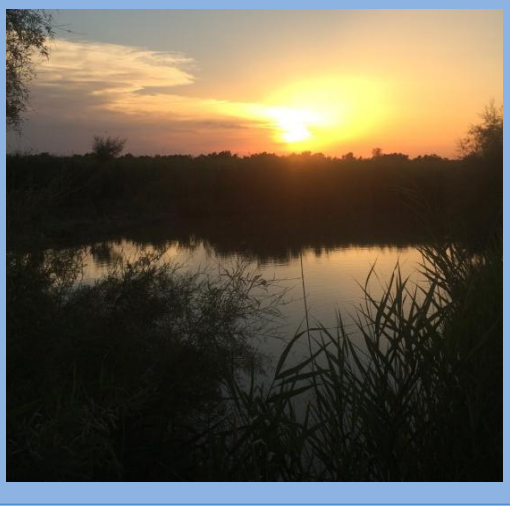
UNIVERSITE Montpellier et UNIVERSITE Paul Valéry

Année universitaire 2015 – 2016

Département Eau Littoral

Master 2 Gestion des Littoraux et des Mers





Présenté par MURANYI-KOVACS Camille

ETUDE D'UNE ALTERNATIVE A LA DEMOUSTICATION AU BTI : LES BORNES ANTI-MOUSTIQUE.

Stage effectué dans le Service Ecosystème de l'entreprise Fondation Tour du Valat

Chemin Fiélouse, 13200 Le Sambuc

du 14/03/2016 au 26/08/2016

Maître de stage : Madame Brigitte POULIN, Docteur en Ecologie et directrice du département ECOSYSTEME

Responsables de la formation : Hélène Rey-Valette, Cécile Bazart, Séverin Pistre (UM), Sylvain Pioch, Benoit Devillers (UM3)

Remerciements

Ce stage d'une durée de 5 mois et demi, a été particulièrement intéressant et enrichissant grâce aux nombreuses personnes que j'y ai rencontrées et côtoyées, et sans qui mon travail ne serait pas le même aujourd'hui.

Je commence naturellement par remercier du fond du cœur ma tutrice de stage **Brigitte Poulin**. Tu m'as permis de réaliser ce stage dans un cadre où j'ai pu m'épanouir, grâce à tes conseils très pertinents, à ton écoute et surtout à la confiance que tu m'as accordée. Cela m'a beaucoup aidé à prendre confiance en moi. Je tiens tout autant à remercier **Gaëtan Lefebvre**, le MacGyver des ordinateurs et de la statistique. Je te remercie pour ta pédagogie, de tes précieux conseils et ta patience lors des traitements statistiques. Votre gentillesse et votre humour à tous les deux m'a fait vite sentir à l'aise à vos côtés, j'ai tellement appris !! Merci pour tout !

Il convient de remercier **Patrick Grillas** et **Jean Jalbert,** respectivement directeur des programmes et directeur général pour m'avoir permis d'effectuer ce stage à la Tour du Valat, avec des conditions particulièrement propices à l'épanouissement de soi.

Je remercie ma précieuse collègue **Catherine Lavallée-Chouinard**, qui a été pour moi essentielle au déroulement de ce stage. Tu m'as aidée du début à la fin, tu as été indispensable autant sur le plan moral que professionnel. Ensemble, on en a vécu des choses! Tu es une amie précieuse, et je n'oublierai pas nos moments de délire! Je ne pourrai jamais te remercier assez pour ce que tu as fait pour moi, mon stage n'aurait pas été le même sans toi. Vive la Team Moustique !!!

Je tiens à remercier chaleureusement le Viking de l'équipe, **Samuel Hilaire**, qui a été un pédagogue hors pair en identification de moustique et un ami. Merci pour tout ce que tu m'as appris, tes conseils avisés, tes délires, tes blagues, mais aussi pour ton réconfort lors de mes doutes ou baisses de moral.

Je n'oublie pas tous mes amis et collègues !! Merci à **Hadrien Fanton** pour ton aide lorsque nous étions débordées, tu nous as filé un bon coup de pouce ! Merci à **Coralie Hermeloup**, pour ses conseils en communication, à **Marie-Antoinette Diaz** pour son extrême gentillesse et sa générosité, à **Majda Boudjelal,** tu as toujours été là pour moi, merci pour nos moments de folie et de délire. Enfin je remercie toutes les équipes de la Tour du Valat, qui ont contribuées de leur manière, de près ou de loin, au bon déroulement de ce stage ainsi que toute l'équipe des stagiaires Pauline, Sarah, Antoine, Adrien, et tous les autres pour les moments passés avec eux.

Ce rapport clôture mes cinq années d'étude et c'est l'occasion de remercier tout ceux qui m'ont permis d'en arriver jusque là. Tout d'abord, je remercie **mes parents**, vous avez été les premiers à croire à moi et à me soutenir dans mes choix. Ensuite je tiens à remercier mes amis **Eloïse, Laetitia, Sophie, Jordan, Olivier, Thomas et Antoine**, toujours là dans les meilleurs comme dans les pires moments. Vous êtes les meilleurs ! Enfin merci à mon **Thibaut** qui, depuis 2 ans, me rend tous les jours plus forte et plus confiante.

Merci à **vous,** lecteurs, de prêter attention à mon travail. Bonne lecture !

Synthèse

La Camargue est une zone riche en biodiversité. Elle fut ainsi préservée du tourisme de masse à l'Ouest et de l'industrialisation qu'a subit l'étang de Berre à l'Est, tels que planifiés par le cadre de la Mission Racine. Elle fut également préservée de la démoustication jugée incompatible avec la protection de ses milieux naturels. La popularité croissante du bio-insecticide Bti, couplée à une émergence exceptionnelle de moustiques en septembre 2005 et à un contexte politique favorable, se sont traduit par la mise en place d'une démoustication partielle de la Camargue à partir d'août 2006. Cette démoustication est encadrée par un arrêté préfectoral exigeant l'utilisation du Bti, seul insecticide homologué en Europe, accompagné d'un suivi scientifique afin d'évaluer les impacts potentiels sur la faune non-cible. Ce suivi fait l'objet chaque année d'un appel à projet lancé par la Parc naturel régional de Camargue, que l'équipe du Dr Brigitte Poulin de la Tour du Valat remporte. La Tour du Valat est un institut de recherche pour la conservation des zones humides, créé par Luc Hoffmann en 1954. Cet institut est reconnu pour ses travaux de qualité. Brigitte Poulin et son équipe ont réussi à mettre en évidence de forts impacts du Bti sur les écosystèmes.

Le *Bti*, ou *Bacillus thuringiensis israelensis*, est une bactérie naturellement présente dans les sols, dont la toxicité envers les larves de Nématocères (groupe des diptères incluant les moustiques et les chironomes) a été découverte en 1976. Contrairement aux insecticides chimiques de contact utilisés jusqu'alors, le *Bti* doit être ingéré pour entraîner la mortalité des larves. Cependant, en plus de tuer les larves de moustique en milieux naturels, le Bti tue également les larves de Chironomes. Ces organismes sont situés à la base du réseau trophique et des répercussions rapides sont observées chez de nombreuses espèces : le succès reproducteur des hirondelles de fenêtre est diminué de 33%, l'abondance et la richesse des odonates sont diminuées de moitié, les invertébrés paludicoles servant de nourriture aux passereaux des roselières diminuent de 34%, incluant une baisse de 60% chez les araignées.

Le territoire de Camargue, peu densément peuplé et parsemé de zones humides abritant une biodiversité importante et précieuse, ne permet pas une démoustication classique : il est nécessaire de trouver une alternative afin d'améliorer le confort des populations, tout en conservant la qualité des milieux et la biodiversité. C'est en s'appuyant sur cette constatation que la Tour du Valat a lancé l'idée innovante d'utiliser des pièges à moustiques afin de créer une barrière protectrice autour des zones habitées. S'inspirant des modèles de pièges disponibles sur le marché pour particuliers, deux ingénieurs Arlésiens créent les pièges BAM (borne anti-moustique) en 2014. Le suivi scientifique exigé par l'arrêté préfectoral des Bouches-du-Rhône, a également pour mission d'évaluer des méthodes alternatives au Bti. Cette présente étude est intégrée à ce suivi, et nous cherchons à évaluer l'efficacité des bornes anti-moustiques et de leurs impacts éventuels.

Afin d'évaluer le taux de réduction de la nuisance associé à l'utilisation des bornes anti-moustique, des relevés sur appâts humains ont été effectués par le « test du mollet » à 10 mètres, 40 mètres et plus de 500 mètres des pièges. Les impacts sur la faune non cible sont évalués de deux manières :

- par le succès reproducteur de la colonie d'hirondelle des fenêtres au Sambuc, la survie des poussins étant reliée à la consommation de moustique et de chironomes. Ce suivi donnera une indication sur la ressource alimentaire disponible.
- Par le suivi de la faune non cible capturée dans les BAM. Le comptage et l'identification des organismes capturés permettront d'établir un pourcentage de capture non intentionnelle, et si des groupes sont plus touchés que d'autres.

Une page Facebook a été créée sous l'impulsion de la population Sambutenne qui, lors de l'étude sociologique de 2015 accompagnant l'étude des BAM, a exprimée le souhait d'avoir un espace d'échanges sur les pièges (questions/réponses, informations sur l'étude, transmission des résultats…). Chaque semaine sont publiés les résultats des captures des pièges, des quizz, des informations sur l'étude ou sur les moustiques…

Enfin, une étude d'implantation des BAM dans les villes a été réalisée également, afin d'établir la faisabilité du projet à l'ensemble de la Camargue.

Au travers du test du mollet, il a été constaté que les BAM permettent une réduction de la nuisance de 82% ($F_{(1,145)}$= 24.1 ; p-value< 0.0001), avec un rayon d'action d'au moins 40 mètres. Quatre espèces principales ont été capturées sur appât humain, responsable de plus de 99% de la nuisance. Or l'EID, structure en charge de la démoustication, ne traite que deux espèces qui représentent 93% de la nuisance. Il y a alors plus de 7% de la nuisance qui n'est pas prise en charge. Les captures des bornes anti-moustique sont composées en moyenne de 68% d'insectes piqueurs nuisants (moustiques et arabis) et de 32% d'autres insectes, majoritairement des chironomes de très petite taille. Cependant, la ressource alimentaire pour les oiseaux insectivores n'en semble pas affectée: le succès reproducteur da colonie d'hirondelles de fenêtre du Sambuc n'est pas différent de celui observé avant l'installation des pièges, et il est différent de celui observé en zone démoustiquée au Bti.

La page Facebook® compte 267 abonnés, dont 99 vivent sur la commune d'Arles, comprenant le hameau du Sambuc. Cependant il est impossible de différencier les Sambutens des Arlésiens. Les femmes semblent beaucoup plus impliquées dans l'étude (70% des abonnés) et participent largement à la diffusion de la page. Pour toucher plus de personnes, il serait nécessaire de mieux viser le public masculin avec les publications. De manière globale, chaque publication sur la page atteint 440 personnes. Il est impossible de conclure avec de réels chiffres sur l'efficacité de la page Facebook® au hameau du Sambuc sans la tenue d'entretiens avant et après l'expérience. Cependant lors de nos sorties sur le terrain, beaucoup de personnes connaissaient l'existence de la page et notre rôle. En parallèle, nous avons reçu plusieurs messages sur la page Facebook® auxquels nous avons répondu « *Ma mère met en compétition la BAM près de chez elle avec celle de son amie habitant 200 mètres plus loin* » nous a rapporté une habitante du Sambuc, ou encore « *il faudrait déplacer la Borne N°8 car elle ne capture pas beaucoup !* », « *La borne anti-moustique près de chez moi est très efficace, je peux à nouveau manger dehors le soir* », « *Le système est génial, à quand à Salin-de-Giraud ?* » ; « *Et à Arles ?* ». Tel un cercle vertueux, la page Facebook® a permis de faire connaitre notre étude, d'informer la population sur l'utilité du moustique et l'impact de la démoustication et de faciliter les contacts pour des articles ou documentaires. Par ces relais dans la presse, la page a reçu de nombreux « Like ». Mais pour avoir plus de précisions quant au ressenti et à l'investissement de la population du Sambuc, il serait nécessaire d'inclure un questionnaire concernant la page Facebook® lors de l'enquête sociologique, qui sera réalisée courant septembre 2016. Elle devra permettre d'obtenir des informations importantes afin de conclure à l'efficacité de ce mode de communication.

En ce qui concerne l'étude d'implantation, deux types recherches ont été menées. Tout d'abord, il est nécessaire d'intégrer cette nouvelle méthode de démoustication dans le droit français. L'ajout d'un paragraphe dans l'arrêté préfectoral concernant la démoustication est obligatoire, à l'aide d'un recours gracieux ou, si inutile, par recours hiérarchique. Ensuite, le coût de la démoustication effectué par l'EID méditerranée sur la zone Port-Saint-Louis-du-Rhône/ Salin-de-Giraud est comparé à l'installation de bornes anti-moustique. Afin de créer une barrière contre les moustiques autour de ces villes il serait nécessaire d'installer 306 BAM. En 5 ans, les communes dépenseraient en tout et pour tout 2 244 227 € TTC (matériels et entretien). Avec la démoustication traditionnelle, le coût financier est presque doublé : 4 millions d'€.

La Borne anti-moustique semble être une alternative à la démoustication au Bti très intéressante car :

- Cette méthode réduit la nuisance due aux moustiques de 82%
- Il y a peu d'impacts sur la faune non cible
- Le coût est inférieur à celui de la démoustication traditionnelle

Néanmoins, il reste des étapes à franchir avant de pouvoir étendre cette méthode à toute la Camargue.

Sommaire

1. Introduction ……...……... 1

1.1 De Luc Hoffmann à l'institut de recherche « Tour du Valat »…….……....1

1.2 Organisation et fonctionnement …….……..….1

2. Contexte et données générales ……..…... 3

2.1 Historique de la démoustication sur le littoral méditerranéen ……..…..…..3

2.2 La démoustication en Camargue ……...……4

3. Ma mission : Etude de l'efficacité des Bornes anti-moustique et de leurs éventuels impacts sur la faune non cible ……...……..7

3.1 La cahier des charges …….....…..7

3.2 Le sujet par rapport à l'entreprise, les problèmes à résoudre …….....….....7

3.3 L'analyse de l'existant …….....…8

4. Ma mission : démarche et résultats ……..…...….9

4.1 La démarche suivie pour résoudre les problèmes ……..…….....…9

4.2 Matériels et méthodes …….…….....….9

4.2.1. Le site de l'étude ……..9

4.2.2 Matériels biologiques ……..……...10

4.2.2.1. Les moustiques de Camargue ……..……...……....…….10

4.2.2.2 L'hirondelle de fenêtre ……...…….12

4.2.3 Les bornes anti-moustique de la société TechnoBam® ……13

4.2.4 Etude de l'efficacité des Bornes anti-moustique……..……...14

4.2.5 Etude de la nuisance sur 24h ……..……..…….....14

4.2.6 Etude des impacts sur la faune non cible ……..…….....15

4.2.6.1 Mesure du succès reproducteur des hirondelles de fenêtre ……..…..15

4.2.6.2 Evaluation des captures des insectes non ciblés ……..…...15

4.2.7 Communication/science participative ……...……15

4.2.7.1 Page Facebook® …….……15

4.2.7.2 Communication presse écrite – télévisée – web …….....17

4.2.8 Etude de préfaisabilité d'implantation des Bornes anti-moustique ….....17

4.3 Résultats obtenus et perspectives ……..…….....18

4.3.1 Etude de l'efficacité des Bornes anti-moustiques …….…….....18

4.3.1.1 Résultats de la nuisance par le test du mollet ……18

4.3.1.2 Discussion ……20

4.3.2 Etude de la nuisance sur 24h ……21

4.3.2.1 Résultats ……21

4.3.2.1 Discussion ……22

4.3.3 Etude des impacts sur la faune non cible ……23

4.3.3.1 Résultats du succès reproducteur des hirondelles ……23

4.3.3.2 Résultats des captures des insectes non ciblés ……23

4.3.3.3 Discussions ……24

4.3.4 Communication/ Science participative ……24

4.3.4.1 Page Facebook® ……24

4.3.4.2 Presse/télévision ……27

4.3.4.3 Discussions ……28

4.3.5 Etude de préfaisabilité d'implantation ……29

5. Votre insertion professionnelle ……30

5.1. Déroulement du stage ……30

5.2 Remarques personnelles sur le travail de l'entreprise ……31

5.3 Difficultés rencontrées ……31

5.4 Bilan du stage, personnel, universitaire et professionnel……31

6. Conclusion générale ……33

7. Bibliographie ……34

8. Glossaire ……36

9. Annexes ……37

Table des figures et des tableaux

Figures

Figure 1 : Luc Hoffmann. WWF ……..……...1

Figure 2 : Graphique des sources de financement de la TdV en 2015 ……..…..…2

Figure 3 : Image satellite de la Grande Motte, 1953. Source : Géoportail ……..…3

Figure 4 : Image satellite de la Grande Motte, 1970. Source : Géoportail ……..…..…3

Figure 5 : Image satellite de la Grande Motte, 2003. Source : Géoportail ……..…3

Figure 6 : Carte de la petite et grande Camargue. Crédit : Loïc Willm ……..…..…4

Figure 7 : Carte de la démoustication pratiquée en Camargue par l'Entente Interdépartementale pour la démoustication. Loïc Willm ……..…..5

Figure 8 : Carte représentation l'occupation des sols Le Sambuc. Camille Muranyi-Kovacs……..…9

Figure 9 : Schéma de la morphologie d'un moustique. Wikipédia……...10

Figure 10 : Cycle de vie d'un moustique. Camille Muranyi-Kovacs ……11

Figure 11 : Hirondelle de fenêtre nourrissant ses quatre jeunes. Crédit photo : F. Lelievre……..…12

Figure 12 : carte localisation des pièges au Sambuc ……... 13

Figure 13 : Schématisation du fonctionnement d'une borne anti-moustique. Camille Muranyi-Kovacs ……....13

Figure 14 : Test du mollet au Sambuc réalisé par Catherine Lavallée-Chouinard. Crédit photo : Camille Muranyi-Kovacs ……..……..14

Figure 15 : Suivi de la colonie d'hirondelle de fenêtre du Sambuc réalisé par Camille Muranyi-Kovacs. Crédit photo : Samuel Hilaire……..…..…15

Figure 16 : Flyer distribué au Sambuc pour la promotion de la page Facebook® ……16

Figure 17 : Graphique représentant le nombre de moustique capturés en fonction du traitement par le test du mollet sur la saison de 2015 et 2016……...18

Figure 18 : Graphique représentant la nuisance en fonction du traitement……....18

Figure 19 : Nuisance en fonction de la distance au piège……..…..19

Figure 20 : Nuisance journalière des moustiques, en fonction de l'heure de la journée et des espèces……21

Figure 21 : Mesure du succès reproducteur des colonies d'hirondelle de fenêtre avec traitement au Bti, sans traitement, et traitement au BAM……...23

Figure 22 : Graphique représentant le pourcentage d'insectes capturés par les BAM ……..23

Figure 23 : Filet à maille de 0.5mm (gris) superposé au filet de 1 mm (blanc). Crédit photo : Camille Muranyi-Kovacs ……24

Figure 24 : Logo de la page « Le moustique du Sambuc. Véra Gastel et Camille Muranyi-Kovacs….24

Figure 25 : Répartition des abonnés de la page Facebook® selon leur âge……...25

Figure 26 : Comparaison du nombre moyen de femmes touchées par chaque publication avec le nombre d'abonnées ……26

Figure 27 : Comparaison du nombre moyen d'hommes touchés par chaque publication avec le nombre d'abonnés ……...26

Figure 28 : Commentaire reçu le 8 juin 2016 sur Facebook® ……..….28

Tableaux

Tableau 1 : cahier des charges du stage réalisé du 14/03/2016 au 26/08/2016 ……..….7

Tableau 2 : planning des publications par semaine, avec le type utilisé……16

Tableau 3 : Taux de réduction des différentes espèces de moustiques avec le traitement des BAM….19

Tableau 4 : Répartition géographique des abonnés de la page Facebook®……...25

Tableau 5 : Nombre moyen de personnes touchées en fonction des types de publication……26

Tableau 6 : Liste des médias qui nous ont consultés ……27

Tableau 7 : Planning du stage du 14/03/2016 au 13/08/2016…….……30

1. Introduction

1.1 De Luc Hoffmann à l'institut de recherche « Tour du Valat »

A la fin de la deuxième guerre mondiale, Luc Hoffmann, est venu découvrir la Camargue lors de sa thèse et il est tombé amoureux des paysages et de la richesse faunistique et floristique, qui déjà, étaient menacés par l'Homme.



Figure 1 : Luc Hoffmann. Crédit photo : WWF

Alors qu'un développement de la Camargue jugée alors insalubre et hostile opposait saliculteurs et agriculteurs, Luc Hoffmann y voyait avant tout une terre de prédilection pour les oiseaux d'eau, notamment migrateurs. Ayant compris la menace qui pesait sur ces milieux naturels, il acquiert en 1947 un vaste domaine en Camargue appelé « Tour du Valat ». Celui-ci s'étend aujourd'hui sur un espace de 2700 hectares comportant tous les types d'habitats naturels représentatifs de la Camargue fluviolacustre. C'est en 1954, avec le soutien de collègues et amis biologistes, que le Dr Hoffmann crée le centre de recherche « Tour du Valat ». C'est une fondation privée, à but non-lucratif, et reconnue d'utilité publique depuis 1978.

Lors de la création de cet institut de recherche, les missions étaient orientées vers le monitoring des oiseaux d'eau avec pour finalité la conservation des zones humides nécessaires à leur maintien. Puis les recherches se sont diversifiées, intégrant des multiples disciplines, telles que l'hydrologie, la géomatique, l'écologie végétale, l'icthyologie et de nombreux programmes de recherche autour de la conservation sur le pourtour méditerranéen ont vu le jour. A l'heure actuelle, les aspects socio-économiques prennent une part de plus en plus importante dans les programmes de recherches afin d'allier conservation des espaces naturels et développement humain.

La philosophie de la fondation est **« d'arrêter la perte et la dégradation des zones humides méditerranéennes et de leurs ressources naturelles, les restaurer et promouvoir leur utilisation rationnelle.** » (Tour du Valat 2015).

1.2 Organisation et fonctionnement

Organisation scientifique et administrative

70 salariés travaillent à la Tour du Valat, répartis sur différents domaines. La direction est composée de 4 personnes, dont le poste de directeur général est occupé par Jean Jalbert. La communication est composée d'une équipe de 6 personnes, l'équipe de la gestion du domaine (entretien des locaux, gestion de la manade…) de la Tour du Valat est constituée de 9 personnes, celle de la gestion administrative et financière, de 13 personnes et enfin la majorité de l'effectif salarial est contenue dans les programmes de recherches divisés en trois départements. Le département « Conservation des espèces et de leur population dans le contexte de changements globaux » est dirigé par Arnaud Béchet ; le département « suivi-évaluation et politiques des zones humides » est dirigé par Patrick Grillas et enfin le département « Conservation des écosystèmes » est dirigé par Brigitte Poulin, dont je suis sous la tutelle. Je fais donc partie de ce département-ci.

Chaque équipe est composée d'un coordinateur, de chefs de projet, de chargés et d'ingénieurs de recherche, de directeurs de recherche, de techniciens de bases de données et de recherche, de doctorants, de services volontaires européens et de stagiaires.

Le programme de recherche 2016-2020 a été organisé selon trois approches complémentaires qui correspondent à la philosophie de la Tour du Valat cité ci-après :

- Département « **Conservation des espèces et de leur population dans le contexte de changements globaux** » : comprendre la dynamique des espèces et aider à la résolution des conflits entre ces espèces et les activités humaines.
- Département « **suivi-évaluation et politiques des zones humides** » : modifier les comportements des décideurs par la sensibilisation et la mise à disposition d'informations sur l'état et les tendances des zones humides.
- Département « **Conservation des écosystèmes** » : analyser les conséquences des changements globaux sur la biodiversité, le fonctionnement et les usages des zones humides et proposer des méthodes de gestion adaptative et de restauration.

En ce qui concerne la gouvernance de la fondation Tour du Valat :

Dr Luc Hoffmann ***Président d'honneur***

Le Collège des fondateurs :

- Mme Véra Michalski
- Mme Maja Hoffmann
- M. André Hoffmann, Vice-président
- M. Jean-Paul Taris, Président

Le Collège des membres de droit :

- Le représentant du Ministère de l'Intérieur
- Le représentant du Ministère de l'Ecologie (DREAL-PACA)
- Le représentant du Ministère de la Recherche
- Le Maire d'Arles

Le Collège des personnalités qualifiées :

- M. Thymio Papayannis, Secrétaire
- M. Antonio Troya, Trésorier
- M. Tobias Salathé
- M. Lucien Chabason

Le Budget pour l'année 2015

Le budget pour l'année 2015 s'élevait à 5 347 000 euros. 3 327 000 euros ont été consacrés aux programmes scientifiques, dont la plus grosse part (40%) est destinée au département Ecosystème.

Ce budget provient à hauteur de 48% de la fondation Mava, de 27% de conventions avec des organismes publics, de 13% des fonds propres détenus par la Fondation ProValat , de 7% des recettes de conventions avec des organismes privés, et de 5% des recettes par le domaine de la Tour du Valat.

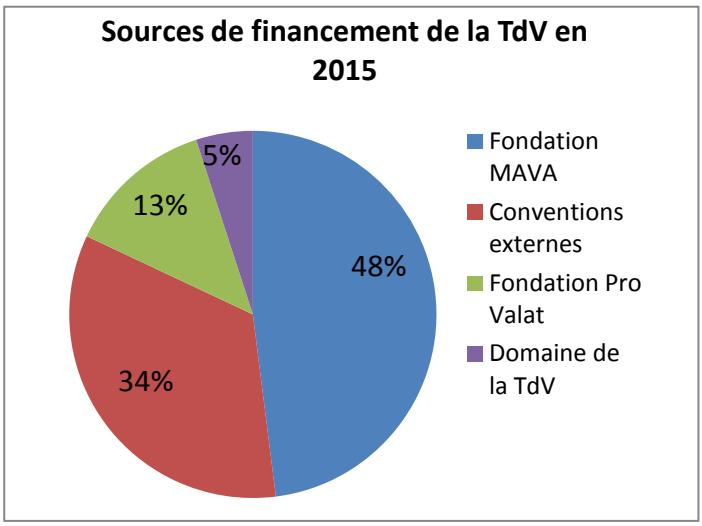


Figure 2 : Graphique des sources de financement de la TdV en 2015

Développement durable et Responsabilité sociale

Afin de répondre aux convictions et à la philosophie de la TdV, une stratégie de management environnemental a été mise en place pour améliorer le traitement des déchets, réhabiliter énergétiquement les bâtiments et élaborer une politique de transport. 100% des eaux usées sont traitées par la station d'épuration de la Tour du Valat, 100% des déchets sont triés, valorisés ou recyclés, la consommation énergétique des bâtiments ayant été récemment réduite de 49%.

2. Contexte et données générales

2.1 Historique de la démoustication sur le littoral méditerranéen

A partir des années 60, de grands aménagements touristiques et industriels ont totalement modifié le paysage du littoral méditerranéen. Avant cela, le littoral était riche d'une grande diversité d'habitats naturels, composés de milieux humides et de milieux exondés, très peu urbanisés abritant une biodiversité importante (Parc naturel régional de Camargue 2013).

Dès la fin du XIX^{ème} siècle, à l'Est de la Camargue de grandes zones d'industries lourdes voient le jour. La proximité de la mer et le transport maritime de masse peu coûteux, permet aux industriels de s'installer en berge de l'étang de Berre, à Fos-sur-Mer, Istres (Monaco *et al.* 2009). A l'Ouest, en Languedoc-Roussillon, c'est le tourisme de masse qui est privilégié : de grandes stations balnéaires sont construites grâce à la mission interministérielle pour l'aménagement touristique du Languedoc-Roussillon ou appelé mission Racine du nom de son responsable. Initiée en 1960, cette mission a pour but de rendre plus attractif ce littoral méditerranéen pour qu'il accueille les vacanciers qui allaient jusqu'alors en Espagne (Sagnes 2001). Le paysage est remodelé : les zones humides sont asséchées, les espaces de prairies et boisés sont rasés et les espaces agricoles urbanisés pour donner place à d'immenses immeubles touristiques.



Figure 3 : Image satellite de la Grande Motte, 1953. Source : Géoportail



Figure 4 : Image satellite de la Grande Motte, 1970. Source : Géoportail



Figure 5 : Image satellite de la Grande Motte, 2003. Source : Géoportail

Le paysage ainsi modifié, il restait cependant un problème de taille à résoudre afin d'accueillir les touristes : les moustiques. La nuisance qu'ils causaient était alors très importante, étant estimée à 500 piqûres en 15 minutes. Cette nuisance a justifiée la création de l'Entente Interdépartementale pour la démoustication (ou EID) en partenariat avec la mission racine. C'est une structure publique, ayant pour mission principale de contrôler les espèces nuisantes de moustique proliférant dans les zones humides marginales des étangs et lagunes du littoral. 300 000 hectares du littoral Méditerranéen ont été démoustiqués d'abord à l'aide de produits organochlorés (ex : DDT) puis organophosphorés (Ex : téméphos, fénitrothion). Les impacts lors des épandages de ces produits n'étaient pas étudiés alors, la protection de l'environnement n'étant pas la priorité à cette époque.

Cependant, les autorités ayant déjà conscience de la richesse faunistique et floristique de la Camargue, il fut décidé d'en faire une coupure verte non démoustiquée entre la zone industrielle de l'étang de Berre et le tourisme de masse du Languedoc-Roussillon.



Figure 6 : Carte de la petite et grande Camargue. Crédit : Loïc Willm

2.2 La démoustication en Camargue

La Camargue est un territoire particulier et complexe, situé sur le delta sur Rhône. L'action conjuguée du Rhône et de la mer Méditerranée est responsable du grand nombre d'habitats inondés plus ou moins salés, entrecoupés d'habitats exondés naturels ou urbanisés (Parc naturel régional de Camargue 2013). La mosaïque des habitats qui composent la Camargue est créatrice d'une biodiversité très importante. Plus de 5700 espèces y ont été répertoriées en Camargue, dont 75% des espèces d'oiseaux recensées en France, 50% des espèces de libellules et de poissons d'eau douce, 30 à 40% des reptiles, amphibiens et mammifères terrestres, et près d'un quart de la flore (Les publications de l'Observatoire Camargue 2005). Les moustiques et l'Homme cohabitaient.

En 1995, la municipalité entrante arlésienne affiche dans son programme sa volonté de démoustiquer la Camargue (Claeys-mekdade 2002), mais de nombreuses oppositions et controverses ne permettent pas la mise en place de cette démoustication. Malgré cela, les démarches sont entreprises : une démoustication à l'échelle de quelques parcelles est réalisée, mais sans aboutir réellement (Claeys-mekdade 2002). L'année 2005 a été l'année du changement, après un été extrêmement sec, une terrible nuisance a été ressentie par la population Camarguaise, inégalée depuis 60 ans(Guillet & Mermet 2013). Les conditions météorologiques et les moustiques en sont la cause. Ces derniers pondent leurs œufs sur un sol sec potentiellement inondable et cet été là, aucune pluie n'était survenue, le stock d'œuf était considérable. Les pluies torrentielles de septembre ont données lieu à l'éclosion simultanée des milliers œufs de moustiques accumulés toute l'année qui étaient jusqu'alors quiescents. Cette forte nuisance a fait réagir les élus locaux et le Président du Conseil général des Bouches-du-Rhône, qui avec le Président de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ont annoncé le déblocage d'un million d'euros pour la mise en place de la démoustication (Guillet & Mermet 2013). Deux conditions ont été établies pour cette démoustication expérimentale :

- la partie de la Camargue démoustiquée devra utilisée un larvicide dit « biologique », le *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti)
- Un suivi scientifique mesurant les impacts de cette démoustication devra être mis en place par une structure indépendante.

La bactérie *Bacillus thuringiensis israelensis* est naturellement présente dans les sols. Sa toxicité envers les Nématocères (groupe des diptères incluant les moustiques et les chironomes) a été découverte en 1976 (Goldberg & Margalit 1977). Contrairement aux insecticides chimiques de contact utilisés jusqu'alors, le *Bti* doit être ingéré pour entraîner la mortalité des larves (Brigade Verte du Haut-Rhin 2014). Lorsque la bactérie se trouve dans des conditions défavorables qui est à l'origine terrestre, elle va sporuler, c'est-à-dire elle va se multiplier en spore capable de résister jusqu'au retour de conditions favorables (Goldberg & Margalit 1977). Lors de cette sporulation, il y a production d'une protéine cristallisée, très toxique pour les larves de moustiques et de chironomes (Charles & Nielsen-LeRoux 2000). Grâce à sa sélectivité élevée et sa faible toxicité, le Bti est rapidement commercialisé et est aujourd'hui le seul insecticide homologué en Europe pour la démoustication.

Les fonds publics ne permettent pas de démoustiquer l'ensemble de la Camargue (coût estimé de 5 millions d'euros par an pour environ 50 000 habitants) où la densité de la population est de dix habitants au km^2, soit dix fois moins que la moyenne nationale (Parc naturel régional de Camargue 2013). L'urbanisation s'organise principalement autour de petites villes comme les Saintes Maries de la Mer, Salin-de-Giraud, Mas Thibert et quelques hameaux. Il est donc décidé, dans un premier temps, de limiter la démoustication aux villes de Salin-de-Giraud et Port Saint-Louis du Rhône, qui totalisent environ 10 000 habitants. Le territoire est composé de 80% d'espaces naturels (Parc naturel régional de Camargue 2013), et par conséquent, chaque village ou hameau est entouré de centaines d'hectare d'espaces naturels, comportant des zones humides qui sont potentiellement productrices de larves de moustique (Fig. 7).

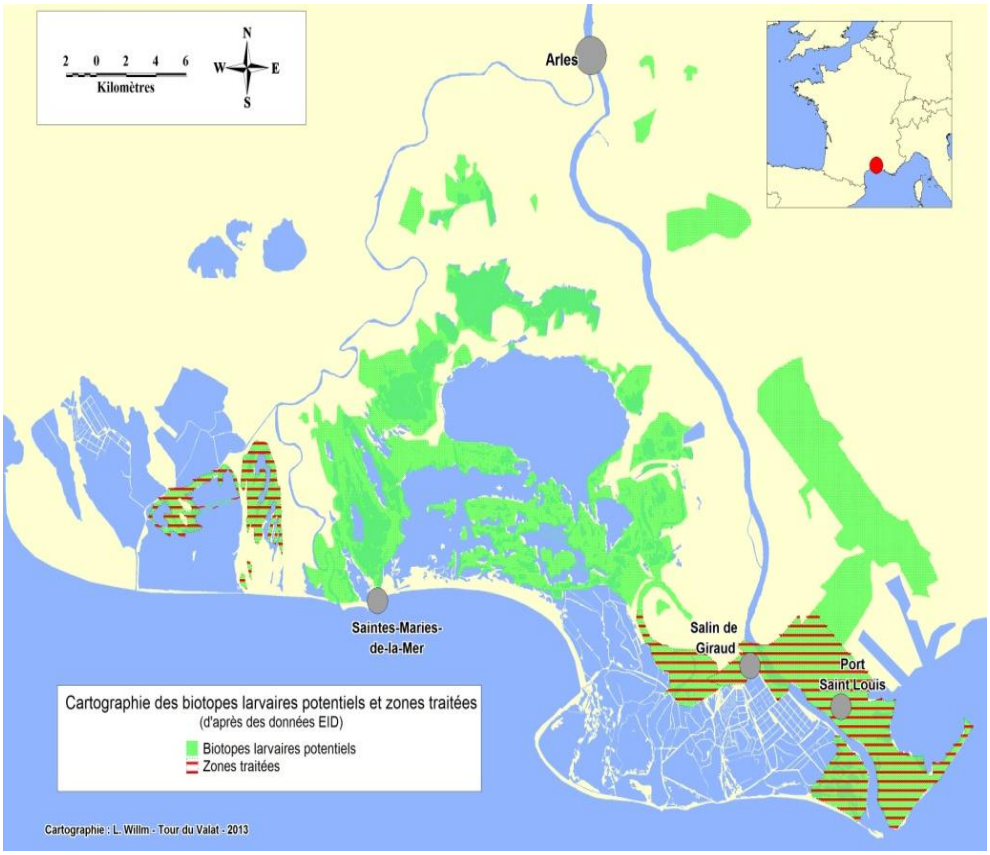


Figure 7 : Carte de la démoustication pratiquée en Camargue par l'Entente Interdépartementale pour la démoustication. Loïc Willm

En plus des forts coûts économiques que cette démoustication engendre en Camargue, (2 975 000 € pour 4 ans de démoustication), les suivis scientifiques effectués à la demande des autorités locales par la Tour du Valat ont démontré d'importants impacts sur les écosystèmes de Camargue (Poulin *et al.* 2015). En effet, le Bti réduit fortement la densité des larves de moustiques mais aussi la densité des larves de Chironomes. Ces deux organismes sont à la base du réseau trophique et des répercussions rapides sont observées chez de nombreuses espèces : le succès reproducteur des Hirondelles de fenêtre est diminué de 33%, l'abondance et la richesse des odonates sont diminuées de moitié, les invertébrés paludicoles servant de nourriture aux passereaux des roselières diminuent de 34%, incluant une baisse de 60% chez les araignées.

En conclusion, la configuration du territoire et ses enjeux écologiques ne permettent pas une démoustication classique : il est nécessaire de trouver une alternative afin d'améliorer le confort des populations, tout en conservant la qualité des milieux et la biodiversité.

C'est en s'appuyant sur cette constatation que la Tour du Valat a lancé l'idée innovante d'utiliser des pièges à moustiques afin de créer une barrière protectrice autour des zones habitées. S'inspirant des modèles de pièges disponibles sur le marché pour particuliers, deux ingénieurs Arlésiens ont créé les pièges BAM (borne anti-moustique). Ces pièges capturent de manière sélective les moustiques adultes, en utilisant la technique de chasse de la femelle moustique : après l'accouplement, la femelle moustique « gravide » recherche un repas sanguin afin d'acquérir les protéines nécessaires à la maturation de ces œufs (Becker *et al.* 2010). En premier lieu, les antennes de la femelle lui permettent de capter les molécules de CO_2 dégagées par la respiration de son hôte et elle s'oriente dans la direction où le gradient de CO_2 est le plus élevé. Puis elle va repérer d'autres éléments : la chaleur et l'odeur de la peau (Becker *et al.* 2010). Les pièges à moustiques vont alors leurrer les femelles moustiques en imitant un hôte, pour ensuite le capturer.

Les suivis scientifiques de la démoustication en Camargue intègrent depuis 2013 l'étude de solutions alternatives. La principale solution alternative aujourd'hui est l'utilisation de bornes anti-moustique BAM. Le but de cette étude est de mesurer l'efficacité de ces BAM comme barrière de protection et de réduction de nuisance, et de quantifier les impacts potentiels sur la biodiversité, dans la perspective d'un déploiement à l'ensemble des villages Camarguais.

3. Ma mission : Etude de l'efficacité des Bornes anti-moustique et de leurs éventuels impacts sur la faune non cible.

3.1 La cahier des charges

Plusieurs missions m'ont été confiées dans le cadre de mon stage à la Tour du Valat sous la tutelle du Dr Brigitte Poulin :

Tableau 1 : cahier des charges du stage réalisé du 14/03/2016 au 26/08/2016

Missions	Méthodes
Etude de l'efficacité des BAM installées au Hameau du Sambuc	- Test du mollet - Estimation du nombre de moustiques capturés et identification
Etude des impacts sur la faune non cible	- Mesure du succès reproducteur de la colonie d'Hirondelle de fenêtre au Sambuc - Comptage et identification des insectes capturés dans les pièges hors moustique et arabis
Etude pour l'amélioration de l'efficacité des BAM	- Cycle d'activités des moustiques sur 24h - Comparaison du taux de captures par un nouveau prototype - Comptage automatique des moustiques
Communication sur l'expérience et sensibiliser la population à la protection de l'environnement	- Création d'une page Facebook® avec informations sur l'étude, Question/Réponse - Intervention à l'école primaire du Sambuc

3.2 Le sujet par rapport à l'entreprise, les problèmes à résoudre

L'arrêté préfectoral de 2015 autorise la démoustication au Bti pour l'année 2016 accompagné obligatoirement d'un suivi scientifique et ce depuis le début, en 2006. Un appel à projet a donc été lancé par le Parc Naturel Régional de Camargue (Parc naturel régional de Camargue 2016) dans le but de :

- Avoir un état précis de l'évolution des populations animales non cibles potentiellement impactées par les opérations de démoustication et des connaissances sur le devenir du Bti dans le milieu
- D'obtenir une vision continue de l'évolution des impacts déjà révélés lors de la précédente phase de l'expérimentation sur certaines populations d'invertébrés (Chironomes, Odonates), ainsi que sur les, chiroptères et passereaux paludicoles
- D'assurer une veille spécifique des colonies d'hirondelle de fenêtre sur les secteurs démoustiqués et sur l'ensemble du delta
- De préciser les effets liés aux dérangements occasionnés par l'intervention des agents chargés de la démoustication dans le fonctionnement des espaces naturels, notamment ceux qui bénéficient de statuts de protection
- De poursuivre les enquêtes sociologiques permettant de mieux connaître les méthodes de luttes alternatives déjà utilisées ou qui ont été évoquées dans les recommandations du Conseil scientifique et d'éthique du Parc
- D'évaluer les techniques alternatives de limitation de la nuisance (notamment en lien avec l'expérimentation programmée du prototype B.A.M.S – Barrière Anti Moustique Stratégique).

Depuis le début des opérations de démoustication en Camargue en 2006, l'Equipe du Dr Brigitte Poulin de la Tour du Valat a remportée les appels à projet et est donc en charge du suivi scientifique. Le dernier point du suivi scientifique m'a été confié dans le cadre de ce stage.

3.3. L'analyse de l'existant

Une première étude a été réalisée en 2015 avec 10 Bornes anti-moustiques de la société Arlésienne TechnoBam® installées au hameau du Sambuc. Cependant, la mise en service tardive des pièges (Juillet 2015) qui n'ont été en opération que pendant deux mois, couplée à quelques problèmes techniques et une météo défavorable, n'ont permis de récolter que très peu de données exploitables. Malgré cela, les résultats, prometteurs, ont montré une réduction de la nuisance de 88% et un impact faible sur la faune non cible alors que les diptères piqueurs représentaient 99,3 % des captures (Poulin *et al.* 2015). La mise en opération tardive, n'a cependant pas permis d'évaluer l'impact des pièges sur la reproduction d'une colonie d'hirondelles nichant à proximité, la première nichée étant alors terminée. A l'issue de ces résultats, il a donc été décidé de reconduire l'expérimentation en 2016 avec 15 pièges en opération d'avril à octobre afin de donner plus de crédibilité aux résultats. Le suivi sociologique associé à cette étude, de même qu'une restitution des résultats aux habitants en début d'année ont révélés un souhait de la population d'être mieux informée en temps réel sur les résultats de cette expérimentation.

L'expérimentation sur une démoustication innovante à l'aide de BAM a donc été reconduite à la saison printemps-été-automne 2016. Si les pièges à moustiques sont typiquement utilisés par des particuliers ou encore dans le cadre de veille entomologique, leur usage pour réduire la nuisance au niveau d'une collectivité n'est pas un cas unique. Ce procédé a été utilisé aux Etats-Unis, au Brésil ainsi qu'en Italie pour contrôler les populations de moustique à l'aide des pièges BG-sentinel® et mosquito magnet® (Kline 2006; Farajollahi *et al.* 2009; Drago *et al.* 2012; Fonseca *et al.* 2013).

4. Ma mission : démarche et résultats

4.1. La démarche suivie pour résoudre les problèmes

Tout d'abord, il a été essentiel de s'approprier l'étude dont j'étais chargée. J'ai étudié la bibliographie à disposition, sur les Bornes anti-moustique, sur ce qui a déjà été fait, ainsi que sur l'étude menée en 2015. Les protocoles étant déjà définis, j'ai pu me documenter sur ceux-ci. Puis j'ai réalisé des recherches afin de mieux connaître les moustiques présents en Camargue. Puis j'ai appris à les identifier à l'espèce sous loupe binoculaire. Avant le démarrage des Bornes anti-moustique le 18 avril 2016, il a fallu préparer toute la communication autour de la page Facebook® qui a été créée après avoir été validée par le Parc Naturel Régional de Camargue et la mairie adjointe du Sambuc. Enfin, l'étude a réellement démarré et plusieurs manipulations de terrains ont été réalisées pour répondre à la problématique de mon stage. Les analyses présentées dans ce rapport, utilisent les données collectées entre le 18 avril 2016 et le 29 juillet 2016, de même que quelques données issues de l'expérimentation menée en 2015.

4.2. Matériels et méthodes

4.2.1 Site de l'étude

Le site d'étude est situé en Camargue, à 25 km au sud de la ville d'Arles. Le hameau du Sambuc appartient à la commune d'Arles et abrite une population de plus de 500 habitants. Il est entouré de zones humides naturelles, de manades taurines, de champs agricoles accueillant du riz, et du blé. Le hameau est configuré en étoile, les habitations se concentrent le long des deux routes principales du Sambuc.

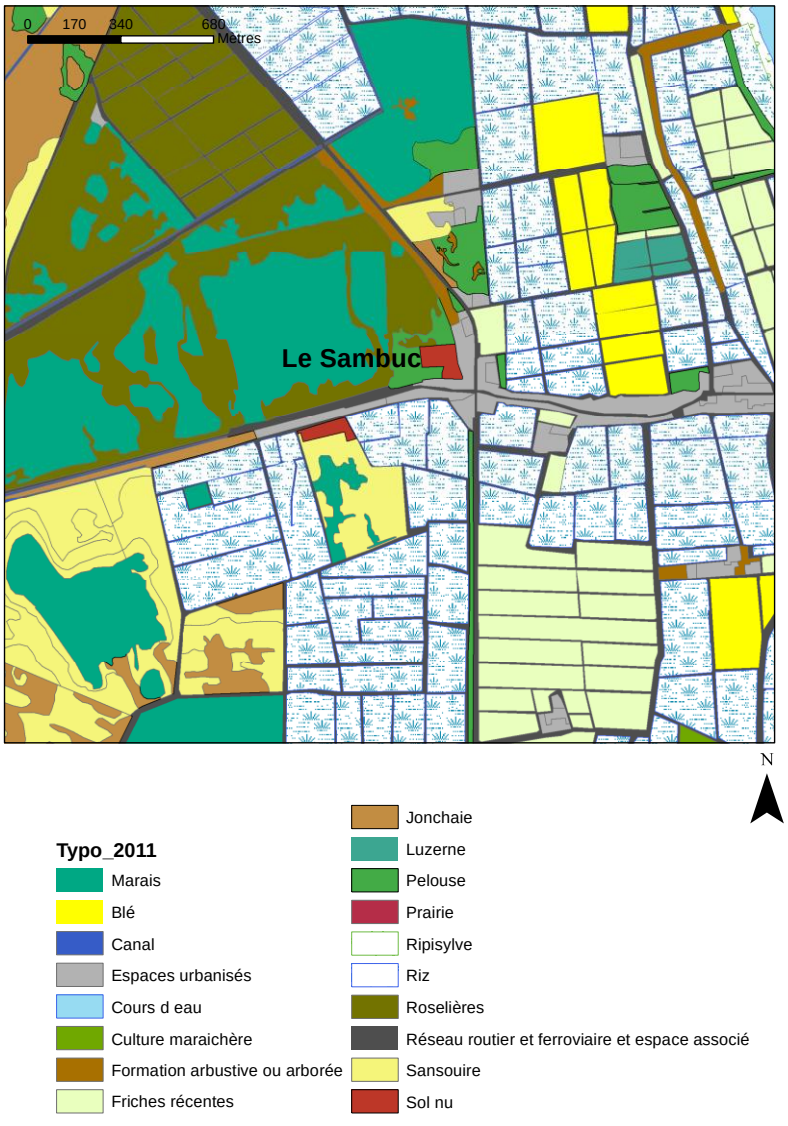


Figure 8 : Carte représentation l'occupation des sols Le Sambuc. Camille Muranyi-Kovacs

Ce site présente beaucoup d'avantage :

- à 5 km de la Tour du Valat, cela permet de nous rendre sur le site tous les jours
- il est situé dans le périmètre du Parc naturel régional de Camargue qui est le premier soutien du projet. La Mairie annexe du Sambuc soutien également le projet.
- Il est proche des zones productrices de moustique.

Mais également un désavantage :

- Sa configuration en étoile n'est pas favorable à la création d'une barrière anti-moustique à l'aide des BAMs.

4.2.2 Matériels biologiques

4.2.2.1 *Les moustiques de Camargue*

Un inventaire effectué en 1955 a permis de répertorier 24 espèces de moustiques en Camargue (Rioux & Arnold 1955). A cet inventaire vient s'ajouter très récemment le moustique tigre (*Aedes albopictus*), que l'on retrouve en Arles et plus rarement au Sambuc. Ces 25 espèces se regroupent en sept genres : *Anopheles, Culex, Aedes, Ochlerotatus, Culiseta, Coquilletidia, et Uranotenia*.

Les espèces *Ochlerotatus caspius* et *Ochlerotatus detritus* sont les plus abondantes en Camargue (environ 90% des effectifs de moustique) (Rioux & Arnold 1955).Ce sont les deux espèces visées par la démoustication au Bti exercée par l'Entente Interdépartementale pour la démoustication. Dans les 10% restant, les espèces les plus représentées en Camargue sont : *Aedes vexans, Culex modestus, Culex pipiens,* et *Culiseta annulata.*

L'écologie des moustiques de Camargue est globalement similaire, c'est pourquoi la description ci-dessous sera générale.

Morphologie :

Le corps du moustique est divisé en 3 parties bien distinctes : La tête, le thorax et l'abdomen.

La tête est composé d'une paire de yeux composés, de pièces buccales servant à l'alimentation, et d'antennes recouvertes d'organes sensoriels, appelés sensilles (Sutcliffe 1994). Les mâles et les femelles les utilisent différemment. Les femelles s'en servent pour repérer les molécules comme le CO_2 ou les odeurs. Les sensilles permettent aux mâles de capter les vibrations que produisent les ailes des femelles pour les repérer et tenter de s'accoupler.

Le thorax est la partie centrale du corps sur laquelle sont rattachées les pattes et l'unique paire d'ailes membraneuses.

L'abdomen est la partie postérieure du corps, qui contient la plupart des organes vitaux du moustique (organes circulatoires, système digestif, ovaires).

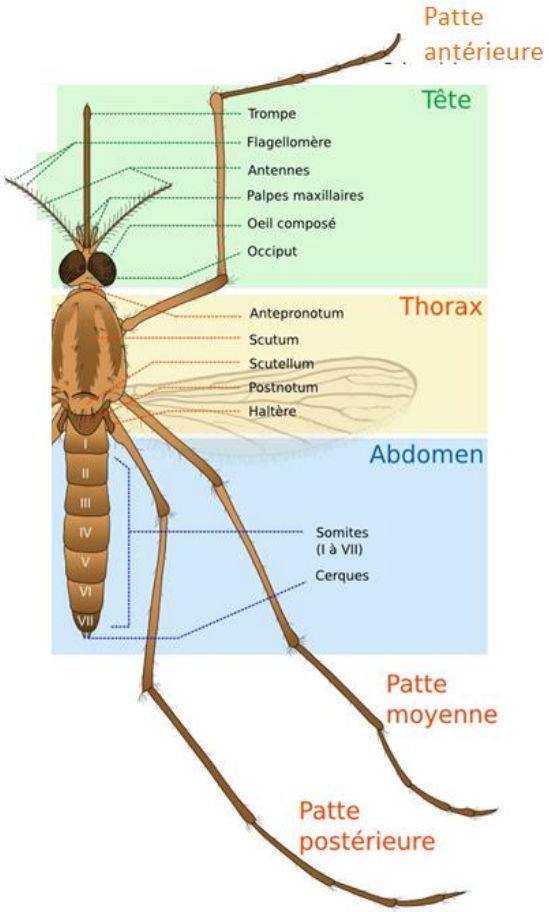


Figure 9 : Schéma de la morphologie d'un moustique. Wikipédia

Cycle de vie :

Les moustiques sont des insectes à métamorphose complète, c'est-à-dire qu'ils passent successivement par 4 stades bien différenciés : œuf, larve aquatique, nymphe aquatique et imago (Delaunay, 2001).Chaque étape du cycle peut avoir une durée variable, selon à la température ambiante. Plus la température est élevée, plus les durées nécessaires à la réalisation des différents stades seront courtes.

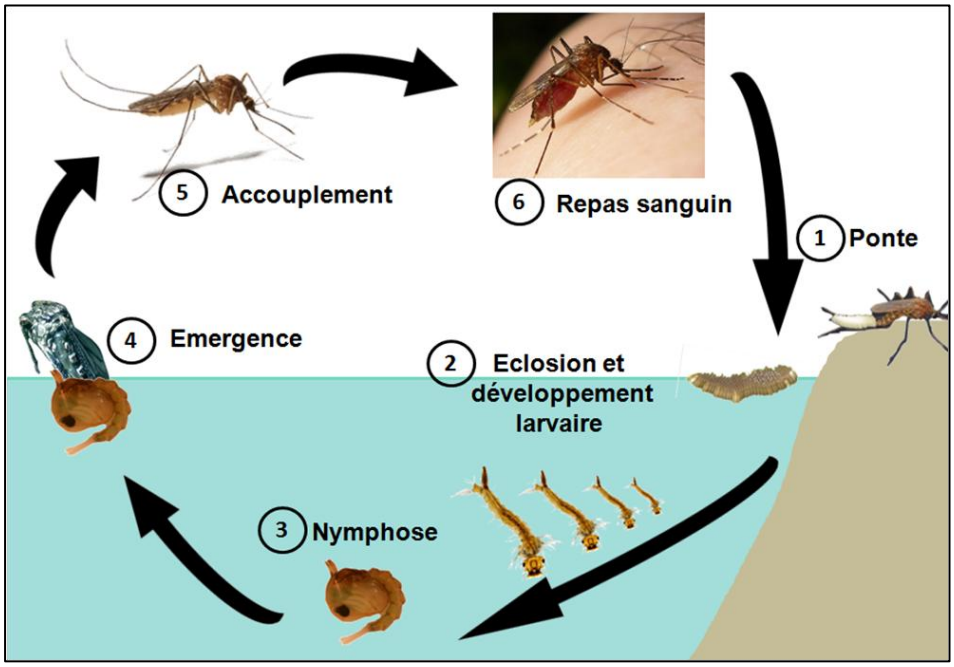


Figure 10 : Cycle de vie d'un moustique. Camille Muranyi-Kovacs

1 La ponte : selon les espèces, la femelle moustique pond ses œufs après maturation soit sur le sol sec, potentiellement inondable, soit sur l'eau directement (Dale & Knight 2008). Une femelle peut pondre jusqu'à 200 œufs toutes les 48 heures. Lorsque les conditions sont défavorables à l'éclosion et au développement larvaire (par exemple l'hiver) les femelles produisent des œufs ayant la capacité de se mettre en quiescence (Becker, 2010), pouvant durer un an ou plus, et éclore lorsque les conditions redeviennent favorables.

2 Eclosion et développement larvaire : Lorsque les œufs sont submergés par de l'eau, ils peuvent éclore (Becker *et al.* 2010), donnant ainsi une larve aquatique. C'est sur ce stade que va agir le Bti. Quatre stades de développement différents caractérisent le développement de la larve. Une mue à chaque stade, permet une croissance de 2 à 12 mm. Les larves possèdent une tête et un thorax bien différenciés, ainsi qu'un abdomen à dix segments. Elles sont aquatiques mais ont une respiration aérienne réalisée par l'intermédiaire d'un siphon respiratoire situé à l'extrémité de l'abdomen. Elles possèdent des brosses buccales proéminentes sur la tête, leur permettant de filtrer leur nourriture. Elles se nourrissent de zooplancton, de champignons, de bactéries, levures, protozoaires et d'autres nombreux micro-organismes.

3 La nymphose : La larve mue en une nymphe, qui est le dernier stade aquatique. Durant ce stade de courte durée (de 24 à 48h), l'animal ne se nourrit plus, car son système digestif et ses pièces buccales subissent de grandes métamorphoses (Chambers & Klowden 1990) et doit puiser dans les réserves alimentaires stockées au stade larvaire. La nymphe est composée d'un céphalothorax résultant de la fusion de la tête de la larve et du thorax, et d'un abdomen à dix segments au bout duquel se trouve une paire de pagaies lui permettant de se déplacer plus rapidement (Service 2004). C'est sur cette partie appelée céphalothorax que se trouve la paire de trompettes respiratoires et où sont renfermés les ailes, les pattes et le proboscis.

4 L'émergence : C'est le passage final obligatoire, par lequel une nymphe devient un adulte aérien appelé imago. La cuticule se fend légèrement, l'adulte se gonfle d'air et s'extrait de la mue.

5 L'accouplement : Le moustique mâle est attiré par les vibrations des ailes de la femelle en vol. Puis, il y a accouplement très souvent réalisé en vol.

6 Le repas sanguin : Après l'accouplement, la femelle moustique a besoin d'un repas de sang avant de pondre. C'est à ce stade que les pièges à moustiques agissent, en leurrant un hôte à piquer.

Ecologie vectorielle

Certains moustiques peuvent être vecteur compétent de la Dengue, du Chikugunya, du West Nile, du paludisme et plus récemment du Zika. Ces virus ne sont actuellement pas implantés en France métropolitaine. Ils peuvent cependant être transportés jusqu'en France par des voyageurs revenant de pays où ces virus sont endémiques. En effet, les personnes peuvent être porteuses d'un des virus de retour en métropole sans que celui-ci ne soit encore détecté. Selon les compétences immunologiques des individus infectés, les symptômes ne se déclarent qu'au bout de 5 à 7 jours. Pendant ce laps de temps, les voyageurs inconscients de leur maladie peuvent être piqués par un moustique, et c'est alors que le moustique devient un potentiel vecteur de la Dengue ou du Chikugunya et peut être responsable de cas dits autochtones.

4.2.2.2 *L'hirondelle de fenêtre*

L'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*) est un petit oiseau migrateur faisant partie de l'ordre des passériformes et de la famille des Hirundinidés. De septembre à mars, elles hivernent en Afrique subsaharienne, puis elles reviennent se reproduire au printemps en Europe. La colonie présente au Sambuc est suivie depuis l'année 2006, le succès reproducteur de la colonie est mesuré chaque année.



Figure 11 : Hirondelle de fenêtre nourrissant ses quatre jeunes. Crédit photo : F. Lelievre

Habitat

L'hirondelle des fenêtres est une espèce grégaire essentiellement anthropophile (Issa & Muller 2015). Ses habitats privilégiés sont les paysages urbanisés et ouverts avec une végétation basse, près de l'eau. On peut également retrouver des colonies en montagne, jusqu'à plus de 2 200 mètres d'altitude en Europe (Flitti *et al.* 2009).

Alimentation

Cette espèce est insectivore, le repas se compose en grande partie de diptères, incluant les moustiques et les chironomes (Flitti *et al.* 2009). Elles chassent en vol, généralement dans un rayon de moins de 500 mètres des nids (Bryant 1973; Bryant & Turner 1982).

Reproduction

En avril, les hirondelles migrent vers les zones de reproduction. Les colonies s'établissent sur une grande variété de constructions : édifices historiques, ponts, habitations, hangars, granges, étables…. Elles sont plus rarement établies en milieux rupestres, en falaises (Issa & Muller 2015). A leur arrivée, les hirondelles font une première visite du nid utilisé l'année précédente. Si le nid n'est pas réutilisable, elles en construisent un autre, sinon le couple répare celui-ci (Flitti *et al.* 2009). Les nids sont construits sous des corniches diverses comme les toitures ou les fenêtres. Elles peuvent parfois nicher à l'intérieur de bâtiment (Issa & Muller 2015). Lorsque le nid est construit, les adultes s'accouplent. Les premières pontes ont généralement lieu en mai (Flitti *et al.* 2009), la seconde ponte en juillet. Les parents élèvent ensemble les petits qui prennent leur envol au bout de six à sept semaines (Flitti *et al.* 2009). Les jeunes commencent à migrer dès fin août vers les sites d'hivernage tandis que les adultes repartent en septembre ou octobre (Flitti *et al.* 2009; Issa & Muller 2015).

Statut de conservation

L'Hirondelle de fenêtre est considérée comme en léger déclin en Europe, en particulier pour les populations de France, d'Allemagne et de Turquie. En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, il y a un déclin marqué dû à la destruction des nids (Flitti *et al.* 2009) mais aussi dû l'utilisation du Bti qui a un impact sur les insectes (moustiques et chironomes) dont dépend cette espèce (Poulin *et al.* 2015).

4.2.3. Les bornes anti-moustique de la société TechnoBam®

Dix Bornes anti-moustiques étaient déjà installées au Sambuc lors du début de l'étude en 2016. Elles ont été démarrées le 18 avril 2016. Six BAM ont ensuite été ajoutées le 23 mai 2016 afin de mieux couvrir certains secteurs du hameau de manière à créer une barrière anti-moustique (Figure 12).



Figure 12 : carte de localisation des bornes anti-moustique au Sambuc

Les bornes fonctionnent à l'électricité, avec du CO_2, et de l'attractif utilisant la molécule octénol. Elles utilisent la technique de chasse des moustiques femelles en recherche d'un repas sanguin. En premier lieu c'est le CO_2, émis par les bornes de façon rythmée afin de reproduire la respiration humaine qui va attirer les femelles moustiques. Puis c'est l'attractif contenant des molécules d'octénol présente dans la transpiration humaine qui va amener les femelles à s'approcher du piège pour être aspirées par un ventilateur (Figure 13).

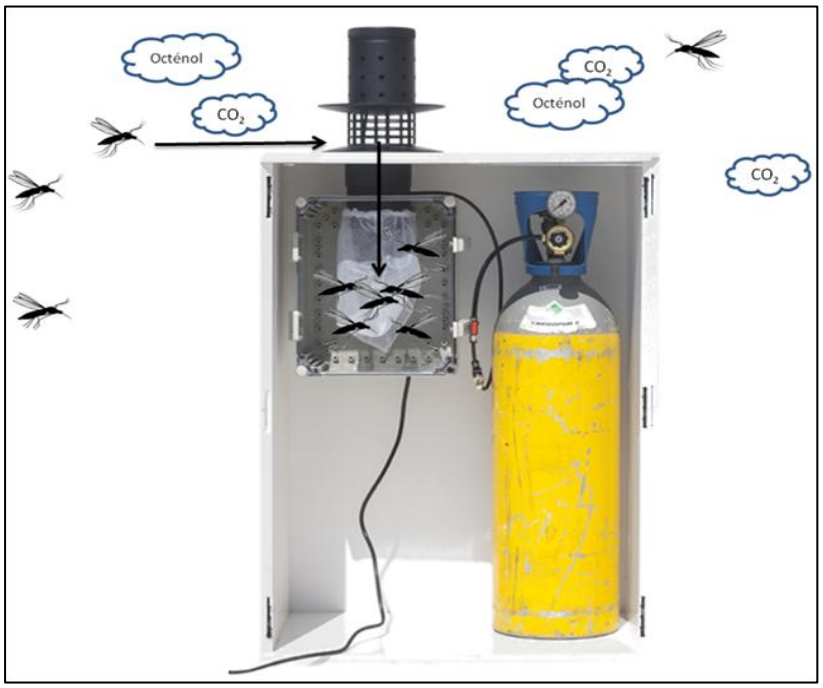


Figure 13 : Schématisation du fonctionnement d'une borne anti-moustique. Camille Muranyi-Kovacs

4.2.4 Etude de l'efficacité des Bornes anti-moustique

Afin d'estimer si les pièges sont réellement efficaces quant à la réduction de la nuisance, deux manipulations ont été régulièrement effectuées du 18 avril 2016 au 29 juillet 2016 :

Relève des pièges.

Les filets de tous les pièges recueillant les moustiques sont relevés tous les jours du lundi au vendredi. Le contenu de trois pièges est pesé et trié puis les insectes identifiés sous loupe binoculaire une fois par semaine. Le contenu des autres pièges est seulement pesé après avoir enlevé les insectes non cibles. Le nombre de moustiques dans ces pièges est estimé à partir de leur poids moyen déterminé par l'analyse détaillé des trois échantillons hebdomadaires.

Le test du mollet

Ce test est effectué toutes les semaines, idéalement trois fois par semaine lorsque les conditions météorologiques le permettent (vent faible < 30km/h et sans pluie) et lors de la tombée du jour, lorsque les moustiques sont actifs (Service 2004). Ce test consiste à présenter nos mollets aux moustiques pendant 10 minutes (Fig.14). Tous les moustiques tentant de piquer sont capturés à l'aide d'un aspirateur à bouche puis ils sont comptés et identifiés à l'espèce. Ces tests sont effectués à 10 et 40 mètres de trois pièges et sur deux sites témoins (sans pièges) situés à environ 500 mètres du hameau (annexe 2). Ainsi nous pouvons comparer la nuisance due aux moustiques, en utilisant le nombre de tentatives de piqûre dans les zones démoustiquées (à 10 mètres et 40 mètres) par les pièges et les zones non démoustiquées.



Figure 14 : Test du mollet au Sambuc réalisé par Catherine Lavallée-Chouinard. Crédit photo : Camille Muranyi-Kovacs

Traitement des données

Nous avons en notre possession les données du test du mollet sur tous les points cités ci-dessus, réalisées en 2015, avant l'installation des pièges, et les données que nous avons produites en 2016 après la mise en opération pièges. Un test de normalité, le test Q-Q plot a été effectué pour s'assurer que celles-ci suivent la loi normale et choisir le bon test statistique. Des modèles linéaires généraux ont été effectués en utilisant le test d'ANOVA hiérarchique, afin de comparer la nuisance moyenne observée en zone traitée et en zone non traitée. La variable dépendante est « le nombre de moustique capturé par le test du mollet en 10 minutes » et les facteurs aléatoires « date » et « site » ont été imbriqués dans le facteur fixe « traitement ». Ainsi nous avons fait disparaitre l'influence de la date et des sites pour mettre en évidence le facteur traitement.

En parallèle, un autre test GLM à ANOVA hiérarchique a été réalisé pour comparer la nuisance en zone démoustiquée à 10m et 40m des pièges, et pour vérifier si le nombre de moustique capturé par le test du mollet à 40m des pièges était significativement différent du taux de capture à 10 mètres ou de celui des sites témoins. La variable dépendante utilisée est « le nombre de moustique capturés par le test du mollet en 10 minutes », les facteurs aléatoires « date », « traitement » ont été imbriqués dans le facteur fixe « distance par rapport aux pièges ». Ce test permet de mettre en évidence une différence statistique du taux de capture en fonction de la distance du piège, en minimisant les effets de la date ainsi que du traitement.

4.2.5 Etude de la nuisance sur 24h

Afin d'évaluer s'il était possible d'adapter le rejet de CO_2 des bornes anti-moustiques en fonction des heures de la journée et des espèces présentes, nous avons réalisé le test des « 24h du moustique » à deux reprises. Sur une durée de 24h, le filet d'un piège se situant sur le domaine de la Tour du Valat est relevé toutes les heures. Les moustiques capturés sont comptés et identifiés à l'espèce afin de caractériser leur cycle d'activité. Ainsi, l'interruption de rejet de CO_2 lorsque les moustiques ont peu de probabilité d'être capturés permettrait de réduire les coûts de fonctionnement des pièges.

Traitement des données

Un test de nuisance sur 24h a été effectué en 2015, nous allons comparer nos données entre elles, et avec les données de l'année précédente. Le nombre de moustique de chaque espèce à chaque heure va être comparé.

4.2.6 Etude des impacts sur la faune non cible

4.2.6.1 *Mesure du succès reproducteur des Hirondelles de fenêtre*

Le suivi de la colonie d'hirondelles de fenêtre du Sambuc a débuté le 12 mai 2016, peu après les premières pontes (Flitti *et al.* 2009). Nous souhaitons, au travers de ce suivi, si l'utilisation des BAM se traduit par une diminution du succès reproducteur comme précédemment observé avec l'usage du Bti. Le succès reproducteur, estimé selon le nombre moyen de jeunes produits par nid, est comparé aux valeurs obtenues sur des sites traités et non traités au Bti, incluant la colonie du Sambuc suivie entre 2009 et 2015.

Suivi de la colonie d'Hirondelle

Pour cela, de mai à mi août, 21 nids de la colonie du Sambuc, ont été visité deux fois par semaine. Le nombre d'œufs et de jeunes selon quatre stades de développement ont été déterminés à chaque visite à l'aide d'un endoscope (Fig. 15). Le nombre de poussins arrivant au stade de l'envol par nid a ensuite été comptabilisé pour chaque nid afin d'estimer le succès reproducteur.



Figure 15 : Suivi de la colonie d'hirondelle de fenêtre du Sambuc réalisé par Camille Muranyi-Kovacs. Crédit photo : Samuel Hilaire

Traitement des données

Afin de déterminer si la colonie du Sambuc se comporte comme une colonie en zone démoustiquée au Bti ou en zone non démoustiquée, une comparaison des moyennes de poussin à l'envol par nid a été réalisée au travers d'un modèle linéaire général (GLM) utilisant une ANOVA hiérarchique. La variable dépendante utilisée est « le nombre de poussin par nid », les facteurs « site » et « année » ont été imbriqués dans le facteur fixe « démoustication ». La représentation graphique du facteur « démoustication » pour chaque année de suivi permet de distinguer l'impact d'une démoustication au Bti de celle à base de pièges, la colonie du Sambuc étant la seule suivie en 2016.

4.2.6.2 *Evaluation des captures d'insectes non ciblés*

En parallèle au comptage hebdomadaire des moustiques capturés dans les filets des trois pièges (cf. partie 4.2.4), les organismes capturés non intentionnellement ont été comptés et identifiés à l'ordre. Ces données permettent de mesurer l'impact direct des pièges sur la faune non cible, c'est-à-dire sur des insectes non responsables de la nuisance.

4.2.7 Communication/Science participative

4.2.7.1 *Page Facebook®*

Une étude sociologique a été réalisée par le Dr Laurence Nicolas à l'automne 2015. Cette étude se concentrait sur le ressenti de la population du Sambuc vis-à-vis l'efficacité des pièges (Poulin *et al.* 2015). Les Sambutens trouvaient alors qu'il y avait un manque d'informations autour de l'étude sur les pièges menée par la Tour du Valat en 2015, ainsi que d'un espace dans lequel il serait possible de donner son avis ou poser des questions. Dans un esprit de science participative, il a été décidé de créer une page Facebook®, appelé « Le moustique du Sambuc » (www.facebook.com/le.moustique.du.sambuc/). Avant la mise en ligne de la page Facebook®, le 18/04/2016, nous avons dû obtenir l'autorisation des différents partenaires : la mairie annexe du Sambuc, Le Parc régional de Camargue et la société TechnoBAM®.

La page Facebook® a été créée sous forme d'un personnage public, « le moustique du Sambuc ». La gestion de cette page est effectuée par moi-même (90%) et par Brigitte Poulin (10%). Le tableau 2 indique le programme journalier de la maintenance de la page Facebook®.

Tableau 2 : planning des publications par semaine, avec le type utilisé.

Jour	Publications	Type de publication
Lundi	Quizz concernant les moustiques, la démoustication en général et ses impacts. Ex : D'après vous, quel est l'intérêt de l'utilisation des pièges face à l'épandage de Bti ?	Photo
Mardi	Résultats des captures de la semaine précédente. Un classement des meilleurs pièges est donné chaque semaine afin de créer un jeu, une compétition entre les habitants et d'impliquer ceux-ci dans notre étude (signalement si dysfonctionnement de la Borne, déplacement de la Borne si le taux de capture est bas…).	Photo
Mercredi	Article scientifique, un peu plus détaillé sur les pièges, les impacts, l'importance des zones humides naturelles, de la chaine trophique….	Lien web
Jeudi	Pensée de la semaine, sur une anecdote sur les moustiques Ex : Ce ne sont que les moustiques femelles qui piquent, les mâles se nourrissent de nectar.	Photo
Vendredi	Réponse au Quizz du lundi avec des explications détaillées.	Photo
Samedi	Vidéo/photo/Blague sur les moustiques	Photo/lien web

D'autres publications, de type statut, sont publiées lors d'évènement exceptionnel (ex : record de capture en 24h d'un piège, plus de 2000 moustiques).

Afin de faire connaitre la page Facebook® auprès des Sambutens, des flyers (Fig. 16, annexe 3) ont été distribués dans toutes les boîtes aux lettres grâce aux agents techniques de la mairie annexe du Sambuc, et des affiches ont été placardées dans les commerces et bars du Sambuc. Enfin des affiches ont été posées sur les pièges BAM comportant le numéro de chaque borne, ainsi que le nom de la page Facebook®.



Figure 16 : Flyer distribué au Sambuc pour la promotion de la page Facebook®

Traitement des données

Facebook® permet de récupérer des données sur les personnes qui s'abonnent à la page, c'est-à-dire qui « Like », et dont toute publication s'affichera sur le fil d'actualité : le lieu de vie, l'âge et le sexe. Le réseau social permet de mettre en évidence le rayon d'action des publications, combien de personnes voient une publication de la page s'afficher sur leur fil d'actualité (personnes abonnées ET non abonnées).

Nous pouvons obtenir le nombre de personnes touchées par type de publications (les liens, les photos et les statuts) ainsi que le taux d'engagement. L'engagement, défini par l'action d'une personne sur une publication, peut être de trois sortes : un « j'aime » sur la publication, un commentaire ou encore un « partage », c'est-à-dire qu'une personne partage la publication sur leur mur Facebook® personnel. Lorsqu'une personne réalise l'une de ces trois actions, la publication devient visible sur le fil d'actualité de ces amis sur Facebook®.

4.2.7.2 *Communication presse écrite-télévisée-web*

Nous avons eu plusieurs sollicitations quant à la diffusion de l'étude.

En premier lieu, à la demande du maitre d'école M. Philippe Martinez également Maire adjoint d'Arles, nous sommes intervenues à l'école du Sambuc, afin de mieux faire comprendre aux enfants les enjeux de la démoustication pratiquée actuellement et l'importance de l'étude que nous réalisons à la Tour du Valat. L'intervention s'est déroulée en trois temps : une présentation PowerPoint d'une heure suivie d'une sortie pour aller relever le filet d'une BAM, et terminée par l'observation d'un moustique à la loupe binoculaire.

Puis, par l'intermédiaire de la page Facebook ou autre, plusieurs journaux ont pris contact avec Brigitte Poulin ou moi-même afin de réaliser des reportages ou articles de presse sur notre étude.

4.2.8 Etude de préfaisabilité d'implantation des pièges dans les communes

Dans les Bouches-du-Rhône ainsi que dans tous les départements de France, les opérations de démoustication sont gérées par des structures publiques (EID, Brigades vertes). Les traitements de démoustication dans la zone d'action de l'EID Méditerranée en Camargue font l'objet d'un arrêté annuel du Préfet des Bouches-du Rhône définissant « la campagne de lutte de contrôle de la nuisance liée aux moustiques dans le département des Bouches-du-Rhône ». Il a été nécessaire de rechercher si la démoustication aux Bornes anti-moustiques était comprise dans cet arrêté préfectoral ou si cette méthode de démoustication capturant les moustiques était soumise à une autre loi.

Il va être comparé le budget d'une démoustication par l'EID et d'une démoustication par les BAM dans deux villes, Port-Saint-Louis-du-Rhône et Salin-de-Giraud.

4.3 Résultats obtenus et perspectives

4.3.1 Etude de l'efficacité des Bornes anti-moustique BAM

4.3.1.1 *Résultats de la nuisance par le test du mollet*

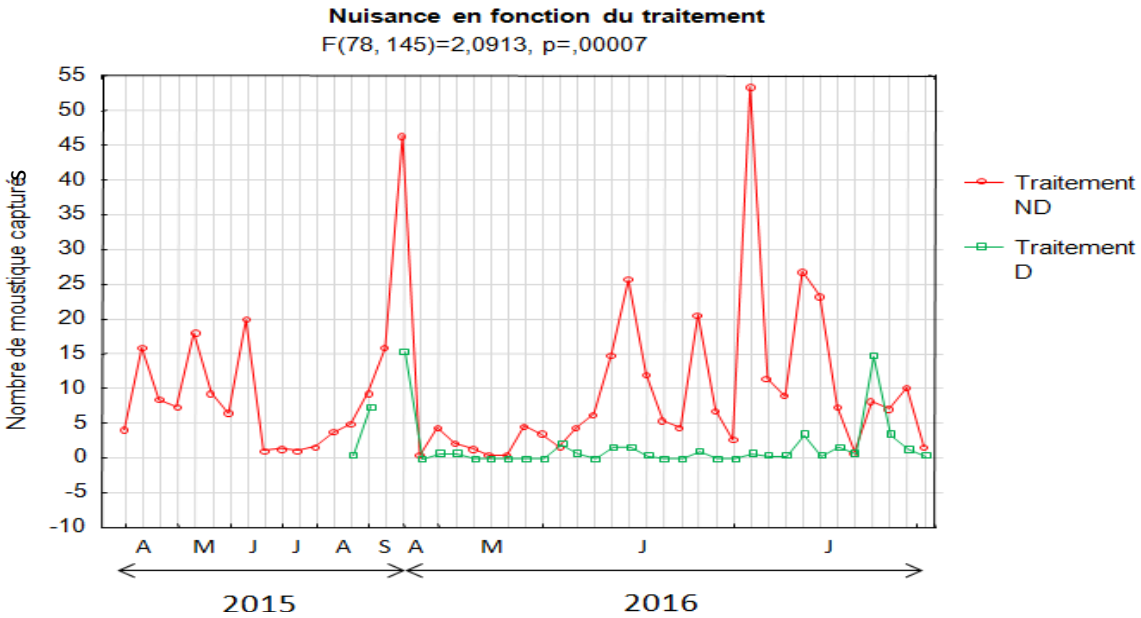


Figure 17 : Graphique représentant le nombre de moustique capturés en fonction du traitement par le test du mollet sur la saison de 2015 et 2016.

Ce graphique (Fig.17) nous présente le nombre de moustiques capturés en 10 minutes sur appât humain, en zone démoustiquée (en vert) et en zone non démoustiquée (en rouge) sur la saison 2015 et 2016. En zone non démoustiquée, le pic atteint 54 tentatives de piqûre, tandis qu'en zone démoustiquée, il atteint 15 tentatives. La différence entre les deux traitements est hautement significative ($F_{(78,145)}$=2.09 ; p-value<0.0001).

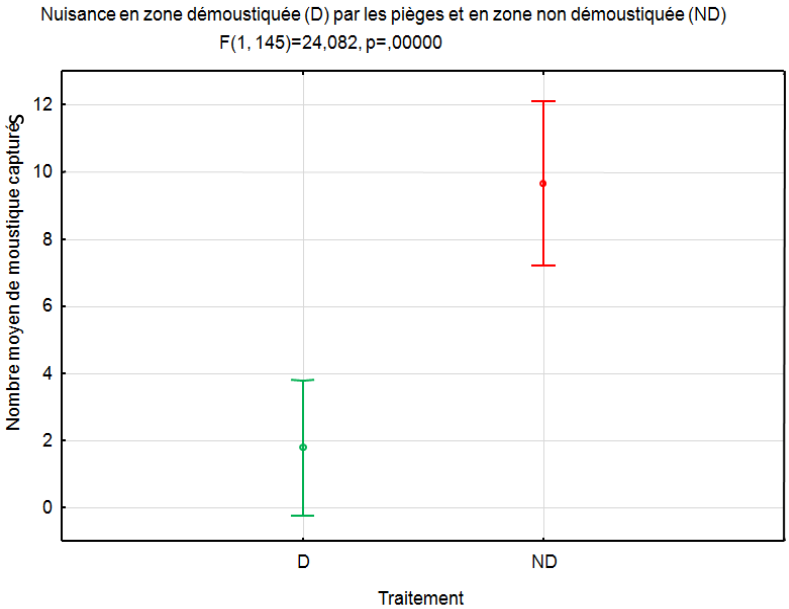


Figure 18 : Graphique représentant la nuisance en fonction du traitement.

Ce graphique (Fig.18) représente le nombre moyen de moustiques capturés en 10 minutes grâce au test du mollet en zone démoustiquée (en vert) et en zone non démoustiquée (en rouge). Nous avons enlevé les effets aléatoires « date » et « site », pour ne mettre qu'en évidence le facteur « traitement ».

En zone démoustiquée par les BAM, le nombre moyen de moustiques capturés est de 1.7 moustiques, et en zone non démoustiquée de 9.65 moustiques ($F_{(1,145)}$= 24.1 ; p-value< 0.0001). Les BAMs permettent donc de réduire la nuisance par un facteur de 82%.

Tableau 3 : Taux de réduction des différentes espèces de moustiques avec le traitement des BAM.

	Taux de réduction (%)	Nbr moyen moustique ND	Nbr moyen moustique D	F	P-value
Moustiques	82	9,65	1,777	$F_{(1, 145)}$=24,08	p<0,0001
Ochlerotatus caspius	79	7,216	1,483	$F_{(1, 144)}$=13,71	p=0,0003
Ochlerotatus detritus	96	0,054	1,257	$F_{(1, 144)}$=30,84	p<0,0001
Aedes vexans	78	0,997	0,217	$F_{(1, 144)}$=58,29	p<0,0001
Culex modestus	92	0,123	0,01	$F_{(1, 144)}$=2,96	p=0,08759
Anopheles hyrcanus	100	0,051	0	$F_{(1, 143)}$=7,68	p=0,00632
Culex pipiens	100	0,021	0	$F_{(1, 144)}$=2,33	p=0,12922
Culiseta annulata	100	0,04	0	$F_{(1, 144)}$=14,69	p=0,00019
Aedes albopictus	0	0	0,008	$F_{(1, 144)}$=0,51	p=0,47426
Coquillettidia richiardii	100	0,054	0	$F_{(1, 144)}$=14,69	p=0,00019

Ce tableau indique le pourcentage de réduction de la nuisance par espèce, grâce aux BAMs. Les espèces sont présentées en ordre décroissant d'abondance en Camargue, selon le nombre moyen de capture par 10 minutes. La réduction de nuisance varie entre 100% pour les espèces qui n'ont pas été capturées en zone démoustiquée à 78%. Ces taux de réduction sont significatifs pour les trois premières espèces qui représentent 99 % des captures sur appât humain en zone non démoustiquée.

Le test sur appât humain ou du mollet, a été effectué en zone ND, et en zone D à 10 mètres et 40 mètres des pièges. Les données révèlent que le taux de réduction ne diffère pas selon la distance du piège ($F_{(2,200)}$ = 5.95 ; p-value < 0.003), et que ce taux est significativement différent de celui de la zone non démoustiquée (Fig. 19)

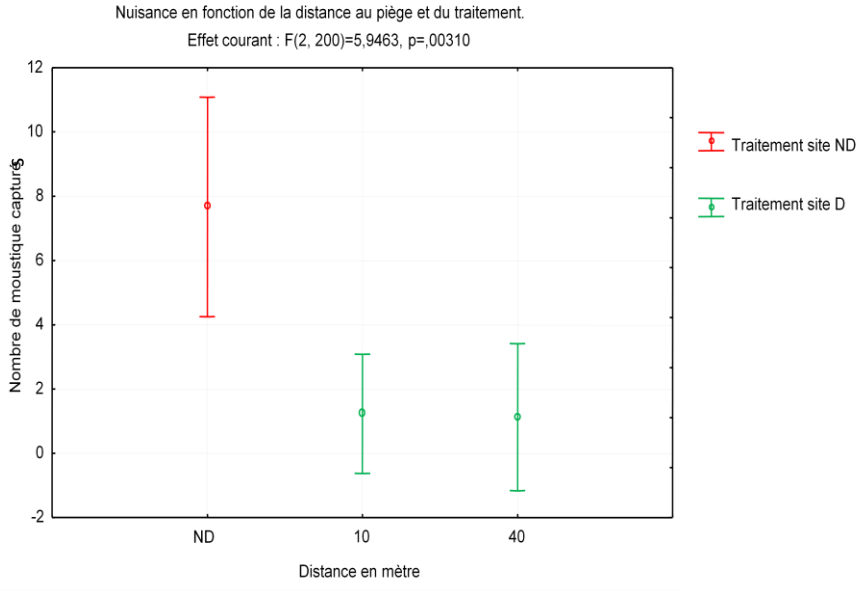


Figure 19 : Nuisance en fonction de la distance au piège.

4.3.1.2 *Discussion*

Grâce aux résultats obtenus et présentés ci-dessus, il semblerait que les Bornes anti-moustiques contribuent à une baisse de nuisance de 82%. Les pics de nuisance ressentis en zone non démoustiquée (ND) pouvant atteindre 54 tentatives de piqûre en dix minutes, ne sont pas visibles en zone démoustiquée (D) (Fig.17).

Huit espèces de moustique différentes ont été récoltées au test du mollet et sont par conséquent, responsable de la nuisance car ils piquent l'Homme. Les principales espèces sont *Ochlerotatus caspius* (80% de la nuisance) et *Oc. detritus* (13%), viennent ensuite *Aedes vexans* (6%), et *Culex modestus* (1%). Le dispositif des bornes anti-moustiques réduit considérablement la nuisance de ces 8 espèces (de 78% à 100%). L'EID, la structure en charge de la démoustication au Bti, ne cible que les deux premières espèces citées, *Oc. caspius* et *Oc. detritus*. Il y a donc plus de 7% de la nuisance qui n'est pas gérée par l'EID, qui est prise en charge par les BAM.

En plus de réduire la nuisance de 8 espèces, à hauteur de 82%, les BAM ont un rayon d'action uniforme d'au moins 40 mètres. Tous ces éléments semblent mettre en évidence un fort potentiel afin de créer une barrière protectrice autour des habitations. Il reste à évaluer les impacts de ces pièges sur la faune non cible.

4.3.2 Etude de la nuisance sur 24h

4.3.2.1. *Résultats*

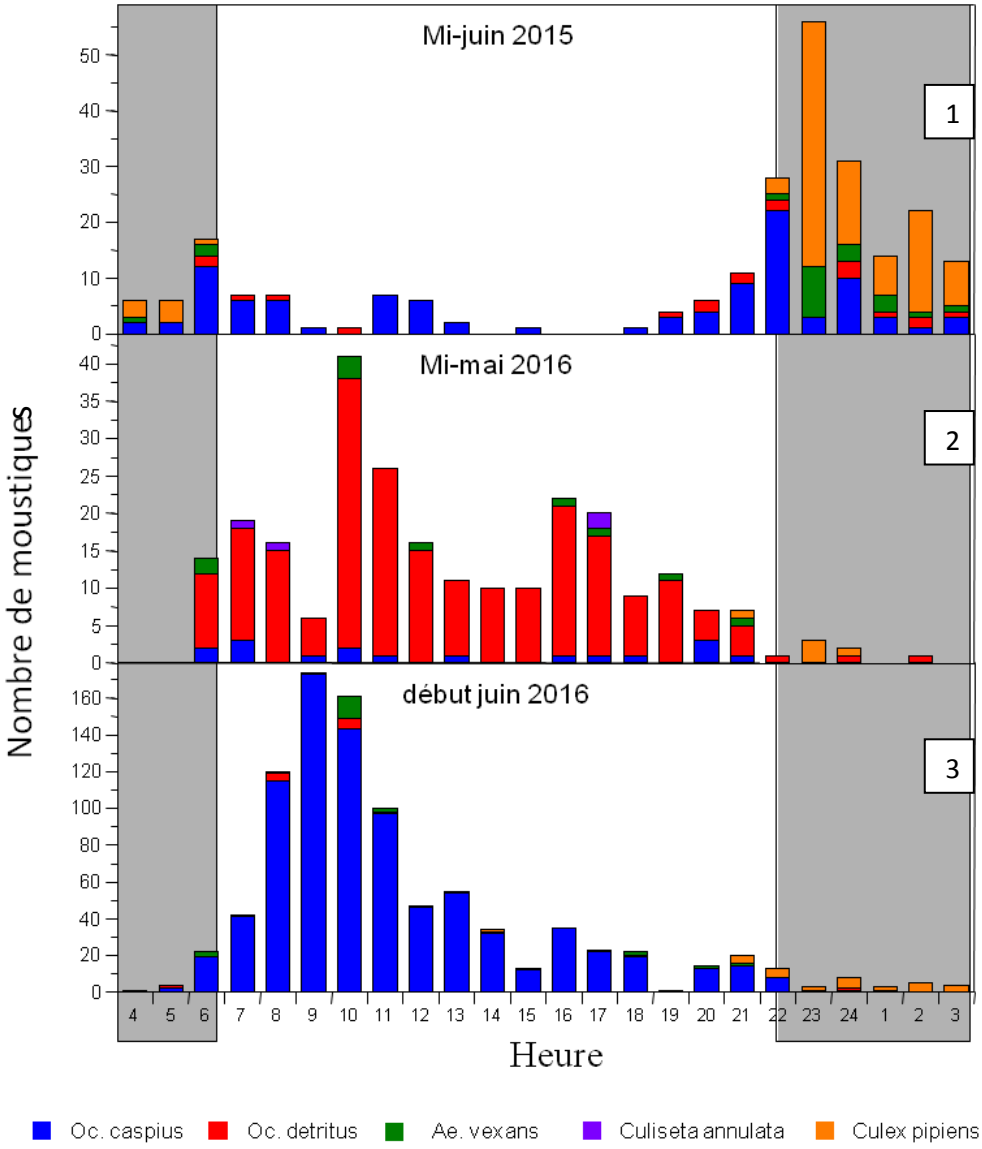


Figure 20 : Nuisance journalière des moustiques, en fonction de l'heure de la journée et des espèces.

Ce graphique (Fig. 20) nous donne l'abondance des espèces en fonction de l'heure de la journée pour trois dates différentes entre la mi-mai et la mi-juin. Le premier graphique issu de données 2015 présente un pic de nuisance de 55 moustiques capturés en une heure à la tombée du jour, à 23h. L'espèce responsable de cette nuisance est *Culex pipiens*, un moustique connu pour être nocturne (Farajollahi *et al.* 2011). Bien que l'espèce fût beaucoup moins abondante lors des deux autres séances, son activité est également limitée à la nuit tombée en 2016. Le graphique 2 montre qu'en mai 2016, l'espèce la plus abondante est *Oc. detritus.* Elle est active toute la journée avec un pic en matinée de 45 moustiques, à 10h. Enfin, lors de l'expérimentation de juin 2016, c'est *Oc. caspius* qui était la principale espèce nuisante, avec un pic maximal de 170 moustiques capturés en une heure et une activité particulièrement marquée en matinée (9h - 11h).

Les autres espèces comme *Ae. vexans*, *Cs. annulata* sont présentes de manière sporadique.

4.3.2.2 *Discussion*

Ces tests de 24h ont tous été réalisés sous des conditions météorologiques optimales et constantes lorsque les moustiques étaient relativement abondants entre la mi-mai et la mi-juin. Néanmoins, les résultats montrent un bouleversement dans les espèces les plus abondantes avec trois espèces différentes qui dominent à chacun des tests. En mai 2016, il s'agit de *Oc. detritus* qui est une espèce présente de l'automne au printemps. En juin 2016, *Oc. caspius*, espèce typiquement estivale, prend la relève. En juin 2015, ce sont les *Culex pipiens* qui sont les plus abondants. Cette dernière espèce pond ses œufs sur l'eau contrairement aux deux autres qui pondent sur le sol, ce qui suggère qu'aucune mise en eau naturelle ou artificielle ne s'était produit quelques jours avant. Ainsi, les paramètres extérieurs influencent l'abondance des espèces, sachant qu'en période estivale 80% de la nuisance due aux moustiques est provoquée par la gestion anthropique de l'eau, les 20% restants étant dus aux phénomènes naturels (pluie, débordements du Rhône…). Il est donc difficile de caractériser la nuisance sur une journée moyenne ou sur une saison. Aux cycles d'abondance variables dus à la phénologie de sites de ponte potentiellement différents (Bentley & Day 1989), s'ajoutent des cycles d'activités qui peuvent également varier selon les espèces (Poulin *et al.* 2015). Si les trois tests suggèrent une activité clairement nocturne chez *Culex pipiens*, pour *Oc. caspius* les pics d'activités sont soit crépusculaires, soit en milieu de matinée, alors *Oc. detritus* est passablement actif toutes les heures de la journée.

Afin de calibrer au mieux les bornes anti-moustique aux espèces présentes à un instant t, il faudrait réaliser un comptage heure par heure du nombre de moustique capturé et ce, toutes les semaines ou deux semaines pour tenir compte de la variabilité observée. En fonction des courbes d'abondance obtenues, les pièges peuvent être arrêtés lors des périodes de creux et redémarrées lorsque la nuisance réapparait, pour ainsi préserver le CO_2. Les Bornes anti-moustique sont déjà dotées de ce système de comptage, qui en est à la phase test. Une fois le système développé, il sera facile de réaliser un planning on/off des bornes anti-moustique.

4.3.3 Etude des impacts sur la faune non cible

4.3.3.1 *Résultats succès reproducteur des hirondelles de fenêtre*

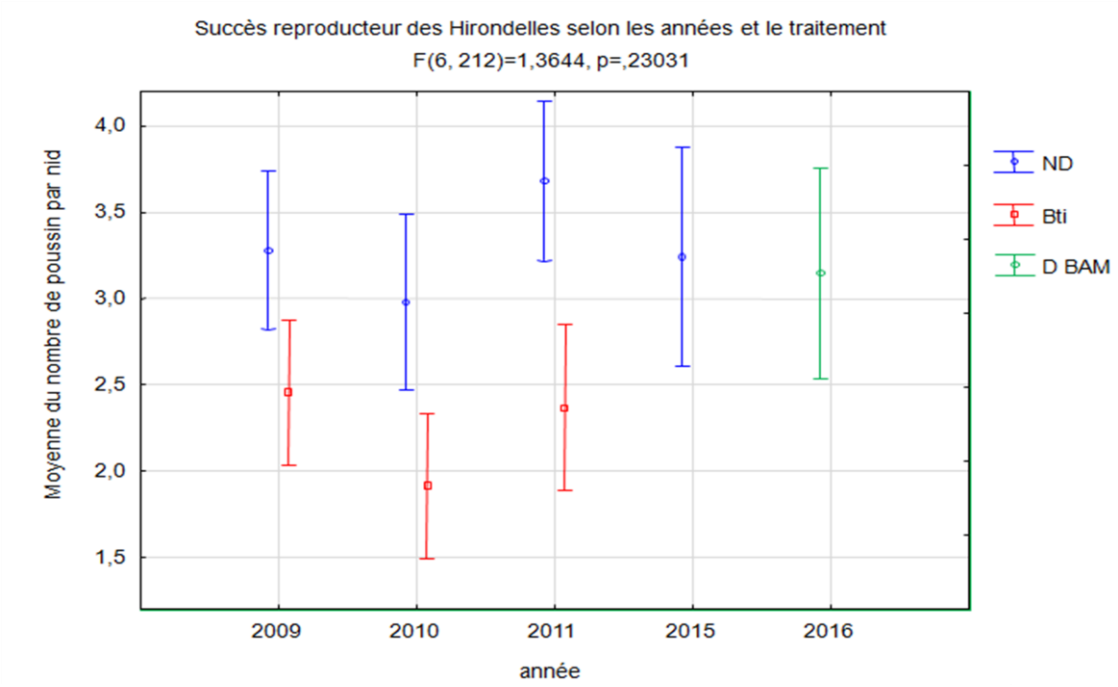


Figure 21 : Mesure du succès reproducteur des colonies d'hirondelle de fenêtre avec traitement au Bti, sans traitement, et traitement au BAM.

Le modèle linéaire général a permis d'obtenir le graphique ci-dessus (Fig. 21), qui présente le nombre moyen de poussins par nid arrivant à maturité en fonction du traitement (non démoustiqué, démoustication au Bti ou avec BAM). Le nombre moyen de poussins par nid en 2016 avec l'utilisation des BAM est comparable à celui observé en condition de non démoustication et il est significativement différent du traitement Bti (Test Post-Hoc de LSD).

4.3.3.2 *Résultats captures insectes non ciblés*

Parmi les 42 échantillons comptés et identifiés s'étalant sur 14 semaines du 18/04/2016 au 19/07/2016, plus de 20 201 insectes ont été dénombrés (Fig. 22). 63% des insectes capturés par les pièges sont des moustiques, 5% sont des arabis (de petits moucherons piqueurs) et 32% sont d'autres insectes. Dans ces 32%, le groupe des nématocères est le mieux représenté, suivi des hémiptères et coléoptères.

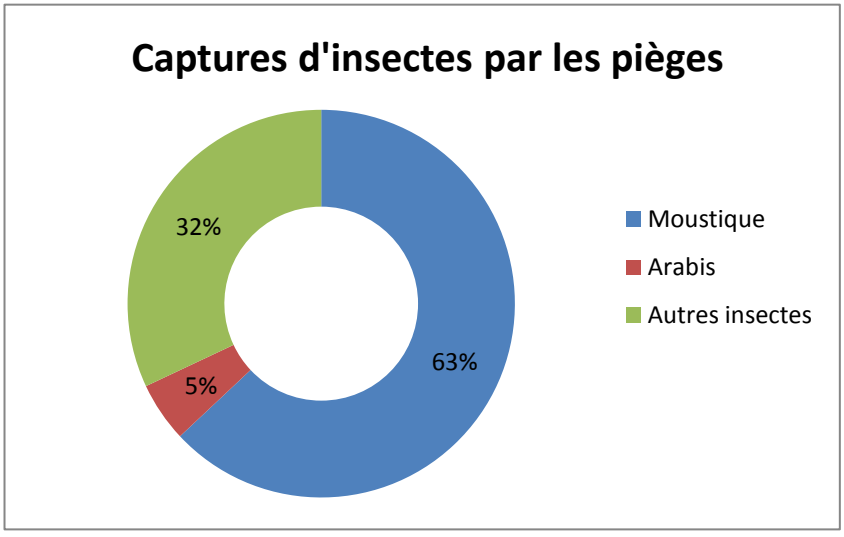


Figure 22 : Graphique représentant le pourcentage d'insectes capturés par les BAM

4.3.3.3. *Discussion*

Nous avons vu que le dispositif des Bornes anti-moustique semble ne semble pas affecter le régime alimentaire des poussins et par conséquent leur survie, contrairement à la démoustication au Bti. Ce résultat suggère que les hirondelles ont la possibilité de capturer les moustiques avant qu'ils ne soient capturés par les pièges. Cette consommation n'est pas négligeable puisqu'il a été estimé que les poussins produits dans un nid de la colonie d'hirondelles du Sambuc consommaient près de 700 000 moustiques pendant leur période de croissance (Poulin *et al.* 2015).

Du 18/04/2016 au 19/07/2016, trois pièges BAM ont capturés 20 201 insectes. 63% des captures sont des moustiques, et 5% sont des arabis. Les arabis sont des petits moucherons, faisant partie des nématocères, de la famille des Ceratopogonidae. Comme le moustique, après l'accouplement, les arabis ont besoin d'un repas sanguin pour la maturation de leurs œufs. Ils ont une méthode de chasse similaire aux moustiques, c'est pourquoi ils ont été attirés et capturés par les pièges. Leur morsure est très désagréable et les camarguais préfèrent de loin les piqûres de moustiques aux morsures d'arabis. Cependant leur présence est de courte durée 1 mois (du 23/06 au 13/07 cette année). La nuisance courte (un mois environ) mais intense provoquée par les arabis peut être diminuée par la Borne anti-moustique. C'est le dispositif actuellement sur le marché, capable de capturer ces petits moucherons. Pour en quantifier l'efficacité, il serait nécessaire de faire un test sur appât humain près des BAMs et en zone non démoustiquée. Les 32% restants sont d'autres insectes, notamment des petits chironomes capturés vraisemblablement de manière aléatoire. En effet, les chironomes se déplacent en nuée, et lorsqu'ils rencontrent une borne anti-moustique, beaucoup se font aspirés dans celle-ci. Cependant, une étude plus approfondie sur les raisons des captures des chironomes est nécessaire, si ces insectes sont capturés de manière aléatoire, ou attirés par la lumière des lampadaires sous lesquels les BAM sont installées pour branchement électrique. Néanmoins, au vu des résultats sur le succès reproducteur des hirondelles, la capture de ces chironomes ne semble pas affectée la ressource alimentaire des écosystèmes en périphérie du Sambuc.

Il y a donc 68% de prises désirées et 32% de prises indésirées. En 2015, moins de 1% de faune non cible avait était capturé dans les pièges. Cela est probablement dû aux mailles des filets recueillant les insectes. L'année dernière, des filets à mailles de 1 mm avaient été utilisés, laissant passer les petits insectes et occasionnellement des moustiques de petite taille. Cette année, deux filets superposés ont été placé dans les BAMs (Fig. 23) : un filet avec mailles de 1 mm entouré d'un filet à maille de 0.5 mm. Cela nous a permis de récupérer tous les petits insectes aspirés dans la borne puis de réaliser un pré-tri pour faciliter le travail ultérieur en laboratoire.



Figure 23 : Filet à maille de 0.5mm (gris) superposé au filet de 1 mm (blanc). Crédit photo : Camille Muranyi-Kovacs

4.3.4 Communication / Science participative



Figure 24 : Logo de la page « Le moustique du Sambuc. Véra Gastel et Camille Muranyi-Kovacs

4.3.4.1 *Page Facebook®*

La page Facebook® compte 267 « like» à la date du 13/08/2016. C'est-à-dire que 267 personnes qui ont aimé la page sont abonnées à celle-ci et voient toutes les publications de la page. Lors des deux premières semaines, plus de 150 personnes ont adhéré à la page, puis il y a eu une stabilisation, jusqu'à la publication de l'article concernant la page Facebook® dans la Provence- édition d'Arles, le 9 Juin. Puis il y a eut de nouveau une stabilisation.

Une application sur Facebook® permet de récupérer les données sur les personnes qui se sont abonnées à la page. Il est possible de récupérer les départements dans lesquels ces personnes vivent pour nous donner une idée du rayon d'impact de la page (Tab.4). Sur les 267 personnes abonnées à la page, il a été possible de récupérer les lieux de vie de 187 personnes, dont la majorité vit en Camargue.

Tableau 4 : Répartition géographique des abonnés de la page Facebook®

Département	Nombre de personnes
Bouches-du-Rhône	124 dont 99 sur la commune d'Arles
Hérault	20
Gard	14
Vaucluse	5
Autres	24

Sur ces 267 personnes abonnées à la page, 70% sont des femmes et 30% des hommes (Fig. 25). Le public de 25-34 ans est le plus largement touché avec 28% des personnes abonnées, suivi du public 45-54 ans avec 21%. Les jeunes entre 13 et 17 ans sont les plus faiblement touchés par la page (1%).

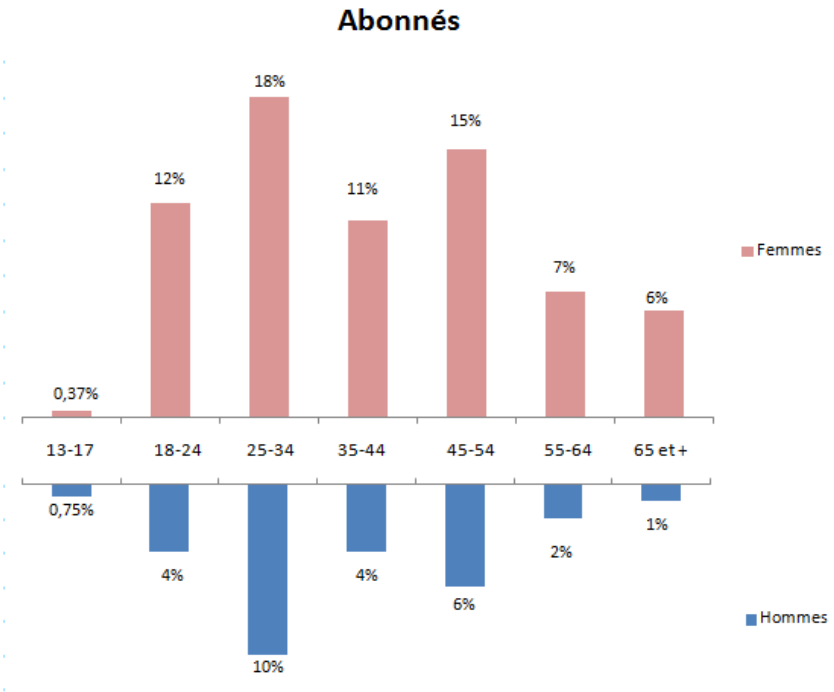


Figure 25 : Répartition des abonnés de la page Facebook® selon leur âge

Depuis la mise en ligne de la page, 440 personnes sont, en moyenne, atteintes ses publications. Parmi ces personnes, 40% sont touchées mais ne sont pas abonnées (Tab. 5). En termes d'engagement par publication, 53 personnes commentent/aiment/partagent en moyenne.

Tableau 5 : Nombre moyen de personnes touchées en fonction des types de publication.

Type de publication	Nombre moyen de personnes touchées par publication	Nombre moyen de personnes touchées non abonnées	Nombre moyen de personnes engagées
Liens	465	198	45
Photos (Quizz, pensée semaine, photos, blague)	459	192	71
Statuts	397	130	42
Moyenne totale	440	173	53

La publication sous forme de liens se diffuse mieux sur le réseau social Facebook® avec un nombre moyen de 465 personnes touchées suivi de très près par les photos. Mais ce sont les photos, qui ont le plus d'impact sur les réactions des personnes touchées avec en moyenne 71 réactions. Enfin les statuts touchent 397 personnes en moyenne avec 42 personnes qui réagissent.

Nous avons vu que 40% des personnes atteintes par une publication ne sont pas abonnées à la page. 45% des femmes touchées ne sont pas abonnées, et 56% sont abonnées (Fig. 26). En ce qui concerne les hommes, 61% des personnes touchées ne sont pas abonnées et 39% sont abonnées (Fig. 27).

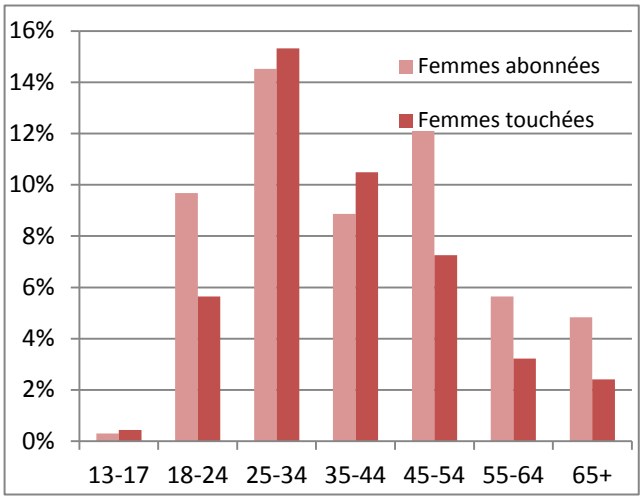


Figure 26 : Comparaison du nombre moyen de femmes touchées par chaque publication avec le nombre d'abonnées.

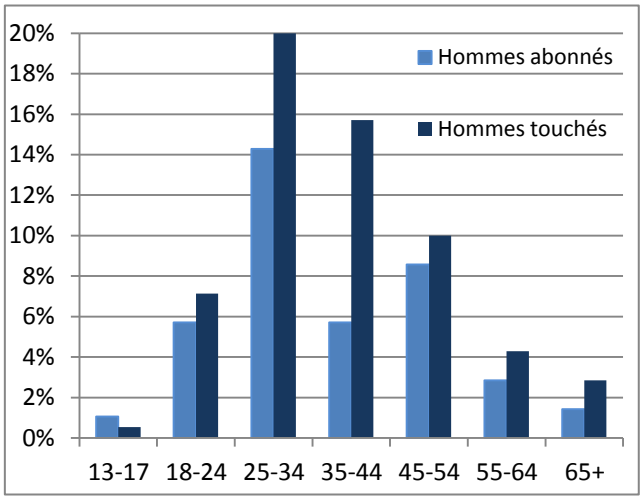


Figure 27 : Comparaison du nombre moyen d'hommes touchés par chaque publication avec le nombre d'abonnés.

4.3.4.2 *Presse/Télévision*

Voici la liste des différents médias qui nous ont consultés :

Tableau 6 : Liste des médias qui nous ont consultés.

Nom du média- Nom des auteurs	Type de médias	Prise de contact	Type de document produit	Contenus	Date de publication	Lien
Arles Info	Presse écrite	Brigitte Poulin	Article	Démoustication par les pièges BAMs	10/05/2016	
La Provence édition Arles – Julie Zaoui	Presse écrite	Facebook	Article d'une page	notre étude et notre projet de science participative	09/06/2016	
Ouest France	Web site	Facebook	Article web	notre étude et notre projet de science participative	23/06/2016	www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/briollay-49125/briollay-pieger-les-moustiques-sans-insecticide-cest-possible-4320031
Actu-Environnement	Web site	Brigitte Poulin	Reportage de 5min 17	Impacts du Bti sur les écosystèmes et alternative au Bti : BAM	25/07/2016	www.actu-environnement.com/ae/news/demoustication-epandages-insecticide-bti-ecosystems-camargue-27260.php4
Castorama	Presse-magazine	Facebook	Article Web	Démoustication par pièges BAMs- page Facebook®	28/07/2016	www.18h39.fr/articles/pour-vous-debarrasser-des-moustiques-aspirez-les.html
Castorama	Presse-magazine	Facebook	Article Web	Méthodes de lutte contre les moustiques dans nos jardins- Page Facebook®	04/08/2016	www.18h39.fr/articles/8-solutions-naturelles-pour-eloigner-les-moustiques-de-sa-maison.html
Arte – émission futur mag	TV	Brigitte Poulin	Reportage de 7 min	Innovation démoustication	Septembre 2016	
Sciences et vie – Sonia Ruspini	TV	Brigitte Poulin	Reportage de 52 minutes	Impact de la démoustication traditionnelle	Automne	
Sueddeutsche Zeitung, Allemagne	Presse-écrite	Brigitte Poulin	Article	Nouvelles méthodes de lutte contre les moustiques	Inconnue	
Deutsche Welle Radio, Allemagne	Radio	Brigitte Poulin	Reportage radio	Nouvelles méthodes de lutte contre les moustiques	Inconnue	

60% des prises de contact avec la presse se sont réalisées à travers le Dr Brigitte Poulin, et 40% à travers la page Facebook®, par l'envoi de messages privés.

4.3.4.3 *Discussion*

Lors de l'étude sociologique menée en 2015, le principal problème qui était ressorti était le manque de communication, d'un lieu d'information. En 2016 a été mise en ligne la page Facebook® « Le moustique du Sambuc » pour pallier à ce problème. 267 personnes se sont abonnées dont 99 vivent sur la commune d'Arles, comprenant le hameau du Sambuc, peuplé de 530 habitants. Cependant il est impossible de différencier les Sambutens des Arlésiens. Pour avoir une idée du nombre de personnes au Sambuc touchées par la page Facebook®, il faudra réaliser, lors de l'étude sociologique de 2016, une enquête auprès de la population Sambutenne.

Les publications touchent à 60% les personnes abonnées et à 40 % les personnes non abonnées. 98% des personnes réagissant sont abonnées à la page, et ainsi permettent aux publications de se diffuser dans un réseau plus large. Il est réellement important d'obtenir des « Likes » sur la page, ainsi que de faire réagir les personnes abonnées dans le but d'atteindre le plus de personnes possibles. C'est ainsi que les publications publiées sur la page Facebook® atteignent, en moyenne, 440 personnes, alors que seulement 267 personnes sont abonnées. Les femmes semblent beaucoup plus impliquées dans l'étude (70% des abonnés) et participent largement à la diffusion de la page. Pour toucher plus de personne, il serait nécessaire de mieux viser le public masculin avec les publications. Il est impossible de conclure avec de réels chiffres sur l'efficacité de la page Facebook® au hameau du Sambuc sans la tenue d'entretiens avant et après l'expérience. Cependant lors de nos sorties sur le terrain, beaucoup de personnes connaissaient l'existence de la page et notre rôle, souvent en nous interpellant « *Alors les moustiques, comment vont-ils aujourd'hui ?* ». En parallèle, nous avons reçu plusieurs messages sur la page Facebook® « *Ma mère met en compétition la BAM près de chez elle avec celle de son amie habitant 200 mètres plus loin* » nous a rapporté une habitante du Sambuc, ou encore « *il faudrait déplacer la Borne N°8 car elle ne capture pas beaucoup !* », « *La borne anti-moustique près de chez moi est très efficace, je peux à nouveau manger dehors le soir* », « *Le système est génial, à quand à Salin-de-Giraud ?* » ; « *Et à Arles ?* ».



Figure 28 : Commentaire reçu le 8 juin 2016 sur Facebook®

De plus, aucun acte de vandalisme n'a été répertorié, contrairement à l'année précédente. La connaissance du système et des résultats semble avoir eu un effet positif sur la perception des pièges par les Sambutens.

Tel un cercle vertueux, la page Facebook® a permis de faire connaitre notre étude, d'informer la population sur l'utilité du moustique et l'impact de la démoustication et de faciliter les contacts pour des articles ou documentaires. Par ces relais dans la presse, la page a reçu de nombreux « Like », du département des Bouches-du-Rhône et autres. Mais pour avoir plus de précision quant à la population du Sambuc, il serait nécessaire d'inclure un questionnaire concernant la page Facebook® lors de l'enquête sur le ressenti des Sambutens face à la démoustication aux Bornes anti-moustique. Cette enquête, réalisée courant septembre 2016, devra permettre d'obtenir les informations suivantes : combien de personnes ont adhérées à la page Facebook®, s'ils ont réagit sur des publications, s'ils ont reçu les informations nécessaires permettant une meilleure compréhension de l'étude.

4.3.4 Etude de préfaisabilité d'implantation.

L'arrêté préfectoral définissant la démoustication dans les Bouches du Rhône pour l'année 2016, ne mentionne que la démoustication au Bti et non à l'aide de Bornes anti-moustiques. Un flou règne sur la définition même de démoustication, si cela concerne seulement le fait de tuer les moustiques avec un insecticide ou si on peut l'élargir à la capture de ceux-ci. Des recherches ont donc été également faites sur la réglementation pouvant concerner la capture des moustiques. L'arrêté ministériel du 29 Janvier 2007 pris en application du L 427-8 du Code de l'Environnement concerne uniquement la rubrique chasse, et réglemente la capture animaux nuisibles. Les animaux sont classés dans les trois arrêtés suivant :

- l'arrêté ministériel du 30 juin 2015 fixant la liste, les périodes et les modalités de destruction des espèces non indigènes d'animaux classés nuisibles (1er groupe),
- l'arrêté ministériel du 30 juin 2015 fixant la liste, les périodes et les modalités de destruction des espèces d'animaux classés nuisibles (2ème groupe) et
- l'arrêté préfectoral du 4 juin 2015 fixant la liste des animaux classés nuisibles pour l'Hérault en 2015-2016 (3ème groupe).

Le moustique n'est concerné par aucun de ces arrêtés, et par conséquence, il n'est pas réglementé par l'arrêté ministériel du 29 janvier 2007.

Cette méthode de démoustication est nouvelle et un vide réglementaire l'entoure. Afin de l'intégrer au droit Français il est indispensable de modifier l'arrêté préfectoral définissant la démoustication, et d'y ajouter la démoustication par piégeage. Cela peut se faire de deux manières : par recours gracieux, dans lequel le particulier s'adresse au préfet afin de faire partager son problème ou par recours hiérarchique, étape réalisée lorsque le recours gracieux a échoué, dans lequel le particulier s'adresse au ministre concerné. Le plus tôt possible, il serait nécessaire d'effectuer ces démarches, afin de protéger légalement les Bornes anti-moustique.

De manière concrète, les ingénieurs de la société TechnoBam® ont simulé l'implantation des BAMs dans la ville de Port-Saint-Louis-du-Rhône et de Salin-de-Giraud en Camargue, qui font toujours l'objet d'une démoustication traditionnelle au Bti. Un total de 306 Bornes anti-moustiques seraient positionnées, pour un investissement matériel la première année de 691 282€ TTC. Le coût annuel d'entretien comprenant le salaire des techniciens chargés de la maintenance des Bornes, ainsi que le rechargement des consommables (CO_2 et leurres olfactifs) se chiffrent à 310 589€. Ainsi sur 5 ans, le coût de cette démoustication serait de 2 244 227 € TTC. En comparaison, l'EID démoustique actuellement cette ville, ce qui coûte par an 800 000€. En 5 ans de démoustication au Bti, l'Etat aura dépensé plus de 4 millions d'€, deux fois plus que la démoustication aux BAMs. De plus, ces dernières sont efficaces contre le moustique tigre, contre lequel la démoustication au Bti est inefficace.

L'alternative des bornes-anti-moustiques apparaît donc comme une solution préférable à la démoustication traditionnelle au Bti, tant d'un point de vue environnemental qu'économique.

5. Votre insertion professionnelle

5.1 Déroulement du stage

Tableau 7 : Planning du stage du 14/03/2016 au 13/08/2016.

Date par quinzaine	Actions réalisées
14/03/2016 → 28/03/2016	- Recherche bibliographique sur les impacts du Bti sur les écosystèmes - Recherche bibliographique sur l'utilisation de pièges anti-moustique comme moyen de lutte. - Réunion au Parc naturel régional de Camargue avec des élus du territoire afin d'étudier la faisabilité du projet de démoustication par BAM dans des villes telles que Les-Saintes-Maries-de-la-Mer, Port-Saint-Louis, ou Salin-de-Giraud. - Prise en main des manipulations terrains, avec les premiers tests du mollet. - Apprentissage de l'identification des différentes espèces de moustique. - Réflexions sur les modalités de la création de la page Facebook®
29/03/2016 → 13/04/2016	- Mise en fonctionnement des Bornes anti-moustique, avec les manipulations de terrain journalières (relève des filets des BAM, tri, pesées des échantillons) - Premières identifications des échantillons à l'espèce - Demandes d'autorisation pour la mise en ligne de la page Facebook® - Prise de contact avec Catherine Lavallée-Chouinard, stagiaire technicienne chargée des études terrains. - Création des flyers pour communiquer sur la page Facebook®, des étiquettes des BAM
14/04/2016 → 03/05/2016	- Mise en ligne de la page Facebook® et création des futures publications (Quizz, pensée semaine…) - Recherche sur la réglementation concernant la démoustication - Rédaction du rapport - Distribution Flyers.
04/05/2016 → 14/06/2016	- Participation aux interviews et tournages du journal La Provence et du site web actu-environnement - Maintenance de la page Facebook®, - Suivis sur le terrain : suivi journalier des BAM(relève, tri, pesée) ; étude nuisance sur 24h (deux fois), suivi du succès reproducteur des hirondelles, test du mollet (quatre fois) - Recherche de solution quant à l'intégration de cette nouvelle méthode de démoustication dans le droit Français. - Préparation de l'intervention à l'école du Sambuc
15/06/2016 → 30/06/2016	- Intervention avec Catherine Lavallée-Chouinard à l'école du Sambuc - Maintenance de la page Facebook®, - Suivis sur le terrain : suivi journalier des BAM (relève, tri, pesée) ; suivi du succès reproducteur des hirondelles, test du mollet (cinq fois) - Rédaction rapport
01/07/2016 → 15/07/2016	- Maintenance de la page Facebook®, - Suivis sur le terrain : suivi journalier des BAM (relève, tri, pesée) ; suivi du succès reproducteur des hirondelles, test du mollet. - Rédaction rapport
16/07/2016 → 30/07/2016	- Interview et tournage des journaux Sueddeutsche Zeitung, Deutsche Welle et Sciences et Vie TV. - Maintenance de la page Facebook®, - Suivis sur le terrain : participation au suivi journalier des BAM (relève, tri, pesée) ; suivi du succès reproducteur des hirondelles, test du mollet. - Rédaction rapport
31/07/2016 → 13/08/2016	- Rédaction rapport - Maintenance de la page Facebook®. - Suivis sur le terrain : participation au suivi journalier des BAM (relève, tri, pesée) ; test du mollet ; Etude de la nuisance en 24h (une fois). - Traitement des résultats -Interview par le magazine Arles Info pour le numéro de Septembre.

5.2 Remarques personnelles sur le travail de l'entreprise

Il y a 62 ans, la Tour du Valat était créée par Dr. Luc Hoffmann, grand homme, visionnaire, humaniste et passionné par son environnement, culturel et naturel. Il a été le fondateur de WWF France, de la convention de RAMSAR, et a participé à de nombreux projets de conservation de la nature mais aussi de la culture artistique. Luc Hoffmann a fondé la Tour du Valat, situé en plein milieu de la Camargue à son image, là où la conservation de la nature, de l'Homme, la générosité, l'esprit d'équipe et la qualité des travaux sont prioritaires. C'est ainsi que tous les salariés de la Tour du Valat semblent travailler : l'ambiance est détendue, studieuse, l'entraide et le transfert de connaissances sont les maitres mots, ce qui a facilité grandement mon intégration et mon apprentissage. En 2015, ce sont 144 publications qui ont été réalisées par les quelques 60 salariés de la Tour du Valat, dont 45 articles ont été publiés dans des revues scientifiques internationales. C'est un institut de recherche très pointu dans le domaine de la conservation des zones humides. Les chercheurs sont à la pointe de leur domaine, et les techniciens sont extrêmement impliqués dans leurs études.

L'influence de la fondation Tour du Valat est grande. Lors de la cérémonie en hommage à la disparition de Luc Hoffmann, le discours de Vera Hoffmann, fille de Luc illustre parfaitement mon ressenti : « Lorsqu'on vient à la Tour du Valat, nous sommes contaminés par un virus, le virus de Luc Hoffmann, de sa passion, de son humanisme. Il y a deux réactions possibles : soit on reste, soit on part à travers le monde et l'on contamine d'autres personnes de ce virus. Dans ce monde, il y a plein d'Hoffmann boys and girls ».

Luc Hoffmann est le visage de la Tour du Valat, et les salariés sont les mains qui permettent de propager cette philosophie à travers le monde. Et moi, stagiaire, je deviens donc une Hoffmann girl.

5.3 Difficultés rencontrées

L'organisation a été le principal problème de la réalisation de ce stage.

Catherine Lavallée-Chouinard, a été embauchée pour un stage de technicienne par Brigitte Poulin afin de m'aider pour l'étude dont j'étais chargée. Lors de son arrivée, ne sachant pas le cahier des charges du stage qui avait été rédigé, j'ai eu beaucoup de difficulté à définir son rôle et le rôle que je devais tenir et à organiser nos plannings. Puis il a suffit d'une mise au point avec Catherine pour comprendre ses missions par rapport à son stage, et ainsi j'ai pu m'adapter à cela et retrouver mon rôle. Cependant il n'est réellement pas simple d'être en charge d'un personne, j'ai du grandement améliorer mes capacités en organisation, en communication afin que notre binôme fonctionne sans encombre.

Le deuxième problème rencontré a été le planning surchargé, dû à un pic de travail additionné à une organisation bancale. Lors de la saison des arabis, nous devions trier et peser ces derniers, en plus des moustiques. Nous avions deux fois plus de travail à réaliser, en plus de tous nos suivis réguliers (24h, test du mollet effectué idéalement 3 fois par semaine, suivis du succès reproducteur des hirondelles, page Facebook®…). Le planning est vite devenu surchargé, avec des heures supplémentaires que nous n'arrivions pas à rattraper. Après un mois dans cette situation, nous nous sommes réorganisés afin d'alléger nos travaux.

5.4 Bilan du stage, personnel, universitaire et professionnel

Le stage, sous la tutelle du Dr Brigitte Poulin, s'est déroulé de manière très agréable. Grâce à la confiance que l'on m'a montrée dès les premiers jours de mon arrivée j'ai pu, de manière très rapide, m'approprier l'étude dont j'étais chargée. Mes missions furent très polyvalentes et j'ai pu jongler entre différentes activités, ce qui m'a permis de m'améliorer dans beaucoup de domaine tel que la communication, l'entomologie, le droit, le management (j'étais en charge d'une technicienne) la diplomatie, la statistique…. L'objectif du stage a été atteint, et mes objectifs personnels aussi : rendre un travail satisfaisant et aller au delà du minimum que l'on me demandait, apporter ma plus-value à l'étude. De plus, les stagiaires étaient également invités à faire d'autres activités, et j'ai pu participer à des missions de bagage d'oiseaux et à des suivis de l'avifaune, ce qui a complétés mes connaissances initiales en ornithologie.

Humainement, cette aventure a été spéciale. Mon encadrante Brigitte Poulin ainsi que son équipe ont été dès le premier jour à mon écoute, conciliants et toujours disponibles pour aider. Catherine Lavallée-Chouinard a été indispensable à la réalisation de cette étude et après la fin de son stage, elle a décidée de revenir de Montréal à la Tour du Valat pour m'aider. Elle aussi, atteinte du virus « Hoffmann ». De manière

globale, j'ai fait de très belles rencontres dans les différentes équipes de la Fondation Tour du Valat, dotées d'une générosité et d'une gentillesse à l'image de son fondateur.

Ce stage m'a également permis de me spécialiser sur une problématique très importante de nos jours : la lutte anti-moustique. Ce sujet m'intéresse particulièrement, en ayant déjà effectué un stage sur le moustique tigre à l'EID méditerranée de Montpellier, j'ai décidé de retenter l'aventure et de me perfectionner dans ce domaine. Il semblerait que cela m'ouvre la voie sur plusieurs possibilités. En premier lieu, l'équipe « Ecosystème » souhaite ouvrir un service civique en octobre 2016, dont les missions seront, entre autres, dans la continuité de mon étude actuelle. Je postulerai donc pour ce poste pour un an dans ce service. En second lieu, les ingénieurs de TechnoBam® ont besoin de compléter les compétences de leur entreprise sur plusieurs aspects : communication scientifique, suivis scientifiques, rédaction de rapport, analyses statistiques… . Afin de répondre à leur besoin, il serait nécessaire que je crée ma société, en tant qu'auto-entrepreneur.

En bilan, je peux dire que ce stage a été très bénéfique, autant pour mon présent que pour mon avenir.

6. Conclusion générale

Il est de conclure que les bornes anti-moustique de la société TechnoBam sont efficaces :

- Elles réduisent de 80% la nuisance due aux moustiques.
- Elles sont moins coûteuses qu'une démoustication au Bti
- Elles ne semblent pas affecter la ressource alimentaire des écosystèmes naturels en périphérie du hameau du Sambuc.

Cependant de nombreux problèmes doivent être résolus.

Tout d'abord, le taux de capture élevé des chironomes dans les BAM doit être réduit. Il existe plusieurs théories expliquant ce phénomène, qui est soit aléatoire, soit non aléatoire. Si les BAM attirent les chironomes, il est nécessaire de rechercher l'élément responsable (lumière des lampadaires, attractif utilisé…). Néanmoins, les innovations incessantes des ingénieurs de TechnoBam®, aidées par les scientifiques de la Tour du Valat vont très probablement aboutir à une étude pointue et contribuer à la production d'un produit plus performant et plus écologique encore.

La page Facebook® « Le moustique du Sambuc » a permis de sensibiliser la population à notre étude, aux problématiques environnementales découlant de la démoustication au Bti. La population Sambutenne semble réagir positivement à nos interventions, et nous interpelle souvent. Nous avons observé beaucoup de réactions sur la page de personnes habitants dans d'autres villes, des questions, des informations, des avis. C'est plus de 400 personnes qui sont touchées par nos publications (photos, informations, résultats…). Cependant, le public le plus largement touché est féminin, d'âge entre 25 et 34 ans. Afin d'étendre notre impact sur un plus large public potentiellement du Sambuc ou de la région, il faudrait mieux cibler le public masculin, âgé de 35 à 65 ans.

Dans l'idée d'étendre ce système à des villes entières, voire à la Camargue entière, il est nécessaire de réduire les pannes et de rendre les BAM beaucoup plus autonome. En effet, durant l'étude de nombreuses pannes se sont manifestées, de deux manières :

- Panne de CO_2
- Panne de diffusion de CO_2.

La panne de CO_2 intervient lorsque la bouteille est vide. C'est un phénomène normal, et prévisible qui, avec plus d'organisation, peut être évité. La panne de diffusion de CO_2 est due à l'obstruction du détendeur des BAM qui ne laisse plus passer le gaz. Ce phénomène n'est pas encore expliqué mais il semblerait qu'il soit corrélé à l'augmentation de la chaleur ambiante. Il est essentiel de l'étudier pour y remédier, en testant la pureté du gaz dans les bouteilles ou en testant le comportement du détendeur face à l'augmentation de la chaleur.

Enfin, il est primordial que les structures en charge de la démoustication s'approprient ce système. Cependant, il réside un problème de taille : ces structures semblent voir de la concurrence avec la société TechnoBam®, et ne souhaitent pas reconnaitre l'efficacité des BAM. Il reste beaucoup de travail de diplomatie afin de concrétiser le projet des ingénieurs, et le projet qui au départ, était l'idée des scientifiques de la Tour du Valat.

Pour conclure ce rapport de stage, je dois dire que cette étude a été particulièrement intéressante à réaliser. J'ai pu pratiquer de nombreuses activités différentes, et ainsi améliorer mes compétences et mes connaissances aussi bien sur le plan intellectuel que sur le plan humain. J'ai pu également constater que le travail d'équipe est essentiel à l'élaboration de tous travaux, il est important d'en prendre conscience afin de mener à bien ses projets.

7. Bibliographie

Becker N., Petric D., Zgomba M., Boase C., Madon M., Dahl C., *et al.* (2010) *Mosquitoes and their control*. Springer Berlin Heidelberg.

Bentley M.D. & Day J.F. (1989) Chemical ecology and behavioral aspects of mosquito oviposition. *Annual review of entomology* **34**, 401–421.

Brigade Verte du Haut-Rhin (2014) Fiche technique BTI BRV.

Bryant D.M. (1973) The Factors Influencing the Selection of Food by the House Martin (Delichon urbica (L.)). *The Journal of Animal Ecology* **42**, 539.

Bryant D.M. & Turner A.K. (1982) Central place foraging by swallows (Hirundinidae): the question of load size. *Animal Behaviour* **30**, 845–856.

Chambers G. & Klowden M. (1990) Correlation of nutritional reserves with a critical weight for pupation in larval Aedes aegypti mosquitoes. *Journal of the American Mosquito Control Association* **6**, 394–399.

Charles J.-F. & Nielsen-LeRoux C. (2000) Mosquitocidal bacterial toxins: diversity, mode of action and resistance phenomena. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz* **95**, 201–206.

Claeys-mekdade C. (2002) Les controverses relatives à la démoustication de la Camargue : rapports à l'animal et au territoire. *Gallica*.

Dale P.E.R. & Knight J.M. (2008) Wetlands and mosquitoes: a review. *Wetlands Ecology and Management* **16**, 255–276.

Drago A., Marini F., Caputo B., Coluzzi M., della Torre A. & Pombi M. (2012) Looking for the gold standard: assessment of the effectiveness of four traps for monitoring mosquitoes in Italy. *Journal of Vector Ecology* **37**, 117–123.

Farajollahi A., Fonseca D.M., Kramer L.D. & Marm Kilpatrick A. (2011) "Bird biting" mosquitoes and human disease: A review of the role of Culex pipiens complex mosquitoes in epidemiology. *Infection, Genetics and Evolution* **11**, 1577–1585.

Farajollahi A., Kesavaraju B., Price D.C., Williams G.M., Healy S.P., Gaugler R., *et al.* (2009) Field efficacy of BG-Sentinel and industry-standard traps for Aedes albopictus (Diptera : Culicidae) and West Nile virus surveillance. *Journal of Medical Entomology* **4**, 919–925.

Flitti A., Kabouche B., Kayser Y. & Olioso G. (2009) *Atlas des oiseaux nicheurs de Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Delachaux et Niestlé, Paris.

Fonseca D.M., Unlu I., Crepeau T., Farajollahi A., Healy S.P., Bartlett-Healy K., *et al.* (2013) Area-wide management of Aedes albopictus. Part 2: Gauging the efficacy of traditional integrated pest control measures against urban container mosquitoes. *Pest Management Science* **69**, 1351–1361.

Goldberg L. & Margalit J. (1977) A bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against Anopheles sergentii, Uranotaenia unguiculata, Culex univitattus, Aedes aegypti and Culex pipens. **37**, 355–358.

Guillet F. & Mermet L. (2013) L'expertise, composante essentielle mais insuffisante des stratégies pour la biodiversité : le cas de la démoustication en Camargue (France). *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*.

Issa N. & Muller Y. (2015) *Atlas des oiseaux de France métropolitaine. Nidification et présence hivernale.* Delachaux et Niestlé.

Kline D.L. (2006) Traps and trapping techniques for adult mosquito control. *Journal of the American Mosquito Control Association* **22**, 490–496.

Les publications de l'Observatoire Camargue (2005) La Faune et la Flore de Camargue.

Monaco A., Ludwig W., Provansal M. & Picon B. (2009) *Le golfe du Lion - Un observatoire de l'environnement en Méditerranée*, Quae. Versailles.

Parc naturel régional de Camargue (2016) Cahier des clauses techniques particulières - Suivi scientifique annuel mené en parallèle aux opérations de démoustication au Bti sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue.

Parc naturel régional de Camargue (2013) *Evolution de l'occupation du sol en Camargue (1991-2011)*.

Poulin B., Jakob C., Albalat F. & Nicolas L. (2015) *Rapport intermédiaire sur le suivi scientifique annuel mené en 2015 en parallèle aux opérations de démoustication au Bti sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue*.

Rioux J.-A. & Arnold M. (1955) Les Culicidés de Camargue (étude systématique et écologique). *Actes de la Réserve de Camargue* **28**, 244–251.

Sagnes J. (2001) *Deux siècles de tourisme en France*. Presses Universitaires de Perpignan, Perpignan.

Service M. (2004) *Medical Entomology for students 3nd edition*. Cambridge University Press.

Sutcliffe J. (1994) Sensory bases of attractancy : morphology of mosquito olfactory sensilla. *Journal of the American Mosquito Control Association* **2**, 309–315.

Tour du Valat (2015) Rapport d'activités 2014.

8. Glossaire

Un arrêté : est un **acte administratif,** à portée générale ou individuelle, émanant d'une autorité ministérielle (arrêté ministériel ou interministériel) ou d'une autre autorité administrative (arrêté préfectoral, municipal).

Bio-insecticide : est un insecticide à base de produits biologiques et non chimiques.

Coléoptère : est un ordre d'insectes dotés d'élytres protégeant leurs ailes.

Géomatique : est une discipline regroupant les pratiques, méthodes et technologies qui permettent de collecter, analyser et diffuser des données géographiques.

Gravide : Se dit d'une femelle moustique qui porte un sac d'œufs non mâture.

Hémiptère : est un ordre d'insectes caractérisés par deux paires d'ailes dont l'une, en partie cornée, est transformée en hémiélytre.

Ichtyologie : est une branche des sciences qui étudie les poissons des points de vue phylogénétique, morphologique, anatomique, physiologique, écologique, éthologique et systématique.

Monitoring : est l'anglicisme du terme surveillance et définit la mesure d'une activité.

Nuisance : Tout facteur qui constitue un préjudice, une gêne pour la santé, le bien-être, l'environnement.

Odonate : est un ordre d'insectes, composé des libellules et des demoiselles.

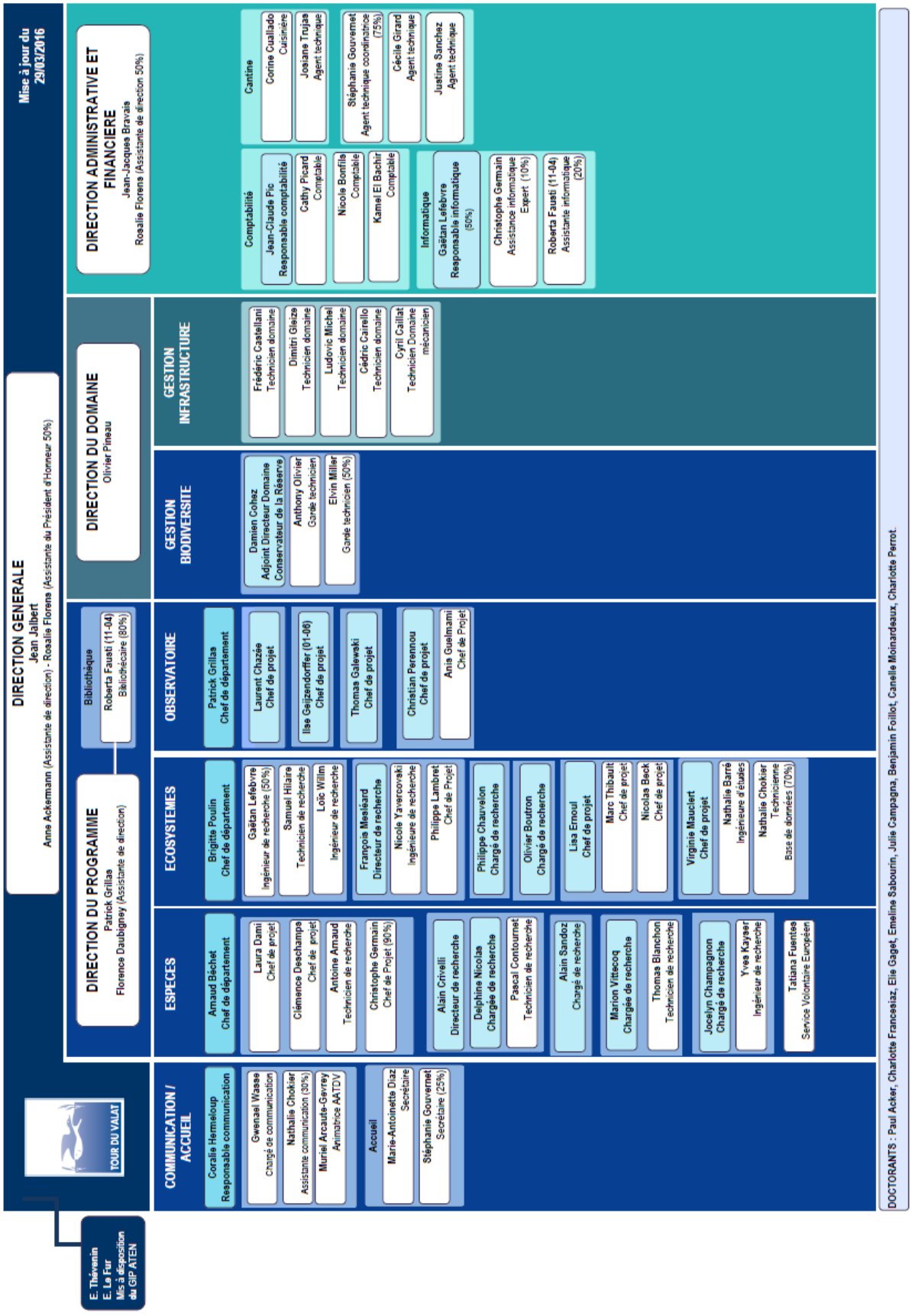
Paludicole : Adjectif qualifiant les habitants dont le lieu de vie est le marais ou les étangs.

Quiescence : qualifie une pause dans le processus de développement d'un insecte, résultant de conditions défavorables.

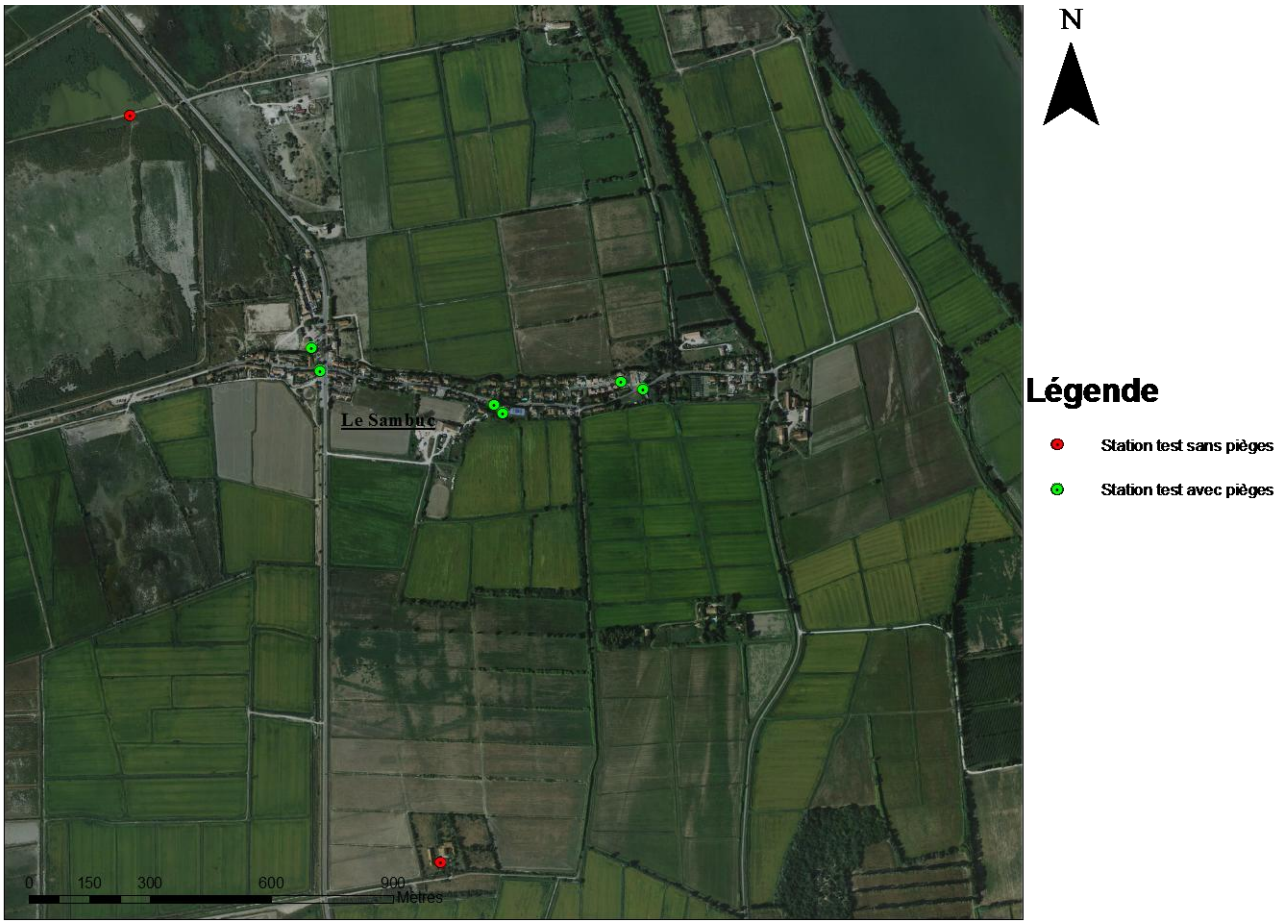
Sporulation : désigne le mécanisme d'émission de spores, ou, dans le cas des bactéries, de transformation en spores, qui assurent la survie de l'espèce lorsque les conditions deviennent défavorables : chaleur, sécheresse, salinité,etc.

9. Annexes

Annexe 1



Annexe 2


N
Légende
Station test sans pièges
Station test avec pièges
Le Sambuc
0
150
300
600
900
Metres

Annexe 3


FAITES PARTIE DE L'EXPÉRIENCE !
VOUS ALLEZ LIKER !
Rejoignez-nous sur la page Facebook « le moustique du Sambuc »
Où puis-je donner mon avis sur les pièges à moustiques du Sambuc ?
Quel piège a capturé le plus cette semaine ?
Qu'est-ce qu'un chironome?
Comment les pièges fonctionnent-ils ?
Quelle est l'efficacité des pièges ?
Est-ce que les pièges capturent les arabis?
Une page Facebook « Le moustique du Sambuc » a été spécialement créée afin de répondre à vos questions, recueillir vos impressions et vous tenir informés du déroulement de l'expérimentation.
Vous n'avez pas Facebook ? Un cahier est disponible au bureau de la mairie annexe du Sambuc. Vous pouvez également nous contacter par mail :
moustique-lesambuc@tourduvalat.org
Depuis 2015, une démoustication innovante est testée au Sambuc. Cette méthode utilise des pièges qui attirent puis aspirent les moustiques et les arabis. Sans danger pour la santé humaine et sans impact sur les écosystèmes naturels, ces pièges sont développés par la société Techno-Bam.
Vos avis sont précieux,
facebook Le moustique du Sambuc

La Camargue, coupure verte entre le tourisme de masse du Languedoc-Roussillon et la zone industrielle de Fos-sur-Mer, est le seul secteur du littoral non démoustiqué entre 1965 et 2005. En 2006, il fut décidé de démoustiquer une partie de la Camargue à l'aide d'un agent biologique et sélectif : le Bti. Cette démoustication est cependant accompagnée d'un suivi scientifique afin d'évaluer les impacts sur la faune non-cible et le ressenti des populations. Suite à la mise en évidence d'impacts significatifs sur la biodiversité, ce suivi est depuis quelques années orienté vers la recherche de solutions alternatives. Parmi celles-ci, la capture des moustiques à l'aide d'une ceinture de pièges autour des zones habitées, apparaît comme une solution mieux adaptée à la configuration du territoire et plus économique que l'épandage d'insecticides dans les milieux naturels. Ce projet de stage porte sur l'efficacité et l'impact de ces pièges qui simulent la respiration humaine pour attirer les femelles moustiques en quête d'un hôte à piquer. Suite à une première phase test, 16 bornes anti-moustiques (BAM) sont installées au Sambuc en 2016. Les résultats basés sur le test du mollet réalisé dans des secteurs avec et sans pièges montrent une réduction de la nuisance due aux moustiques de 82%. Les captures des pièges sont composées en moyenne de 68% d'insectes piqueurs nuisants (moustiques et arabis) et de 32% d'autres insectes, majoritairement des chironomes. Cependant, la ressource alimentaire pour les oiseaux insectivores n'en semble pas affectée: le succès reproducteur d'une colonie d'hirondelles de fenêtre n'est pas différent de celui observé avant l'installation des pièges. En parallèle, une page Facebook a été ouverte dans une optique de science participative, et plus de 260 personnes y sont abonnées. En conclusion, ce stage a permis de tester une méthode de démoustication innovante avec peu d'impacts écologiques et de sensibiliser la population à l'intérêt de protéger la biodiversité.

Mots clés : Démoustication, Bti, innovation, piège, impact.

The Camargue, a green separation between Languedoc's mass tourism and Fos-sur-Mer's industrial area, is the only wetland complex along the mediterranean coast where mosquitoes were uncontrolled from 1964 to 2005. By 2006, mosquito control was launched in part of the Camargue using an organic and selective product: the Bti. Scientific studies were then initiated to estimate ecological impacts of mosquito control on the non target fauna and its perception by the population. Following the demonstration of significant impacts on biodiversity, scientific studies were oriented towards the research of alternative solutions to Bti spraying. One of them is to create a mosquito barrier with traps to protect urban areas from mosquitoes produced in surrounding natural areas. This method seems to be more adapted to the Camargue territory and more affordable than Bti use. This internship is focalised on assessing the efficiency and impacts of mosquito traps, which are simulating the human breath to attract female mosquitoes who are searching for a host to take their blood meal. After a first test in 2015, sixteen mosquitoes traps were installed at the Sambuc, a village of 530 inhabitants, in 2016. Mosquitoes collected on human baits in areas with and without traps according to a standardized protocol, revealed a 82% reduction in mosquito nuisance at le Sambuc. The trap samples contained 68% of biting insects (mosquitoes and biting midges) and 32% of others insects, mainly from the Chironomidae family. Nevertheless, diet of insectivorous birds nesting at the Sambuc did not seem to be affected. Reproduction success of the house Martin colony in 2016 was similar to that observed in preceding years, before the traps' establishment. A Facebook page was created simultaneously to this experiment to foster participative science with over 260 people who like the page. To conclude, this internship contributed to test a new environmentally friendly method of mosquito control, and to raise citizen's awareness about the importance of protecting biodiversity.

Key words: mosquito control, Bti, innovation, traps, impact.