Université du Québec à Trois-Rivières

Projet : Le moustique du Sambuc

BIO1005-00 Stage en milieu de travail pour biologistes

Sous la direction de :

- Le docteur Brigitte Poulin, ma tutrice
- Hélène Glémet, ma directrice de programme
- Johanne Harnois, mon agente de stage

Tour du Valat

Yseult de Dreuille
27 juin 2017

Description de l'endroit du stage

La Tour du Valat se situe au cœur du parc naturel de Camargue, dans les Bouches-du-Rhône près du village du Sambuc. Le domaine s'étend sur 2600 ha dont 1800 ha classés en réserve naturelle régionale. Le domaine de la Tour du Valat a été acquis par Luc Hoffmann en 1947, puis c'est en 1954 que l'institut de recherche scientifique a été fondé. Luc Hoffmann est également co-fondateur du WWF.

Le but premier de la Fondation Tour du Valat, reconnue d'utilité publique depuis 1978, fut d'abord la préservation des zones humides et des oiseaux d'eau dont les principes préfigurent dans la convention de RAMSAR signée en 1971. C'est à partir des années 90 que l'on applique ces principes sur l'ensemble du pourtour méditerranéen à travers l'Initiative Medwet.

Les Zones humides ont longtemps été considérées comme inhospitalières. Ce n'est qu'après leur destruction (80% de ces milieux ont disparu sur tout l'axe méditerranéen), dû à un manque de connaissance et à une utilisation abusive de leurs ressources, que leur importance est reconnue. En effet, ces zones procurent à l'homme des richesses essentielles qui rendent possible les activités sociales, économiques et touristiques. Elles ont une fonction biogéochimique et hydrologique et permettent ainsi de stocker l'eau, en période humide, et de la redistribuer, en période sèche ; de contrôler l'érosion des sols et la pollution des eaux puisque ce sont des filtres naturels. Ces conditions entraînent le développement d'une grande diversité faunique et floristique dont quelques espèces endémiques à la Camargue. Il est donc capital de préserver ce milieu. « Un développement sain ne peut se faire dans une nature en panne. Ce n'est qu'en conciliant activités humaines et patrimoine naturel que les zones humides pourront être préservées » (Luc Hoffmann).

Afin d'assurer la conservation des zones humides, il est important de comprendre et partager les fonctions de ce milieu. Pour y parvenir de nombreux scientifiques de la Tour du Valat mènent des recherches et expérimentations comme, par exemple, le suivi de la population de cistudes ou le baguage de flamants roses. Les leçons tirées de ces études nous permettent d'optimiser la gestion des milieux humides, de les restaurer ou encore de réduire la nuisance d'une espèce indésirable, comme le moustique, en minimisant les impacts sur la biodiversité.

Sommaire scientifique

Résumé

Afin d'atténuer la nuisance que représente les moustiques en Camargue dans le sud de la France, la Tour du Valat, en coopération avec l'entreprise Qista, a mis au point des bornes anti-moustiques. Ces pièges, qui attirent et capturent les moustiques en libérant du CO_2 et de l'octénol, ont été placés tout autour du village du Sambuc pour créer une barrière de protection et améliorer le confort des habitants. Ce dispositif a permis de réduire la nuisance par un facteur de 70% en 2016, cette valeur augmentant à 85% lorsque l'espèce *Anopheles hyrcanus* est exclue des analyses. L'objectif du stage réalisé en 2017 fut de tester l'impact de deux olfactifs utilisés seuls ou en combinaison sur les taux de captures des différentes espèces de moustiques, afin notamment d'améliorer l'efficacité du dispositif envers les Anophèles. L'octénol s'est avéré être l'olfactif le plus efficace en règle générale, le composé d'acide lactique utilisé étant peu performant, y compris lorsqu'en combinaison avec l'octénol. D'autres leurres devront donc être testés afin d'améliorer la performance des pièges envers les Anophèles.

Abstract

To mitigate the nuisance that represents mosquitoes in the Camargue in southern France, the Tour du Valat, in cooperation with the Qista company, has developed trap mosquito repellent. These traps, which attract and capture mosquitoes by releasing CO_2 and octenol, have been placed around the village of Sambuc to create a barrier of protection and improve the comfort of the inhabitants. This device reduced the nuisance by a factor of 70% in 2016, this value increasing to 85% The species *Anopheles hyrcanus* is excluded from the analyzes. The objective of the training course carried out in 2017 was to test the impact of two olfactors used alone or in combination on the catch rate of the different mosquito species, in particular on the effectiveness of the Anopheles device. Octenol has proven to be the most effective olfactory as a rule, the lactic acid compound used for use, including in combination with octenol. Others are expected to be able to improve the performance of the Anopheles traps.

Introduction

L'animal le plus dangereux sur la planète est le moustique, faisant 725 000 victimes par an, loin devant l'homme et le serpent qui causent respectivement 475 000 et 50 000 décès par année (Metronews, 2014). Cependant l'action du moustique sur Terre est principalement limitée à la zone tropicale. En Amérique du nord et en Europe on relève seulement quelques cas isolés de paludisme et chikungunya. Parmi de nombreuses espèces, certaines font parties des animaux les plus invasifs, comme le moustique tigre qui est très médiatisé puisqu'il est vecteur d'épidémies notamment à la Réunion et que son expansion est exponentielle. Dans le sud de la France, nous n'avons relevé à ce jour que quelques cas isolés de dengue ou de chikungunya mais les moustiques restent des nuisibles importants. C'est pourquoi de nombreux procédés de démoustication de « confort » ont été mis en place. En 1958, l'EID-Méditerranée, un organisme public, est créé afin « d'assainir » la côte méditerranéenne. Et en 1963, la « Mission Racine » voit le jour sous la tutelle du Général de Gaule pour se développer sous le mandat de Pétain (2017, rapport de Dreuille). Le but étant de démoustiquer la région du Languedoc-Roussillon afin d'y permettre le développement d'un tourisme balnéaire de masse. Cette mission fut stoppée en 1982 mais aujourd'hui, des villes comme la Grande Motte sont de grands pôles touristiques, couverts de stations balnéaires. Cependant, la Camargue, jouissant de nombreux statuts de protection dû à l'importance de ses zones humides, n'est pas intégrée dans le programme de démoustication de l'EID.

Malheureusement, à l'époque, les insecticides utilisés comme anti-adultes ou larvicide, tels que le fénitrothion ou le téméphos, étaient de la famille des organophosphorés. Et malgré une dégradation rapide, ces produits sont très nocifs pour la faune et la flore non cibles mais aussi pour l'homme (même s'ils sont moins toxiques que les organochlorés tels que le DDT, aujourd'hui interdit). A partir de 2006, la bactérie *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* est le seul larvicide utilisé par l'EID et sa toxicité sélective envers les larves de diptères permet de reconsidérer une démoustication de la Camargue. Certes, moins toxique, les chercheurs de la Tour du Valat ont néanmoins observé un impact sur les libellules (Jakob & Poulin, 2016), les passereaux paludicoles (Poulin & Lefebvre, 2012) et les oiseaux d'eaux (Poulin, 2016). En effet, l'usage de Bti réduit l'abondance des moustiques et des chironomes, base de l'alimentation de nombreuses espèces animales en Camargue. On y a

d’ailleurs également noté une baisse de la reproduction des hirondelles suite à une mortalité accrue des oisillons découlant des modifications de leur régime alimentaire (Poulin *et al.* 2010). Or, à long terme, la démoustication naturelle via les prédateurs naturels des moustiques s’en voit menacée. De plus, les moustiques mâles jouent également un rôle en tant que pollinisateurs (Mangara *et al*., 2010).

Le suivi scientifique de la démoustication au Bti, initié en 2006, s’est donc tourné vers la recherche de solutions alternatives, axées sur les zones habitées (où la nuisance est ressentie) plutôt que sur les milliers d’hectares de milieux naturels (origine de la nuisance). Sachant que des pièges à moustiques existent pour les particuliers, une ceinture de pièges sur la voie publique pourrait-elle contrer la nuisance causée par les moustiques dans les villages de Camargue ?

Deux ingénieurs locaux se sont lancés dans la construction d’un prototype dont l’efficacité a été comparée à deux modèles de pièges disponibles sur le marché en 2014. L’expérience étant probante, 10 bornes Qista ont été déployées pendant deux mois en 2015 au Sambuc, un hameau de 550 habitants, puis quinze bornes à nouveau, d’avril à octobre, en 2016. Enfin, on a ajouté cette année, une seizième borne au Sambuc et trois nouvelles à la Tour du Valat.

D’après les résultats obtenus l’année dernière, ces bornes sont efficaces, permettant une réduction de la nuisance causée par les moustiques de 70% (Poulin, 2017). Les pièges se sont cependant avérés moins performants envers certaines espèces et notamment *Anopheles hyrcanus* très abondant en fin d’été. L’objectif spécifique du stage est d’évaluer l’impact de deux olfactifs et leur usage combiné sur les probabilités de captures des différentes espèces de moustiques afin d’améliorer la performance de ce mode de démoustication, notamment envers les *Anopheles*.

Matériel et méthode

- Les bornes Qista :

Ces bornes sont composées d'une bouteille de CO_2 ainsi que d'un ou plusieurs olfactifs. Ces différents composés sont alors propulsés à une portée de 80 mètres. Le CO_2 permet d'imiter la respiration et les olfactifs imitent la transpiration de l'homme. Ces éléments vont attirer les moustiques femelles près des pièges où elles sont aspirées par un ventilateur. Ces insectes tombent ensuite dans un filet qu'on collectera par la suite, sans oublier de remplacer le filet à chaque fois. Nous obtenons en majeur partie des femelles puisque ce sont bien elles qui piquent et non pas les mâles. Si ces derniers sont capturés c'est uniquement parce qu'ils sont attirés par les femelles. Ces bornes ont été créées exprès pour une utilisation sur les lieux publics, elles sont donc faites dans des matériaux solides, fixées au sol et fermées à clé.



Crédit photo : Techno-Bam



Crédit photo : Zeppelin



Crédit photo : Zeppelin

- Collecte des échantillons dans les bornes Qista au Sambuc :

Nous avons utilisé deux sortes d'attractifs dans les pièges du Sambuc, certains ne comportaient que de l'octénol alors que d'autres étaient composés d'un mélange d'octénol et d'acide lactique. Mon travail consistait donc à relever, tous les lundis, mercredis et vendredis, les 16 pièges du Sambuc. Pour éviter une trop grande abondance de moustiques, nous évitions de laisser plus de deux ou trois jours entre chaque relevé, de plus au-delà de cette période les moustiques risquent de sécher et de ne plus être identifiable. Par la suite, on congelait les filets contenant les moustiques du jour et mon collègue, Corentin Rollet, pesait ces échantillons. Les échantillons de deux pièges (chacun ayant un olfactif différent) par semaine étaient préservés dans l'alcool pour comptage et identification des moustiques capturés réalisé par mes soins en laboratoire sous loupe binoculaire.

- Collecte des échantillons dans les bornes Qista à la Tour du Valat :

A la Tour du Valat, trois pièges, ayant chacun des leurres différents, soit l'octénol, l'acide lactique ou le mélange des deux furent utilisés. Les pièges étaient distants d'environ 200 mètres et une rotation des olfactifs était réalisé tous les lundis matin afin d'éviter les biais causés par un éventuel effet site. Autrement, les relevés des pièges se faisaient de la même manière et au même moment que ceux du Sambuc. Ces échantillons furent aussi congelés et pesés. La seule différence était qu'on les préservait tous dans l'alcool pour comptage et identification. Quatre emplacements ont été utilisés pour ces trois pièges.

- Estimation de la réduction de nuisance « Test du mollet » :

Une fois ce protocole mis en place, nous avons commencé le « test du mollet » qui permet de mesurer la réduction de nuisance générée par les moustiques attribuable à l'utilisation des pièges. Muni d'un aspirateur à bouche, nous devions découvrir nos mollets pendant dix minutes et capturer les moustiques s'y posant. Ce test était réalisé dans 2 endroits « témoins », non démoustiqués, le Verdier et le mas d'Avignon. Puis, il est réalisé à proximité de trois pièges du Sambuc (le 4 ; 10 et 13).

Depuis cette année, ce test fut également utilisé sur la place de la mairie et au parc de Salin de Giraud à 16 km du Sambuc qui est démoustiqué au Bti, afin de mesurer l'efficacité de nos pièges face à ce larvicide. Les conditions météorologiques représentent néanmoins une limite à ce test. En effet, il doit y avoir un nombre minimal de moustiques aux endroits témoins. Autrement, s'il fait trop chaud ou qu'il y a trop de vent, le test est annulé. On ne peut donc pas prévoir trop à l'avance ce test. Nous avons tout de même essayé d'en réaliser au moins un par semaine. L'autre restriction est l'horaire, les moustiques étant plus présents après le lever et avant le coucher du soleil. Cependant il faut éviter de faire ce test pendant le pic crépusculaire d'activité des moustiques qui est insuffisamment long et engendrerait des biais temporels entre les sites.



Crédit photo : Zeppelin



Crédits photo : Zeppelin

- Traitement des données :

Enfin, toutes les données récoltées sur le terrain et en laboratoire ont été saisies dans un tableur excel. Vers la fin de mon stage, Gaëtan Lefebvre m'a initié au logiciel « Statistica », à partir duquel j'ai réalisé les analyses statistiques. J'ai matérialisé des graphiques représentants nos données à l'aide de modèles linéaires généralisés (GLM), en effectuant surtout des ANOVA à facteurs imbriqués.

- Communication :

Sans communication il n'y a pas de progrès, c'est pour cela qu'une page facebook a été créée l'année dernière. Elle vise à informer la population des progrès de cette nouvelle méthode de démoustication via la vulgarisation scientifique. Cette page s'intitule « Le moustique du Sambuc ».



Résultats

On peut retrouver en Camargue 12 espèces de moustiques. A savoir *Ochlerotatus caspius, Aedes vexans, Culex pipiens et Cx. modestus, Anopheles hyrcanus* qui sont les principales espèces rencontrées. Mais on retrouve aussi en moins grande quantité, *Ochlerotatus detritus et Oc. geniculatus, Culiseta annulata, Aedes albopictus, Coquilletidia richiardii, Anopheles maculipennis et An. plumbeus.*

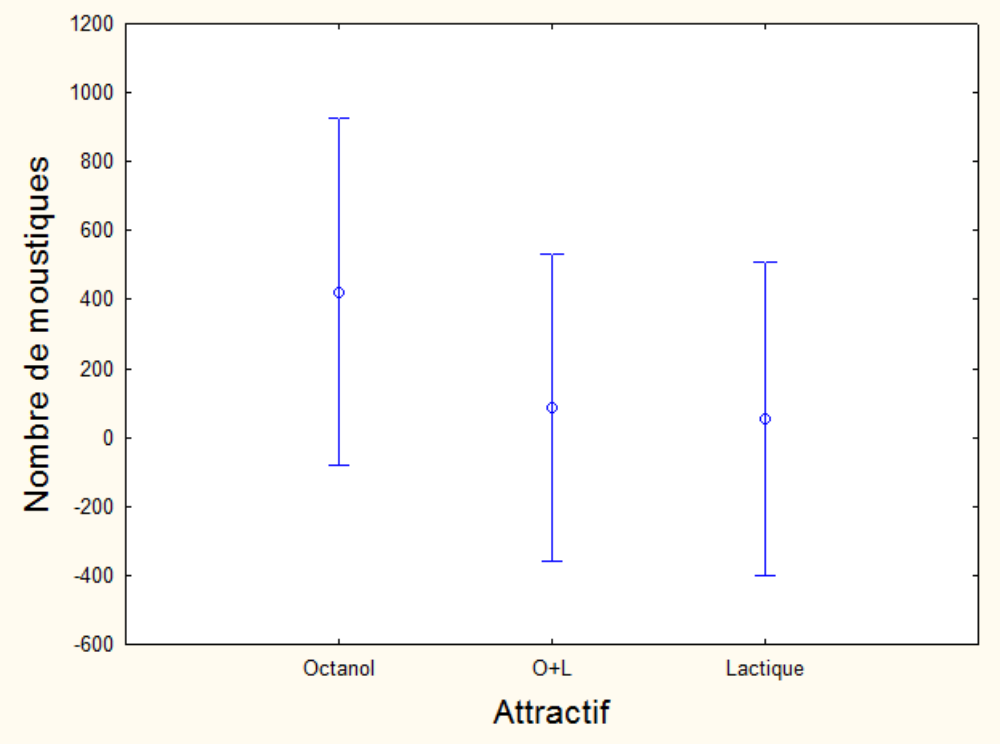


Fig 1 : Nombre de moustiques capturés dans les pièges en fonction de l'attractif utilisé à la Tour du Valat

A la Tour du Valat (TdV), nous avons récolté 33 échantillons contenant 8168 moustiques en 3 mois. On remarque distinctement que l'octénol est plus efficace même si les résultats ne sont pas significatifs. L'ajout de l'acide lactique à l'octénol ou lorsqu'il est utilisé réduit l'attractivité des pièges envers les moustiques.

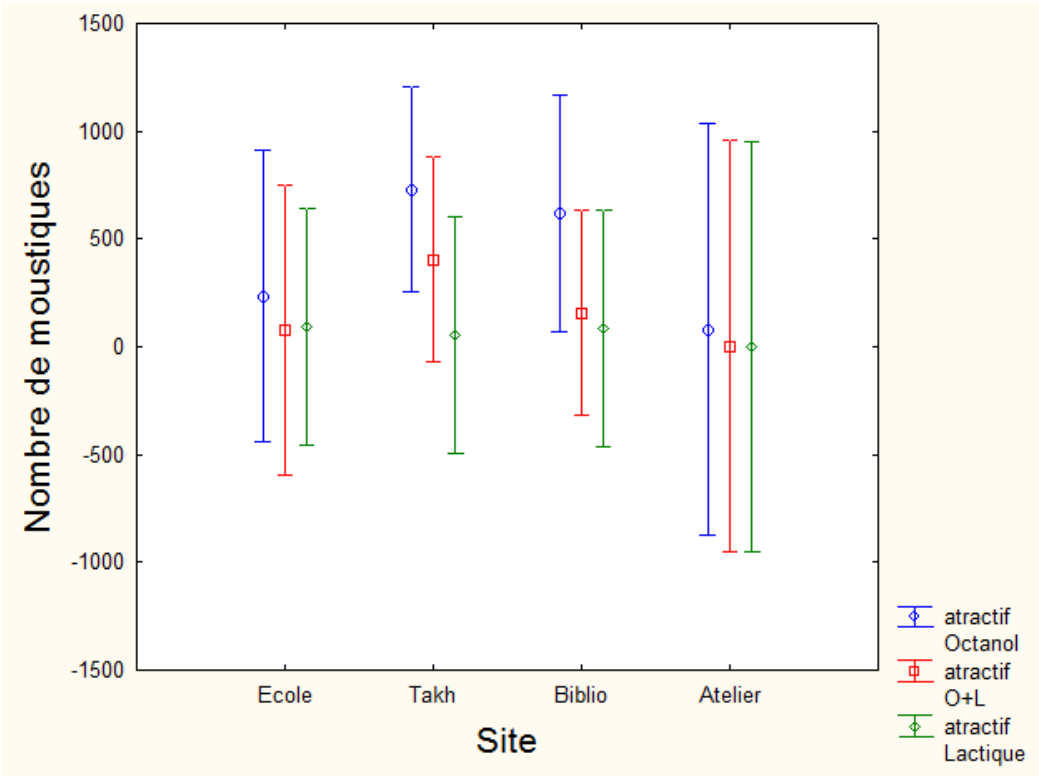


Fig 2 : Nombre de moustiques capturé dans les pièges en fonction de l'attractif utilisé à chaque site (TdV)

D'après la figure 2, on observe que quel que soit le site, la tendance reste le même. L'attractif le plus efficace est toujours l'octénol. De plus on remarque que plus le nombre de données récoltées est important, plus la différence entre la tendance est considérable.

Tableau 1 : Nombre moyen de captures par piège pour chacune des espèces échantillonées en fonction des attractifs (TDV)

Espèces	Octénol	O+L	Acide lactique	$F_{(2,4)}$	p
Ochlerotatus caspius	346,2	79,5	37,2	0,91	0,47
Culex pipiens	55,2	4,8	8,7	48,62	0,00156
Culex modestus	11,3	0,1	1,2	54,42	0,00126
Aedes vexans	2,5	1,1	0,3	1,13	0,41
Anopheles hyrcanus	2,3	0,9	1,3	0,19	0,83
Ochlerotatus detritus	1,3	0,1	0	36,58	0,00269
Culiseta annulata	0	0,2	0,3	0,07	0,94
Toutes les espèces	421,1	87,3	55,1	1,34	0,36

D’après le premier tableau, l’octénol est toujours le plus efficace quel que soit l’espèce. Par exemple chez *Oc. caspius*, l’octénol est quatre fois plus efficace que l’octénol additionné à l’acide lactique (O+L) et environ dix fois plus efficace que l’acide lactique seul. On retrouve aussi des données significatives pour les Culex et l’*Ochlerotatus detritus*, avec un p inférieur à 0,05. L’absence de significativité pour la plupart des espèces vient d’un manque de données de manière générale ou d’une trop grande variance des données pour les espèces abondantes comme *Oc*. *caspius* par exemple.

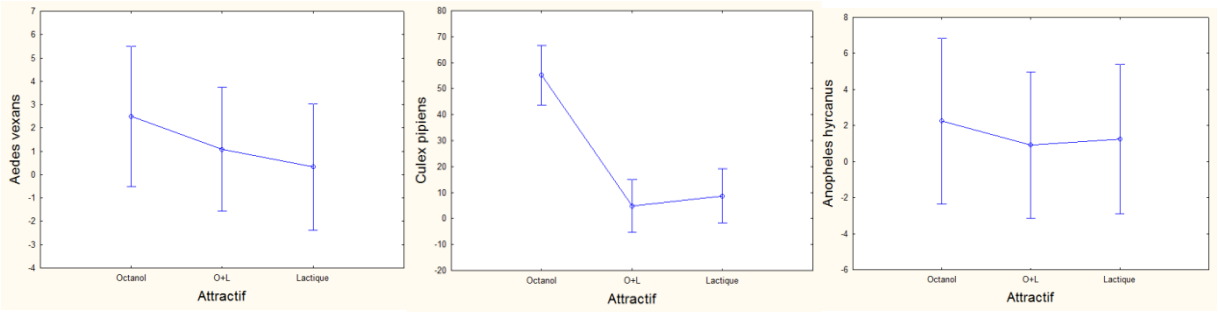


Fig 3 : Attractifs utilisés en fonction d’une espèce : *Aedes vexans*, *Culex pipiens* ou *Anopheles hyrcanus* (observation de 3 tendances à la TdV)

Toujours à la Tour du Valat, on remarque encore une dominance de l’octénol. Mais on peut observer trois tendances types en fonction des espèces.

Dans le premier graphique, illustrant le cas d’*Aedes vexans*, la tendance est descendante, on voit que l’octénol domine puis l’efficacité diminue à mesure qu’on passe par le leurre O+L puis par l’acide lactique.

Chez *Culex pipiens* on observe une tendance où l’octénol est nettement le plus performant. Comme on l’a vu précédemment, ce résultat est significatif, et la faible efficacité des deux derniers attractifs est à peu près identique.

Enfin, pour le dernier graphique représentant *Anopheles hyrcanus*, aucun attractif ne semble avoir beaucoup d’effet, même si l’octénol sort légèrement du lot.

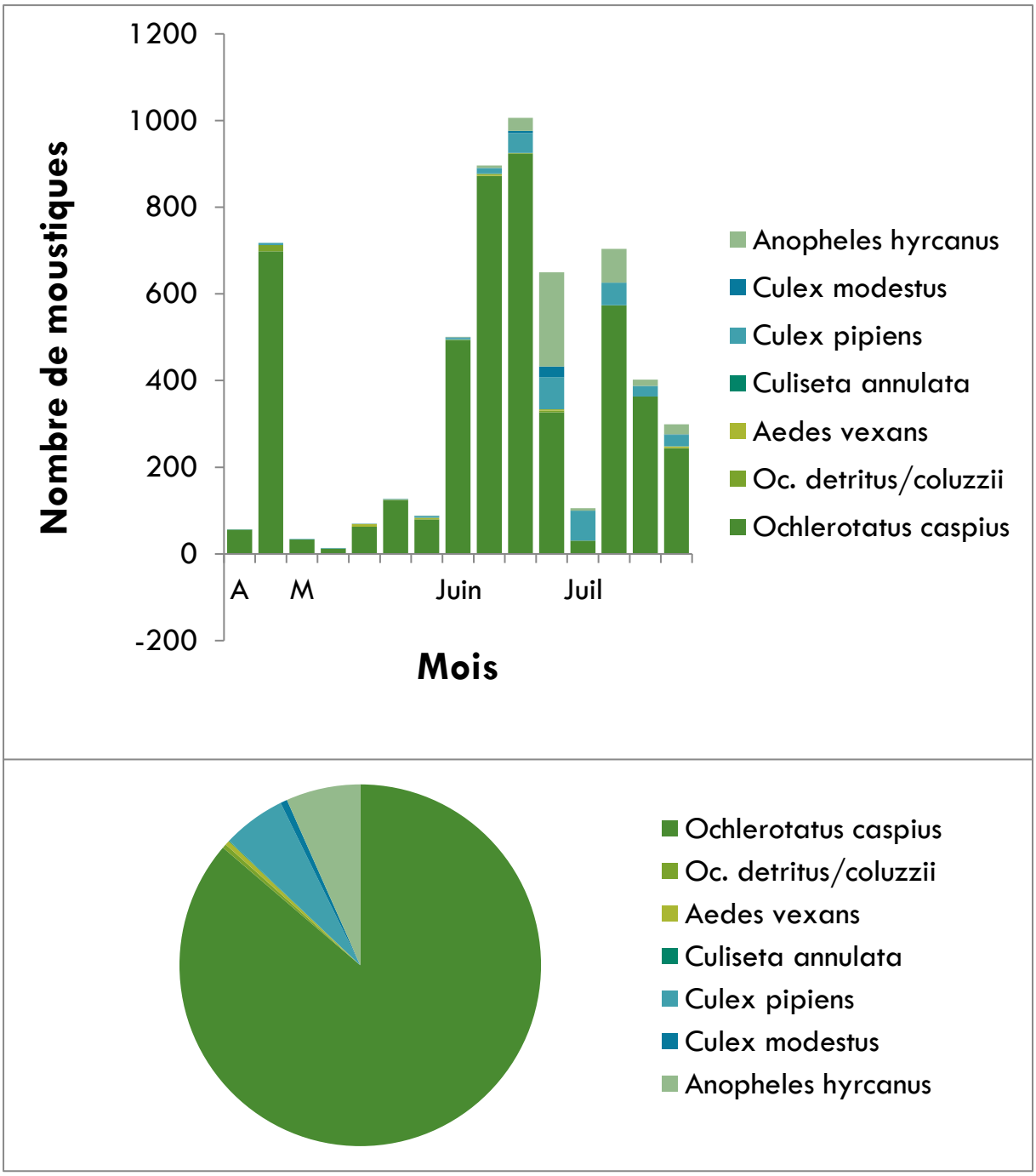


Fig 4 : Nombre moyen de moustiques capturés par piège au Sambuc en fonction du temps et de l'abondance relative des espèces

Au Sambuc nous avons récolté 32 échantillons contenant 12 353 moustiques en trois mois. Parmi les 12 espèces présentes en Camargue, nous en avons retrouvé sept différentes cet été. La figure 4 montre clairement une dominance du d'*Oc. caspius* au

Sambuc. On note aussi une bonne proportion d'*Anopheles* et de *pipiens*, mais toutes les autres espèces ont été retrouvées en quantité négligeable. L'histogramme nous en apprend plus sur la temporalité. On remarque que le pic d'abondance le plus important, pour les principales espèces, se situe en juin alors qu'il ne fait pas encore trop chaud. Le pic atteint le millier de moustiques par piège ! Deux autres pics sont observés en avril et en juillet, alors qu'en dehors de ces périodes le nombre de captures ne dépasse pas 200 par piège en moyenne.

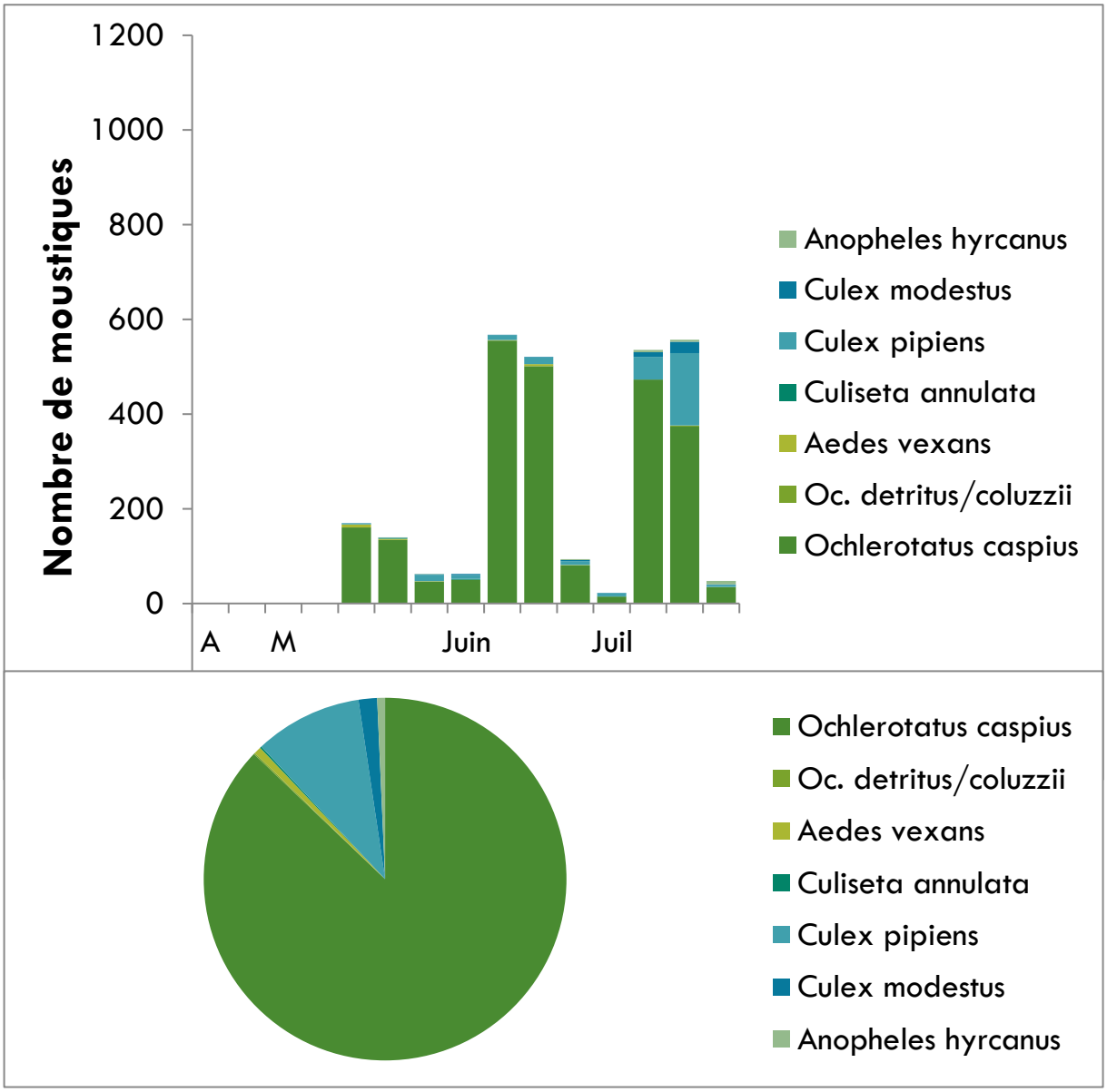


Fig 5 : Nombre moyen de moustiques capturés par piège à la Tour du Valat en fonction du temps et de l'abondance relative des espèces

A la Tour du Valat, la tendance est similaire avec une dominance de *Oc. caspius* suivi d'une proportion importante de *Cx. pipiens* retrouvée. Cependant l'*Anopheles*

n’est pas très présente sur le domaine et laisse sa place au *Cx. modestus*. Nous avons installé les bornes de la Tour du Valat vers la mi-mai, ce qui explique l’absence de données sur l’histogramme, à cette époque. Autrement on retrouve les deux pics d’abondance de juin et de juillet même si l’on compte moins de moustiques qu’au Sambuc.

Tableau 2 : Baisse de nuisance de l’*Ochlerotatus caspius* en fonction du traitement

Traitement	Moyenne *Oc. Caspius*	Baisse de nuisance (%)
Témoin	2,799025	
Octénol	0,046296	98,34598506
O+L	0,000000	100
Bti	0,027778	99,00759104

Nous avons réalisé le test du mollet 13 fois et nous avons récolté 39 échantillons contenant seulement 71 moustiques en 3 mois. Nous n’avons retrouvé qu’*Ochlerotatus caspius* dans tous les échantillons. Même si les résultats du tableau 2 suggère une réduction de la nuisance par les pièges, malgré nos efforts et le nombre d’échantillons qui en témoigne, il n’y a jamais eu assez de moustiques aux endroits témoins pour obtenir des résultats probants. Comme ce test dépend de la météo (vent et température), peut être que nous n’y sommes pas allés au moment idéal ou peut-être n’a-t-il pas eu de moment idéal.

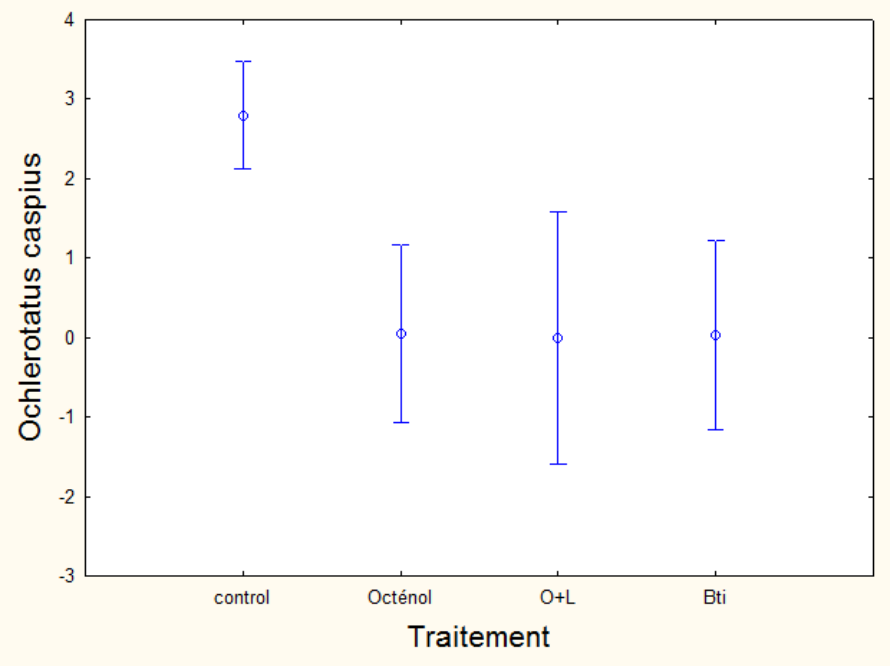


Fig. 6 : Efficacité des différents traitements utilisés sur l'espèce *Ochlerotatus caspius*

La figure 6 confirme ce qui a été dit précédemment, d'ailleurs on remarque une grande significativité des résultats. Nous avons retrouvé plus de moustiques aux endroits non traités, ce qui témoigne d'une baisse de nuisance près des bornes du Sambuc (Octénol ou O+L) et à Salin (démoustiqué au Bti). Vu le manque de données nous ne sommes pas en mesure d'observer une différence notable entre les différents traitements.

Discussion

Lorsque l'on s'est rendu compte que la démoustication au Bti impactait la biodiversité même à faible échelle, il a fallu repenser toutes les méthodes de démoustication puisqu'aujourd'hui le Bti est l'insecticide le plus utilisé au monde. Sans compter que de plus en plus d'espèces développent une résistance à ce produit (2010, Margot Paris). Il existe déjà tout un panel de pièges anti-moustiques, produits notamment par les marques Mosquito magnet, Biogents et plus récemment Qista. Le premier a été créé aux Etats-Unis, il contient du propane qui se transforme en CO_2 et utilise un attractif breveté appelé Lurex 3 qui imite l'odeur de la peau pour attirer les moustiques. Nous ne connaissons pas la composition exacte de ce produit, nous savons seulement qu'il contient de l'octénol. Malheureusement, le propane étant

explosif, ce piège ne peut pas être utilisé sur les lieux publiques. Le second est composé de CO_2 et d'un attractif appelé BG-Lure. Comme précédemment sa formule brevetée reste secrète mais nous avons pu identifier de l'acide lactique en grande quantité, de l'ammoniaque et des acides gras tels que l'acide caproïque. Ce mélange imite parfaitement l'odeur libérée par la peau et a un grand succès. Ce piège, comme le précédent, est destiné à un usage privé et ne peut être laissé sur la voie publique au risque de se faire voler ou endommager. Seule la société Techno-Bam s'est lancée dans la construction de pièges Qista pouvant intégrer le mobilier urbain. Nous avons donc opté pour les pièges Qista qui utilisent du CO_2 recyclé et généralement de l'octénol. Les expérimentations menées montrent que les olfactifs ont un impact important sur l'attractivité des pièges. Etant donné l'écart observé dans les captures de *Oc. caspius* selon que de l'octénol ou de l'acide lactique est utilisé, on peut même supposer que l'impact de l'olfactif est supérieur à celui du CO_2. Nous ne connaissons pas exactement la composition de ces leurres, puisque la formule est brevetée, il est donc difficile d'expliquer pour quelles raisons l'un est plus efficace que l'autre. La littérature nous apprend seulement que ces composés chimiques se retrouvent dans la sueur humaine et ont un pouvoir attractant. Il est aussi signalé que l'acide lactique est particulièrement efficace contre les moustiques tigre, *Aedes albopictus*. Mais cette espèce est plutôt urbaine, on ne la retrouve pas beaucoup en Camargue. En revanche, il est pertinent d'utiliser de l'octénol pour capturer *Ochlerotatus caspius*, principale espèce responsable de la nuisance causée par les moustiques en Camargue. Elle est particulièrement active au lever et au coucher du soleil et elle est abondante dans les milieux salés temporaires où se développe la végétation halophile, soit l'un des principaux habitats naturels de la Camargue (EID-med, CD-ROM, 2001). Cette espèce pond ses œufs sur le sol et ces derniers éclosent simultanément à chaque remise en eau, ce qui explique le flot d'émergence ponctuel de cette espèce tout au long de l'année. En revanche l'espèce dont on cherchait à réduire la nuisance est l'*Anopheles hyrcanus*. Une précédente étude avait mis en évidence que le leurre à base d'acide lactique de Biogents avait probablement plus d'effet sur cette espèce (Poulin et al., 2017). Cependant, l'usage d'acide lactique produit par la société Techno Bam n'a aucun effet significatif sur cette espèce, tout comme l'octénol. Cette espèce se reproduit dans les milieux inondés en permanence (canaux, rizières) et est plutôt active la nuit. Il se peut que les pièges, qui sont noirs pour absorber la chaleur du soleil, soit également moins efficaces contre les espèces

nocturnes car moins visibles en rayonnement infrarouge dans un environnement plus frais.

Conclusion

Ces pièges ont été conçus non seulement pour réduire la nuisance des moustiques mais aussi protéger l'environnement de l'épandage de produits toxiques. Il est clair que le but premier est atteint puisqu'on compte une réduction de 70%. Nous avons aussi démontré l'importance des leurres, qui accroissent l'attractivité des pièges. L'octénol est d'ailleurs le plus efficace en règle générale, surtout pour des espèces comme *Ochlerotatus caspius*, qui est la plus abondante. En revanche pour d'autres espèces telles que l'*Anopheles hyrcanus*, l'olfactif efficace reste à trouver, l'acide lactique produit par la Société Techno Bam n'ayant pas eu l'effet escompté dans le cadre de nos expérimentations. Il pourrait s'avérer utile de tester l'efficacité du leurre acide lactique produit par la société Biogents qui a fait ses preuves et/ou d'utiliser des bornes chauffantes car les *Anopheles* sont particulièrement actifs la nuit et sont comme tous les moustiques anthropophiles, attirés par la chaleur humaine.

Bibliographie

Tour du Valat, Rapport d'activités 2016.

AGME. (2017) Vers une démoustication innovante et efficace en Camargue grâce aux pièges à moustiques.

Zeppelin. La Tour du Valat : Les gardiens des marais.

Balenghien T., Fouque F., Sabatier P., Bicout D. J. (2006) Horse-, bird- and human-seeking behavior and seasonal abundance of mosquitoes in a West Nile virus focus of southern France. Journal of Medical Entomology, Entomological Society of America, 2006, 43 (5), pp.936-46.

Poulin B. (2012) Indirect effects of bioinsecticides on the nontarget fauna: The Camargue experiment calls for future research. *Acta Oecologica 44: 28-32.*

Poulin B., Lefebvre G., Paz L. (2010) Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology.* P. 6.

Muranyi Kovacs C. (2016) Etude d'une alternative à la démoustication au Bti: Les bornes anti-moustique. Université Paul-Valéry Montpellier. P. 9.

Jakob C., Poulin B. (2016) Indirect effects of mosquito control using Bti on drangonflies and damselflies (Odonata) in the Camargue. *Insect Conservation and Diversity.* P. 6.

Poulin B., Lefebvre G., Muranyi-Kovacs C., Hilaire S. (2017) Mosquito Traps: An Innovative, Environmentally Friendly Technique to Control Mosquitoes. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* P.1-3.

Poulin B., Lefebvre G. (2016) Perturbation and delayed recovery of the reed invertabrate assemblage in Camargue marshes sprayed with *Bacillus thuringiensis israelenis*. *Insect Science.*

Muranyi-Kovacs C. (2016) Etude d'une Alternative à la démoustication au Bti : les bornes anti-Moustique.

Poulin B. (2016) Rapport final 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, 118 pp.

Poulin B. (2017) Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2016 en parallèle aux opérations de démoustication au Bti sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue, 55 pp.

Rioux J.A. (1958) Les Culicidés du "midi" méditerranéen. *Encyclopédie Entomologique*, P. Lechevallier édit., Paris, P.151.

Séguy E. (1925) diptère (Nématoères). *Faune de France*, P. Lechevallier édit., Paris. P. 44.

Rioux J.-A. & Arnold M. (1955) Les Culicidés de Camargue (étude systématique et écologique). *Actes de la Réserve de Camargue,* Société nationale de protection de la nature et d'acclimatation de France édit., Paris.

EID-med. (2001) Les moustiques d'Europe. IRD Editions, Paris. CD-ROM.

De Dreuille Y. (2017) La propagation de l'*Aedes albopictus* sur l'arc méditerranéen, particulièrement en Camargue et à Montpellier. *Biologie de la conservation.*

Paris M. (2011) Evolution de la résistance au bactério-insecticide Bti chez les moustiques. Ecologie, Environnement. Université de Grenoble.

Deguines N. (2015) L'urbanophobie chez les insectes pollinisateurs : apports de l'analyse des données 2010-2012 du programme SPIPOLL. P.62.

Arles (2017) Les bornes anti-moustiques.

Metronews (2014) L'animal qui nous tue le plus ? Le moustique.

COMM. PERS. Poulin B., Lefebvre G., Hilaire S.

Remerciement

Je recommande la Tour du Valat, à tous ceux qui veulent travailler dans un superbe cadre et une ambiance chaleureuse et sérieuse. Je ne connais pas beaucoup d'endroits qui offrent à leurs stagiaires la possibilité d'assister à des séminaires et des formations. La Tour du Valat offre aussi la possibilité d'acquérir de l'expérience dans d'autres domaines que celui de notre stage, par exemple pour marquer les cistudes, s'occuper de la reproduction des libellules ou encore baguer les oiseaux. On ne s'ennuie jamais !

Les recherches sur la réduction de nuisance des moustiques ont pris tellement d'ampleur dans le monde, je suis honorée d'avoir pu travailler sur ce projet, j'ai vraiment apprécié la tâche qu'on m'a confié. Si je veux être honnête, avant la Tour du Valat, je me demandais souvent pourquoi j'avais atterri en biologie/écologie. Maintenant j'ai pris conscience que chacun à son échelle pouvait changer les choses et surtout qu'on en avait le devoir ! Et c'est très gratifiant.

En premier lieu, je tiens à remercier Brigitte Poulin, ma tutrice qui m'a offert l'opportunité de travailler sur son projet. Ainsi que Gaétan Lefebvre sans qui mon ordinateur resterait encore un mystère, tout le monde à la Tour serait perdu sans lui. Ils ont été là, au moindre problème !

Je remercie Hélène Glémet, ma directrice de programme, ainsi que Guy Samson et Johanne Harnois, mon agente de stage. Ils étaient présents à la moindre panique et interrogation de ma part.

Merci aussi à Samuel Hilaire, mon professeur qui m'a tout appris de l'identification, et grâce à qui j'ai pu transmettre ces connaissances aux nouveaux arrivants.

Un grand merci aussi au directeur le plus humain que je connaisse, Jean Jalbert. Ainsi qu'à Jean-Yves et Patrick Grillas.

Je n'oublie pas tous les gens avec qui j'ai travaillé et vécu pendant trois mois, Carole, Corentin, Morgane, Nadège, Sonya, Elie, Nicolas, Anne-Sophie, Antoine, Micha, Soukaina et tous les stagiaires, services civiques et services européens. Ainsi que tous les chercheurs qui nous ont beaucoup appris et les employés qui nous ont aidés

et qui faisaient tout pour nous rendre la vie plus facile, Babara, Anne-Sophie, Marie, Pascal, Anis, Emilie, Philippe, Florence et Stéphanie.

Enfin je remercie Luc Hoffmann, dont l'histoire m'a été conté par Babara. Ça m'a fait comprendre l'importance de notre travail. Si cet homme n'était pas tombé amoureux de la Camargue, ce lieu aurait certainement disparu, ainsi que la convention de Ramsar sans laquelle les zones humides ne seraient qu'un vieux souvenir. Il n'y qu'à entendre tout le respect et l'admiration qu'ont ses employés à son égard. Un grand homme dont les travaux continue après sa disparition.

Merci à tous les passionnés !