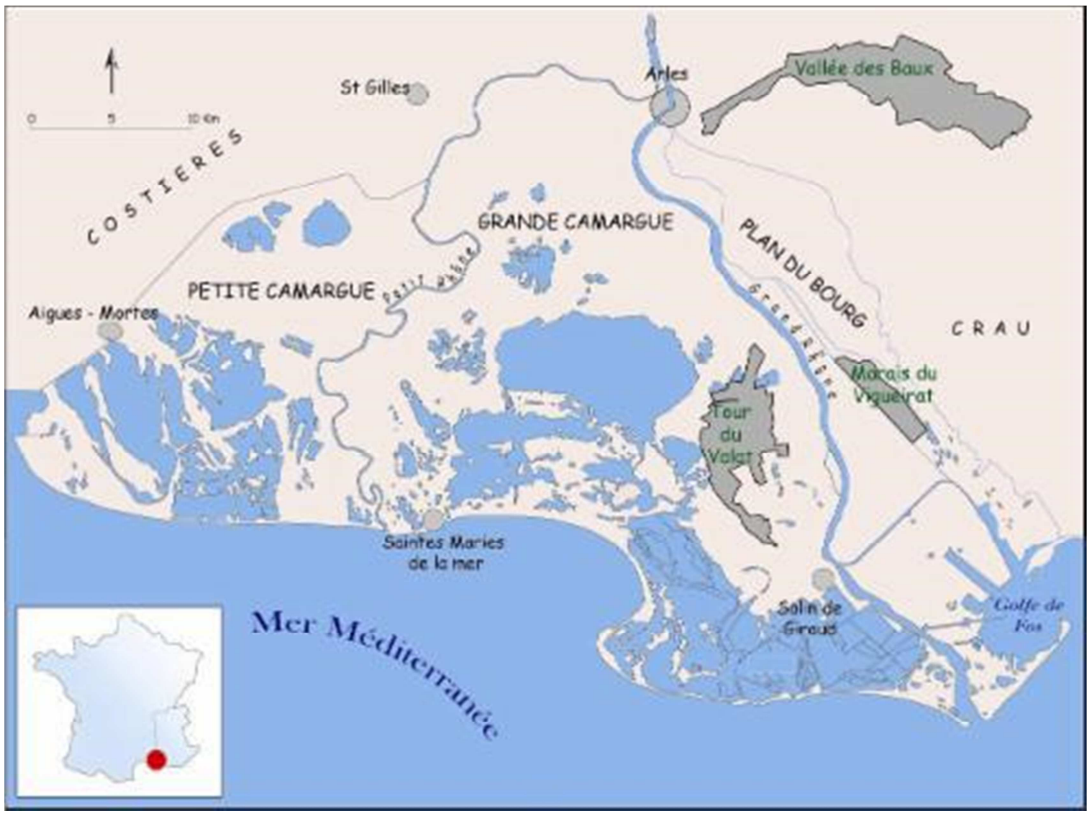


Figure 1: carte de la petite et grande Camargue

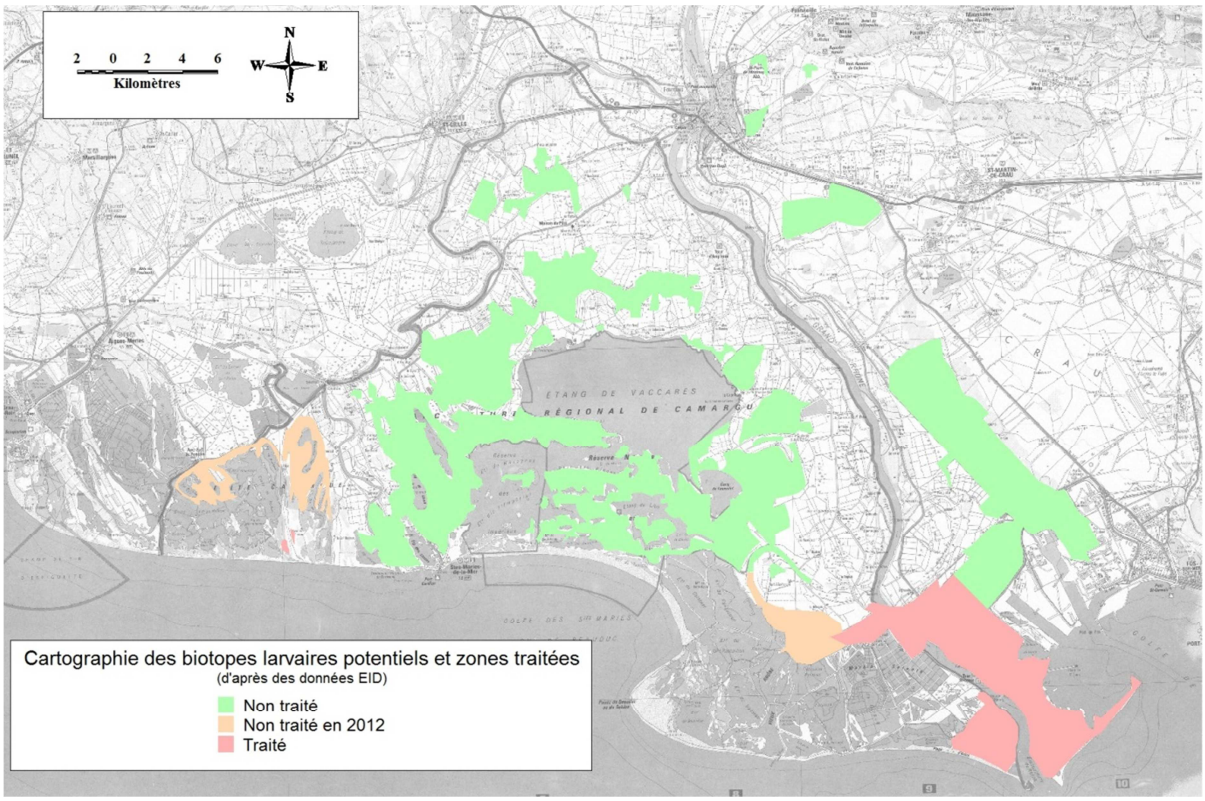


Figure 2: carte de la démoustication au Bti en Camargue



Figure 3: Photo d'une borne anti-moustique



Figure 7: carte de la position géographique du Sambuc

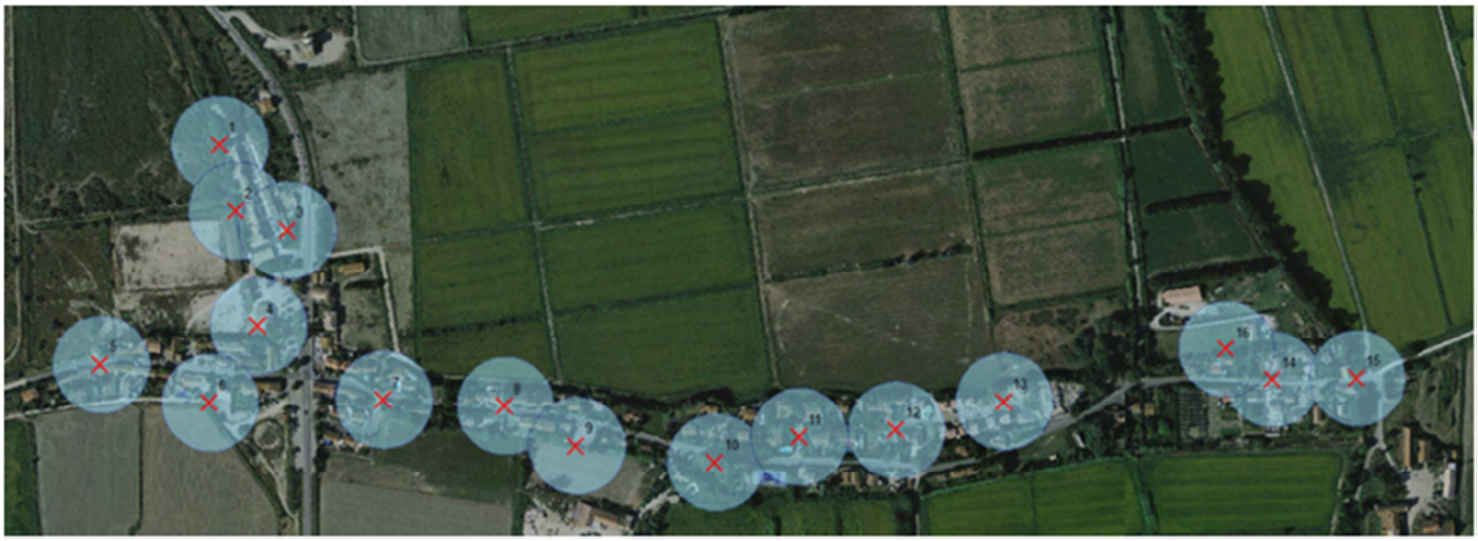


Figure 8: photo satellite de la position des pièges au Sambuc



Figure 9: photo satellite de la position des leurres et du test du mollet au Sambuc

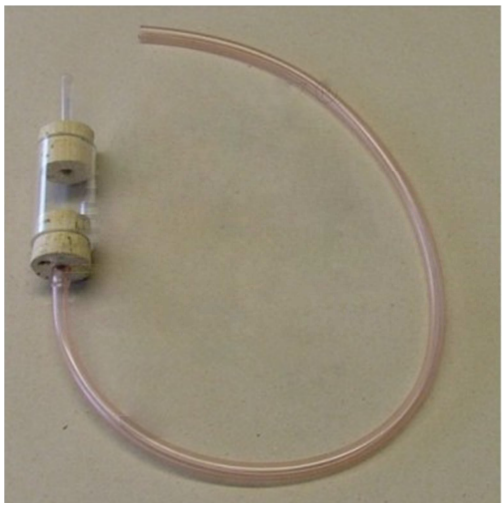


Figure 10: photo d'un aspirateur à bouche

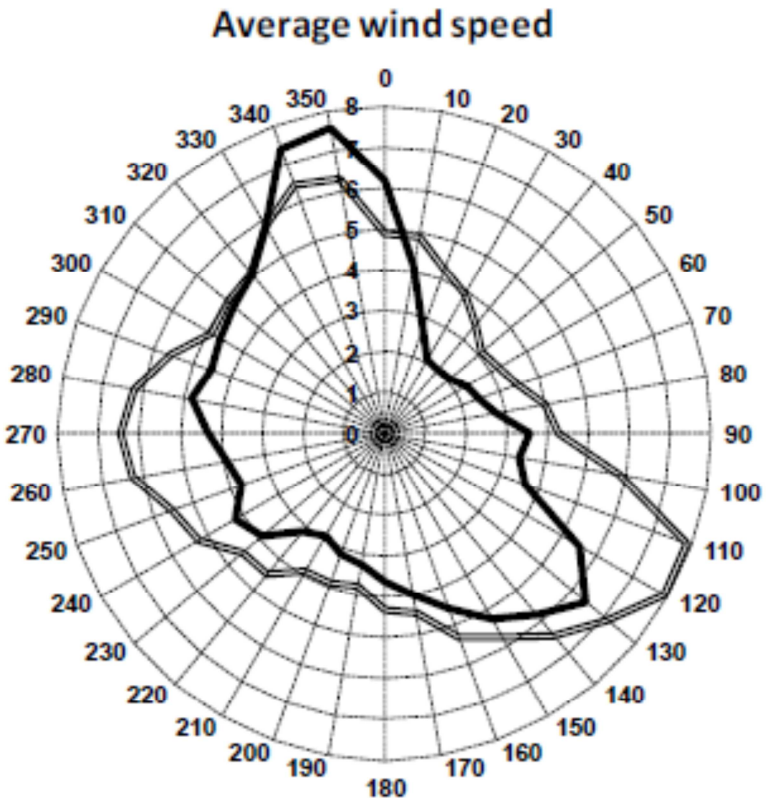


Figure 11: rose des vent de la vitesse moyenne et la direction des vents en Camargue



Figure 12: photo de la mesure du vent à l'aide d'un anémomètre



Figure 13: photo d'un luxmètre

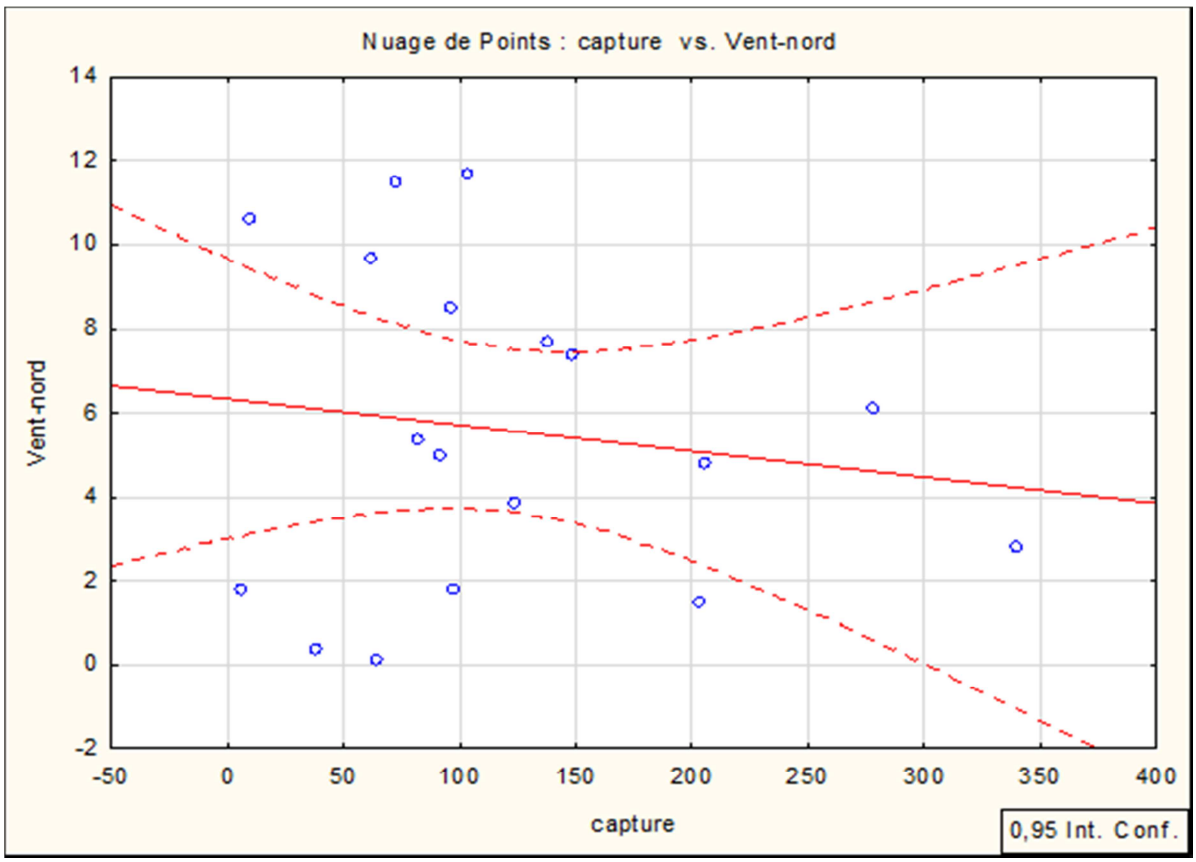


Figure 14: graphique du nombre de capturés en fonction du vent du nord

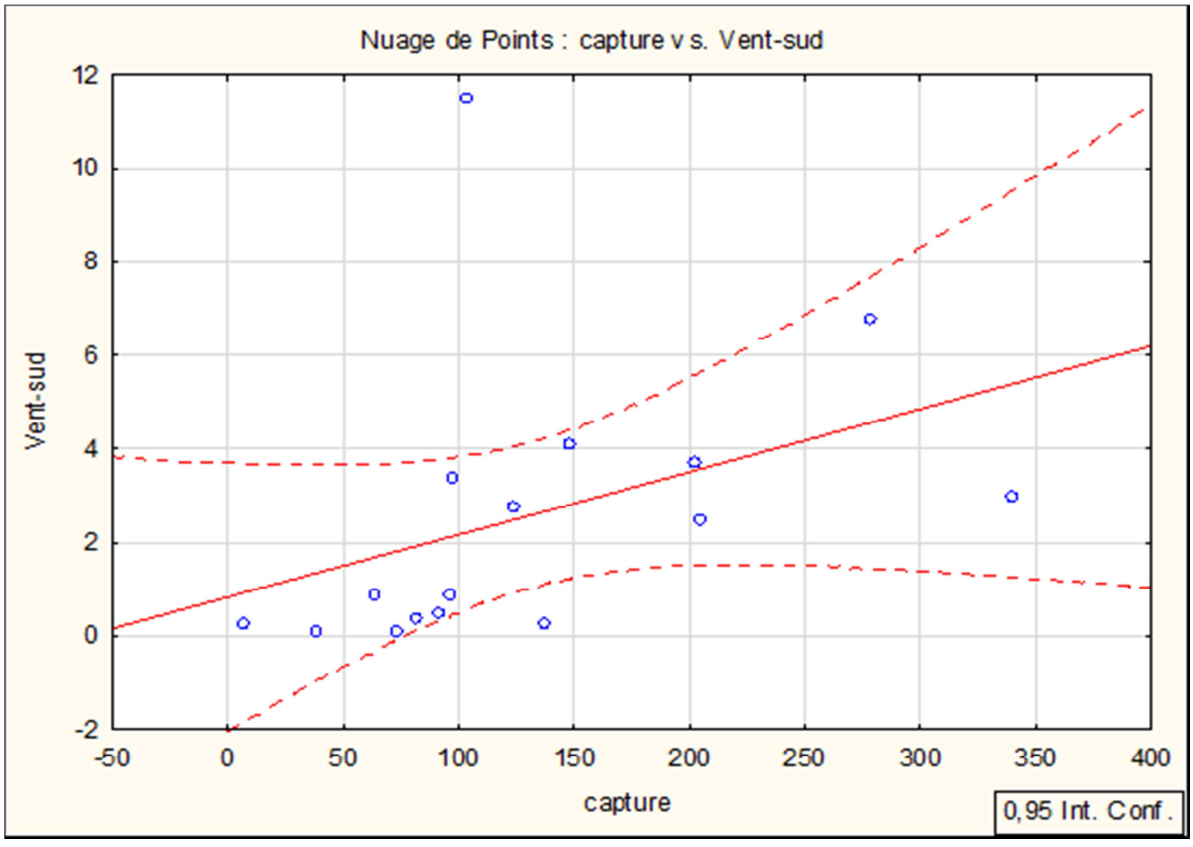


Figure 15: graphique du nombre de moustiques capturés en fonction du vent du sud

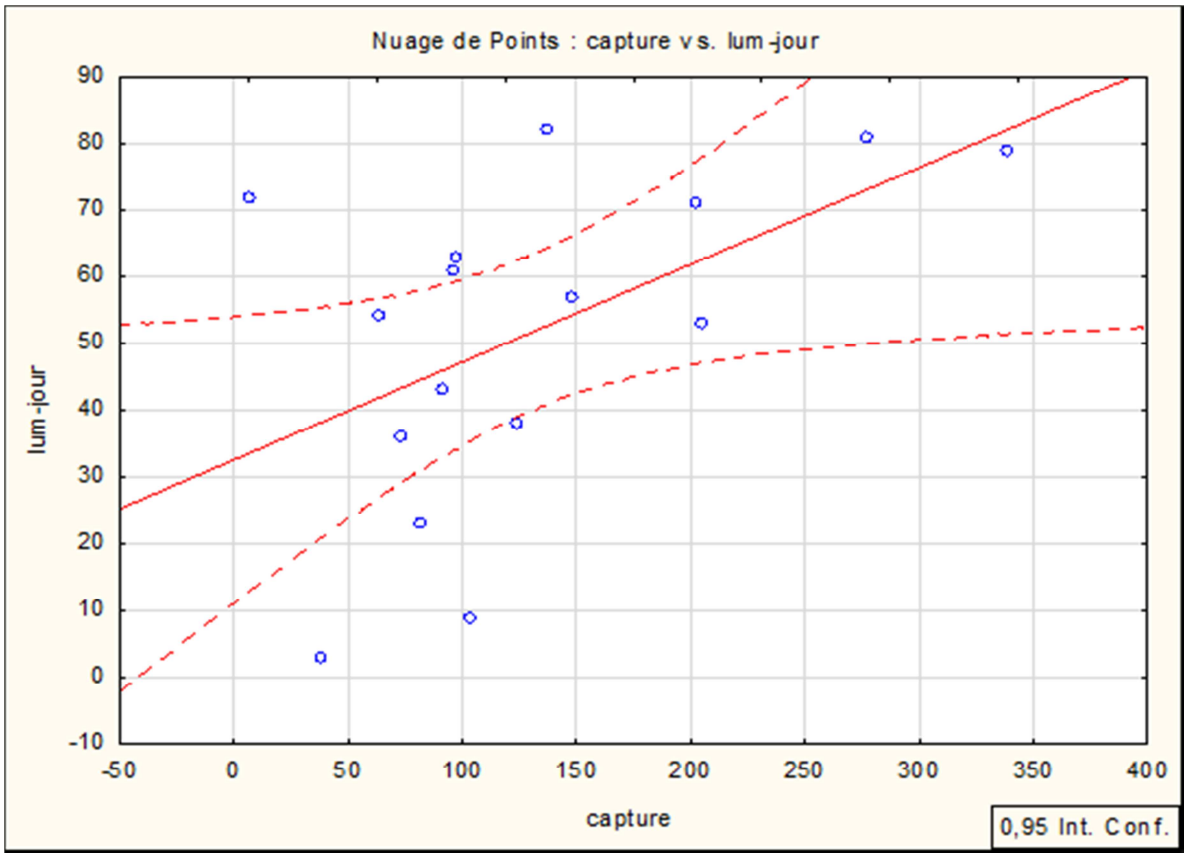


Figure 16: graphique représentant le nombre de moustiques capturés en fonction de la lumière du jour

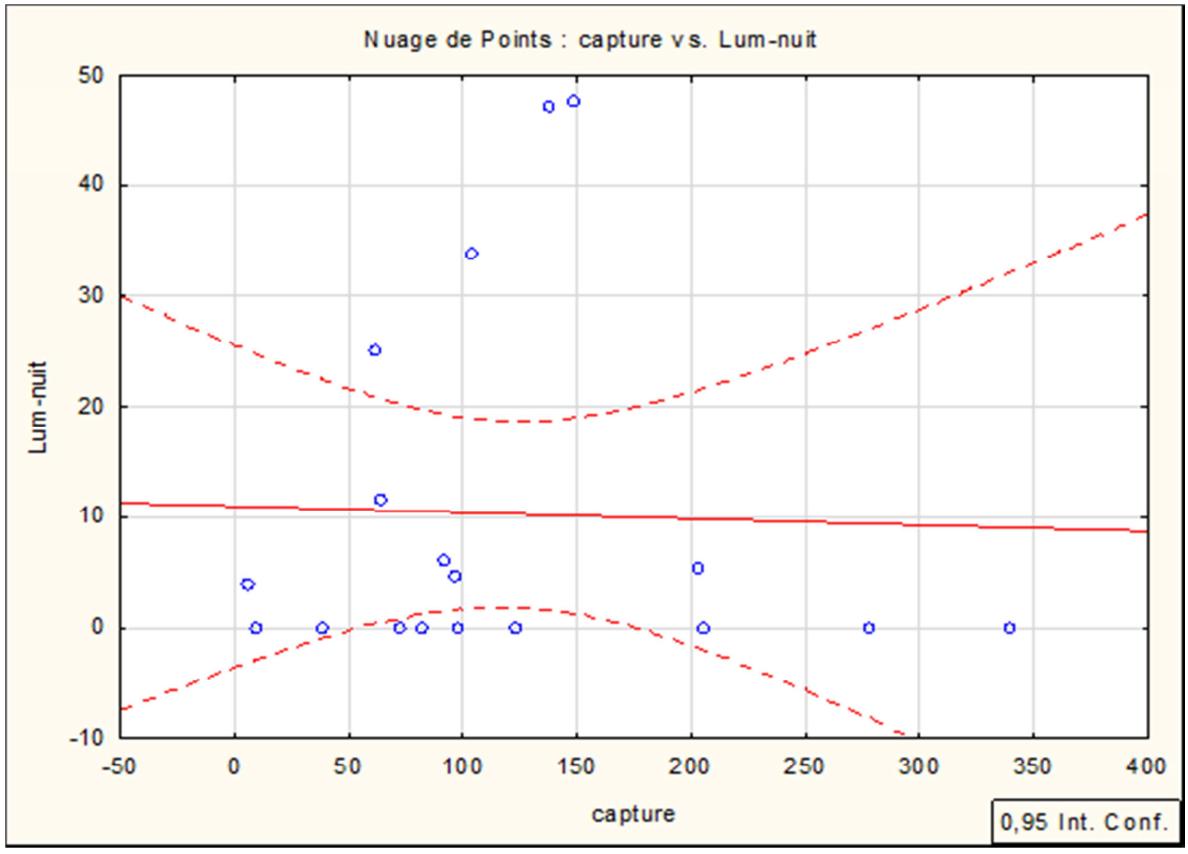


Figure 17: graphique représentant le nombre de moustiques capturés en fonction de la lumière nocturne

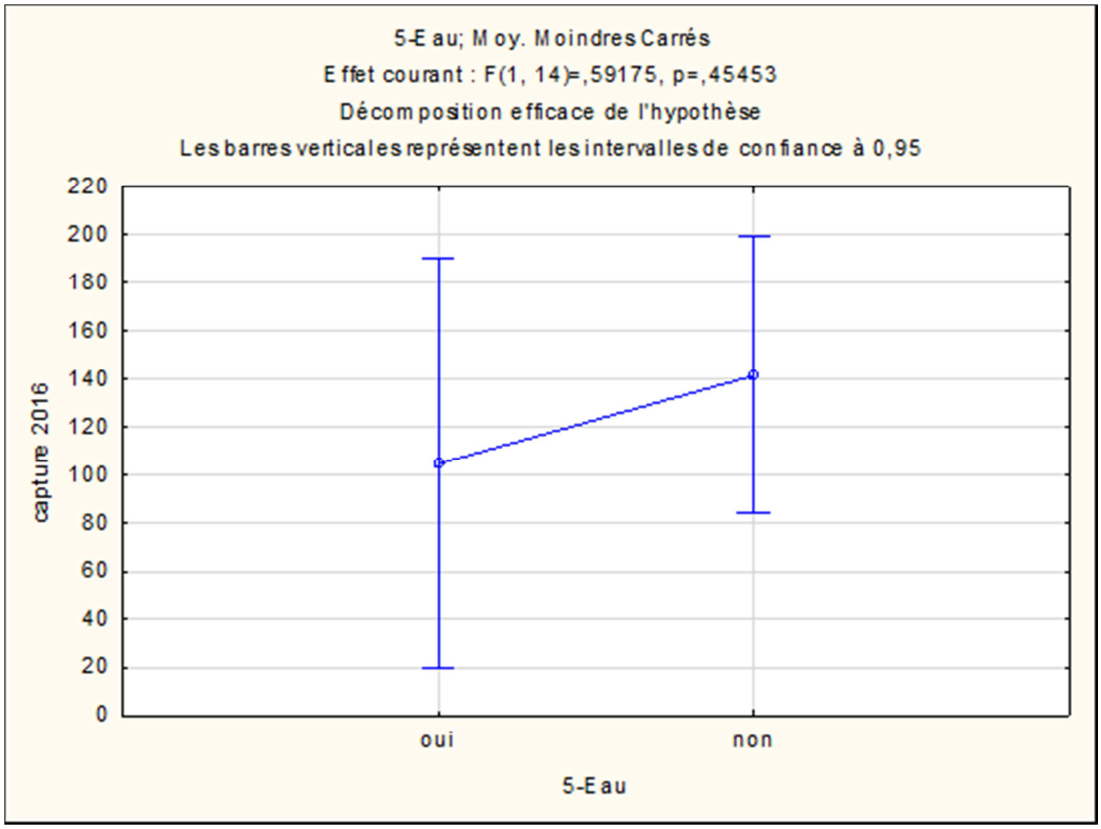


Figure 18: graphique montrant l'impact de la présence/absence d'eau à 5 mètres sur le taux de capture

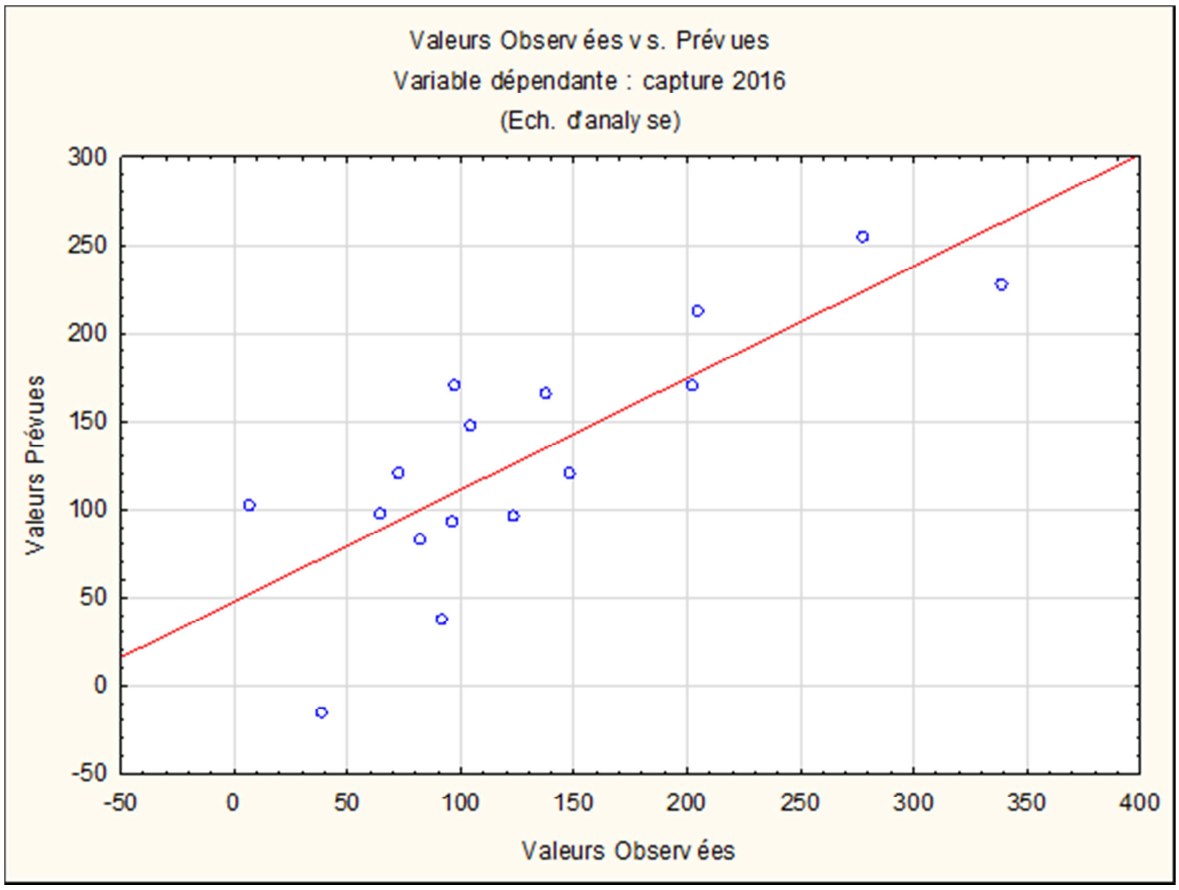


Figure 20: graphique montrant l'influence de la combinaison des 4 facteurs en fonction des valeurs observées

Tableau II: tableau montrant l'influence des quatre facteurs étudiés sur le taux de capture des pièges

Var. X et Var.	Corrélations (base de données 1)Corrélations significatives marquées à p < .05000(Observations à VM ignorées)										
	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r²	t	p	N	Constnte (dép : Y)	Pente (dép : Y)	Constnte (dép : X)	Pente (dép : X)
capture 2016	130,2275	87,53858									
5-Barrière phy	8,3333	13,60828	-0,521657	0,272126	-2,28782	0,038223	16	18,89401	-0,081094	158,1916	-3,35569
capture 2016	130,2275	87,53858									
10-CP	36,1979	28,00586	0,342218	0,117113	1,36274	0,194483	16	21,94004	0,109484	91,5074	1,06968
capture 2016	130,2275	87,53858									
lum-jour	51,5625	24,60886	0,519993	0,270393	2,27781	0,038953	16	32,52577	0,146181	34,8514	1,84972
capture 2016	130,2275	87,53858									
Vent-sud	2,5813	3,04701	0,385009	0,148232	1,56090	0,140863	16	0,83603	0,013401	101,6762	11,06105

Annexe 1

Structure interne d’un piège Techno-Bam

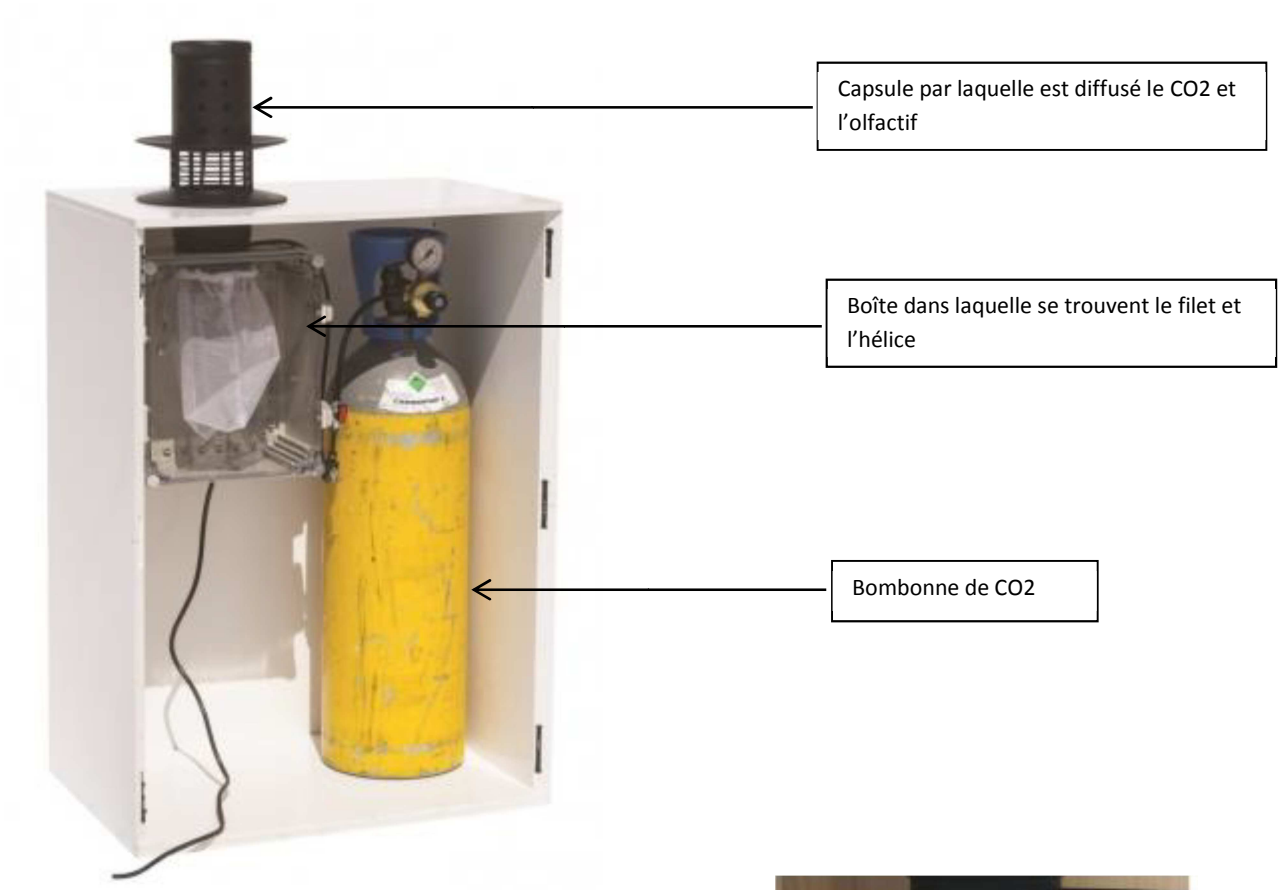


Figure 4: photo de l'intérieur d'un piège Techno-Bam

Figure 5: photo d’un leurre à moustiques

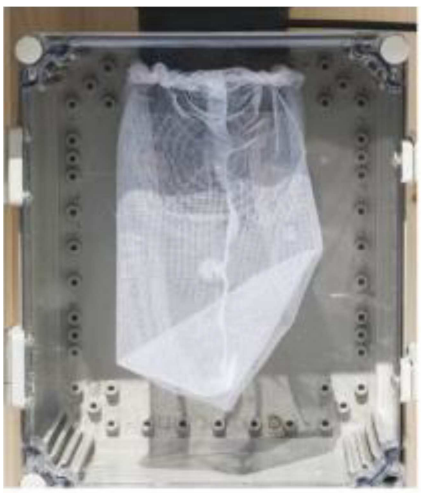


Figure 6: photo d'un filet à moustiques

Annexe 2

Tableau I: tableau montrant l'influence des différents facteurs environnementaux sur les pièges

Var. X et Var.	Corrélations (base de données 1)Corrélations significatives marquées à p < ,05000(Observations à VM ignorées)										
	Moyenne	Ec-Type	r(X,Y)	r²	t	p	N	Constnte (dép : Y)	Pente (dép : Y)	Constnte (dép : X)	Pente (dép : X)
capture 2016	119,7038	88,19457									
5-aucune	48,8426	25,41080	-0,111798	0,012499	-0,45001	0,658738	18	52,69842	-0,032211	138,6558	-0,38802
capture 2016	119,7038	88,19457									
5-Haies	5,7870	10,39622	0,104902	0,011005	0,42194	0,678685	18	4,30681	0,012366	114,5538	0,88992
capture 2016	119,7038	88,19457									
5-Couverture	8,7191	10,05844	-0,255102	0,065077	-1,05532	0,306953	18	12,20179	-0,029094	139,2066	-2,23679
capture 2016	119,7038	88,19457									
5-Barrière phy	9,1049	13,99650	-0,462250	0,213675	-2,08514	0,053434	18	17,88631	-0,073359	146,2240	-2,91273
capture 2016	119,7038	88,19457									
5-CP	34,7222	29,92517	0,253751	0,064390	1,04935	0,309610	18	24,41575	0,086100	93,7369	0,74785
capture 2016	119,7038	88,19457									
10-Aucune	45,4475	24,13540	-0,153826	0,023662	-0,62272	0,542245	18	50,48661	-0,042096	145,2501	-0,56211
capture 2016	119,7038	88,19457									
10-Haies	8,7963	12,21070	0,173148	0,029980	0,70321	0,492029	18	5,92667	0,023973	108,7031	1,25060
capture 2016	119,7038	88,19457									
10-Couverture	5,3241	7,00545	-0,196936	0,038784	-0,80348	0,433474	18	7,19659	-0,015643	132,9038	-2,47931
capture 2016	119,7038	88,19457									
10-Barrière ph	16,2037	18,48717	-0,296800	0,088090	-1,24322	0,231697	18	23,65103	-0,062215	142,6468	-1,41591
capture 2016	119,7038	88,19457									
10-CP	35,1080	28,00076	0,306591	0,093998	1,28841	0,215923	18	23,45615	0,097339	85,8008	0,96568
capture 2016	119,7038	88,19457									
20-Aucune	38,2716	23,58092	-0,021441	0,000460	-0,08578	0,932703	18	38,95783	-0,005733	122,7728	-0,08019
capture 2016	119,7038	88,19457									
20-Haies	9,8765	11,90857	0,320977	0,103026	1,35564	0,194042	18	4,68855	0,043340	96,2258	2,37715
capture 2016	119,7038	88,19457									
20-Couverture	2,3457	3,24533	-0,160380	0,025722	-0,64993	0,524958	18	3,05212	-0,005902	129,9274	-4,35847
capture 2016	119,7038	88,19457									
20-Barrière ph	26,0031	16,54233	-0,382227	0,146098	-1,65454	0,117499	18	34,58500	-0,071693	172,6935	-2,03782
capture 2016	119,7038	88,19457									
20-CP	34,7222	24,01377	0,182202	0,033197	0,74121	0,469304	18	28,78370	0,049610	96,4689	0,66917
capture 2016	119,7038	88,19457									
lum-jour	53,1111	23,93837	0,420790	0,177064	1,85542	0,082054	18	39,43930	0,114214	37,3663	1,55029
capture 2016	119,7038	88,19457									
Lum-nuit	10,3000	16,43024	-0,030234	0,000914	-0,12099	0,905204	18	10,97423	-0,005632	121,3754	-0,16229
capture 2016	119,7038	88,19457									
Vent-nord	5,5944	3,79543	-0,144156	0,020781	-0,58271	0,568211	18	6,33705	-0,006204	138,4438	-3,34975
capture 2016	119,7038	88,19457									
Vent-sud	2,6722	2,87521	0,327755	0,107424	1,38767	0,184261	18	1,39318	0,010685	92,8383	10,05361