



**Rapport intermédiaire sur le suivi scientifique annuel  
mené en 2014 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti*  
sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue**

**Rapport présenté au Parc naturel régional de Camargue**

**Le 1er décembre 2014**

**Par Brigitte Poulin**



## Sommaire

Présentation de l'équipe responsable de la réalisation des suivis.....	3
Introduction.....	4
1. Suivi des Diptères Chironomidés.....	5
2. Suivi des odonates.....	8
3. Suivi des disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles.....	15
4. Suivi des colonies d'hirondelles.....	24
5. Suivi des chiroptères.....	29
6. Suivi sur la persistance du <i>Bti</i> dans l'environnement .....	41
7. Suivis sur le domaine de la Palissade.....	50
8. Estimation de l'efficacité des pièges .....	63
9. Estimation de l'efficacité d'un traitement homéopathique.....	73
10. Suivi sociologique .....	78
Synthèse.....	90
Conclusions .....	92
Remerciements .....	93

## **Présentation de l'équipe responsable de la réalisation des suivis**

### **Prestataire responsable de la mission :**

Poulin, Brigitte, Dr  
Chef Département Ecosystèmes  
Centre de Recherche Tour du Valat  
Le Sambuc  
13200 Arles  
Téléphone/télécopie : 04 90 97 29 75/04 90 97 20 19  
[poulin@tourduvalat.org](mailto:poulin@tourduvalat.org)

### **Composition de l'équipe (Groupement conjoint avec mandataires solidaires)**

**Dr Brigitte Poulin**, Chef Département  
Centre de Recherche Tour du Valat (fondation privée à but non lucratif)  
Responsable des suivis sur les chironomes, les passereaux paludicoles, les hirondelles des fenêtres, la persistance du *Bti*, le Domaine de la Palissade et les méthodes alternatives à l'usage du *Bti*.

**Dr Christiane Jakob**, Ingénieur de Recherche  
Libelo, auto-entrepreneur  
Responsable du suivi Odonates.

**Fanny Albalat**, Chargée de mission  
Groupe Chiroptères de Provence, Association Loi 1901  
Responsable du suivi Chiroptères.

**Dr Laurence Nicolas**, Chargée de recherches  
RESSOURCE, laboratoire indépendant  
(Recherche en Sciences Sociales sur les Organisations, Usages, Représentations et Concertations liés à l'Environnement)  
Responsable du suivi sociologique réalisé en partenariat avec le bureau d'études C2PSY.

## Introduction

Les suivis présentés dans ce rapport font suite à une première phase de démoustication expérimentale, accompagnée d'un suivi environnemental et sociologique, qui fut mise en œuvre sur la période 2006-2011, puis annuellement depuis 2012 sur les secteurs de Salin-de-Giraud, Port Saint-Louis-du-Rhône et Brasinvert (commune des Saintes Maries de la Mer). Ils ont été réalisés en réponse à un appel à propositions lancé par le Parc naturel régional de Camargue en avril 2014, suite à la décision de reconduire la démoustication. Ils couvrent la période d'avril 2014 à novembre 2014.

### Résumé de la proposition

Le suivi scientifique proposé répond à trois principaux objectifs : **(1) quantifier les effets du *Bti* sur les populations animales non cibles** potentiellement impactées par les opérations de démoustication ; **(2) tester l'efficacité de moyens alternatifs pour réduire la nuisance** causée par les moustiques en Camargue ; et **(3) mener des enquêtes sociologique sur la perception de la nuisance et des différents moyens de la réduire.**

Les groupes d'espèces considérés pour le premier objectif sont les **chironomes**, les **odonates**, les **passereaux paludicoles**, les **hirondelles de fenêtres**, les **chiroptères** et les **oiseaux d'eau**. A l'exception du premier groupe qui est potentiellement affecté directement par le *Bti*, les effets attendus résultent d'un impact indirect à travers le réseau trophique. Ces suivis s'appuient systématiquement sur la **comparaison de sites traités et témoins** avec un **effort d'échantillonnage** conséquent en termes de taille d'échantillon et de nombre de répliques, afin d'assurer la puissance des **tests statistiques**. Capitalisant sur la poursuite des suivis entrepris lors de la précédente campagne d'échantillonnage, ces études permettront notamment de :

- **vérifier l'hypothèse d'un lien entre la mortalité des chironomes et la prolifération du *Bti* dans l'environnement ;**
- **ajouter des analyses au niveau spécifique pour le suivi des odonates ;**
- **confirmer les tendances observées** en maintenant au sein du dispositif les sites où la démoustication est interrompue depuis 2012 ;
- **évaluer les taux de colonisation des nichoirs par les pipistrelles, voire leur succès de reproduction sur les sites témoins et traités ;**
- **poursuivre et élargir le volet sur la persistance du *Bti*, en étudiant les facteurs environnementaux potentiellement impliqués.**

Le second objectif visera à quantifier l'efficacité de modes collectifs et individuels de réduction de la nuisance et plus particulièrement à :

- **comparer l'efficacité de trois dispositifs de pièges à moustiques en fonction des taux de captures des différentes espèces de moustiques et autres nuisants ;**
- **estimer l'efficacité d'un traitement homéopathique préventif pour réduire le taux de piqûres sur un groupe test de 40 individus.**

Le troisième objectif permettra, selon une approche sociologique de :

- **accompagner les populations exposées vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement** par la poursuite des tests de pièges à moustiques enrichi d'un nouveau dispositif (piège Biogents et lampe) ;
- **estimer les formes d'acceptation de méthodes de protection alternatives**, en complément ou remplacement des actuels traitements au *Bti* ;
- **alimenter la réflexion sur l'amélioration de la diminution « naturelle » des moustiques dans les activités de mises en eau volontaires.**

## **VOLET I**

### **Diptères Chironomidés**

**Brigitte Poulin, Samuel Hilaire & Gaëtan Lefebvre**  
Tour du Valat



## 1. Suivi des Diptères Chironomidés

### Etat de l'art

Avec leur physiologie proche de celle des moustiques, les chironomes sont le principal taxon non cible directement affecté par le *Bti* (Boisvert & Boisvert 2000; Lacey & Merritt 2004, Lundstrom *et al.* 2010). Ce groupe a fait l'objet de divers suivis depuis 2006 : échantillonnage des larves dans des milieux très temporaires par carottage (2006-2011), capture du plancton aérien à proximité des colonies d'hirondelles de fenêtres (2010-2011), capture d'adultes à l'aide de cuvettes jaunes dans les roselières et les sansouires (2012) et captures par pièges de couleur dans les roselières et les rizières (2013). Ces études ont révélé une baisse d'abondance significative chez les chironomes adultes de l'ordre de 24 à 78% selon les types de milieux (Poulin *et al.* 2011, Poulin *et al.* 2013, Poulin 2014). Ces impacts sont cohérents avec une persistance avérée du *Bti*, notamment dans les milieux à longue hydropériode riches en matière organique (Guidi *et al.* 2011, Poulin 2012, Tétreau *et al.* 2012). Les résultats sur la persistance du *Bti* en 2013 suggèrent que les chironomes, principalement benthiques, pourraient contribuer à la prolifération du *Bti* s'accumulant au fond des marais (Poulin 2014). Des efforts ont donc été mis en œuvre cette année afin de vérifier cette hypothèse. Ainsi, le suivi en 2014 a consisté en une **surveillance des marais traités pour détecter les mortalités de chironomes** qui ont ensuite fait l'objet d'analyses microbiologiques afin de vérifier la présence de *Bti* dans leur système digestif.

### Méthodologie

- Surveillance des marais traités pour y déceler des mortalités de chironomes avant émergence
- Analyse microbiologique des cadavres de chironomes afin de déterminer si le *Bti* est présent.

### Sites d'étude

- Tous les sites traités en Camargue et plus particulièrement ceux à inondation prolongée.

### Résultats

Seulement **une observation de mortalité de chironomes** a été faite au cours de la saison, dans un marais situé au nord de l'étang du Charnier en Camargue gardoise (Fig. 23, p. 43). Les 12 chironomes trouvés flottant à la surface de l'eau ont été prélevés et analysés par le laboratoire LECA de Grenoble. Sur les **12 individus, un seul contenait du *Bti***. Cet unique test n'est cependant pas considéré concluant étant donné que ces chironomes ont été trouvés **dans un secteur où la densité de spores de *Bti* s'est avérée être très faible**, 1125 /g de sol, soit une valeur inférieure à la moyenne des roselières non traitées. Les probabilités de détection des cadavres de chironomes sont faibles, ces derniers étant susceptibles d'être consommés ou décomposés très rapidement dans l'environnement.

### Perspectives

Dans l'hypothèse du maintien de la démoustication en 2015, il apparaît utile de mettre en œuvre une surveillance accrue de la mortalité des chironomes afin de vérifier le lien de causalité entre leur mortalité et l'ingestion de *Bti*. De plus, des analyses microbiologiques réalisées sur des chironomes prélevés au fond des marais après la

période de traitement lorsque les densités de spores sont maximales dans les roselières et les scirpaies (cf volet persistance du *Bti*), permettrait de quantifier la consommation de *Bti* par les chironomes.

## Références

- Boisvert M & Boisvert J. 2000. Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on target and nontarget organisms: a review of laboratory and field experiments. *Biocontrol Science and Technology*. 10: 517-561.
- Guidi V, Patocchi N Lüthy P & Tonolla M. 2011. Distribution of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* in soil of a Swiss wetland reserve after 22 years of mosquito control. *Applied and Environmental Microbiology* 77:3663–3668.
- Lacey LA, & Merritt DL. 2004. The safety of bacterial microbial agents used for black fly and mosquito control in aquatic environments, in: *Environmental Impacts of Microbial Insecticides*: Pp. 151-168 in *Need and methods for risk assessment*, Hokkanen HMT, Hajek AE (Eds.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Lundstrom JO, Schafer ML, Petersson E, Vinnersten TZP, Landin J. & Brodin Y. 2010. Production of wetland Chironomidae (Diptera) and the effects of using *Bacillus thuringiensis israelensis* for mosquito control. *Bulletin of Entomological Research* 100:117-125.
- 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, Duborper E & Chabot M-H. 2011. Effets des traitements au *Bti* sur les invertébrés paludicoles et les hirondelles des fenêtres pour les cinq années de démoustication expérimentale en Camargue (2006-2011). Rapport Tour du Valat, Arles, 24 pp.
- Poulin B, Albalat F, Claeys C, Després L, Jakob C & Tétré C. 2013. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2012 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue, 108 pp.
- Poulin B. 2014. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue, 156 pp.
- Tétré G, Alessi M, Veyrenc S, Périgon S, David J-P, Reynaud S, Després L. 2012. Fate of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* in the field: Evidence for spore recycling and differential persistence of toxins in leaf litter. *Applied and Environmental Microbiology* 78: 8362-8367.

**VOLET II**  
**Odonates**

**Christiane Jakob**  
Libelo



*(c) Kate Lessells*

## 2. Suivi des odonates

### Etat de l'art

Les odonates (libellules) possèdent un cycle de vie complexe, comprenant un **stade larvaire aquatique** et un **stade adulte aérien**, durant lesquels ils sont **prédateurs de Nématocères** (moustiques et chironomes). Reconnus pour leur importance dans la chaîne trophique des écosystèmes camarguais (Aguesse, 1955), ils sont donc doublement exposés à d'éventuels changements dans le niveau d'abondance de leurs proies qui sont particulièrement sensibles au *Bti*. Certaines des libellules inventoriées bénéficient de **statuts de protection nationaux** (MNHN, 1993), figurent dans la liste rouge méditerranéenne (Riservato et al, 2009) ou sont visées par le Plan National d'Actions en faveur des odonates (PNAO, DUPONT, 2010-2014 ; déclinaison régionale PRAO).

Le suivi des odonates, initié en 2008 (stade larvaire) et 2009 (stade adulte), a donc pour objectif d'évaluer si les traitements au *Bti* ont un effet indirect sur l'abondance de ces insectes qui sont à la fois prédateurs des diptères sensibles au *Bti* et proies de nombreux vertébrés associés aux zones humides. L'étude réalisée sur la période 2009-2013 a permis de démontrer un impact négatif, significatif et plutôt croissant du *Bti* sur la richesse spécifique et l'abondance cumulée des odonates adultes échantillonnées par transect d'observation sur 3 sites témoins et 3 sites traités représentant divers habitats en Camargue (Jakob 2014). Ce résultat est d'autant plus important qu'actuellement, peu d'études sont disponibles sur le suivi à long terme des effets du *Bti* sur les odonates non-cibles dans un contexte deltaïque (Hershey, et al, 1998 ; Niemi et al. 1999).

Aucune des méthodes testées pour le suivi des larves n'offrant des résultats satisfaisants et comparables entre sites et périodes (ex: troubleau en 2012, pièges à émergence en 2013), les suivis réalisés en 2014 portent exclusivement sur la méthode des transects qui permet d'estimer les abondances relatives des adultes. Des données additionnelles ont été collectées cette année afin de permettre le calcul de probabilités de détection des différentes espèces en prenant en compte différents tronçons du transect. Les résultats de ces analyses seront présentés dans le rapport final.

### Sites d'étude

Les stations ont été déterminées en fonction du recouvrement de la végétation dominante et dans l'objectif de maintenir la série d'échantillonnage en cours depuis 2009. Le suivi par transect d'observation s'appuie sur les mêmes trois sites témoins et traités que les années passées, sauf pour le site du They de Roustan, non suivi en 2014 pour cause de modifications dans la gestion hydrologique du site depuis le début des suivis, susceptibles d'engendrer des biais importants dans l'interprétation des résultats compte tenu de l'emplacement du transect (Fig. 1).

- Sites témoins : Boutardière (MDV), Rousty (PNRC), Fangouse et Cerisières des Relongues (TdV)
- Sites traités : Clos d'Armand et le Boutard (Palissade)

### Méthodologie

La méthode a été choisie de façon à offrir un bon rapport coûts-bénéfices, procurant des données relatives mais robustes dans une perspective de suivi à long-terme. Les **transects, à emplacement fixe** d'année en année, sont **typiquement situés à proximité de divers habitats aquatiques** (canal d'eau douce, mare permanente) qui,

sans nécessairement correspondre au lieu de naissance, sont **utilisés pour l'alimentation et la ponte des libellules adultes**. L'abondance relative des adultes est déterminée par le **nombre d'individus observés en vol ou posés sur la végétation jusqu'à cinq mètres de par et d'autre d'un transect de 100 mètres de long parcouru en 30-45 minutes**. Ce protocole permet donc à l'observateur d'évaluer l'abondance de chaque espèce (ou le genre dans certains cas) et de la convertir éventuellement en densité. Les campagnes de terrain de mai à octobre couvrent les trois principales périodes d'activité (printemps, été, automne). Pour chacune des saisons, les cinq sites ont été échantillonnés à deux reprises l'intérieur d'une période maximale de 8 jours. Les analyses sont réalisées sur les données cumulées des trois passages, pour chacun des transects.

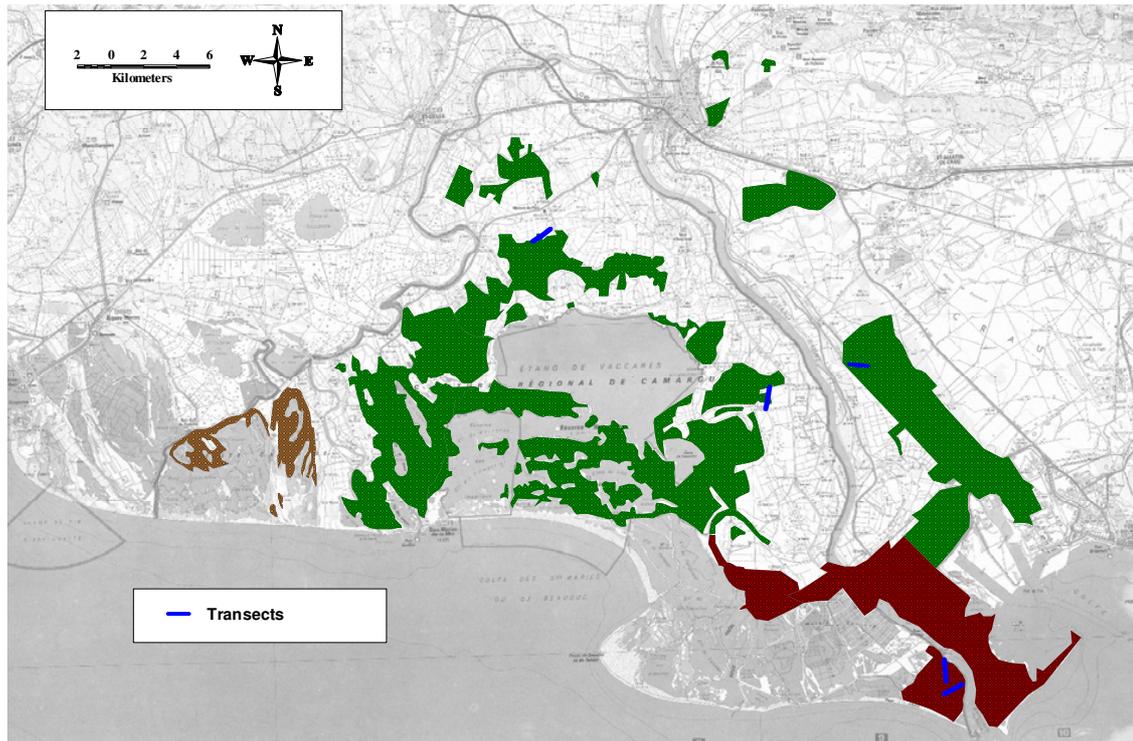


Fig. 1. Localisation des sites d'échantillonnage par rapport aux biotopes larvaires potentiels jamais traités (vert), non traités en 2012-2013 (orange) et traités au Bti (rouge).

## Résultats

Quelques **2876 odonates ont été inventoriés depuis 2009** sur les transects, incluant **568 individus, dont 507 déterminés à l'espèce, en 2014**. Cette valeur est supérieure à la moyenne des années précédentes ( $x = 479$ ) alors que **422** (2013), **360** (2012), **333** (2011), **523** (2010) et **670** (2009) individus avaient été dénombrés. Ces données sont analysées en termes de richesse (nombre d'espèces) et d'abondance (nombre d'individus observés). Cette année encore, les taxons tels que les *Aeshnides* ainsi que les *Lestes* sont faiblement représentés.

### A) Richesse spécifique

Un total de 19 espèces différentes ont été détectées sur l'ensemble des transects en 2014. Le nombre d'espèces observées par transect suit les mêmes tendances que celles

des années précédentes, à savoir une **richesse supérieure sur les sites témoins** par rapport aux sites traités (Fig. 2).

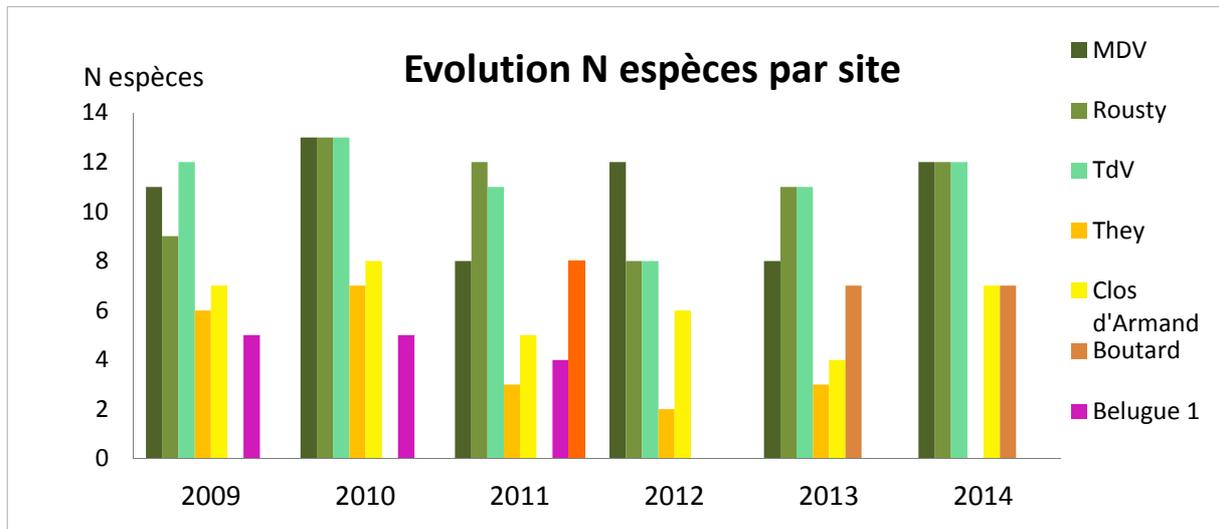


Fig. 2. Nombre d'espèces d'odonates observées sur les transects pour chaque site et année d'étude depuis 2009. **Sites non-traités** (dégradés vert): MDV= Boutardièrre, Marais du Vigueirat, Rousty=Marais de Rousty, PNR de Camargue, TDV= Fangouse, Tour du Valat. **Sites traités au BTI** (dégradés jaunes): They=They du Roustan, Plan du Bourg ; Clos d'Armand = Palissade ; Belugue 1 et 2 = Marais de la Belugue ; Boutard = Palissade.

Ces données ont été soumises à une analyse de variance avec l'année et le site comme facteurs imbriqués afin d'isoler l'effet des traitements au *Bti* (Fig. 3). L'effet de la conductivité des milieux sur la variance globale a été testé, mais reste extrêmement faible (1-2%) par rapport aux autres effets (traitement, année, site). Ce facteur a donc été écarté de l'analyse globale. Il ressort un **effet significatif des traitements sur le nombre d'espèces d'odonates observées** ( $F_{(18,1)} = 82.66; P < 0.000001$ ), la démontstration contribuant à 93% de la variance observée, contre 3% pour l'année et 4% pour le site.

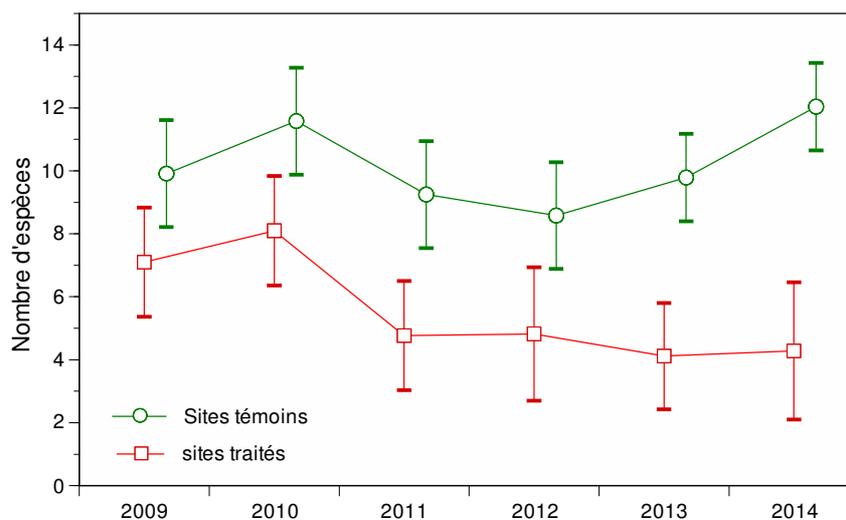


Fig. 3. Effet des traitements au *Bti* sur la richesse moyenne ( $\pm$  IC 95%) en odonates pour chaque année d'échantillonnage selon une ANOVA à facteurs imbriqués.

## B) Abondance

Le nombre cumulé d'individus dénombrés sur chaque transect a également été soumis à une analyse de variance avec l'année et le site comme facteurs imbriqués afin d'isoler l'effet des traitements au *Bti* (Fig. 4). Ce dernier a un **effet significatif sur les abondances moyennes d'odonates** ( $F_{(18,1)} = 10.0$ ;  $P = 0.004$ ), la démolustication contribuant à 82% de la variance observée, contre 10 % pour le site et 8 % pour l'année.

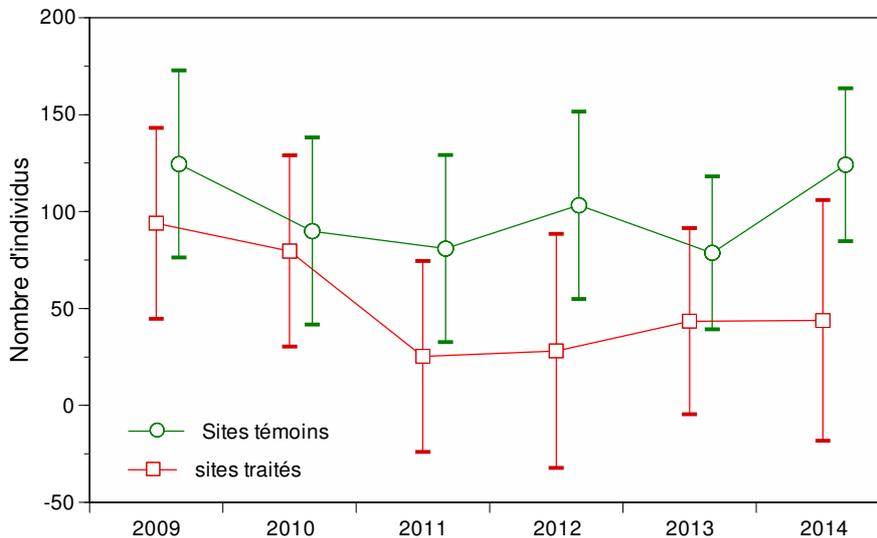


Fig. 4. Effet des traitements au *Bti* sur l'abondance cumulée ( $\pm$  IC 95%) des odonates pour chaque année d'échantillonnage selon une ANOVA à facteurs imbriqués.

Des **différences significatives** se dégagent également lorsque l'on teste séparément le groupe des **Anisoptères (libellules)** et des **Zygotères (demoiselles)**. L'effet traitement au *Bti* est hautement significatif ( $F_{(17,2)} = 5.4$  ;  $P = 0.01$ ), contribuant à expliquer 60 % de la variance observée pour ces deux groupes (Fig. 5).

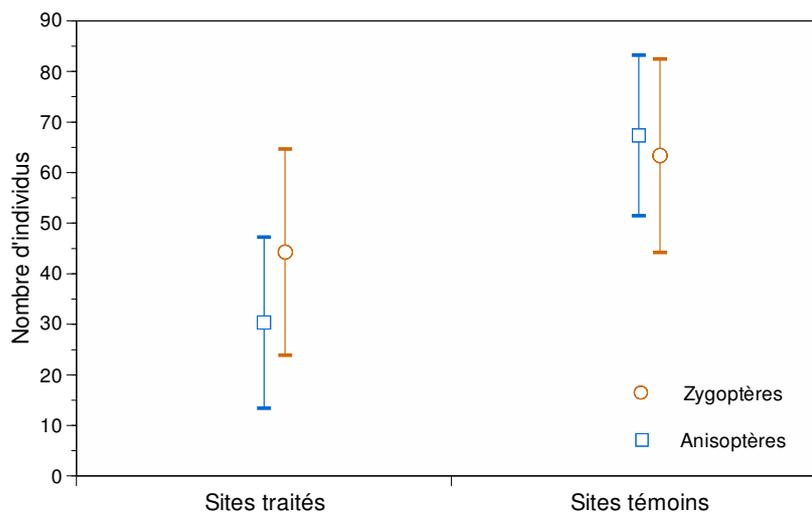


Fig.5. Effet des traitements au *Bti* sur les abondances annuelles moyenne des Zygotères et Anisoptères ( $\pm$  IC 95%) sur les sites traités et témoins de 2009 à 2014.

## Discussion

**Cette étude, réalisée sur 5 transects en 2014, conforte les résultats des années précédentes : la richesse spécifique et l'abondance cumulée des odonates sont significativement inférieures sur les sites traités par rapport aux sites témoins. Les écarts observés entre sites traités et témoins pour les deux paramètres étudiés ont plutôt tendance à s'accroître au cours du temps,** tel que démontré par la diminution dans le chevauchement des intervalles de confiance (Figs. 3-4). En l'absence d'importants phénomènes d'immigration, la structure et l'abondance du peuplement d'odonates de l'année en cours sont susceptibles d'être affectées par les événements des années antérieures. Un tel effet retard, à 2-3 ans d'intervalle, a également été observé chez d'autres macro-invertébrés non-cibles (Hershey et al, 1998 ; Niemi *et al.* 1999) suite à des épandages de *Bti*.

Les analyses ont pu être réalisées séparément pour les Anisoptères (libellules) et les Zygoptères (demoiselles). Ces analyses ont révélé des **différences significatives, plus marquées chez les Anisoptères en dépit de leur capacité à se déplacer sur de plus grandes distances** (Corbet 1999), suggérant que le périmètre traité englobe la zone de dispersion de ce groupe d'Odonates.

Globalement, on pourrait s'attendre à ce que l'intensité de l'impact du traitement soit inversement proportionnelle à la complexité de l'écosystème où il s'exerce. En effet, si l'écosystème est simplifié et si les moustiques y sont très abondants, celui-ci peut être très affecté dans son fonctionnement par la disparition de ces derniers (Borrvall *et al.* 2001). Les écosystèmes saumâtres de Camargue qui abritent peu d'espèces abondantes sont donc susceptibles d'être particulièrement impactés, suite aux fortes densités d'espèces pionnières ou inféodées aux milieux saumâtres, observées sur ces sites.

Les résultats issus des campagnes 2009 à 2013 ont été valorisés par une présentation au 3e Congrès Européen d'Odonatologie qui s'est tenu à Montpellier en juillet 2014 (Jakob *et al.* 2014). Une publication des résultats couvrant cette période est également en cours de finalisation.

## Perspectives

Il s'avère **pertinent de poursuivre le suivi des adultes par transects d'observation**, notamment avec l'objectif de poursuivre l'analyse des tendances au niveau spécifique grâce à l'intégration des probabilités de détection. Ces modélisations permettraient d'évaluer les effets de la démoustication sur certaines espèces, notamment les plus discrètes ou rares et considérées en danger d'extinction, présentes en Camargue. Une proposition plus détaillée sera faite lors du rapport final en fonction des résultats issus des analyses en cours.

Il serait également intéressant de prospecter plusieurs mares, dont celles à proximité des transects, par un échantillonnage de l'ADN environnemental pour compléter les données d'observations des adultes par des informations sur la présence des larves en divers secteurs. Ces analyses, relativement coûteuses, seront cependant dépendantes des fonds disponibles.

## Références

- Aguesse P. 1955. Note préliminaire sur les Odonates de Camargue. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)* 9: 287-309.
- Borrvall C, Ebenman B & Jonsson T. 2001. Biodiversity lessens the risk of cascading extinction in model food webs. *Ecology Letters* 3:131-136.
- Cheal F, Davis JA, Gowns JE, Bradley JS & Whittles FH. 1993. The influence of sampling method on the classification of wetland macroinvertebrate communities. *Hydrobiologia* 257: 47-56.
- Corbet PS. 1999. *Dragonflies : Behaviour and ecology of Odonata*. Harley Books, Colchester.
- Doucet G. 2010. Clé de détermination des exuvies des *odonates* de France. Société française d'odonatologie, 64 pp.
- Dupont P. 2010. Plan national d'actions en faveur des odonates. Office pour les insectes et leur environnement / Société Française d'Odonatologie – Ministère de Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, 170 pp.
- Gerken B & Sternberg K. 1999. *Die Exuvien europäischer Libellen (The exuviae of European Dragonflies)*. Huxaria Druckerei GmbH: 354 p.
- Jakob, C. 2014. Volet II : Odonates. Pp. 12-21 *in* Poulin B (ed.) Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport présenté au PNRC, 156 pp.
- Jakob C, Lefebvre G & Poulin B. 2014. Indirect effect of *Bti* spraying on the nontarget Odonata fauna in the Camargue, 3<sup>rd</sup> European congress on Odonatology, Montpellier, 7-11 juillet 2014.
- Hershey AE, Lima AR, Niemi GJ & Regal RR. 1998. Effects of *Bacillus thuringiensis israelensis (BTI)* and methoprene on nontarget macroinvertebrates in Minnesota wetlands. *Ecological Applications* 8: 41-60.
- Jean P. 2013. La détection des espèces par l'ADN environnemental : vers un nouvel outil de veille écologique des milieux aquatiques stagnants. Rapport Master sciences des sociétés et leur environnement. Université de Lyon 2. 72p.
- Niemi G, Hershey AE, Shannon L, Hanowski JM, Lima A, Axler RP & Rega RR. 1999. Ecological effects of mosquito control on zooplankton, insects, and birds. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18: 549-559.
- Riservato E, Boudot J-P, Ferreira S, Jović M, Kalkman VJ, Schneider W, Samraoui B & Cuttelod A. 2009. Statut de conservation et répartition géographique des libellules du bassin méditerranéen. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : UICN. viii + 34 pp.
- Turner AM & Trexler JC. 1997. Sampling aquatic invertebrates from marshes: evaluating the options. *Journal of the North American Benthological Society*: 694-709.

## **VOLET III**

# **Disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles**

**Brigitte Poulin, Samuel Hilaire & Gaëtan Lefebvre**  
Tour du Valat



*(c) Marc Thibault*

### 3. Suivi des disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles

#### Etat de l'art

Les **roselières** subissant des variations de niveaux d'eaux sont **l'un des habitats ciblés par la démoustication** au *Bti* en Camargue. Ces milieux abritent **cinq espèces de passereaux paludicoles nicheurs d'intérêt patrimonial**, dont la lusciniole à moustaches (*Acrocephalus melanopogon*), espèce résidente de statut vulnérable en Europe. L'abondance de ces espèces est fortement corrélée à celle des invertébrés-proies échantillonnés au filet fauchoir, dont l'abondance peut être modélisée et prédite en fonction de la durée de l'assec au cours des mois précédents (Poulin *et al.* 2002). La mesure simultanée des arthropodes et de l'hydrologie dans 5 roselières traitées et 10 roselières témoins de 2007 à 2011, a révélé un effet significatif des traitements au *Bti* sur les disponibilités alimentaires de façon générale et sur les araignées, en particulier, qui sont d'importants prédateurs de Nématocères (Foelix 1996). Globalement, cette diminution de ressources se traduirait par une baisse de 37% dans l'abondance des passereaux paludicoles (Poulin *et al.* 2011).

Compte-tenu des fortes variabilités inter-site et interannuelle observées lors de la précédente campagne, le suivi de cinq sites traités et cinq sites témoins fut proposé en 2012 et 2013. L'intérêt de poursuivre ce suivi est principalement lié à l'interruption des traitements sur le secteur de Brasinvert qui permet de vérifier si l'arrêt des traitements au *Bti* se traduit par une récupération des communautés d'invertébrés.

#### Sites d'étude

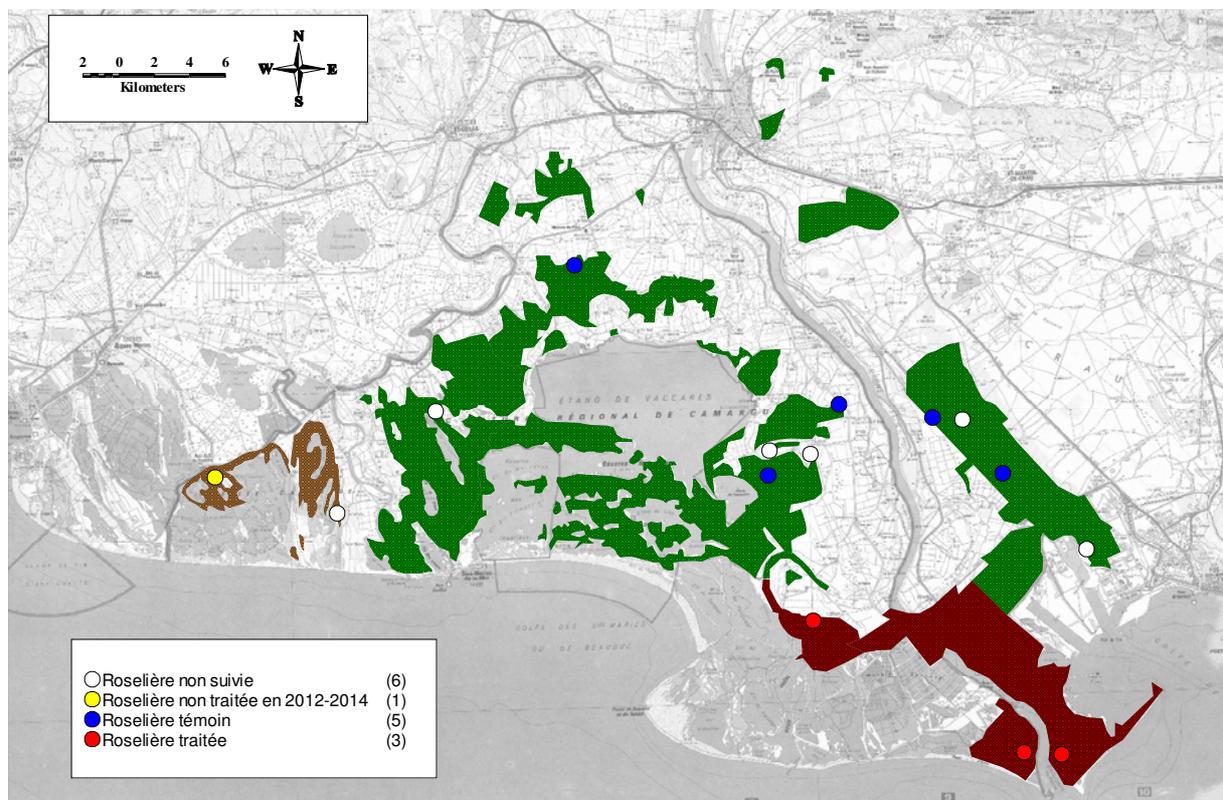


Fig. 6. Localisation des sites d'échantillonnage pour les invertébrés paludicoles en 2014.

Neuf roselières ont été échantillonnées le 4 ou le 10 juin 2014, incluant **3 sites traités** (Bélugue, Palissade, They Roustan), **un site précédemment démoustiqué mais non traité en 2012-2014** (Mourgues) et **5 des 10 sites témoins suivis jusqu'en 2011** (Fig. 6). Ainsi, le site de Pin de Fourcat, n'a pu faire l'objet de suivi suite au refus d'accès par le propriétaire à nouveau en 2014.

## Méthodologie

Les **invertébrés ont été capturés à chaque site en balayant la végétation de 500 coups au filet fauchoir** en bordure de la roselière une fois pendant la période de reproduction des passereaux lorsque la végétation était sèche et le vent faible ou absent. Les **niveaux d'eau et la salinité ont également été mesurés une fois par mois** afin de prédire l'abondance des invertébrés-proies en fonction du régime hydrologique.



Les **invertébrés** capturés ont été **identifiés à l'ordre, mesurés et comptés**. L'indice de disponibilités alimentaires fut calculé **en pondérant les taxons et les tailles en fonction de leur représentation dans le régime alimentaire des passereaux adultes** (Poulin et Lefebvre 1997, Poulin *et al.* 2002) selon l'équation:

$$\sum_{i=1}^n P_i \frac{x_{ij}}{y_i}$$

où  $P$  = proportion d'items appartenant à la proie du taxon $_i$  dans le régime alimentaire des passereaux paludicoles (régurgitats),  $x$  = nombre de captures appartenant au taxon $_i$  dans le filet fauchoir au site $_j$  et  $y$  = nombre de captures du taxon $_i$  sur l'ensemble des sites.

Un indice théorique de disponibilités alimentaires sur la base de l'hydrologie du site a été déterminé selon l'équation :  $611 - 65n$ , où  $n$  = nombre de mois d'assec entre juin et décembre de l'année précédente.

La relation entre l'abondance des passereaux et l'indice de disponibilité alimentaire (IDA) correspond à l'équation:  $16.4 + 0.063 * IDA$ . Ces modèles ont été développés à partir d'un échantillon de 24 roselières étudiées en 1998-1999 (Poulin *et al.* 2002).

## Résultats

Les caractéristiques des neuf échantillons récoltés en juin 2014 sont détaillées au tableau 1. Bien qu'il n'y ait **pas de relations entre la salinité et les disponibilités alimentaires** ( $r = 0.003$ ,  $n = 60$ ,  $P = 0.98$ ), ni entre l'abondance des diptères (groupe le plus abondant) et la salinité ( $r = -0.04$ ,  $n = 60$ ,  $P = 0.78$ ), la salinité de l'eau de surface a été ajoutée comme variable au tableau 1 pour démontrer que **les sites traités ne sont pas systématiquement plus salés que les sites témoins** en dépit de leur position géographique plus littorale. Pour la première fois, **une remontée des communautés d'invertébrés est observée sur le site de Mourgues où la démoustication a été interrompue depuis 2012.**

Tableau 1. Date d'échantillonnage, nombre de captures, richesse en invertébrés, indices de disponibilités alimentaires observé et théorique avec la durée de l'assèchement entre juin et décembre 2013 et la salinité moyenne lors de la période d'échantillonnage pour les roselières témoins (vert), non traitées (bleu) et traitées (rouge) en 2014.

Sites	Date échantillonnage	Nombre d'invertébrés capturés	Nombre catégories proies	Indice disponibilités alimentaires	Mois d' assec juin à déc 2011	Salinité eau de surface	Disponibilités alimentaires théorique	Écart indices observé et théorique
Verdier (TdV)	04/06/2014	245	25	253	5	1.18	287	-34
Baisse salée (TdV)	04/06/2014	107	23	160	5	5.32	287	-127
Rousty (PNRC)	04/06/2014	323	29	423	4	3.41	352	71
Pisci Sud (MdV)	10/06/2014	339	27	370	5	0.76	287	83
Canisson (MdV)	10/06/2014	161	15	153	4	2.00	352	-198
Mourgues	04/06/2014	903	23	870	0	1.97	611	259
Bélugue	04/06/2014	91	11	36	4	1.20	352	-316
Palissade	10/06/2014	108	20	93	0	1.86	611	-518
They Roustan	10/06/2014	184	22	156	3	6.90	417	-261

La figure 7 illustre les différentes valeurs de disponibilités alimentaires corrigées en fonction de la durée d'inondation au cours de l'année précédant l'échantillonnage. Une remontée de l'indice est observée en 2014 par rapport à l'année 2013 qui avait été caractérisé par des températures basses au printemps et un retard généralisé de la croissance de la végétation avec des répercussions sur l'entomofaune des roselières. L'écart entre les sites traités et témoins est plus marqué en 2014 que lors des dernières années. Globalement, les indices obtenus sur les sites témoins ne diffèrent pas de la valeur 0 attribuée à l'indice de référence, contrairement aux **sites traités qui montrent des valeurs significativement inférieures** à 0 pour chacune des années d'échantillonnage. La valeur moyenne de l'indice obtenue pour le site de Mourgues en 2012-2013 alors qu'il n'était plus traité était significativement inférieure à celles des sites témoins (test Post-Hoc de Scheffé  $P = 0.004$ ), ne différant pas des sites traités (test Post-Hoc de Scheffé  $P = 0.73$ ). En 2014, l'indice pour le site de Mourgues est significativement différent des sites traités (test Post-Hoc de Scheffé  $P = 0.004$ ), mais non des sites témoins (test Post-Hoc de Scheffé  $P = 0.27$ ).

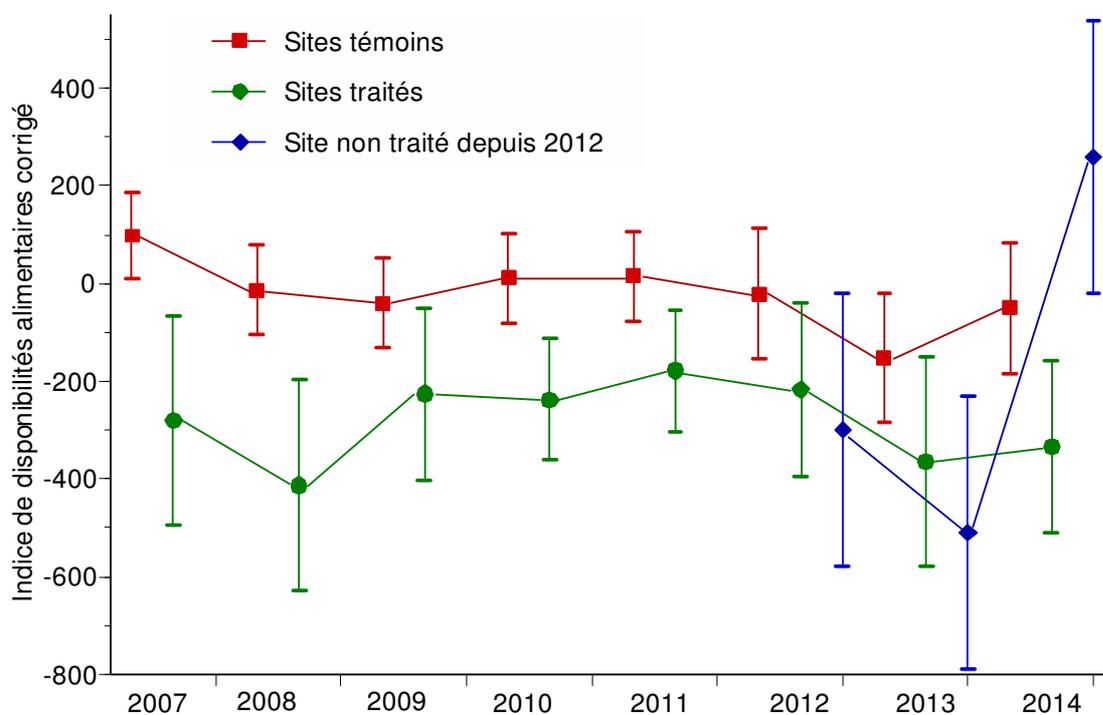


Fig.7. Ecart entre l'indice moyen ( $\pm$ IC95%) de disponibilités alimentaires observé et prédit selon l'hydrologie pour les sites témoins, les sites traités au Bti et non traité de 2012 à 2014 lorsque l'indice moyen des sites de référence (1998-1999) est étalonné à 0.

Les données issues des sites traités et témoins suivis entre 2007 et 2014 ont été analysées afin d'identifier quelle est la part de variation de l'indice des disponibilités alimentaires imputable aux facteurs sites, années et traitement (démoustication ou non). Il en ressort un **impact significatif de la démoustication** ( $F_{(3, 60)} = 16.2$ ,  $P < 0.000001$ ) qui contribue à 80% de la variance expliquée par le design expérimental, par rapport à 6% pour les années et 14% pour les sites (Fig. 8).

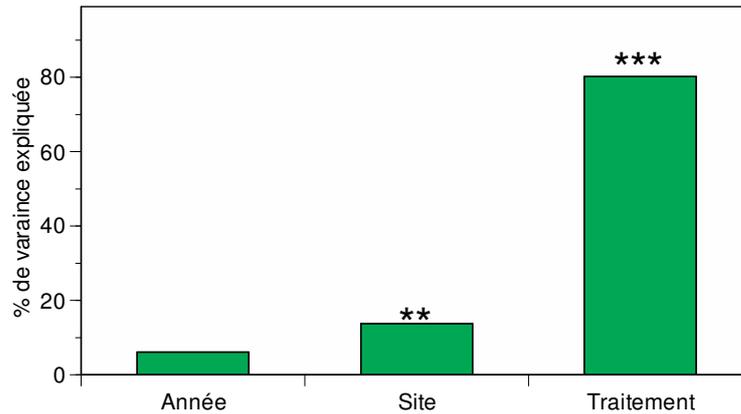


Fig.8. Effet des variables année, site et traitement au Bti sur les disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles estimées de 2007 à 2014 selon une ANOVA à facteurs imbriqués.

Globalement, depuis le début des opérations de démoustication, les sites témoins affichent un indice de disponibilités alimentaires moyen de -19 par rapport à la valeur prédite selon l'hydrologie contre -281 pour les sites traités (Fig. 9). Cet écart correspondrait à une **baisse de 33% dans l'abondance des passereaux paludicoles sur les sites traités** par rapport aux sites témoins.

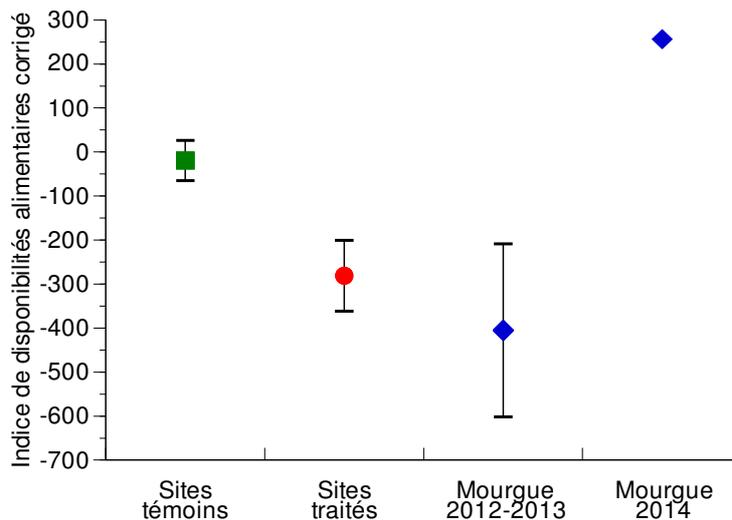


Fig. 9. Ecart entre l'indice moyen ( $\pm$ IC95%) de disponibilités alimentaires observé et théorique pour les sites traités, témoins et non traité depuis 2012 pour la période 2007-2014.

Les échantillons récoltés au filet fauchoir ont également été analysés pour chacun des ordres taxinomiques capturés (Tableau 2). L'abondance des taxons a été corrigée en fonction de l'hydrologie selon la même approche que celle utilisée précédemment. **Tous les taxons ont une abondance relative plus faible dans les sites traités** par rapport aux sites témoins, ce qui est bien en accord avec un indice de disponibilités alimentaires inférieur pour les passereaux. Même si les écarts observés représentent souvent une diminution de l'ordre de 50%, peu de différences sont significatives du fait de la forte variabilité dans le nombre de captures de ces taxons d'un site à l'autre (valeur élevée des intervalles de confiance à 95%). Deux taxons, les araignées et les coléoptères montrent **une abondance moyenne significativement inférieure sur les sites traités** lorsque les valeurs de probabilités sont corrigées pour tenir compte de la multitude des tests (Tableau 2).

Tableau 2. Nombre moyen ( $\pm$  Intervalle de Confiance à 95%) d'individus capturés pour chaque taxon échantillonné au filet fauchoir sur l'ensemble des sites traités et témoins depuis 2007 avec les résultats de l'analyse de variance et leur taux d'occurrence dans les échantillons. Les valeurs de probabilités corrigées selon la méthode Bonferroni correspondent à \* =  $P < 0.05$ .

<i>Taxons</i>	Sites témoins Moyenne $\pm$ IC95%	Sites traités Moyenne $\pm$ IC95%	$F_{(1,89)}$	$P$	$P$ corrigé	% Présence
Diptères	208.9 $\pm$ 49.1	87.9 $\pm$ 78	6.82	0.011		99
Homoptères	67.4 $\pm$ 25.7	41.5 $\pm$ 40.8	1.14	0.288		96
Hyménoptères (guêpes)	63.2 $\pm$ 13.5	33.6 $\pm$ 21.4	5.43	0.022		97
<b>Coléoptères</b>	<b>39.7 <math>\pm</math> 8.3</b>	<b>14.4 <math>\pm</math> 13.2</b>	<b>10.35</b>	<b>0.002</b>	*	<b>96</b>
<b>Araignées</b>	<b>27.7 <math>\pm</math> 5.3</b>	<b>11.7 <math>\pm</math> 8.4</b>	<b>10.17</b>	<b>0.002</b>	*	<b>96</b>
Hétéroptères	6.2 $\pm$ 2.3	5.1 $\pm$ 3.7	0.25	0.618		63
Hyménoptères (fourmis)	4.3 $\pm$ 2	0.5 $\pm$ 3.2	3.95	0.050		45
Acariens	3.4 $\pm$ 2.7	2.3 $\pm$ 4.3	0.17	0.685		31
Larves de lépidoptères	3.2 $\pm$ 1.6	0.9 $\pm$ 2.6	2.21	0.140		50
Pseudoscorpions	3.2 $\pm$ 1.6	0.8 $\pm$ 2.6	2.46	0.120		26
Gastéropodes	2.9 $\pm$ 1.7	0.5 $\pm$ 2.7	2.25	0.137		34
Larves d'insectes	2.5 $\pm$ 1.5	1.3 $\pm$ 2.3	0.73	0.395		46
Odonates	1 $\pm$ 0.6	0.6 $\pm$ 1	0.52	0.474		33
Lépidoptères	0.4 $\pm$ 0.6	0.1 $\pm$ 0.9	0.42	0.519		12
Pupes d'insectes	0.2 $\pm$ 0.1	0.1 $\pm$ 0.2	0.56	0.458		9
Œufs d'insectes	0.2 $\pm$ 0.2	0.1 $\pm$ 0.3	0.10	0.747		14

## Discussion

Les résultats de ce suivi allégé par rapport à la période 2007-2011, confirment les tendances déjà observées, à savoir **un indice de disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles significativement inférieur sur les sites traités et une réduction de l'abondance de la majorité des taxons qui s'avère significative chez les araignées et les coléoptères**. Leur abondance moindre sur les sites traités suggère un effet indirect du *Bti* au travers du réseau trophique. Il est, par ailleurs, intéressant de noter que le suivi sur les chironomes dans les roselières en 2013 avait également révélé un impact du *Bti* sur ces deux taxons (Poulin 2014).

Les études portant sur la toxicité de *Bacillus thuringiensis israelensis* envers les invertébrés non-cibles sont relativement nombreuses (voir synthèses de Boisvert & Boisvert en 2000 et de Lacey & Merritt en 2004), mais les effets indirects du *Bti* au travers du réseau trophique ont reçu beaucoup moins d'attention (Mulligan & Schaefer 1982; Charbonneau *et al.* 1994; Wipfli & Merritt 1994; Hershey *et al.* 1998; Balcer *et al.* 1999; Russell *et al.* 2009; Vinnersten *et al.* 2009). Ces études, basées sur la comparaison de sites traités et témoins ou sur le suivi de quelques sites avant et après traitement, n'ont pas réussi à démontrer une baisse significative dans l'abondance des invertébrés non-cibles qui puisse être imputable aux traitements, à l'exception des chironomes. Outre cet effet direct du *Bti*, seuls Wipfli & Merritt (1994) ont pu démontrer que la suppression des mouches noires affectait le régime alimentaire de plécoptères et Hershey *et al.* (1998) que les sites traités avaient une richesse générique moindre sans que des variations significatives d'abondance puissent être mesurées ou confirmées.

Dans cette étude, les sites traités montrent un **appauvrissement généralisé de la faune invertébrée, qui se traduit par une diminution importante des ressources disponibles pour les passereaux, sans qu'il n'y ait cependant d'effets cumulatifs interannuels**. Si cette huitième année d'échantillonnage confirme les tendances précédemment observées sur les sites traités et témoins, l'intérêt de reconduire cette étude résidait principalement dans l'évaluation des capacités de récupération des communautés d'invertébrés en intégrant au design expérimental les deux sites où les traitements ont été interrompus depuis l'automne 2011. Les résultats obtenus sur le site de Mourgues (le site de Pin de Fourcat n'ayant pu être échantillonné faute d'accès) montre une **remontée de l'indice en 2014, plus de deux ans après l'arrêt des traitements**. Ces résultats sont **en adéquation avec la forte diminution de la densité de spores de Bti** observées à ce site selon les échantillons prélevés en 2013 et ayant fait l'objet d'analyses microbiologiques en 2014 (cf volet 6 de ce rapport).

## Perspectives

En cas de maintien de la démoustication et des suivis scientifiques menés en parallèle à celle-ci, il est proposé de poursuivre ce suivi allégé sur 9 sites.

## Références

- Balcer, M.D., Schmude, K.L., & Snitgen, J. (1999). Long-term effects of the mosquito control agents *Bti* (*Bacillus thuringiensis israelensis*) and methoprene on non-target macroinvertebrates in wetlands in Wright County, Minnesota (1997-1998).
- Boisvert, M., & Boisvert, J. (2000) Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on target and nontarget organisms: a review of laboratory and field experiments. *Biocontrol Science and Technology*, 10, 517-561.
- Poulin B & Lefebvre G. 1997. Estimation of arthropods available to birds: effect of trapping technique, prey distribution, and bird diet. *Journal of Field Ornithology* 68: 426-442.

- Charbonneau, C.S., Dorbney, R.D., & Rabeni, C.F. (1994) Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on nontarget benthic organisms in a lentic habitat and factors affecting the efficacy of the larvicide. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 13, 267-279.
- Foelix, R.F. (1996) *Biology of Spiders*, 2nd edn. Oxford University Press, Oxford.
- Poulin, B., Lefebvre, G. & Mauchamp, A. 2002. Habitat requirements of passerines and reedbed management in southern France. *Biological Conservation* 107: 315-325.
- Lacey, L.A., & Merritt, D.L. (2004) The safety of bacterial microbial agents used for black fly and mosquito control in aquatic environments. In: *Environmental Impacts of Microbial Insecticides: Need and Methods for Risk Assessment* (eds. H.M.T Hokkanen & A.E. Hajek, ), pp. 151-168. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Hershey, A.E., Lima, A.R., Niemi, G.J., & Regal, R.R. (1998) Effects of *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti*) and methoprene on nontarget macroinvertebrates in Minnesota wetlands. *Ecological Applications*, 8, 41-60.
- Mulligan, F.S., III & Schaefer, C.H. (1982). Integration of a selective mosquito control agent *Bacillus thuringiensis* Serotype H.14, with natural predator population in pesticide-sensitive habitats. University of California, Mosquito Control Research Laboratory.
- Poulin B. 2014. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue, 156 pp.
- Poulin B, Lefebvre G, Duborper E & Chabot M-H. 2011. Effets des traitements au *Bti* sur les invertébrés paludicoles et les hirondelles des fenêtres pour les cinq années de démoustication expérimentale en Camargue (2006-2011). Rapport Tour du Valat, Arles, 24 pp.
- Russell, T., Kay, B., & Skilleter, G. (2009) Environmental effects of mosquito insecticides on saltmarsh invertebrate fauna. *Aquatic Biology*, 6, 77-90.
- Vinnersten, T.Z.P., Lundström, J.O., Petersson, E., & Landin, J. (2009) Diving beetles assemblages of flooded wetlands in relation to time, wetland type and *Bti*-based mosquito control. *Hydrobiologia*, 635, 189-203.
- Wipfli, M. S. & Merritt, R. W. 1994. Disturbance to a stream food web by a bacterial larvicide specific to black flies: feeding responses of predatory macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 32, 91-103.

## VOLET IV

### Hirondelles des fenêtres

**Brigitte Poulin, Gaëtan Lefebvre & Samuel Hilaire**  
Tour du Valat



*(c) Emilien Duborper*

## 4. Suivi des colonies d'hirondelles

### Etat de l'art

L'**hirondelle des fenêtres** (*Delichon urbicum*) a été retenue comme modèle biologique pour estimer les effets des traitements au *Bti* car le **régime alimentaire des poussins** est **constitué à 35% de Nématocères** (Poulin *et al.* 2011). De plus, des colonies sont présentes dans plusieurs sites 'urbains' et ruraux en Camargue, permettant des comparaisons entre zones traitées et témoins. Les paramètres **suivis en 2006-2011** furent la **taille des colonies**, le **taux d'alimentation** (jusqu'en 2010) et le régime alimentaire des poussins, auxquels ont été ajoutés le **succès reproducteur** en 2009 et les **disponibilités alimentaires** en 2010 (Poulin *et al.* 2010, Poulin *et al.* 2011). Ces suivis ont mis en évidence des modifications importantes et significatives du régime alimentaire des poussins suite à l'initiation des traitements au *Bti* sur les sites traités et ce, de façon systématique pour les 5 années de suivi. Ces résultats ont révélé **une consommation moindre de nématocères, d'odonates, de neuroptères et d'araignées, parallèlement à une consommation supérieure de fourmis volantes sur les sites traités, se traduisant par une baisse du succès reproducteur** de -28% (2009), -36% (2010) et -35% (2011). Le suivi des taux d'alimentation des poussins, utilisé comme indicateur des disponibilités alimentaires, fut interrompu en 2010 suite au constat qu'il était également influencé par les besoins énergétiques (âge) des poussins (Poulin *et al.* 2011). Ce suivi fut donc remplacé par l'estimation directe des disponibilités alimentaires en 2010 et 2011 qui a révélé une abondance moyenne sur sites traités et témoins de 36 vs 171 pour les **chironomes** et de 80 vs 320 pour les autres **nématocères**, soit une **diminution de l'ordre de 78% chez ces deux groupes sur les sites traités** par rapport aux sites témoins, corroborant les modifications observées dans le régime alimentaire des poussins. S'il n'apparaît pas utile de poursuivre ces suivis relativement lourds et montrant peu de variations annuelles, il s'avère pertinent de documenter sur le long terme l'évolution du nombre de couples nicheurs qui nécessite un faible investissement et montre d'importantes fluctuations selon les années. Malgré ces variations, une diminution de 33% de la taille des colonies a été observée entre 2007 et 2013 sur les sites traités par rapport aux sites témoins.

Il ne fut malheureusement pas possible de relancer le suivi de la colonie d'hirondelles du Mas de Pin Fourcat pour évaluer l'impact de l'arrêt des traitements sur le régime alimentaire des poussins, le propriétaire nous ayant, à nouveau, refusé l'accès au site en l'absence de démoustication.

### Sites d'étude (Fig. 10)

- Sites traités : Salin-de-Giraud, Port Saint-Louis.
- Sites témoins : Sambuc, Armellière, Nord Vaccarès (Mas Saint-Andiol et Albaron)

### Méthodologie

**Comptage des nids actifs** (occupés) de chacune des cinq colonies pendant la période d'alimentation des jeunes (début juin), par repérage à pied selon un parcours identique à tous les ans.

### Résultats

Un total cumulé de **2838 nids a été dénombré sur les sites indiqués à la figure 10 depuis juin 2006, dont 311 en 2013.**

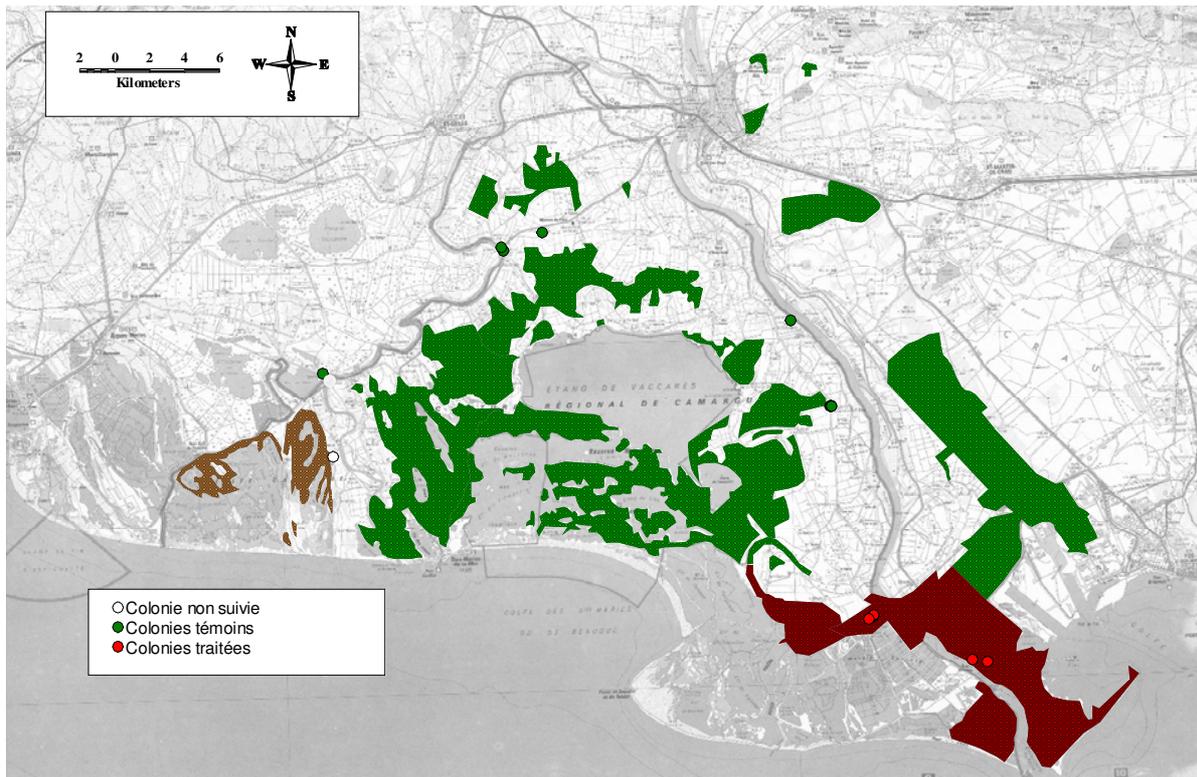


Fig. 10. Localisation des colonies d'hirondelles suivies par rapport aux biotopes larvaires potentiels jamais traités (vert), non traités en 2012-2014 (orange) et traités au Bti (rouge).

Les premières années du suivi montrent de fortes fluctuations dans les effectifs des colonies sur l'ensemble des sites, ces dernières étant principalement attribuées à la survie des oiseaux pendant les périodes de migration et d'hivernage (Fig. 11). Après une baisse marquée sur la plupart des sites traités entre 2009 et 2011, la taille des colonies est relativement stable sur l'ensemble des sites depuis 2012. Néanmoins, les colonies entourées de zones traitées affichent une **baisse moyenne de 26% par rapport aux colonies témoins depuis le début de la démoustication.**

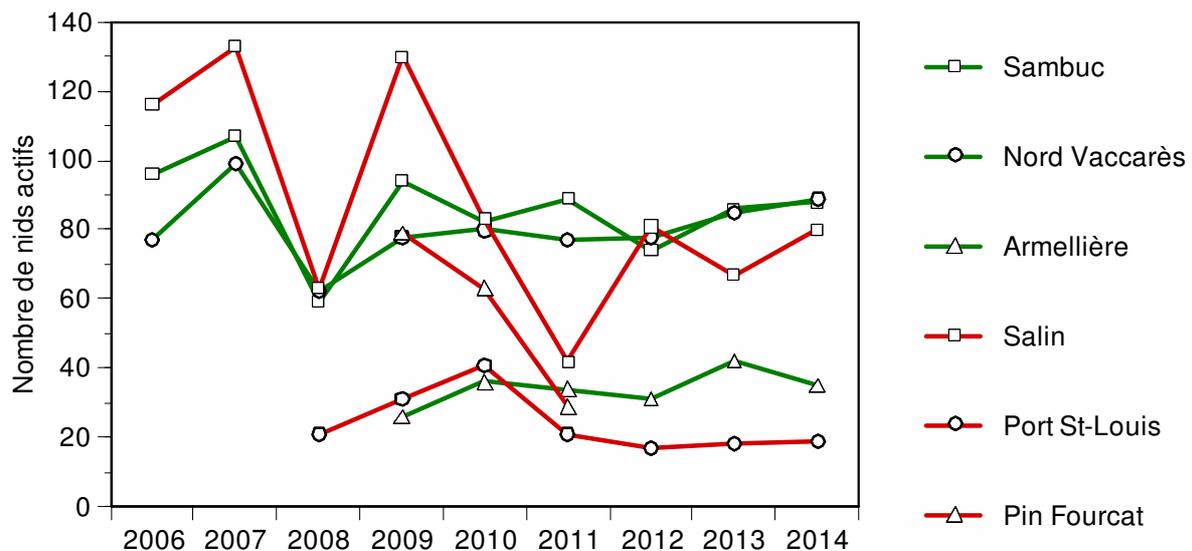


Fig. 11. Evolution des effectifs nicheurs de l'hirondelle des fenêtres sur les sites témoins (verts) et traités (rouges) pour la période 2006-2014.

Une analyse de variance à facteurs imbriqués montre un **impact significatif des traitements au Bti sur la taille des colonies pour la période 2006-2014** ( $F_{(1,23)} = 19.0, P = 0.0002$ ) **contribuant à 31,7 % de la variance expliquée**. Une forte variance au sein de l'échantillon est également expliquée par l'effet site, puisque ces derniers accueillent des colonies de taille variable depuis le début des suivis, initiés avant la mise en œuvre de la démoustication (Fig. 12).

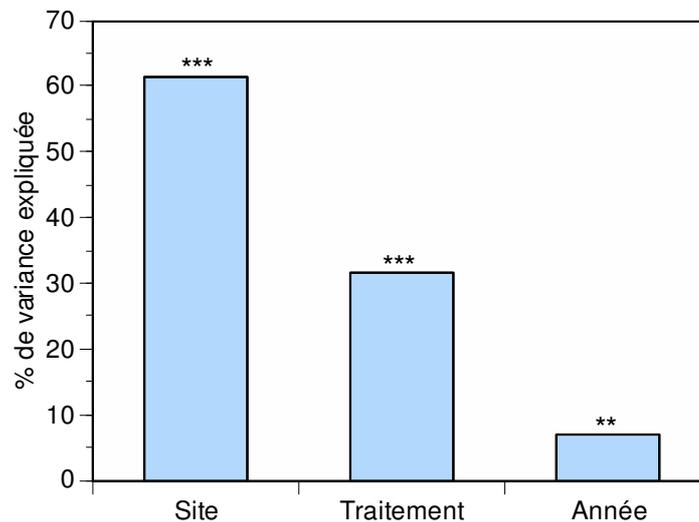


Fig. 12. Effet des variables site, année et traitement sur la taille des colonies de 2006 à 2014 selon une analyse de variance à facteurs imbriqués où \*\* =  $P < 0.01$  et \*\*\* =  $P < 0.001$ .

## Discussion

Les **effectifs de colonie** montrent peu de différences par rapport à 2013, avec une légère **hausse sur les sites traités en 2014 alors que les colonies témoins étaient stables**. L'effet traitement (la démoustication) demeure significatif, contribuant à expliquer 26% de la variance observée dans la taille des colonies depuis le début des opérations de démoustication.

L'hirondelle des fenêtres est une espèce à surveiller en région PACA, où elle a subi un déclin de l'ordre de 42% entre 2001 et 2010 selon les données sur le suivi temporel des oiseaux communs par point d'écoute (Vincent-Martin 2011). Les effectifs relativement stables sur les sites traités ces dernières années, couplés à la réduction moyenne de 33% du nombre de poussins produits observés sur les sites traités, suggère que ces colonies sont des trappes écologiques accueillant une population puits, c'est-à-dire une population dont le faible taux de natalité est constamment compensé par des individus immigrant d'autres populations qui, à leur tour, souffrent d'un faible succès reproducteur.

## Perspectives

Il est proposé pour 2015 de poursuivre le suivi de la taille des colonies et d'estimer la quantité de moustiques consommés en moyenne par une nichée en zone non traitée afin de quantifier le 'service écologique' de démoustication que peut procurer une colonie d'hirondelles.

## Références

- Poulin B, Lefebvre G, Duborper E & Chabot M-H. 2011. Effets des traitements au *Bti* sur les invertébrés paludicoles et les hirondelles des fenêtres pour les cinq années de démoustication expérimentale en Camargue (2006-2011). Rapport Tour du Valat, Arles, 24 pp.
- Poulin B, Lefebvre G & Paz L. 2010. Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology* 47: 884-889.
- Vincent-Martin, N. 2011. Bilan du programme STOC-EPS en région PACA :tendances, statuts des espèces et les indicateurs de biodiversité pour la période 2001 – 2010. CEEP, Saint-Martin de Crau, 14 pp.

## **VOLET V**

# **Chiroptères**

**Fanny Albalat**

Groupe Chiroptères de Provence



*(c) Tanguy Stoecklé*

## 5. Suivi des populations de chiroptères

### Etat de l'art

**La Camargue abrite 18 espèces de chauves-souris** (10 s'y rencontrent régulièrement) et concentre ainsi **plus de la moitié des 35 espèces présentes en France**. La Camargue a aussi la particularité d'héberger des **colonies très importantes de pipistrelles**, atteignant parfois jusqu'à 1000 individus localisés dans des toitures ou d'anciennes caves. Ces pipistrelles insectivores sont notamment **connues pour leur propension à consommer des Diptères Nématocères**.

L'utilisation de *Bti* peut réduire de manière importante (>50%) les émergences d'insectes aquatiques et notamment celles des Nématocères (Poulin *et al.* 2014). Dans l'état de nos connaissances, cette diminution de proies potentielles pourrait avoir un impact négatif sur les chiroptères de Camargue en réduisant les effectifs des populations locales par l'émigration des individus qui ne trouvent plus à se nourrir suffisamment, la baisse de la natalité et une mortalité juvénile accrue.

Une première étude sur le régime alimentaire de la Pipistrelle pygmée en Camargue a montré un régime constitué à 100% de Nématocères, essentiellement de chironomes (Lugon 2007). Les études réalisées par le GCP de 2009 à 2011 ont démontré un impact sur les zones de chasse des pipistrelles en zones démoustiquées par comparaison avec les zones non démoustiquées (Kapfer & Cosson 2009, 2010; Planckaert & Kapfer 2011). Ce résultat est mis en évidence au moment des traitements au *Bti*. En dehors de ces périodes, qui sont fonction de la pluviométrie locale, aucune différence statistique ne peut être déterminée bien qu'une tendance soit détectée. Il existe cependant un biais lié aux conditions météorologiques locales en Camargue. La pluviométrie qui déclenche un traitement au *Bti* peut affecter une partie restreinte de la Camargue et biaiser les comparaisons de répliques. Malgré ces difficultés, **un effet du traitement au *Bti* a été démontré sur les zones de chasse**. Il semble ainsi impacter **l'activité de chasse et le taux de capture de proies par les pipistrelles**.

Pour ces raisons, il apparaît dorénavant nécessaire de prendre en compte dans le suivi de l'effet de la démoustication les **paramètres de reproduction** des colonies de pipistrelles en zone démoustiquée et en zone non démoustiquée. Les travaux des années précédentes ayant permis de démontrer l'effet de la démoustication sur les zones de chasse en période de démoustication, ce volet s'est arrêté en 2011.

Une première expérience de pose de 8 nichoirs sur des bâtiments de Camargue pour évaluer la reproduction et suivre les populations de pipistrelles a été engagée en 2011 (nichoirs spéciaux avec plexiglas et récupérateur de cadavres). Nous nous sommes ensuite inspirés des méthodes mises en œuvre par Flaquer *et al.* (2006, 2009) dans le delta de l'Ebre. Cette étude a donné de très bons résultats et démontré le rôle des chauves-souris dans la lutte contre les ravageurs du riz (chironomes) en permettant l'arrêt complet des traitements chimiques. Le nouveau protocole instauré en 2012 consistait à mettre en place 40 nichoirs sur des poteaux isolés des colonies déjà existantes et de comparer la colonisation par les pipistrelles en zone démoustiquée et en zone non démoustiquée lors des années subséquentes. Pour les nichoirs mis en place en 2011, des biais importants de colonisation ont été mis en évidence et la demande d'un des propriétaires de retirer les nichoirs nous a contraint à les soustraire de l'étude.

**Les suivis 2013 et 2014 sont centrés sur le suivi des nichoirs artificiels mis en place en 2012 dans deux sites démoustiqués et deux sites témoins afin de comparer ultérieurement le taux de colonisation et le succès reproducteur des Pipistrelles entre les sites. Des recherches de colonies présentes dans les bâtiments dans un rayon de 2 km autour des nichoirs ont également été réalisées afin d'identifier les colonies de Pipistrelles existantes à proximité.**

## Sites d'étude (Fig. 13)

- Sites traités : Palissade, They de Roustan
- Sites témoins : Tour du Valat, Marais du Vigueirat

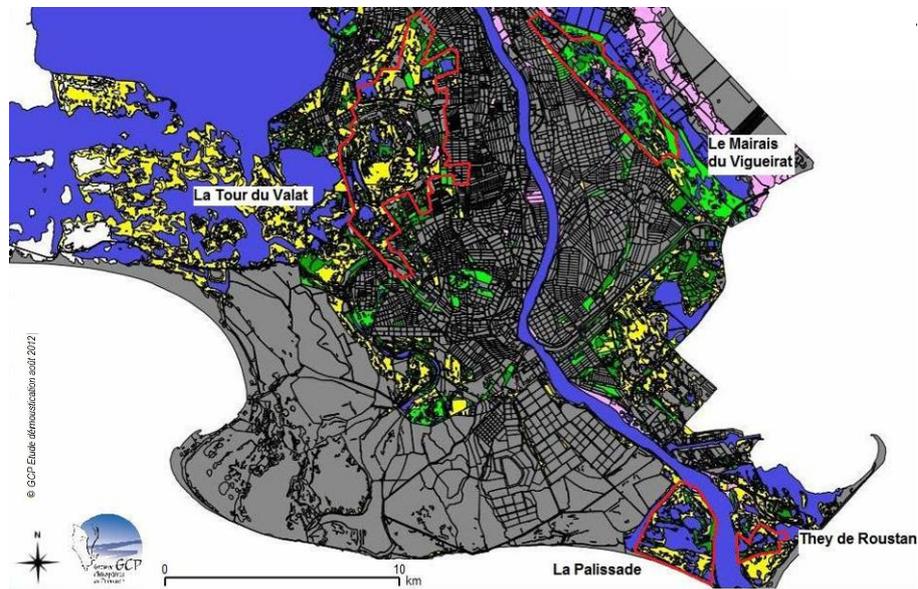


Fig. 13. Localisation des quatre sites d'étude en Camargue.

## Méthodologie

L'emplacement des nichoirs, tout en respectant les contraintes imposées par les gestionnaires de chaque site, respecte un certain nombre de contraintes: les **nichoirs** sont **espacés d'au moins 200 m**, distants d'au moins 200 m d'une habitation et situés dans des milieux les plus homogènes possibles représentatifs des principaux habitats de Camargue.

Le suivi des nichoirs a été réalisé toutes les 2 semaines de mi-mai à mi septembre 2014 par une stagiaire accompagnée d'un bénévole munis d'une échelle. Lors de chaque visite, les paramètres suivants ont été renseignés : date de colonisation, taille de la population (adultes et jeunes), nombre de naissances, mortalité de jeunes et adultes, temps de résidence.

Les paramètres de sexe-ratio, masse corporelle et mensuration n'ont pas été relevés afin de réduire les dérangements et les risques de désertion de gîte.

Des prospections complémentaires à proximité des nichoirs ont été entreprises pour identifier les colonies existantes dans les zones témoins et traitées.

La présence de nids de guêpes dans le nichoir a été notée et ces derniers immédiatement détruits. La prospection des nichoirs sur un site nécessite environ 2h. Le suivi de ces nichoirs doit être poursuivi sur plusieurs années.

## Résultats

### Colonisation des nichoirs installés en 2012

**Durant l'été 2012, seul le nichoir ND-TDV08 avait été occupé par une Pipistrelle durant 5 semaines.** Ce nichoir, exposé à l'est, est situé dans une tamarigaie aux Marais du Verdier (Tour du Valat).

**Durant l'été 2013, 16 des 40 nichoirs (40%) avaient été colonisés** (Fig. 15), 4 en zones non-démoustiquées (20%) et 12 en zones démoustiquées (60%). La **colonisation** était donc **plus importante en zones démoustiquées** et majoritairement au They de Roustan (70%), alors qu'aucun des nichoirs n'avait été colonisé sur le site témoin des Marais du Vigueirat. Un maximum de 5 Pipistrelles dans un même nichoir avait été observé début septembre dans le nichoir ND-TDV08, premier gîte colonisé en 2012.

**Durant l'été 2014, 24 des 40 nichoirs (60%) ont été colonisés** (Fig. 15), 11 en zones non-démoustiquées (55%) et 13 en zones démoustiquées (65%). La **colonisation** est donc légèrement **plus importante en zones démoustiquées** et majoritairement au They de Roustan (90%). La colonisation de 5 nichoirs a débuté au Marais du Vigueirat. Le taux de colonisation des nichoirs a augmenté sur tous les sites en 2014, sauf au domaine de la Palissade. Au total, 81% des nichoirs colonisés en 2013 ont été occupés en 2014. Un seul nichoir (ND-TDV 09) a cependant été occupé par des chauves-souris durant tout l'été sans interruption. Au total, la présence de chauves-souris s'est avérée positive pour 89 observations sur 360, soit dans 25% de cas, dont 18 observations avec plusieurs individus dans le nichoir. Un maximum de 6 Pipistrelles a été observé mi-août dans le nichoir ND-TDV10 et mi-septembre dans le nichoir D-TDR02. Ce dernier, n'avait pas encore été occupé en 2014.

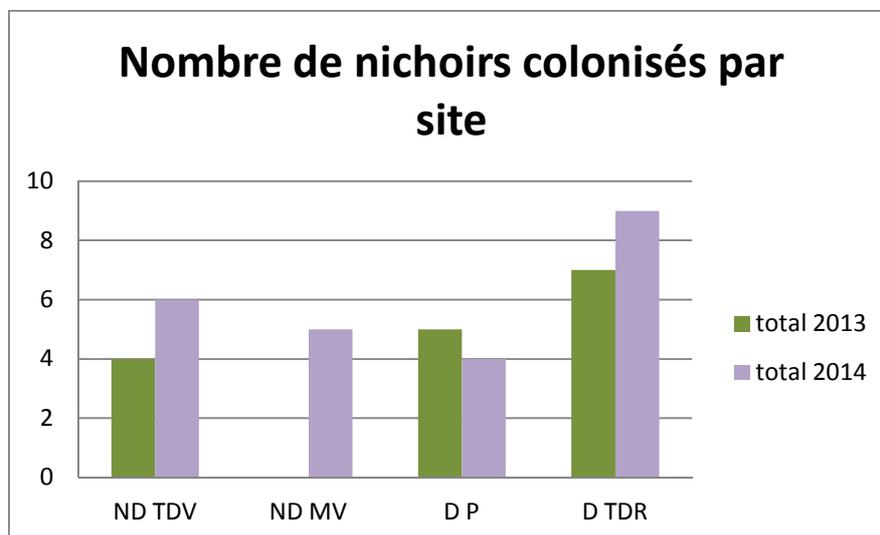


Fig. 15. Nombre de nichoirs occupés par site en 2013 et 2014, non-démoustiqués (ND) : Tour du Valat (TDV) et Marais du Vigueirat (MV) et démoustiqués (D) : Palissade (P) et They de Roustan (TDR).

La colonisation des nichoirs au cours du temps, en termes de nombre de nichoirs occupés et de chauves-souris présentes est illustrée aux figures 16 et 17.

## Nombre de nichoirs occupés par des chauves-souris en zones démoustiquées et non-démoustiquées Comparaison 2013 - 2014

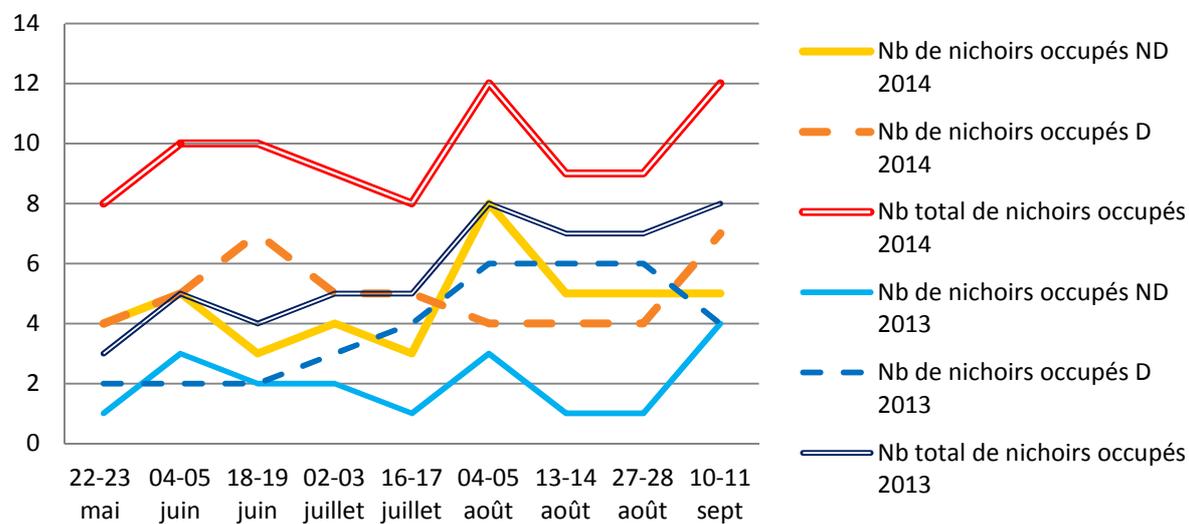


Fig.16. Evolution du nombre de nichoirs occupés par des chauves-souris par secteur non-démoustiqués (ND) et démoustiqués (D) sur la période de suivi 2013 et 2014.

## Nombre de chauves-souris présentes dans les nichoirs Comparaison 2013 - 2014

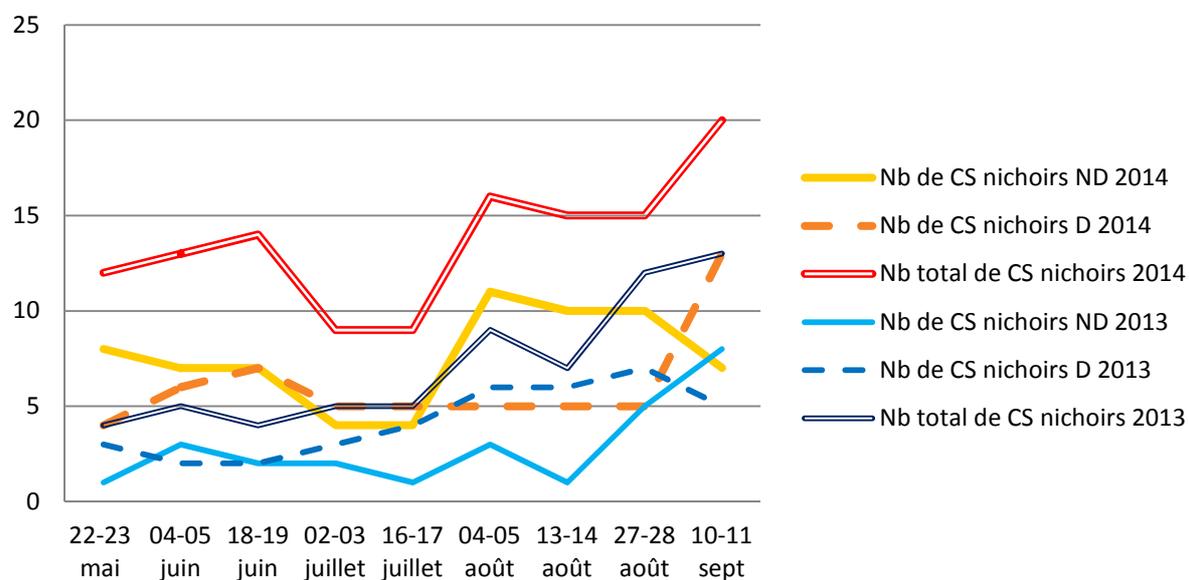


Fig. 17. Evolution du nombre de chauves-souris présentes dans les nichoirs par secteur non-démoustiqués (ND) et démoustiqués (D) sur la période de suivi 2013 et 2014.

Le nombre de chauves-souris présentes dans les nichoirs a augmenté entre 2013 et 2014, mais également tout au long de l'année alors que les effectifs ont presque doublé entre le début et la fin de la saison 2014 (Fig. 17).

### Contrôle de la présence de guêpes et fourmis

Sur l'ensemble des nichoirs, **seul un nichoir n'a pas été occupé par des guêpes en 2014** (ND-MV 01). Un nichoir a été occupé tout l'été par une colonie de fourmis (ND-TDV 04) sans observation de chauves-souris. Les fourmis et guêpes ont été retirées lors de chaque visite et sont revenues plusieurs fois.

Tableau. 3. Nombre d'observations de guêpes ou de fourmis par secteur non-démoustiqués (ND) et démoustiqués (D) sur la période de suivi 2014.

Nombre de nichoirs occupés en 2014	Guêpe Germanique	Guêpe maçonne	Autres Guêpes	Fourmis
ND TDV (n = 10)	8	4	6	1
ND MV (n = 10)	9	4	4	4
D P (n = 10)	7	8	3	2
D TDR (n = 10)	6	7	3	4
Total zones non démoustiquées (n = 20)	17	8	10	5
Total zones démoustiquées (n = 20)	13	15	6	6
Nb total de nichoirs occupés (n = 40)	30	23	16	11

Tableau. 4. Rappel du nombre d'observations de guêpes ou de fourmis par secteurs non-démoustiqués (ND) et démoustiqués (D) sur la période de suivi 2013.

Nombre de nichoirs occupés en 2013	Guêpe Germanique	Guêpe maçonne	Autres Guêpes	Fourmis
Zones non démoustiquées (n = 20)	19	11	7	6
Zones démoustiquées (n = 20)	8	19	10	1
Total (n = 40)	27	30	17	7

**La présence de guêpes ne semble pas être un facteur limitant à la colonisation nichoirs par les chauves-souris. En effet, nous avons réalisé 43 observations de Pipistrelles en présence de guêpes (toutes espèces) et 45 observations de Pipistrelles en l'absence de guêpes** (Tableau. 5). Nous avons également observé dans un nichoir une Pipistrelle en présence de frelons.

Tableau. 5. Nombre d'observations de chauves-souris avec des guêpes ou des fourmis par secteur non-démoustiqués (ND) et démoustiqués (D) sur la période de suivi 2014.

Nombre d'observations	Guêpe Germanique	Guêpe maçonne	Autres Guêpes	Fourmis
Zones non démoustiquées	12	3	0	1
Zones démoustiquées	4	22	3	2
Total	16	25	3	3

**Le nombre de nichoirs occupés par les guêpes atteint des valeurs maximales en juin et fin août** (Fig. 18).

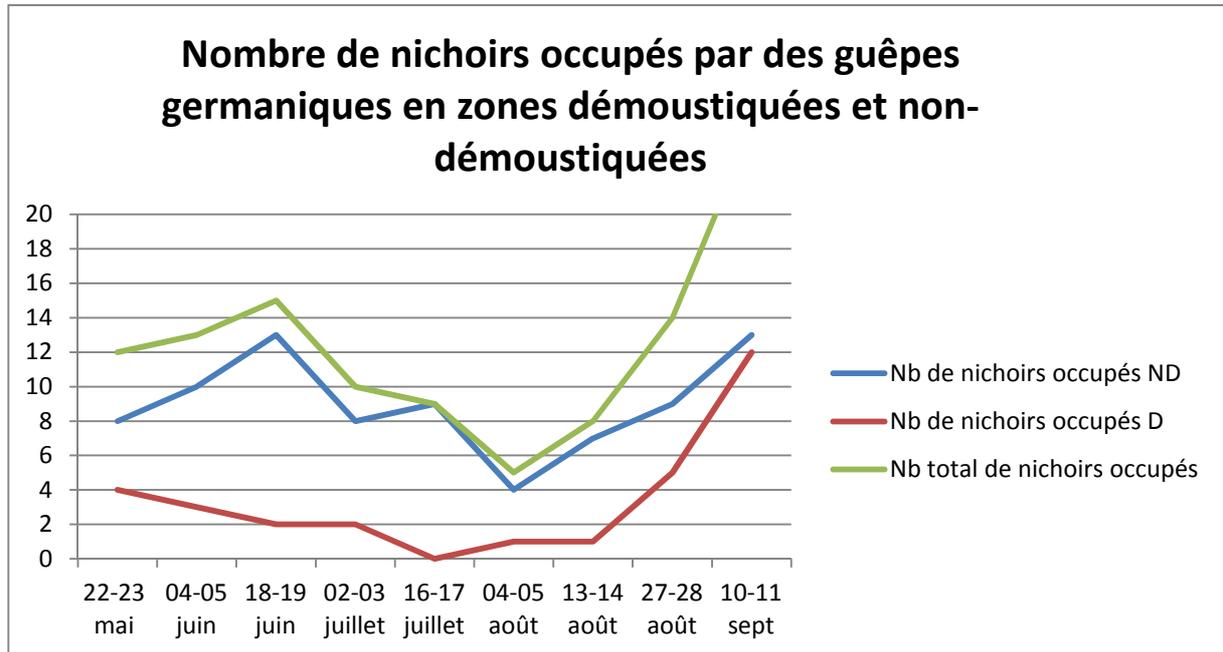


Fig. 18. Evolution du nombre de nichoirs occupés par des guêpes germaniques par secteur non-démoustiqués (ND) et démoustiqués (D) sur la période de suivi 2013.

Colonisation des nichoirs en fonction de la superficie des divers types d'habitats

Les cinq types d'habitats retrouvés autour des nichoirs occupent des superficies variables selon les nichoirs et les sites (Fig. 14).

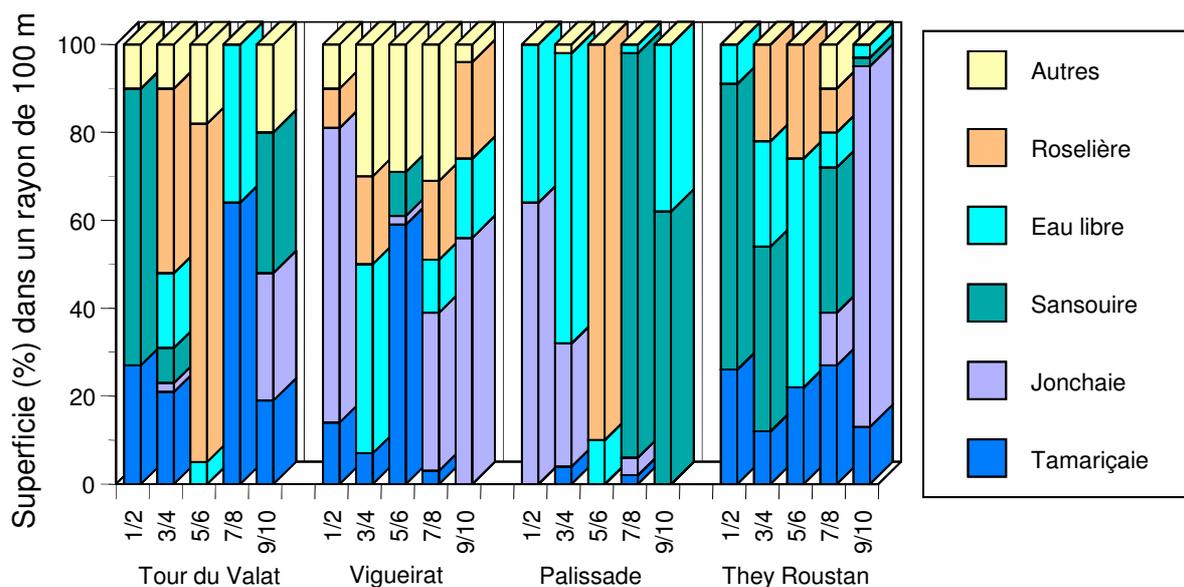


Fig. 14. Proportion (%) de la superficie occupée par les cinq principaux habitats dans un rayon de 100 m autour des 5 nichoirs doubles aux quatre sites d'échantillonnage.

Une analyse par arbre de classification révèle que la présence de tamaris couvrant une superficie de 3,5% ou plus est un facteur déterminant dans la colonisation des nichoirs, permettant d'expliquer 80% de la variance ( $F_{(1, 18)} = 8.24, P = 0.01$ ). Ainsi, les nichoirs ayant plus de 3,5% de tamaris dans un rayon de 100 m sont colonisés à 85% contre 29% pour les nichoirs entourés d'une superficie moindre en tamaris.

Colonisation des nichoirs en fonction des colonies et bâtiments existants

Plusieurs colonies de reproduction ont été identifiées en 2013 dans un rayon de 2,5 km autour des nichoirs (Figs. 19-22). Au total, **17 gîtes à chauves-souris avaient été découverts sur les 111 bâtiments prospectés**. Les effectifs des colonies varient de 4 à 1 404 individus (Maison du Garde-digue à l'extrême Est du Sambuc - ND-TDV). Globalement, il y a **plus de colonies découvertes dans le bâti en zones non-démoustiquées qu'en zones traitées à l'intérieur du rayon de 2,5 km considéré**. Aucune nouvelle colonie n'a été découverte dans les 2,5 km autour des nichoirs en 2014. Des comptages en sortie de gîte avant et après envol des jeunes sur les 3 principales colonies de reproduction découvertes en 2013 ont été réalisés.

Tableau 6. Résultats des comptages avant et après envol des jeunes en 2014.

Localisation	Avant envol	Après envol
Maison du Garde-digue	1046	1640
Salin de Badon	146	442
Tour du Valat, Atelier bois et labo poisson	331	716

Les effectifs avant et après envol de la colonie à Salin de Badon ont triplé entre les deux périodes (Tableau 6). Cette forte augmentation de population n'est probablement pas liée uniquement à la natalité, mais probablement aussi à l'arrivée de nouveaux individus issus d'une colonie environnante.

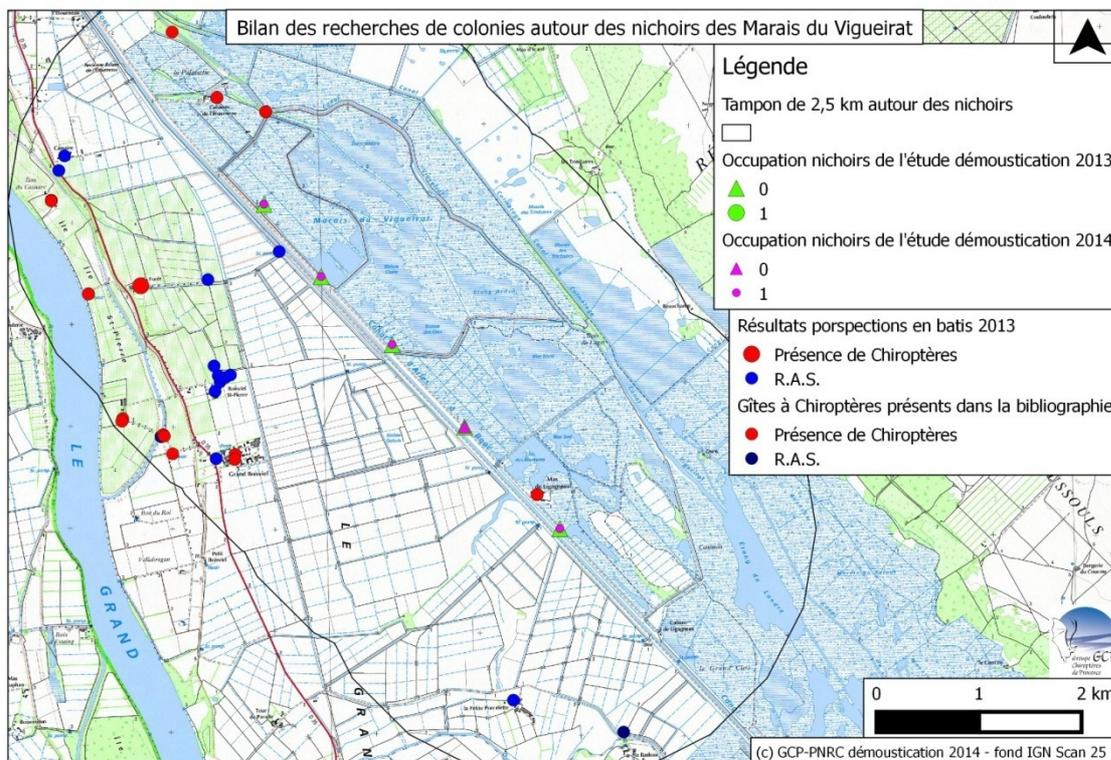


Fig. 19. Localisation des colonies de pipistrelles dans les bâtiments autour des nichoirs des Marais du Vigueirat.

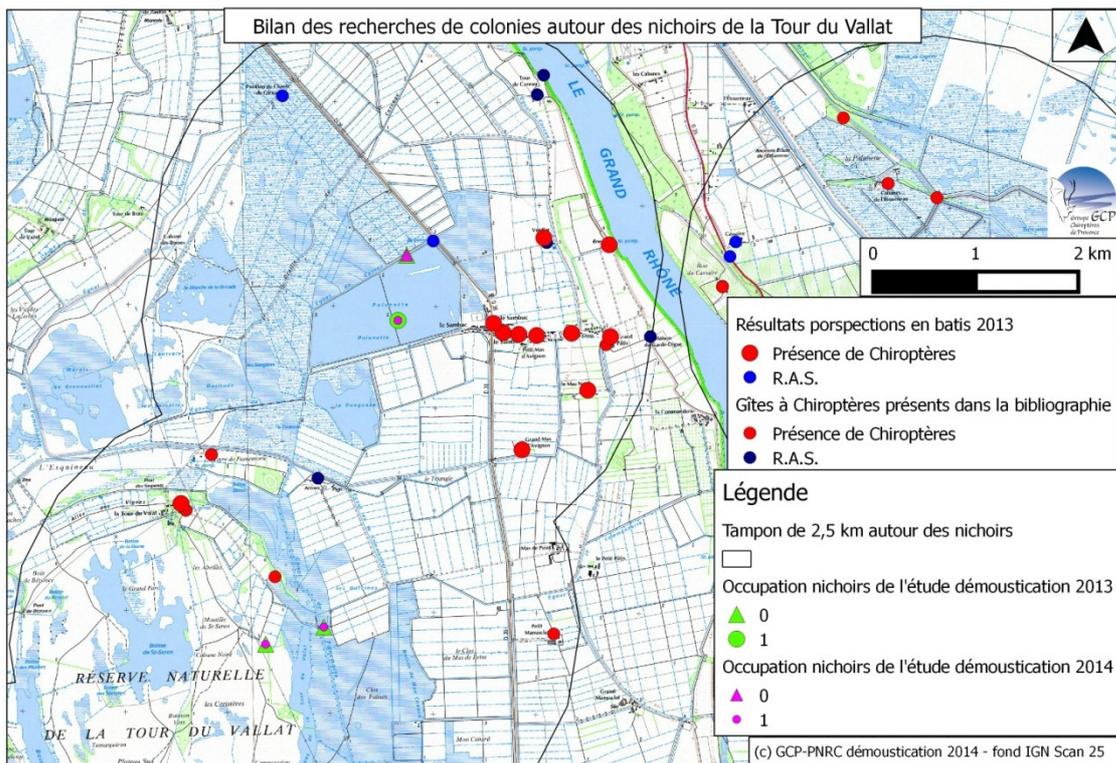


Fig. 20. Localisation des colonies de pipistrelles dans les bâtiments autour des niochirs du nord de la Tour du Valat.

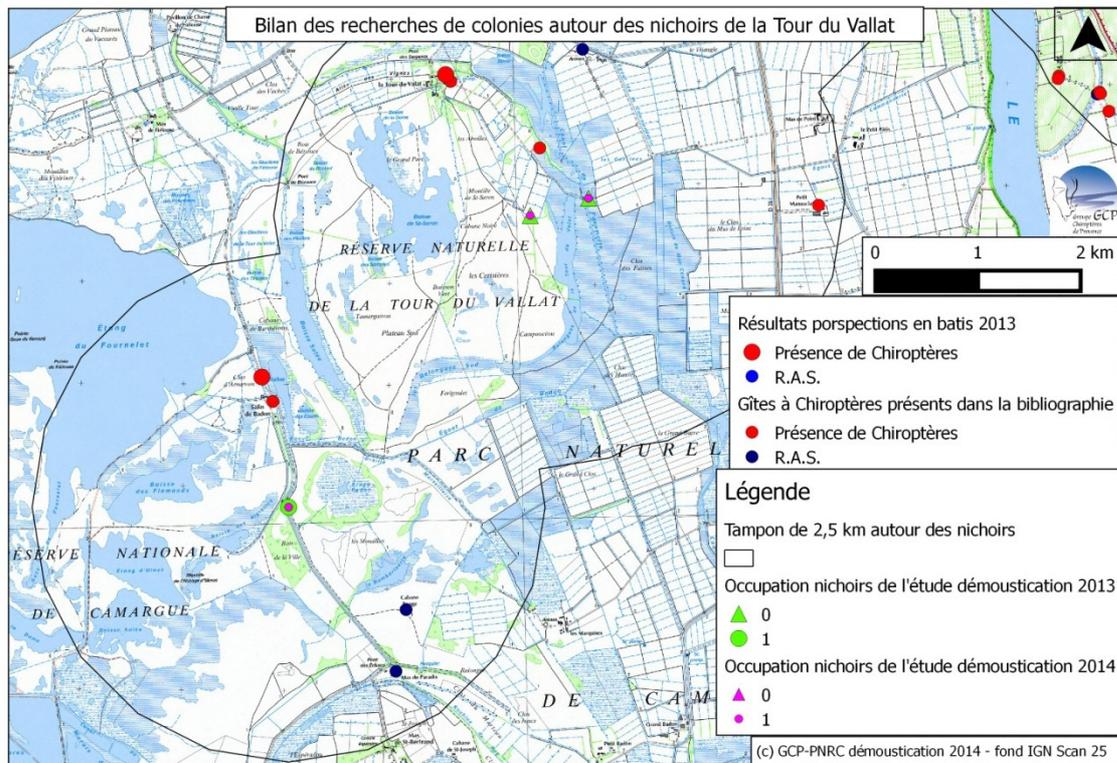


Fig.21. Localisation des colonies de pipistrelles dans les bâtiments autour des niochirs du sud de la Tour du Valat.

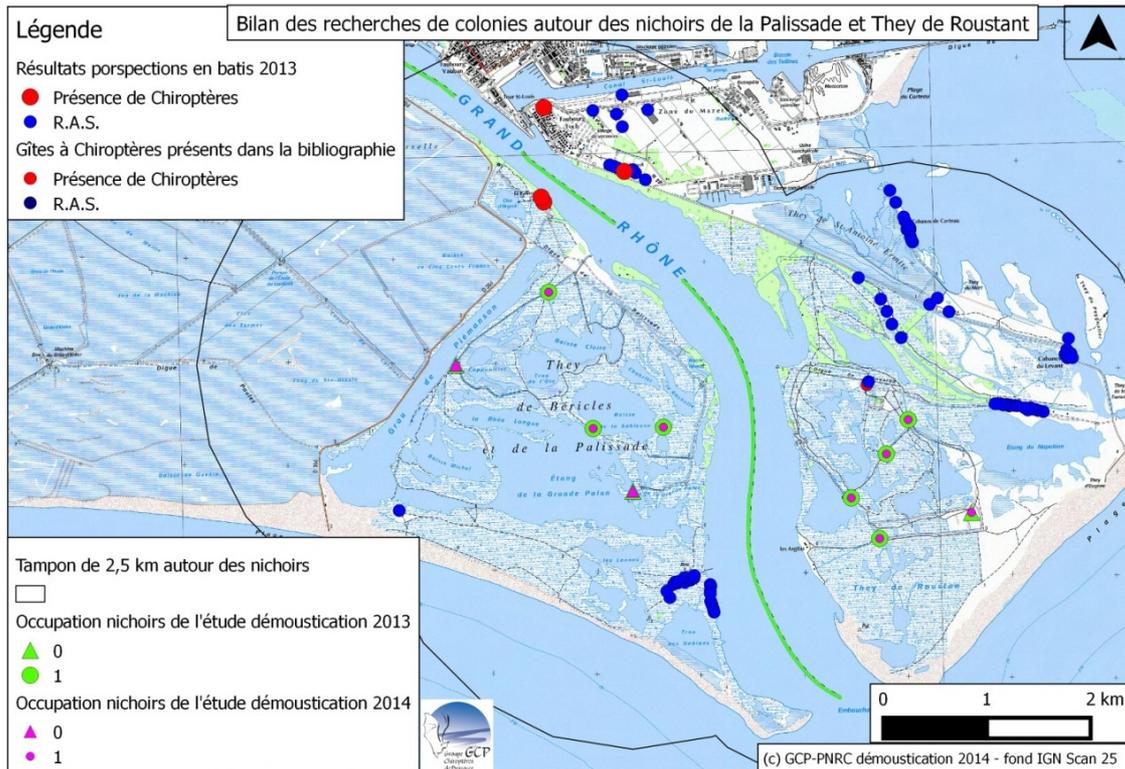


Fig. 22. Localisation des colonies de pipistrelles dans les bâtiments autour des nichoirs de la Palissade et du They de Roustant.

Afin d'évaluer les facteurs influençant la colonisation des nichoirs par les pipistrelles dans un rayon de 2,5 km, 10 variables explicatives ont été soumises à des arbres de classification: la présence ou non de déoustication, la présence de colonies déjà existantes et leur distance des nichoirs, le nombre de bâtiments (colonisés, non colonisés, avec ou sans reproduction et totaux) et leur distance moyenne ou minimale des nichoirs. Ces analyses sont réalisées sur les nichoirs doubles ( $n = 10$ ) puisque les variables environnementales extraites du SIG sont identiques pour les deux nichoirs installés sur un même poteau. Les données 2013 avaient révélé que le **principal facteur influençant la colonisation des nichoirs était la distance moyenne des bâtiments colonisés par les pipistrelles, avec une valeur seuil de 1,3 km**. Ainsi, les nichoirs situés à une distance moyenne inférieure à 1,3 km d'une colonie existante avaient 86% des chances d'être colonisés, par rapport à seulement 23% pour les nichoirs situés à plus de 1,3 km en moyenne d'une colonie. Les analyses de 2014 identifient la présence de colonie en 2013 comme variable explicative de la colonisation des nichoirs (puisque tous les sites colonisés en 2013 ont été utilisés en 2014), avec, comme **principal facteur expliquant la colonisation entre 2013 et 2014, la densité des bâtiments à proximité des nichoirs avec une valeur seuil de 13**. Ainsi, tous les nichoirs non colonisés avec moins de 13 bâtiments dans un rayon de 2.5 km sont demeurés inoccupés alors que ceux avec 13 bâtiments ou plus ont été colonisés à 67%. Ce modèle intégrant les deux phases successives de colonisation (2013 et 2014) explique 90 % de la présence de colonies observées dans les nichoirs en 2014 ( $F_{1,18} = 29.3, P = 0.0004$ ).

## Discussion

L'hypothèse de travail est que les conditions de reproduction (alimentation) pourraient être influencées par la démoustication, avec pour conséquence une raréfaction des chauves-souris dans le delta et particulièrement dans les zones traitées sur le long terme. L'objectif est de mesurer l'effet de la démoustication sur les effectifs des colonies, la natalité et le taux de survie des jeunes avant l'envol grâce à l'installation de nichoirs et à leur suivi en zones démoustiquées et non démoustiquées.

En Camargue, les colonisations de nichoirs sont en général rapides. Sur les 40 nichoirs mis en place en 2012, seul le nichoir n°8 en zone non démoustiquée de la Tour du Valat avait été colonisé par une pipistrelle durant l'été 2012. Dans l'étude réalisée par Flaquer *et al.* (2006), 15% des nichoirs étaient occupés la 1<sup>er</sup> année par des colonies de reproduction et ce chiffre augmente significativement jusqu'au 4<sup>ème</sup> été. **2013** correspond à la 1<sup>ère</sup> année d'expérimentation avec un taux **d'occupation de 40% des nichoirs**, dont 4 en zones non-démoustiquées (20%) et 12 en zones démoustiquées (60%). En **2014, le taux d'occupation des nichoirs atteint 60%, dont 11 en zones non-démoustiquées (55%) et 13 en zones démoustiquées (65%)**. Une analyse par arbre de classification suggère que **la présence de tamaris occupant au moins 3,5% de la superficie dans un rayon de 100 m des nichoirs est un facteur déterminant pour leur colonisation**. Par ailleurs, **la proximité de colonies existantes (< 1,3 km) et le nombre de bâtiments (>13) dans un rayon de 2,5 km influencent positivement les taux de colonisation**. Même si plusieurs groupes de Pipistrelles ont été observés à l'intérieur des nichoirs, **aucun nichoir n'a encore été utilisé pour la reproduction**.

Nous n'avons pas trouvé de bibliographie concernant l'impact de la présence de nids de guêpes sur la colonisation d'un nichoir par des chauves-souris. René Boulay (comm. pers) mentionne une cohabitation possible, ce qui fut confirmé par le suivi de 2013 et 2014. Les essaims ont été régulièrement retirés et leur taille maîtrisée, car il apparaît évident qu'une importante colonie de guêpes puisse faire fuir les chauves-souris (perte de l'espace dans le gîte notamment). Alternativement, l'absence de chauves-souris dans le nichoir est susceptible de favoriser leur colonisation par les guêpes. Un contrôle des nids de guêpes devra donc être systématiquement mis en œuvre avant la phase d'installation des colonies de pipistrelles.

## Références

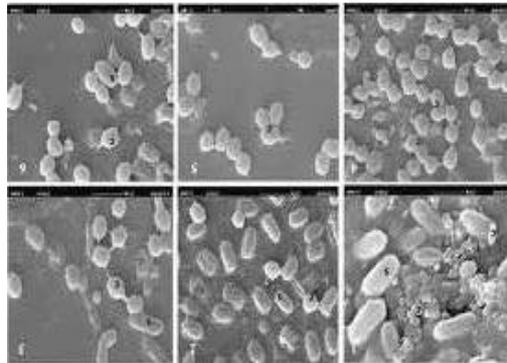
- Flaquer C, Puig-Montserrat X, Goiti U, Vidal F, Curc A & Russo D. 2009. Habitat Selection in Nathusius' Pipistrelle (*Pipistrellus nathusii*): The Importance of Wetlands. *Acta Chiropterologica* 11: 149-155.
- Flaquer C, Torre I, & Ruiz-Jarillo R. 2006. The value of bat-boxes in the conservation of *Pipistrellus pygmaeus* in wetland rice paddies. *Biological Conservation* 128: 223-230.
- Kapfer G & Cosson E. 2010. Etude de l'influence du *Bti* sur les populations de Chiroptères dans le cadre des campagnes de démoustication en Camargue. Parc naturel régional de Camargue. Groupe Chiroptères de Provence, Arles, 9 pp.
- Kapfer G & Cosson E. 2009. Etude de l'influence du *Bti* sur les populations de Chiroptères dans le cadre des campagnes de démoustication en Camargue. Parc naturel régional de Camargue. Groupe Chiroptères de Provence, Arles, 15 pp.
- Lugon A. 2007. Analyse du régime alimentaire de *Pipistrellus pygmaeus*. La Tour du Valat, Arles, Camargue (13). Parc naturel régional de Camargue, Azuré, Groupe Chiroptères Provence. 11 pp.
- Planckaert O & Kapfer G. 2011. Campagnes de démoustication en Camargue : influence du *Bti* sur les populations de Chiroptères. Parc naturel régional de Camargue. Groupe Chiroptères de Provence, Arles. 17 pp.

Poulin B, Hilaire S & Lefebvre G. 2014. Volet I : Diptères Chironomidés. Pp. 5-11 *in* Poulin B (ed.) Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport présenté au PNRC, 156 pp.

## VOLET VI

### Persistance du *Bti* dans l'environnement

Brigitte Poulin<sup>1</sup>, Laurence Després<sup>2</sup> & Gaëtan Lefebvre<sup>1</sup>



<sup>1</sup> Tour du Valat

<sup>2</sup> Laboratoire LECA, Université de Grenoble

## 6. Suivi sur la persistance du *Bti* dans l'environnement

### Etat de l'art

Face à l'**utilisation actuellement quasi-universelle du *Bti* dans les zones humides** pour le contrôle des moustiques, une **meilleure connaissance de son devenir et de sa persistance dans l'environnement sont essentiels**. Une étude réalisée dans la région Rhône-Alpes, révèle la présence de litière contenant du *Bti* ayant une toxicité aigüe envers les larves de moustiques plusieurs mois après épandage, de même que la présence de spores viables dans des milieux non précédemment traités (Tilquin *et al.* 2008). Le projet ANR DIBBECO « Devenir et Impact du Bactério-insecticide *Bti* sur les écosystèmes » coordonné par Laurence Després de l'Université J. Fourier à Grenoble et auquel participe notamment l'EID, a permis de mettre au point des outils moléculaires diagnostics pour la quantification du *Bti* et de ses toxines (Test ELISA) dans l'environnement. Un article récemment publié sur la base de travaux réalisés en mésocosmes démontre que la présence de litière entraîne une persistance différentielle des 4 toxines du *Bti* (Tétreau *et al.* 2012), augmentant potentiellement les risques de résistance. Par ailleurs, le suivi de marais traités en Camargue dans le cadre du projet DIBBECO a récemment révélé une densité de spores de *Bti* associée au nombre de traitements et au type de végétation, avec une persistance des spores plusieurs mois après les traitements (Duchet *et al.*, 2014). Jusqu'à maintenant, une seule étude a pu mettre en évidence un phénomène de recyclage (multiplication des spores et des toxines) du *Bti* en milieu naturel, observé dans des mares temporaires sous couvert forestier dans l'Isère (Tilquin *et al.*, 2008).

Ce volet, initié en 2012, a permis de documenter la densité de spores de *Bti* dans des sansouires, scirpaies et roselières traitées par épandage aérien au domaine de la Palissade et au They de Roustan. Ces données ont révélé un effet habitat important, avec une concentration très élevée de spores de *Bti* dans certaines roselières, notamment au They de Roustan (Poulin *et al.* 2014). Suite à la forte concentration du *Bti* observée sur le site de Mourgues, non traité depuis 2012, il a été proposé d'étendre ce volet au site du domaine du Petit St-Jean situé dans le Gard et où les traitements ont aussi été interrompus. Dans le même ordre d'idée et afin de mieux quantifier l'impact de l'hydrologie des marais sur le devenir du *Bti*, différentes roselières situées sur le pourtour des étangs Charnier-Scamandre (Gard) où la démoustication et un suivi hydrologique sont en cours depuis plusieurs années, ont été ajoutés au dispositif de suivi en 2014. Certains échantillons de la saison 2014 n'ont pas encore été envoyés à Grenoble et d'autres envoyés ce printemps n'ont toujours fait pas l'objet d'analyses microbiologiques. Ne sont présentées ici que les données disponibles au moment de la rédaction du rapport.

L'objectif de ce suivi est donc de mettre à profit des techniques nouvellement développées pour **estimer la densité et la persistance des spores de *Bti* dans les sansouires, scirpaies et roselières actuellement ou précédemment traitées** et de les comparer aux densités naturelles présentes en Camargue. Ce suivi s'oriente également vers l'acquisition de données pour **évaluer les facteurs influençant la persistance du *Bti* dans l'environnement** afin de pouvoir proposer des modes de gestion permettant de réduire ces densités et leur impact potentiel sur les chironomes.

### Méthodologie

Trois échantillons de substrat superficiel (sol ou litière) distants de 10 m environ sont prélevés à la pelle dans une zone dégagée afin que la végétation ne fasse pas écran au dépôt de *Bti* sur le sol. Ces échantillons sont ensuite séchés à 50°C sur papier absorbant, en évitant les risques de contamination entre échantillons, puis congelés avant envoi groupé à Grenoble. Les analyses réalisées sous la supervision de Laurence Després à

l'Université Joseph Fourier, consistent à broyer les échantillons, étaler et compter les spores sur boîte de pétri par analyse microbiologique.

### Sites d'étude (Fig. 23)

#### *Suivi de l'évolution des sites traités et non traités en Camargue*

- Sites traités par épandage aérien: une roselière, une sansouire et une scirpaie sur les Domaines de la Palissade et du They de Roustan (les mêmes qu'en 2012 et 2013).
- Site traité à partir du sol et par épandage aérien: jonchaie du Clos d'Armand (Palissade).
- Site témoin: scirpaies de la Tour du Valat.
- Sites roselières: en plus des 3 sites traités (Palissade, They Roustan, Bélugue), 1 site où traitements ont été interrompus (Mourgues) depuis novembre 2011 et trois sites témoins (Baisse Salée - TdV, Marais de Rousty - PNR, Canisson - MdV).

#### *Suivi de l'évolution de la densité du Bti en fonction de l'hydrologie des marais*

- Six marais roseliers situés sur le pourtour des étangs Charnier-Scamandre dont l'intensité des traitements est inconnue.
- Deux marais situés sur le domaine du Petit Saint-Jean où la démoustication a été interrompue depuis 2012.

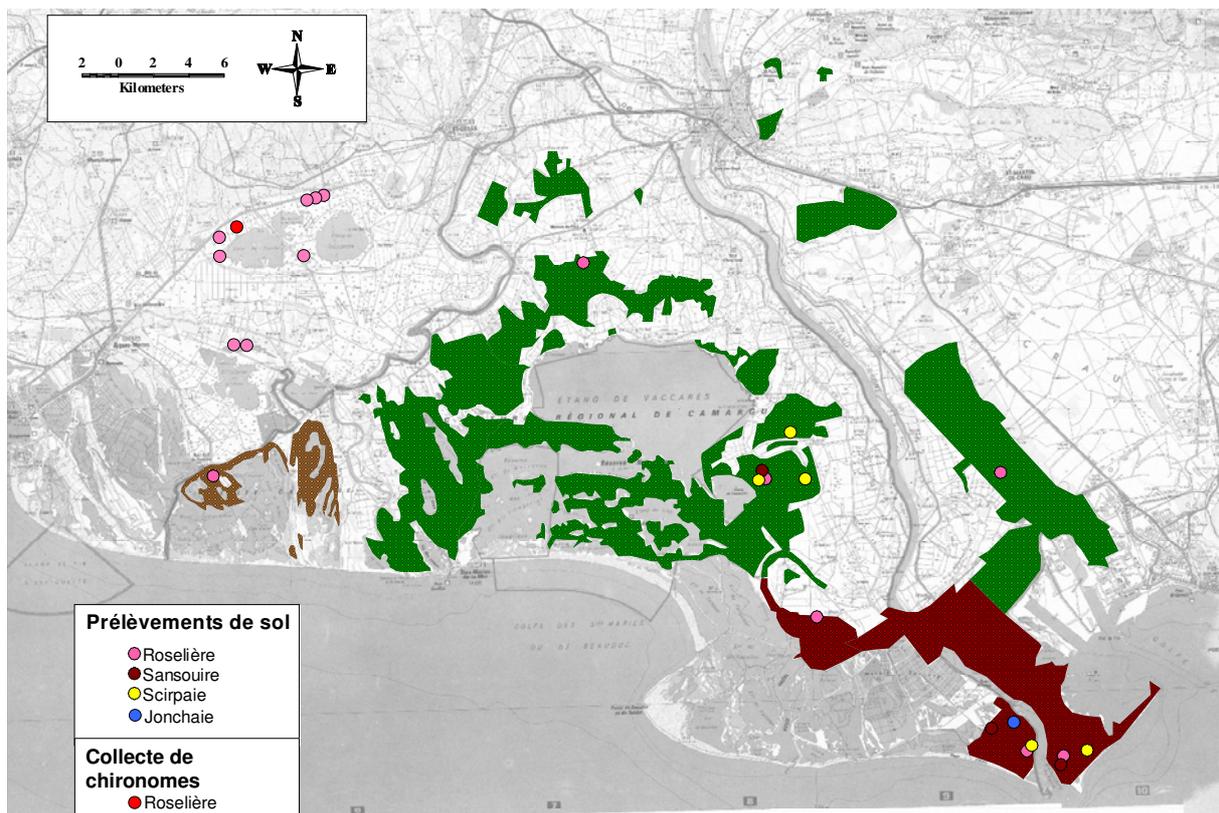


Fig.23. Localisation des sites d'étude du volet persistance du Bti, en relation avec la distribution des biotopes larvaires potentiels en Camargue (source EID-Méditerranée)

Le calendrier de collecte des échantillons en fonction des sites et types de milieu depuis l'initiation de ce suivi en 2012 est indiqué au Tableau 7.

Tableau 7. Dates de collecte des trois échantillons de sol ou litière par site. Les échantillons indiqués en vert ont été au moins en partie analysés au laboratoire de Grenoble, ceux en orange sont en cours d'analyse et ceux en gris sont prêts pour envoi.

Lieu	Milieu	Saison de traitements 2012			Saison de traitements 2013			Saison de traitements 2014			
		1er traitement	2e traitement	témoin	après dernier traitement	durant saison	témoin	après dernier traitement	Avant 1er traitement 2014	témoin	après dernier traitement
They de Roustan	Roselière	2 dates	2 dates		4 dates	27/05/13		4 dates	26/03/14		07/11/14
	Scirpaie	2 dates			4 dates			4 dates	26/03/14		07/11/14
	Sansouire	2 dates	2 dates		4 dates			4 dates	26/03/14		07/11/14
Palissade	Roselière	2 dates	2 dates		4 dates	23/05/13		4 dates	26/03/14		07/11/14
	Sansouire	2 dates	2 dates		4 dates			4 dates	26/03/14		07/11/14
	Scirpaie		2 dates		4 dates			4 dates	26/03/14		07/11/14
	Jonchais sol							4 dates	26/03/14		07/11/14
TDV	Roselière			2 dates		21/05/13					
	Scirpaie						21/05/13			3 sites	
	Sansouire			2 dates			21/05/13				
Mourgues	Roselière			12/12/12			21/05/13			29/09/14	
Béluque	Roselière			12/12/12		21/05/13					
Rousty	Roselière			14/12/12							
Canisson	Roselière					05/06/13					
Charnier-Scamandre	Roselière									2 dates 6 sites	
Petit St-Jean	Marais O						11/09/13			2 dates 3 sites	
	Marais E						11/09/13			2 dates 3 sites	

## Résultats

**Les densités moyennes de spores de *Bti* par gramme de sol ou litière varient selon les sites traités et les types d'habitats** (Tableau 8). La densité de *Bti* atteint des valeurs maximales dans les roselières de Bélugue, suivie de celle de Mourgues, puis du They de Roustan. Des spores de *Bti* sont présentes sur les sites témoins, mais en densité inférieure à celle des sites traités. **Les valeurs les plus faibles** sont généralement observées **dans les sansouires**, et **les plus fortes dans les roselières**, alors que les jonchaies et scirpaies affichent des valeurs intermédiaires. Il est bon de préciser que la seule jonchaie considérée est également traitée à partir d'épandage depuis le sol. Notons également que **la densité des spores de *Bti* dans la roselière de Mourgues, non traitée depuis 2012, a diminué de moitié depuis l'an dernier** (500 083 spores/g de sol, Poulin 2014).

Tableau 8. Densités moyennes de spores de *Bti* par gramme de sol ou litière pour chacun des sites et habitats échantillonnés depuis 2012.

	<i>Sansouires</i>	<i>Scirpaies</i>	<i>Roselières</i>	<i>Jonchaie</i>
<b>Sites traités</b>				
Palissade	9 651	36 547	5 555	43 776
They Roustan	6 351	21 767	141 322	
Bélugue			517 813	
<b>Site non traité en 2012-2014</b>				
Mourgues			258 750	
<b>Sites témoins</b>				
Tour du Valat	331		2 547	
Marais de Rousty			3 046	
...Canisson (MdV)			5 370	
<b>Sites a priori traités (Gard)</b>				
Charnier-Scamandre (global)			3 611	
Listes ouest, nord Scamandre			1208	
Listes centre, nord Scamandre			0	
Listes est, nord Scamandre			14 958	
Lot 7 communal, Charnier			1125	
Lot 8 communal, Charnier			708	
Bouvau, sud-ouest Scamandre			3667	

A une exception près, les six roselières échantillonnées aux étangs Charnier-Scamandre dans le Gard ont une densité de spores comparable à celle des sites témoins, suggérant une faible intensité de traitements. Au regard des valeurs de densités observées, il n'apparaît pas utile d'évaluer l'impact de l'hydrologie à long terme sur le devenir du *Bti* de ces marais, d'autant plus que les dates et fréquences des traitements au *Bti* sur ce secteur n'ont pas été transmises par l'EID. Pour la même raison, ces sites ne sont pas inclus aux analyses présentées ci-après.

Les densités de spores de *Bti* ne suivant pas une distribution normale, elles ont été transformées à l'aide de l'équation  $\log_{10}(x + 1)$  préalablement aux analyses. Une analyse de variance à facteurs imbriqués (Fig. 24) réalisée sur les données normalisées révèle **un impact significatif des traitements sur la densité de spores de *Bti*** ( $F_{367,1} = 31.9$ ,  $P < 0.000001$ ). La présence de traitements contribue à 55% de la variance expliquée au sein de l'échantillon, suivie du type d'habitat (40%). La faible variance expliquée par les trois échantillons prélevés à un même site (effet intra-site, 2%), de même que par les trois sous-échantillons de chaque échantillon créés pour mener les analyses

microbiologiques (effet intra-échantillon, 1%), suggèrent que le protocole d'échantillonnage est robuste (Fig. 24).

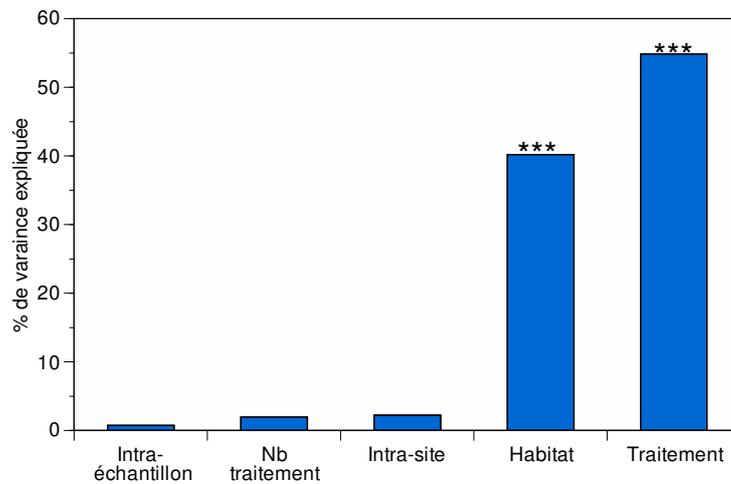


Fig. 24. Effet des variables intra-site, intra-échantillon, site, habitat, présence et nombre de traitements au *Bti* sur la densité des spores selon une ANOVA à facteurs imbriqués.

Lorsque l'on compare la densité des spores de *Bti* des sites témoins et des sites traités au cours des trois premiers traitements de la saison, **le nombre de traitements a un impact significatif** ( $F_{190,3} = 20.$ ,  $P < 0.000001$ ), contribuant à 40% de la variance expliquée, contre 36 % pour l'effet habitat (Fig. 25). Il est à noter également que l'accroissement dans la densité des spores de *Bti* après plusieurs traitements successifs est exponentielle et non linéaire, puisque l'axe des ordonnées suit une échelle logarithmique.

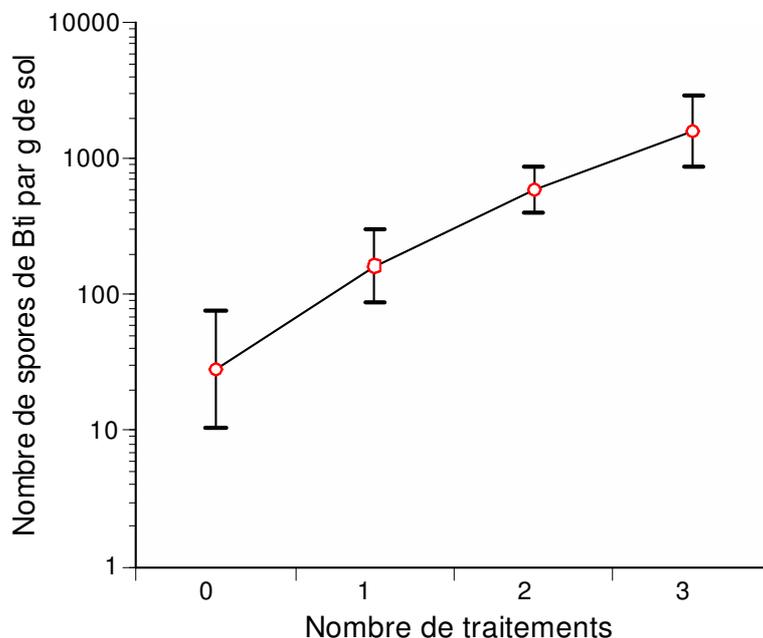


Fig.25. Effet du nombre de traitements sur la densité de spores de *Bti* dans les sites traités selon une analyse de variance à facteurs imbriqués sur les données normalisées. La densité après le premier traitement correspond à celle relevée juste avant le second traitement en 2012.

**L'effet habitat sur la densité de spores de *Bti* dans les sites traités est très significatif** ( $F_{801,3} = 60.3, P < 0.0000001$ ), contribuant à 41% de la variance expliquée au sein de l'échantillon, contre 52% pour l'effet site (Fig. 26). Un test post-hoc de Scheffé révèle que la densité des spores de *Bti* est similaire dans les jonchaies et les roselières, les scirpaies affichant des abondances significativement inférieures à ces deux habitats ( $P < 0.05$ ), alors que les sansouires ont des densités significativement inférieures à tous les autres types d'habitats ( $P < 0.002$ ).

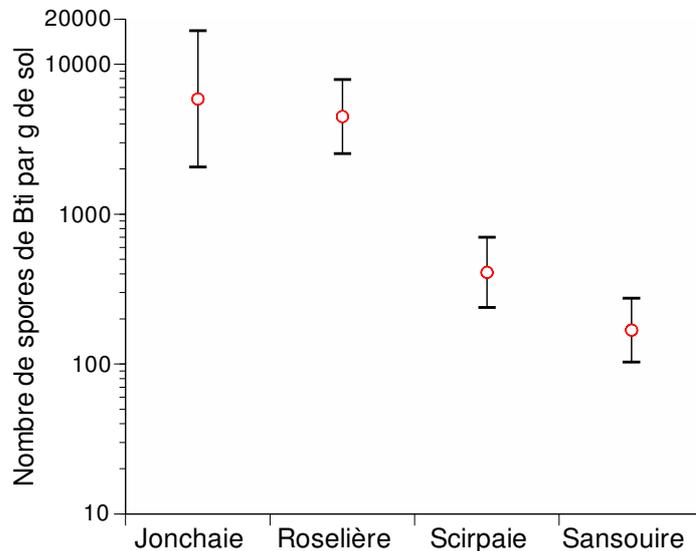


Fig. 26. Effet de l'habitat sur la densité de spores de *Bti* dans les sites traités en 2012-2013 selon une analyse de variance à facteurs imbriqués sur les données normalisées.

Le temps écoulé après le dernier traitement de la saison entraîne des variations importantes dans la densité de *Bti* ( $F_{393,3} = 11.3, P < 0.000001$ ) et représente 44% de la variance expliquée. Il y a cependant un fort effet habitat ( $F_{213,8} = 5.91, P < 0.000001$ ), qui représente 23% de la variance. Ces résultats s'expliquent par **l'évolution différente du *Bti* après la fin des traitements en fonction du type d'habitat** (Fig. 27).

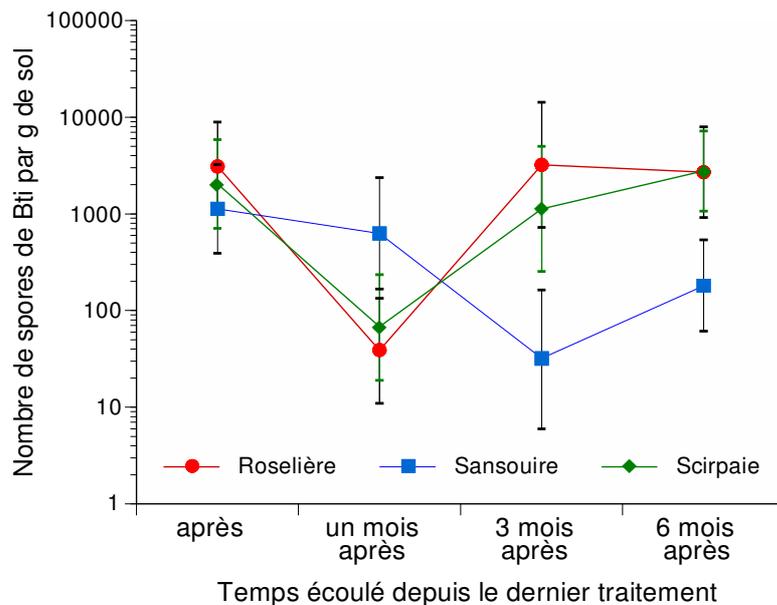


Fig.27. Effet du temps sur l'évolution de la densité de spores de *Bti* en fonction du type d'habitat selon une analyse de variance à facteurs imbriqués sur les données normalisées.

Alors que suite à l'arrêt des traitements on observe une diminution lente et progressive de la densité des spores de *Bti* dans les sansouires, **le nombre de spores dans les roselières et les scirpaies diminue fortement un mois après l'arrêt des traitements** (test post-hoc LSD de Fisher,  $P < 0.001$ ), **puis augmente significativement deux mois plus tard** (test post-hoc LSD de Fisher  $P < 0.05$ ) **pour se maintenir** au moins **jusqu'à six mois après l'arrêt des traitements** (test post-hoc LSD de Fisher  $P > 0.34$ ).

Afin d'étudier le devenir des spores de *Bti* suite à l'arrêt des traitements, nous avons comparé les données issues de la roselière de Mourgues où les traitements ont été interrompus depuis novembre 2011 à celles issues des roselières toujours traitées (Fig. 28). Pendant l'année suivant l'arrêt des traitements, la densité de spores était similaire (Bélugue, test post-hoc de Scheffé  $P = 0.96$ ) ou supérieure aux sites toujours traités (test post-hoc de Scheffé  $P < 0.0006$ ), alors que deux ans après interruption des traitements, la densité de spores devient similaire à celle des autres sites traités (test post-hoc de Scheffé  $P = 0.68$ ). Toutefois avec une moyenne de plus de 17 000 spores /g de sol en 2013, les valeurs restent supérieures à celles des roselières non traitées.

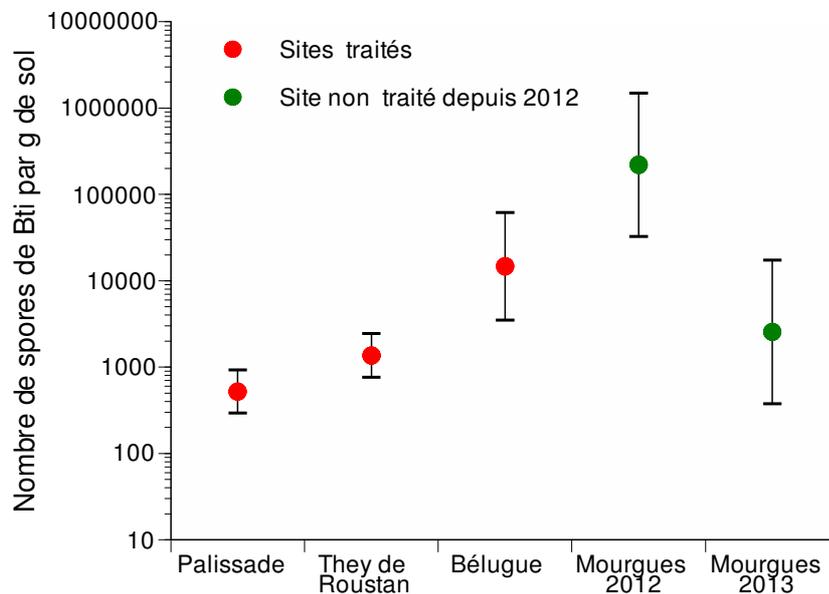


Fig. 28. Densité de spores de *Bti* en fonction des différents sites de roselières traités, selon une analyse de variance à facteurs imbriqués sur les données normalisées.

## Discussion

Selon une étude récente réalisée en mésocosmes (Tétreau *et al.* 2012), la présence de litière entraîne une persistance différentielle des 4 toxines du *Bti*, augmentant potentiellement les risques de résistance, alors qu'un recyclage – potentiellement favorisé par certains paramètres physico-chimiques- permet la multiplication des bactéries avec la production de nouvelles spores et toxines. Les données présentées dans ce rapport démontrent que **les spores de *Bti* s'accumulent tout au long de la saison de traitement**. La germination du *Bti* ne peut se produire que dans le système digestif des insectes sensibles au *Bti* comme les moustiques et les chironomes. Ainsi, l'hypothèse la plus probable pour expliquer l'**augmentation de la densité des spores de *Bti* trois mois après la fin des traitements dans les roselières et les scirpaies**, serait leur **consommation par les chironomes** détritivores benthiques, entraînant une **multiplication de la bactérie**. Ce phénomène de recyclage du *Bti* dans l'environnement

n'avait été jusqu'à maintenant observé qu'une seule fois, dans un site de la région Rhône-Alpes en 2000 (Tilquin *et al.* 2008), puis plus récemment en mésocosmes (Duchet *et al.* 2014). Ainsi, **après plusieurs années de traitement**, les densités de spores peuvent atteindre des niveaux très élevés. La densité record observée dans cette étude est de **8 500 000 spores par gramme de sol** observée dans la roselière du They de Roustan le 18/02/14, soit **quatre mois après le dernier traitement**. Si cette forte densité de *Bti* à la surface des sédiments ne permet pas de réduire l'émergence des moustiques qui s'alimentent en pleine eau, elle **risque d'affecter tout particulièrement les chironomes** qui sont benthiques et abondants dans les roselières de Camargue, ce qui explique sans doute **les perturbations observées sur divers compartiments du réseau trophique depuis plusieurs années** (Poulin 2014). Les tendances observées pour les sansouires, les scirpaies et les roselières, suggèrent que la rémanence du *Bti* est positivement liée à la durée de l'hydropériode et à la production primaire des milieux. La baisse en densité de spores observée en 2013 sur le site de Mourgues pourrait donc être associée à la réalisation d'un assec suivi d'un écobuage en début d'année 2013.

## Perspectives

Ce nouveau volet, qui n'a été intégré aux suivis sur les effets de la démoustication de la Camargue qu'en 2012, apporte plusieurs réponses tout en suscitant de nombreuses questions. Si la persistance et la prolifération du *Bti* dans les marais à inondation prolongée et riches en matière organique permet d'expliquer les impacts documentés dans les roselières (chironomes, disponibilités alimentaires pour les passereaux), les facteurs responsables de ce phénomène, qui a été jusqu'ici rarement observé en milieu naturel, méritent d'être identifiés et quantifiés. Le décalage systématique de plusieurs mois entre la collecte des échantillons et leur analyse microbiologique ne facilite pas les choix d'orientation de ce suivi. A minima pour 2015 il est proposé de poursuivre le suivi des sites traités jusqu'à six mois après traitements et des sites caractérisés par une forte densité de *Bti* en dépit d'un arrêt de la démoustication depuis 2012 (Mourgues et domaine du Petit Saint-Jean).

## Références

- Boisvert M & Boisvert J. 2000. Effects of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* on target and nontarget organisms: a review of laboratory and field experiments. *Biocontrol Science and Technology* 10: 517-561.
- Duchet C, Tetreau G, Albane M, Rey D, Besnard G, Perrin Y, Paris M, David J-P, Lagneau C & L. Després L. 2014. Persistence and recycling of bioinsecticidal *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* spores in contrasting environments: Evidence from field monitoring and laboratory experiments. *Microbial Ecology* 67:576-586.
- Poulin B. 2014. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue, 156 pp.
- Poulin B, Després L & Lefebvre G. 2014. Volet IX : Persistance du *Bti* dans l'environnement. Pp. 137-147 in Poulin B (ed.) Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport présenté au PNRC, 156 pp.
- Tetreau G, Alessi M, Veyrenc S, Périgon S, David J-P, Reynaud S, Després L. 2012. Fate of *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* in the field: Evidence for spore recycling and differential persistence of toxins in leaf litter. *Applied and Environmental Microbiology* 78: 8362-8367.
- Tilquin M, Paris M, Reynaud S, Despres L, Ravanel P, Geremia RA, Gury J. 2008. Long lasting persistence of *Bacillus thuringiensis* Subsp. *israelensis* *Bti* in mosquito natural habitats. *PLoS ONE* 310: e3432. doi:10.1371/journal.pone.0003432.

## **VOLET VII**

### **Suivis sur le domaine de la Palissade**

**Brigitte Poulin<sup>1</sup>, Gaëtan Lefebvre<sup>1</sup> & Claire Tétrel<sup>2</sup>**



<sup>1</sup> Tour du Valat

<sup>2</sup> Syndicat Mixte du Parc naturel régional de Camargue

## 7. Suivis sur le domaine de la Palissade

### Etat de l'art

En tant que site traité, le domaine de la Palissade est concerné par divers suivis (chironomes, odonates, passereaux paludicoles, persistance du *Bti*). Au-delà de ces suivis réalisés par la Tour du Valat et Libelo, les gestionnaires du site se sont engagés dans un processus d'évaluation des dérangements causés par la démoustication afin de formuler des préconisations de limitation du dérangement selon une méthodologie d'action. Ainsi, les dérangements à court-terme sur les oiseaux d'eau causés par les traitements aériens ont pu être documentés de 2006 à 2011 pour 24 269 individus de 54 espèces. Une collaboration étroite avec l'EID a permis de limiter les dérangements sur les colonies de hérons arboricoles et de laro-limicoles, notamment durant la période sensible d'installation des oiseaux sur les sites de nidification. L'ensemble des contraintes associées à la démoustication (fermeture du site au public, modification des activités du manadier, adaptation de la gestion hydrologique, etc.) a également pu être quantifiée.

Plus récemment, des suivis à long terme (comptages mensuels des oiseaux d'eau, dénombrement des passereaux par IPA) ont mis en valeur des déclinés chez certaines espèces, non observées sur d'autres sites en Camargue et attribuables à la démoustication ou aux modifications de gestion qu'elle entraîne sur le site (Poulin *et al.* 2013, Tétrel *et al.* 2014). Enfin, la perception des visiteurs d'un espace naturel ouvert au public et démoustiqué a également été prise en compte au travers de l'analyse d'une soixante de questionnaires inspirés de la grille élaborée par Cécilia Claeys dans le cadre du suivi sociologique (Tétrel *et al.* 2014).

Le personnel du domaine de la Palissade ayant été intégré à celui du Parc naturel régional de Camargue en janvier 2014 dans le cadre de la mutualisation des sites du Conservatoire du Littoral en Camargue, leur implication dans ces suivis a été fortement diminuée et ne fait plus l'objet de compensations financières. Les suivis réalisés en 2014 concernent trois volets: le dérangement à court-terme (impact hélicoptère), les tendances des oiseaux d'eau à long terme et l'enquête sociologique ciblant les visiteurs du site.

### Sites d'étude

Site traité: Les plans d'eau du domaine de la Palissade

Sites témoins: les plans d'eau de la Tour du Valat et de la Réserve Nationale de Camargue (données SNPN) pour le dérangement à long terme.

#### Suivi du dérangement à court terme

L'objectif de ce suivi est de comparer l'impact des traitements par hélicoptère, initiés en 2014, à ceux réalisés par avion et bien documentés pour la période 2006 à 2011. La même méthodologie que précédemment a donc été appliquée sur les remises d'oiseaux d'eau, en estimant le nombre d'oiseaux présents sur les plans d'eau avant, immédiatement après et une heure après le traitement. Ces suivis ont également concerné la colonie de laro-limicoles sur la Baisse Claire, pour laquelle est déterminé le nombre d'individus quittant la colonie lors du passage de l'hélicoptère avec relevé du temps écoulé avant le retour des individus au nid, notamment pendant les périodes d'installation des couples et d'incubation des oeufs.

Seulement quatre traitements aériens ont été réalisés en 2014 sur le domaine de la Palissade, dont deux par hélicoptère, les 24 juillet et 5 août (Tableau 9).

Tableau 9. Caractérisation des traitements aériens au *Bti* réalisés par l'EID sur le domaine de la Palissade depuis 2006.

Année	Type d'engin	Nombre de traitements aériens	Moyenne surfaces traitées (ha)	Cumul surfaces traitées (ha)	Nombre de prospections
2006	avion	4	154	616	37
2007	avion	19	72	937	82
2008	avion	23	83	1740	100
2009	avion	15	129	1937	68
2010	avion	12	65	778	72
2011	avion	12	59	651	95
2012	avion	12	89	1077	70
2013	avion	10	61	611	58
2014	avion	2	122	243	42
2014	hélicoptère	2	222	445	

Compte-tenu de la faible taille de l'échantillon, les analyses comparant l'impact de l'avion et de l'hélicoptère doivent être considérées comme très préliminaires (Tableau 10). Une analyse de variance avec les facteurs espèces et années imbriqués suggère qu'il n'y a pas de différences entre les deux méthodes concernant l'impact immédiat ( $F_{(1, 1151)} = 0.01, P = 0.89$ ). Cependant, les impacts une heure après traitement semblent supérieurs avec l'hélicoptère, bien que non significatifs ( $F_{(1, 1151)} = 0.94, P = 0.33$ ). Ce résultat peut découler de la plus longue durée des traitements avec l'hélicoptère lorsque les superficies traitées nécessitent de multiples remplissages du réservoir qui est plus petit que celui de l'avion. Ainsi, les traitements réalisés en août ont nécessité 7 rechargements pour des épandages s'étendant sur une période de six heures pour couvrir l'ensemble du domaine. Notons qu'aucun dérangement n'a été noté pour les espèces de laro-limicoles nichant sur l'îlot de la Baisse Claire grâce à l'évitement de la zone par les pilotes. Un total de 200 Goélands railleurs, 130 Sternes pierregarin, 45 Avocettes élégantes et 6 Sternes naines étaient présents sur l'îlot, tant avant qu'après les épandages aériens.

Tableau 10. Changements à court terme dans les effectifs d'oiseaux suite aux passages de l'avion (données 2006-2014) ou de l'hélicoptère (données 2014).

Espèce	Différence du nombre d'individus avant et après traitement			
	Avion		Hélicoptère	
	0 h après	1 h après	0 h après	1 h après
Aigrette garzette	0	-1	-3	1
Avocette élégante	-12	-14	0	-4
Balbusard pêcheur	1	0		
Barge à queue noire	9	8		
Barge rousse	2	0		
Bécasseau cocorli	-11	-45	0	1
Bécasseau maubèche	0	-3		
Bécasseau minute	10	16		
Bécasseau variable	13	23	-1	-1
Bécassine des marais	7	9		
Busard des roseaux	-2	0		
Canard chipeau	-8	-9	-10	-6
Canard colvert	-37	-45	-68	-94
Canard pilet	0	-1		
Canard siffleur	-31	-30		
Canard souchet	-14	-11		
Chevalier aboyeur	1	-3	0	4

Tableau 10 (suite).

Espèce	Différence du nombre d'individus avant et après traitement			
	Avion		Hélicoptère	
	0 h après	1 h après	0 h après	1 h après
Chevalier arlequin	7	9		
Chevalier bargette	2	-2		
Chevalier cul-blanc	-5	-1		
Chevalier gambette	-10	-6	13	15
Chevalier guignette	2	3	0	-1
Chevalier stagnatile	-3	-3		
Chevalier sylvain	21	19		
Cigogne noire	1	-1		
Combattant varié	2	-1		
Corneille noire	19	20		
Courlis cendré	-3	-2	-2	-2
Cygne noir	5	4		
Cygne tuberculé	-5	-4	-6	-3
Echasse blanche	-2	-3	-3	-2
Flamant rose	-53	-53	-43	-43
Foulque macroule	-5	-3		
Galinulle poule d'eau	0	-1		
Goéland leucopnée	-10	-9	-1	0
Goéland railleur	1	1		
Grand cormoran	0	-1	-1	-1
Grand Gravelot	8	26		
Grande aigrette	1	-1	-1	-4
Gravelot à collier interrompu	-3	-3		
Grèbe à cou noir	-1	-4		
Grèbe castagneux	0	-2		
Grèbe huppé	-2	-1	2	1
Guifette noire	3	2	-9	-9
Héron cendré	-1	-1	-1	-5
Héron garde-boeuf	1	-2		
Héron pourpré	-8	-7		
Huîtrier pie	-4	-9	-2	-2
Loriot d'Europe	1	-2		
Martin-pêcheur d'Europe			-1	-1
Mouette rieuse	-10	-6	30	8
Nette rousse	-3	-1		
Oie cendrée	-8	-7		
Petit Gravelot	5	6		
Pluvier argenté	-16	-14		
Râle d'eau	-8	-7	0	-1
Rollier d'Europe	0	-2		
Sarcelle d'été	-4	-5		
Sarcelle d'hiver	-38	-9		
Spatule blanche			-1	-1
Sterne caspienne	0	2	1	0
Sterne caugek	-3	1		
Sterne hansel	0	7		
Sterne naine	-1	-1	0	-8
Sterne pierregarin	-1	-2	-4	-7
Tadorne de belon	-3	-4		
Tadorne de Casarca	-5	1		
Vanneau huppé	10	11		

## Etat de l'art

**Le Domaine de la Palissade accueille des remises de plusieurs milliers d'oiseaux d'eau particulièrement sensibles aux dérangements** (Klein *et al.* 1995). Les comptages réalisés mensuellement depuis août 1992 révèlent des effectifs pouvant atteindre jusqu'à 2000 individus estivants et 7500 hivernants. La comparaison des données issues du domaine de la Palissade, de la Tour du Valat et de la Réserve Nationale de Camargue sur la période 2000-2012 a démontré une **baisse significative des effectifs mensuels moyens de 3347 (2000-2006) à 2390 (2006-2012) individus sur la Palissade. Cette diminution de 29%, associée à la démoustication, concerne tout particulièrement 7 espèces parmi les plus communes sur le site.**

L'objectif de ce suivi en 2014 est d'intégrer les données 2013 aux analyses précédemment réalisées et d'identifier les causes potentielles du déclin des différentes espèces en raffinant le pas de temps (mensuel) de certaines variables descriptives (nombre de traitements aériens, perturbations trophiques en fonction du régime alimentaire, variations de niveaux d'eau et de salinité). Cette deuxième partie des analyses sera réalisée pour le rapport final.

## Méthodologie

Les données sont issues de **comptages d'oiseaux d'eau réalisés par observation à partir du sol** systématiquement autour du 15 de chaque mois de l'année selon un protocole standardisé identique sur l'ensemble de la période. Les sites et périodes correspondants à ces critères sont le **Domaine de la Palissade (2000-2013), la Tour du Valat (2000-2013) et la Réserve Nationale de Camargue (données SNPN 2000-2013)**. Seules les espèces présentes à la Palissade et au moins sur l'un des deux autres sites ont été retenues pour analyse ( $n = 50$ ).

Afin de rendre les effectifs des espèces comparables entre les sites pour la réalisation des tests statistiques (l'objectif étant de comparer les tendances et non d'évaluer si une espèce est plus abondante à l'un des sites), les effectifs mensuels de chaque espèce sur les deux sites témoins ont été divisés par la moyenne globale de leurs effectifs à leur site, puis multipliés par les effectifs moyens obtenus à la Palissade pour la période hors traitement (janvier 2000 à juillet 2006). Ces données 'calibrées' ont été soumises pour chaque espèce à une analyse de variance à facteurs imbriqués afin de distinguer l'effet des traitements des effets année, mois et site. En d'autres termes, cette analyse permet de définir une tendance générale des effectifs en Camargue hors démoustication qui est ensuite confrontée aux tendances observées en présence de démoustication. Seul l'effet traitement est illustré ici. Une correction Bonferroni a été appliquée aux valeurs de probabilités afin de tenir compte de la multitude des tests.

## Résultats

Le résultat des analyses intégrant les données 2013 est détaillé au tableau 11 et à la figure 29. Parmi les 50 espèces analysées, 12 sont en déclin et 10 en augmentation de façon significative sur le domaine de la Palissade par rapport aux tendances observées en Camargue. Les flèches indiquées en rouge au tableau font référence aux espèces pour lesquelles les tendances, significatives après correction Bonferroni, sont a priori attribuables à la démoustication. Elles concernent **8 espèces en déclin, contribuant à**

**une baisse 31,9% % des effectifs globaux, et 5 espèces en augmentation, correspondant à une augmentation de 4,8% des effectifs globaux.**

Les deux espèces pour lesquelles le déclin n'est pas attribué à la démoustication sont le goéland leucophée (fermeture de la décharge d'Entressen) et le héron cendré (appauvrissement de la colonie de hérons arboricoles sur le site). L'espèce dont l'augmentation n'est pas attribuée à la démoustication est le cygne tuberculé, celle-ci étant plutôt associée à l'apparition d'un site d'hivernage à proximité de la Palissade ces dernières années.

Le groupe le plus affecté par la démoustication est celui comprenant les **anatidés, les foulques et les grèbes** qui est globalement le plus important sur le site avec 16 espèces et 83% des observations avant le début des opérations de démoustication. **Six des huit espèces en déclin** appartiennent à ce groupe, les deux premières espèces étant également les plus abondantes sur le site: la **foulque macroule (-69%)**, le **canard colvert (-30%)**, le **canard chipeau (-46%)** et le **Tadorne de Belon (-52%)**, auxquels s'ajoutent le **grèbe huppé (-70%)** et le **grèbe castagneux (-93%)** qui atteignent des effectifs près de 0 ces dernières années. Une seule espèce parmi ce groupe, le canard souchet (**+90%**), montre une augmentation significative à priori attribuable à la démoustication.

Tableau 11. Effectifs mensuels moyens des oiseaux d'eau en ordre décroissant d'abondance avant (2000-2006) et après (2007-2013) la mise en oeuvre de la démoustication avec les résultats de l'effet traitement selon l'ANOVA à facteurs imbriqués. Les valeurs de *P* corrigées correspondent à \* *P* = 0.05, \*\* *P* = 0.01 et \*\*\* *P* = 0.001.

Espèce	Abondance moyenne avant	Abondance moyenne après	tendance	<i>P</i>	<i>P</i> corrigé	Taux différence
Foulque macroule	992,35	311,02	↘	0,000000	***	-69
Canard colvert	731,47	509,88	↘	0,000001	***	-30
Sarcelle d'hiver	329,84	331,31		0,966870		
Canard siffleur	232,21	277,95		0,369249		
Canard chipeau	199,99	106,95	↘	0,000236	*	-46
Flamant rose	163,21	172,15		0,487346		
Mouette rieuse	104,12	156,68	↗	0,000289	*	+50
Canard souchet	83,22	157,76	↗	0,000000	***	+90
Cygne tuberculé	71,78	108,71	↗	0,000321	*	+51
Goéland leucophée	57,51	28,97	↘	0,000110	**	-49
Aigrette garzette	46,73	31,14	↘	0,015618		-33
Chevalier gambette	40,81	55,63		0,308510		
Grèbe huppé	28,19	8,56	↘	0,000000	***	-70
Bécasseau variable	27	35,46		0,367189		
Héron cendré	25,87	13,50	↘	0,000025	**	-47
Grand cormoran	23,66	16,46		0,070342		
Tadorne de Belon	23,47	11,08	↘	0,000032	**	-52
Echasse blanche	17,56	18		0,905398		
Sterne caugek	10,65	17,55		0,107218		
Oie cendrée	11,05	8,94		0,182638		

Tableau 11 (suite).

Espèce	Abondance moyenne				<i>p</i> corrige	Taux différence
	avant	après				
Canard pilet	10,45	4,21			0,080700	
Fuligule milouin	8,88	0,37	↘	0,019475		-95
Avocette élégante	8,28	46,31	↗	0,000000	***	+459
Sterne pierregarin	8,18	15,38		0,024233		+88
Bécassine des marais	6,27	1,19	↘	0,000482	*	-81
Gravelot à collier interrompu	5,93	3,80		0,315680		
Grèbe à cou noir	5,48	1,80	↘	0,001197		-67
Grand Gravelot	5,01	3,69		0,569796		
Bécasseau minute	4,97	2,60		0,232717		
Grande aigrette	4,13	5,68	↗	0,035644		+38
Pluvier argenté	4,64	16,42	↗	0,000000	***	+254
Guifette noire	3,82	8,40		0,066940		
Sterne naine	3,61	5,64		0,127587		
Bécasseau cocorli	3,42	4,50		0,704296		
Sarcelle d'été	2,59	1,05		0,181597		
Huîtrier pie	2,38	0,31	↘	0,000002	***	-87
Grèbe castagneux	2,01	0,14	↘	0,000006	***	-93
Nette rousse	1,16	1,05		0,844807		
Chevalier aboyeur	1,00	2,14	↗	0,006489		+114
Chevalier arlequin	0,95	1,03		0,839412		
Bécasseau sanderling	0,91	0,30		0,484480		
Bihoreau gris	0,85	0,39	↘	0,044049		-54
Barge à queue noire	0,82	0,26		0,397714		
Goéland railleur	0,67	5,02		0,021051		
Petit Gravelot	0,57	1,31		0,138136		
Chevalier guignette	0,53	0,69		0,461961		
Sterne caspienne	0,52	0,68		0,506550		
Courlis cendré	0,31	2,67	↗	0,000000	***	+761
Héron pourpré	0,27	0,04		0,972656		
Héron garde-boeufs	0,25	0,30	↗	0,022803		+20
Total	3251,646	2517,536	↘	0,000182	**	-23

Le second groupe affecté par la démoustication est celui des **laro-limicoles** qui est le plus diversifié sur le site avec 26 espèces représentant 9,8 % des effectifs globaux. Parmi ces espèces, quatre sont en augmentation significative et deux espèces sont en déclin. Les **quatre espèces en augmentation** sont la **mouette rieuse (+50%)**, l'**avocette élégante (+459%)**, le **pluvier argenté (+254%)** et le **courlis cendré (+761)**. Les

**espèces en déclin sont l'huîtrier pie (-87%) et la bécassine des marais (-81%), dont le déclin devient significatif avec l'ajout des données 2013.** Le courlis cendré et l'huîtrier pie sont cependant très peu abondants, ayant des effectifs mensuels moyens inférieurs à trois individus.

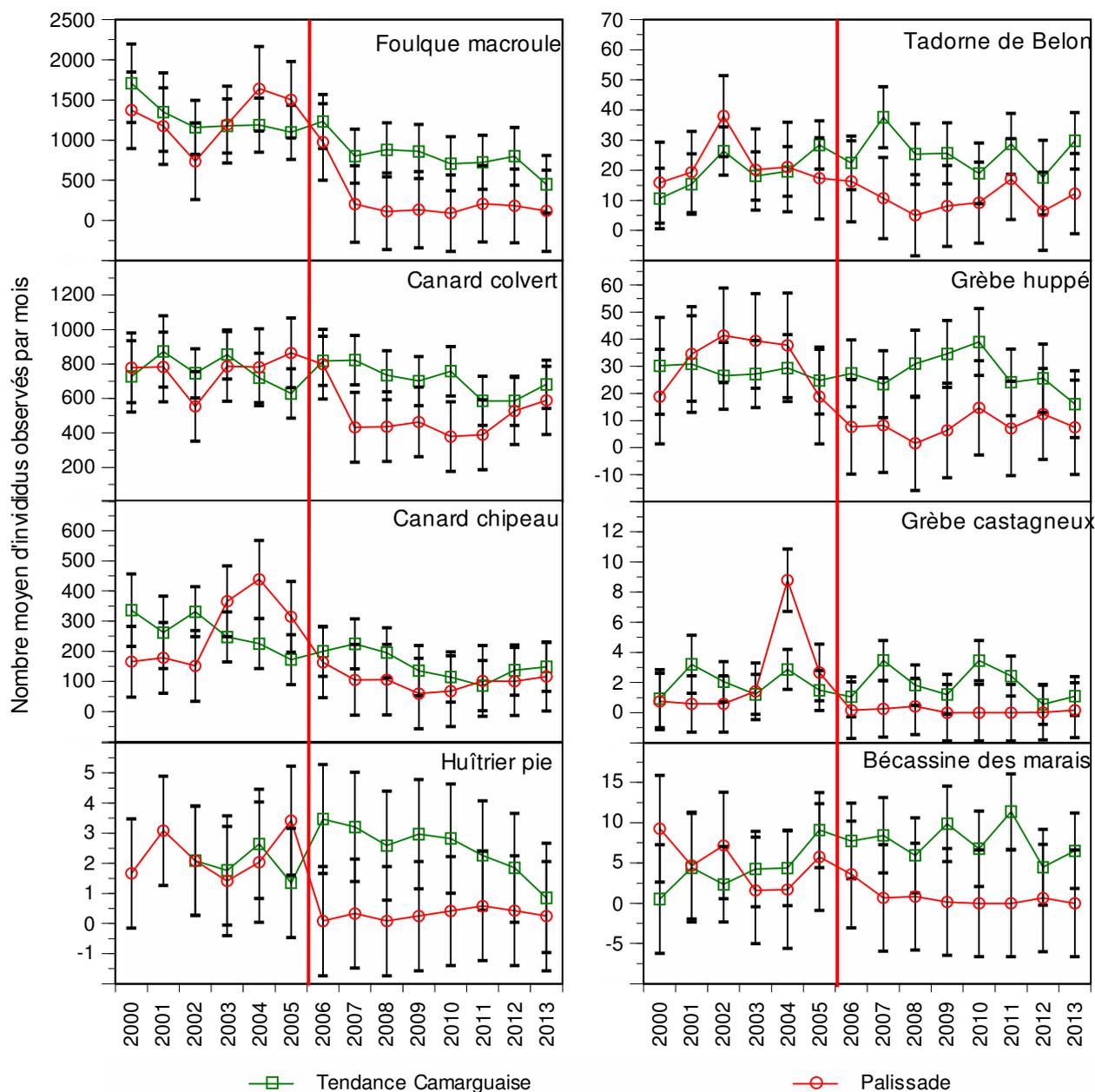


Fig. 29. Tendances des effectifs mensuels moyens des espèces en déclin depuis le début des opérations de déoustication (trait vertical rouge) à la Palissade par rapport aux tendances observées en Camargue (données Tour du Valat et SNPN).

Globalement, **les effectifs moyens mensuels des 50 espèces** intégrées à l'analyse **passent de 3252 (2000-2006) à 2517 (2006-2013) individus**, soit une **baisse très hautement significative de 23% correspondant à l'effet traitement** selon l'analyse de variance à facteurs imbriqués.

## Enquête sociologique

Un mini-questionnaire (2 feuilles recto-verso) en version française et anglaise, reprenant plusieurs items de la grille développée par Cécilia Claeys dans le cadre du suivi sociologique, avait été mis à disposition des visiteurs du domaine de la Palissade à partir de 2012. Douze questionnaires additionnels ont pu être remplis cette année. Un bilan des 83 questionnaires répondus à ce jour révèle que:

- 93% des visiteurs font entre autres du tourisme nature ;
- 49% ont été gênés pendant leur visite en Camargue et 25% pendant leur visite sur le domaine (si on considère les niveaux de gênes 3 et 4). En considérant les niveaux de gênes 2,3 et 4, on obtient que 86 % des visiteurs ont été gênés pendant leur visite en Camargue et 60% pendant leur visite sur le domaine de la Palissade ;
- 43 % pensent que le moustique est nuisible contre 42% non nuisible ;
- 60% pensent que le moustique est utile contre 22% inutile ;
- 23% étaient au courant de la démoustication expérimentale et 76% ne l'étaient pas.
- 43% sont favorables à la démoustication (en considérant niveau 2,3,4) avec 7% d'abstention ;
- 35% sont favorable à son élargissement, 34% sont contre et 31% s'abstiennent ;
- 54% ne savent pas quel type de produit est utilisé, 28% pensent qu'il est biologique ;
- 58% pensent que la démoustication est nocive (34% pour l'homme et 25% pour la nature), tandis que 29% s'abstiennent ;
- 59% sont favorables à un arrêt de la démoustication dans les espaces naturels à cause de son impact sur l'environnement, 29% s'abstiennent ;
- 26% des personnes favorables à l'arrêt de la démoustication infèrent son coût élevé, alors qu'une proportion égale de répondants est défavorable à l'arrêt de la démoustication ;
- 87% des personnes interrogées ne savaient pas qu'elles se trouvaient dans un site traité ;
- 34% sont favorables au maintien de la démoustication sur le site, 14% sont défavorables, alors que 33 % ne savent pas et 19 % s'abstiennent.

Par rapport à l'analyse des 48 questionnaires en 2012, davantage de répondants sont favorables à un arrêt de la démoustication des espaces naturels (59% par rapport à 45% en 2012).

L'analyse de 65 questionnaires fin 2013 (dont 9 issus de l'hôtel Longo Mai du Sambuc) avait révélé que les étrangers favorables à la démoustication sont particulièrement sensibles aux piqûres de moustiques et considèrent ce dernier inutile, alors que ceux défavorables à la démoustication considèrent que le moustique est utile. Chez les répondants de nationalité française, le principal facteur expliquant une position défavorable à la démoustication était son coût élevé, alors que les interrogés favorables à la démoustication considéraient le moustique nuisible.

Des analyses par arbre de classification ont été à nouveau réalisées pour la question 'Êtes-vous favorable à la démoustication' à laquelle 77 répondants se sont prononcés (Fig. 30). Une distinction entre visiteurs Français et étrangers a été imposée dans la construction de l'arbre. Ainsi, les étrangers sont globalement plutôt défavorables à la démoustication, et ce, particulièrement lorsqu'ils pratiquent le tourisme balnéaire ou qu'ils sont peu sensibles aux moustiques. Chez les visiteurs de nationalité française, une position favorable à la démoustication caractérise tout particulièrement ceux qui considèrent le moustique nuisible, alors que les répondants très défavorables à la démoustication se distinguent par des séjours longs (> 10 jours) en Camargue. Cet arbre permet d'expliquer 72% de la variance et est très hautement significatif ( $F_{(2, 74)} = 28.43, P < 0.00001$ ). Ce type d'analyse n'étant pas réalisé dans le cadre du suivi sociologique, il n'est pas possible de comparer ces résultats à ceux obtenus plus largement et auprès d'un plus grand nombre de répondants en Camargue.

## Etes-vous favorable à la démoustication ?

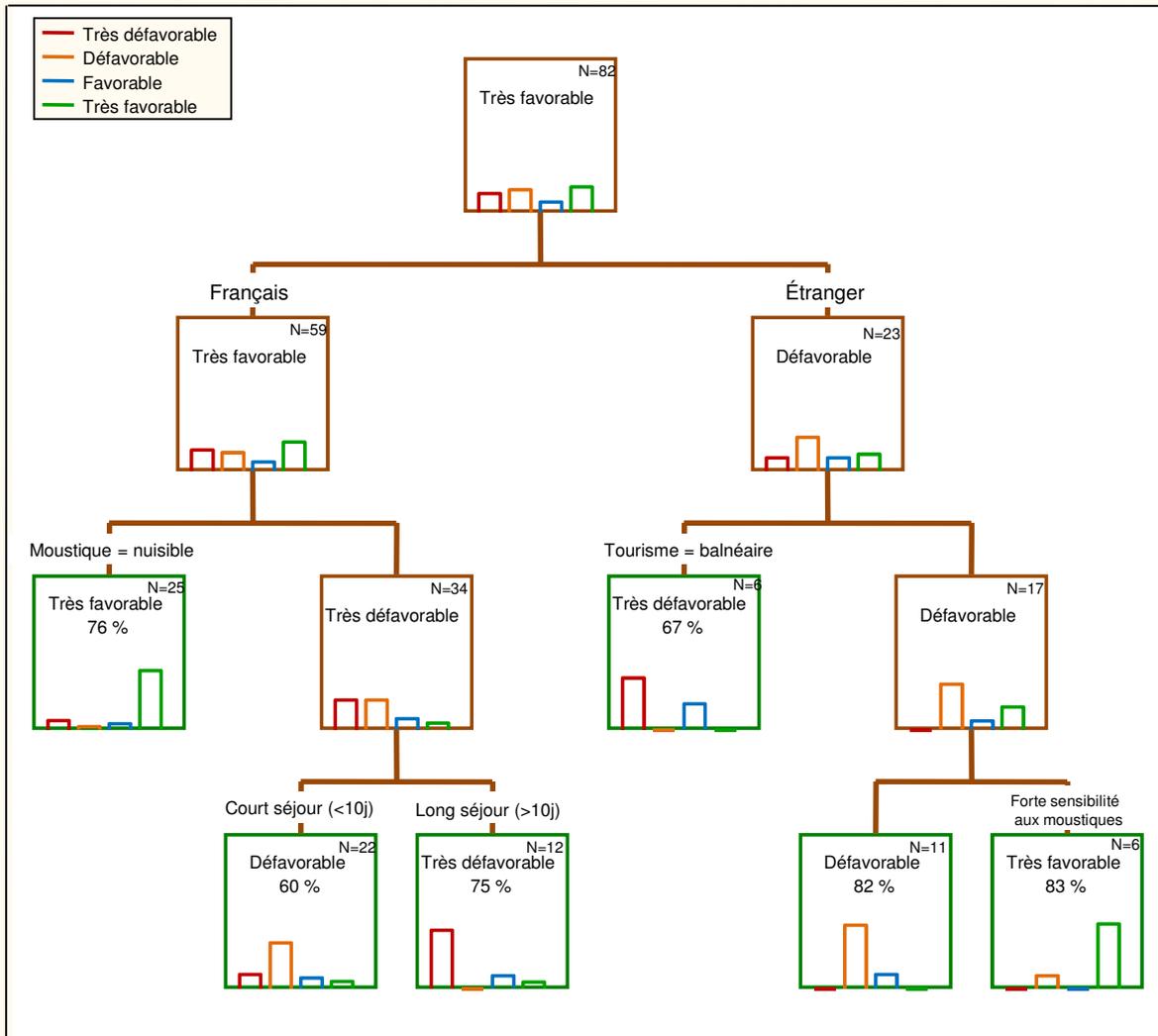


Fig. 30. Profil des 77 répondants s'étant prononcés à différents degrés en faveur ou non de la démoustication en Camargue selon qu'ils sont Français ou étrangers, tel que déterminé par arbre de classification.

## Discussion

**D'août 2006 à novembre 2014, l'EID-Méditerranée a eu recours à 111 traitements aériens et 624 tournées de prospections/traitements terrestres** pour contrôler les populations de moustiques sur le Domaine de la Palissade. L'année 2014 a été caractérisée par peu d'interventions de l'EID (traitements et prospections) et par la réalisation des premiers traitements par hélicoptère. Il s'avère que l'hélicoptère n'est approprié que lorsque les superficies à traiter sont relativement réduites. Le faible échantillon (2 traitements) ne permet pas de conclure sur l'intensité des impacts selon que les traitements sont réalisés par avion ou hélicoptère. Il apparaît cependant que le flamant rose, espèce particulièrement sensible au passage de l'avion (Tétrel *et al.* 2014),

l'est tout autant avec le passage de l'hélicoptère. Ainsi, l'épandage par avion résulte en la désertion de 95% des individus présents, contre 100% cette année avec l'hélicoptère. Par ailleurs, les impacts observés sur la colonie nicheuse de laro-limicoles demeurent faibles encore en 2014, grâce à la prise en considération de cette zone sensible par l'EID, notamment lors des phases critiques de la nidification.

**Les tendances observées à moyen terme sur le Domaine de la Palissade dans l'abondance des oiseaux d'eau suggèrent un impact de la démoustication sur 8 espèces qui présentent un déclin significatif, non observé sur les autres sites en Camargue. Aux sept espèces identifiées l'an dernier, s'ajoute la bécassine des marais.** Il est intéressant de noter que contrairement aux espèces de laro-limicoles qui sont en augmentation et dépendent pour la plupart des zones de vasière pour leur alimentation, la bécassine s'alimente dans les zones enherbées (bordures de marais, prés salés) typiquement ciblés par les opérations de démoustication. Les analyses sur les données mensuelles issues du comptage des oiseaux d'eau s'appuient sur 6,5 années avant et 7,5 années après le début des traitements au *Bti*. Pour les deux espèces les plus abondantes sur le site, la foulque macroule et le canard colvert, une inversion des tendances est observée dès le début de la démoustication. Ces observations sont en accord avec la baisse significative de la reproduction des Anatidés observée sur le site pendant les cinq premières années de la démoustication expérimentale (Tetrel & al. 2011). Selon les analyses réalisées en 2013, **ce déclin, vraisemblablement imputable à la démoustication, peut être principalement attribué au dérangement (canard colvert et chipeau), à une baisse du niveau d'eau (grèbes), à une réduction des ressources alimentaires (foulque, huïtrier et potentiellement grèbes) ou à une combinaison des trois facteurs (tadorne).**

Ainsi, l'interprétation des tendances d'oiseaux d'eau à long terme sur le site permet d'aborder les multiples effets de la démoustication. Si la démoustication ne constitue pas le seul facteur de dérangement du site, ceux associés à la fréquentation touristique et à la gestion du site sont canalisés dans le temps et l'espace de façon à en minimiser les impacts sur la faune et notamment les oiseaux d'eau. Ainsi, les touristes à pied et à cheval se promènent seulement sur des chemins prédéfinis et pendant des heures données (9h00-17h00) ce qui permet de préserver une plage de quiétude pour la faune, notamment en début et fin de journée, périodes particulièrement importantes pour l'alimentation. **A l'inverse, les activités de démoustication et de surveillance des moustiques se font au plus près des plans d'eau et en général aux premières heures du lever du jour, en dehors des heures d'ouverture, qui constituent un pic d'activité pour les oiseaux.**

Au-delà des dérangements causés par les épandages de *Bti* et la prospection des milieux par les techniciens de l'EID, les opérations de démoustication interfèrent également avec la gestion hydrologique des milieux : moins de mouvements d'eau pour produire moins de moustique. Cette modification de la gestion induit aussi moins de production biologique et participe probablement à la fermeture des milieux. Sans être inadéquate, **cette gestion s'éloigne des conditions naturelles du Domaine de la Palissade ciblées par le Plan de Gestion.** En effet étant, situé à l'embouchure du Grand Rhône et dernier territoire non endigué de Camargue, ce sont les constants mouvements d'eau et crues qui ont modelé cette mosaïque de paysages et ses particularités.

## Perspectives

Si la démoustication est poursuivie en 2015, les suivis des traitements aériens et du dérangement des colonies d'oiseaux nicheurs seront maintenus, au même titre que toute autre activité s'exerçant sur le site et intégrée aux actions de gestion. Le questionnaire sera à nouveau mis à disposition des visiteurs afin d'augmenter l'échantillon pour en

renforcer les analyses. Si les traitements par hélicoptère sont maintenus, il serait pertinent d'en évaluer à nouveau les effets à court terme afin d'obtenir une banque de données statistiquement exploitable pour comparaison avec les effets des traitements par avion.

La valorisation des données de suivis à long-terme sur les oiseaux réalisés selon des protocoles identiques au domaine de la Palissade et sur d'autres réserves naturelles en Camargue a procuré des résultats suggérant un impact fort de la démoustication sur certaines espèces parmi les plus abondantes. Ces analyses pourront être maintenues en respectant le rythme d'acquisition des données, annuel pour les oiseaux d'eau et quinquennal pour les passereaux, que la démoustication au *Bti* soit ou non maintenue.

Le Domaine Public Maritime au droit de la Palissade devrait être prochainement affecté au Conservatoire du Littoral. Sachant que ce secteur est davantage traité que le domaine actuellement, de nouveaux suivis pourraient y être mise en œuvre, permettant de renforcer certains suivis par l'ajout de sites traités.

## Références

- Klein ML, Humphrey SR & Percival HF. 1995. Effects of Ecotourism on Distribution of Waterbirds in a Wildlife Refuge. *Conservation Biology* 9:1454-1465.
- Poulin B, Albalat F, Claeys C, Després L, Jakob C & Tétré C. 2013. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2012 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue, 108 pp.
- Tétré C, Dal Pos N, Bonnet X, Vialet E, Grapin V, Cheiron A, Ansel O & Lafage D. 2011. Bilan des 5 années de suivis sur le dérangement mis en place sur le Domaine de la Palissade en parallèle des opérations de démoustication. Rapport final 2011.
- Tétré C, Lefebvre G, Poulin B. 2014. Volet VI - Suivis sur le domaine de la Palissade. Pp. 50-68, *In* Poulin (ed), Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport Tour du Valat présenté au PNRC, 156 pp.

## VOLET VIII

### Test de méthodes alternatives au Bti : les pièges à moustiques

**Brigitte Poulin, Céline Hanzen, Samuel Hilaire  
& Gaëtan Lefebvre**  
Tour du Valat



## 8. Test de méthodes alternatives au Bti: les pièges moustiques

### Etat de l'art

L'actuelle démoustication au *Bti* concerne près de 8 000 hectares de milieux naturels afin de réduire la nuisance pour les 10 000 habitants de Salin-de-Giraud et Port Saint-Louis du Rhône. Considérant l'impact du *Bti* sur la faune non-cible, le coût élevé des opérations de démoustication (surveillance et traitements), le nombre limité d'espèces nuisantes ciblées par les traitements (*Aedes caspius* et *Aedes detritus*) et le contexte territorial (petites zones habitées entourées de milliers d'hectares de milieux naturels traités), une alternative attrayante au *Bti* pourrait consister en l'installation d'un réseau de pièges autour des zones habitées. Ce dispositif offrirait de multiples avantages : coût moindre, peu d'impact sur les milieux naturels, aucun impact sur les chironomes et contrôle de tous les insectes volants hématophages nuisant, incluant les arabis et le moustique tigre qui pose un problème croissant de risque sanitaire. Ces pièges, typiquement utilisés dans le cadre de réseaux de surveillance, peuvent également être valorisés comme méthode de contrôle de la nuisance (Crépeau *et al.* 2013, Drago *et al.* 2012, Farajollahi *et al.* 2009, Geier *et al.* 2011).

Les pièges Mosquito Magnet (<http://www.mosquitomagnet.com>) ont été utilisés depuis deux ans afin d'évaluer leurs effets sur les colonies d'hirondelles et la perception de leur efficacité par les usagers dans le cadre du suivi sociologique (Poulin *et al.* 2013, Poulin 2014). Ces études ont révélé l'absence d'impact des pièges sur le régime alimentaire des poussins d'hirondelle et un sentiment de gêne moins élevé par les touristes fréquentant les hôtels équipés de pièges. Cette année, il est proposé de quantifier et de comparer l'efficacité de deux modèles de pièges fonctionnant au CO<sub>2</sub> et disponibles sur le marché : les pièges Mosquito Magnet (modèle Patriot) et les pièges BG-Sentinel fabriqués par Biogents (<http://www.bg-sentinel.com>). Divers tests de calibrage ont également été réalisés avec le prototype BAM (Borne anti-moustiques), piège développé localement par des ingénieurs et à destination des collectivités. Ces derniers tests ont été faits avec un piège Mosquito Magnet comme mesure d'étalonnage de la nuisance, permettant également une comparaison de son efficacité par rapport aux autres pièges disponibles sur le marché.

Les expérimentations menées visent également à tester divers débits de CO<sub>2</sub>, ce dernier facteur étant susceptible d'influencer l'attractivité des pièges envers les moustiques. Ce débit ne peut être modifié pour le Mosquito Magnet qui fonctionne avec une bouteille de propane produisant du CO<sub>2</sub> à raison de 350 à 500 ml/min selon les informations fournies par le constructeur. A titre informatif, le taux d'expiration de CO<sub>2</sub> par un humain au repos est de 240 ml/min (Cooperband & Cardé 2006). Les pièges Biogents et le prototype BAM sont branchés directement sur une bouteille de CO<sub>2</sub> dont le débit peut être ajusté. Ainsi, l'usage des pièges Biogents sans CO<sub>2</sub> n'est recommandé que lorsque la nuisance est causée exclusivement par le moustique tigre.

### Site d'étude

Le domaine de la Tour du Valat a été retenu comme site d'étude étant donné sa densité élevée de moustiques et l'intérêt d'avoir les pièges à proximité pour en faciliter la gestion.

### Méthodologie

Quatre expérimentations ont été conduites afin de comparer l'efficacité des pièges en fonction des modèles et du débit de CO<sub>2</sub>, sur la base du nombre d'insectes capturés mais également en termes de nuisance résiduelle grâce à la réalisation répétée du test du mollet. Ce test standardisé, utilisé par l'Entente Interdépartementale de la Démoustication pour évaluer l'efficacité de leurs traitements, consiste à compter tous les

moustiques qui se posent sur le mollet exposé pendant 15 minutes à heure fixe (généralement crépuscule). Les insectes capturés dans les pièges et aspirés sur le mollet ont été conservés pour comptage et détermination spécifique (en cours) afin d'évaluer si la performance des différents modèles de pièges variait selon les espèces de moustiques ou autres nuisant (ex: arabis).

#### Expérimentation I : Comparaison de l'efficacité des pièges Biogents et Mosquito Magnet

Cette expérimentation vise à comparer l'efficacité de deux pièges Biogents BG-Sentinel (version scientifique du Mousquetaire) et un piège Mosquito Magnet (modèle Patriot) à deux emplacements sur la Tour du Valat (Fig. 30). Sur chaque emplacement, trois pièges étaient disposés en triangle et distants de 50-100 m avec une rotation des pièges tous les lundi, mercredi et vendredi. La rotation des pièges tous les 48h avait pour objectif de réduire les biais associés à la densité potentiellement variable des moustiques dans le temps et l'espace. Cette expérimentation a été réalisée du 10 mai au 4 juin, puis à nouveau du 20 août au 3 septembre. Les deux pièges Biogents utilisés simultanément étaient calibrés avec des débits de CO<sub>2</sub> différents: 75 et 150 ml/min pour la première période de 3 semaines et 100 et 200 ml/min pour la seconde période. Les insectes capturés ont été relevés tous les jours, comptés et conservés dans l'alcool pour identification ultérieure (rapport final).

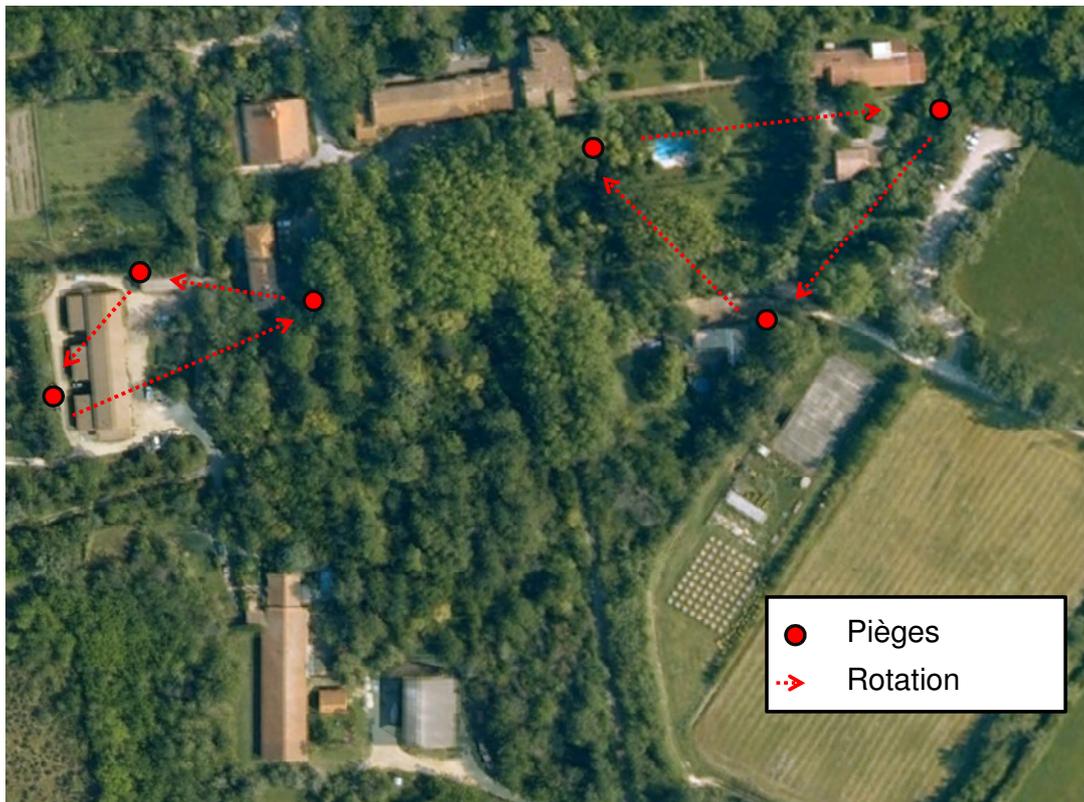
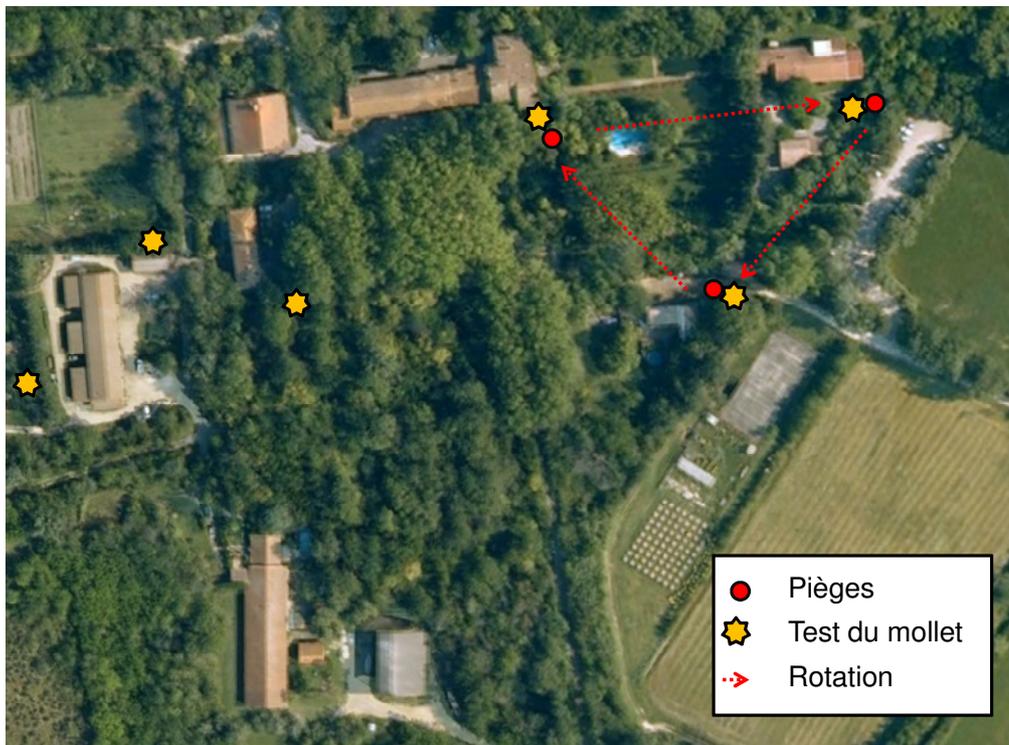


Fig. 30. Disposition des pièges (Biogents, Mosquito Magnet) utilisés en rotation pour la première expérimentation au domaine de la Tour du Valat en 2014.

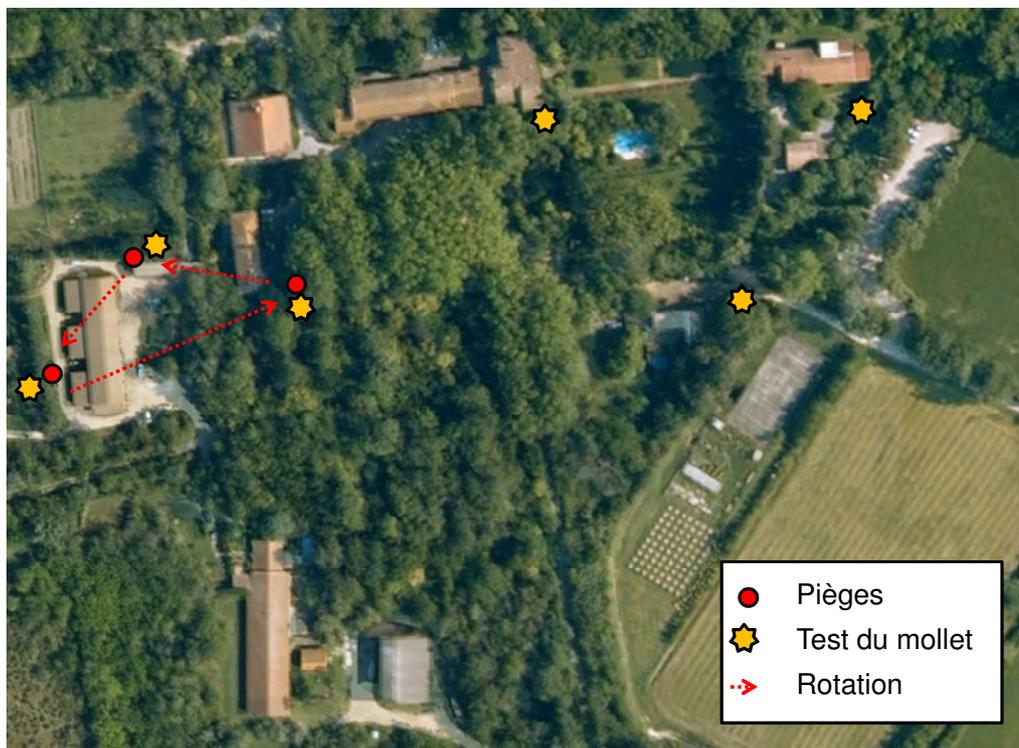
#### Expérimentation II : Estimation de l'efficacité des pièges par rapport à la nuisance résiduelle

Pour cette seconde expérimentation, seul un ensemble de trois pièges (2 Biogents+ 1 Mosquito Magnet) est maintenu en opération pendant trois semaines à deux reprises (Figs. 31-32). La nuisance est ensuite évaluée par le test du mollet deux fois par semaine

sur les emplacements des six pièges (dont trois en opération). Cette expérimentation a été réalisée du 7 juin au 22 juin (Fig. 31) et du 28 juillet au 19 août (Fig. 32). Les insectes capturés ont été relevés tous les jours, comptés et conservés dans l'alcool pour identification ultérieure (rapport final).



*Fig. 31. Disposition des pièges Biogents et Mosquito Magnet utilisés en rotation pour la première phase de la 2eme expérimentation au domaine de la Tour du Valat en 2014.*



*Fig. 32. Disposition des pièges Biogents et Mosquito Magnet utilisés en rotation pour la seconde phase de la deuxième expérimentation au domaine de la Tour du Valat en 2014.*

### Expérimentation III : Calibrage du prototype de piège BAMS

Sur un troisième emplacement à la Tour du Valat (Fig. 32), l'efficacité du prototype BAM a été testée entre le 16 mai et le 20 juin et comparée à celle d'un piège Mosquito Magnet situé à 20-30 m du prototype BAM. Divers taux d'émission de CO<sub>2</sub> ont été testés avec le Prototype BAMS, mais le nombre d'échantillons s'est avéré insuffisant pour des tests statistiques. Les insectes capturés (pièges BAMS & Mosquito Magnet) ont été comptés et sont en cours de détermination.



*Fig. 33. Disposition des pièges BAM et Mosquito Magnet pour la troisième expérimentation au domaine de la Tour du Valat en 2014.*

### Expérimentation IV :

Une dernière expérimentation a été réalisée avec un exemplaire de chacun des trois types de pièges sans rotation, partant du principe que la nuisance associée à chacun des emplacements pouvait être quantifiée grâce aux deux premières expérimentations (Fig. 34). Un piège mosquito magnet, un piège Biogents (débit CO<sub>2</sub> = 200 ml/min) et le prototype BAM (débit de CO<sub>2</sub> de 200-500 ml/min) ont été mis en opération du 8 septembre au 22 octobre. Les insectes capturés ont été collectés tous les jours et le test du mollet réalisé trois fois par semaine aux six emplacements d'origine (Fig. 34). Comme pour l'expérimentation II, la réalisation du test du mollet aux emplacements sans pièges permet d'évaluer le taux de réduction de la nuisance par les pièges, et non seulement la nuisance résiduelle, estimée par le test du mollet réalisé à proximité des pièges en opération.

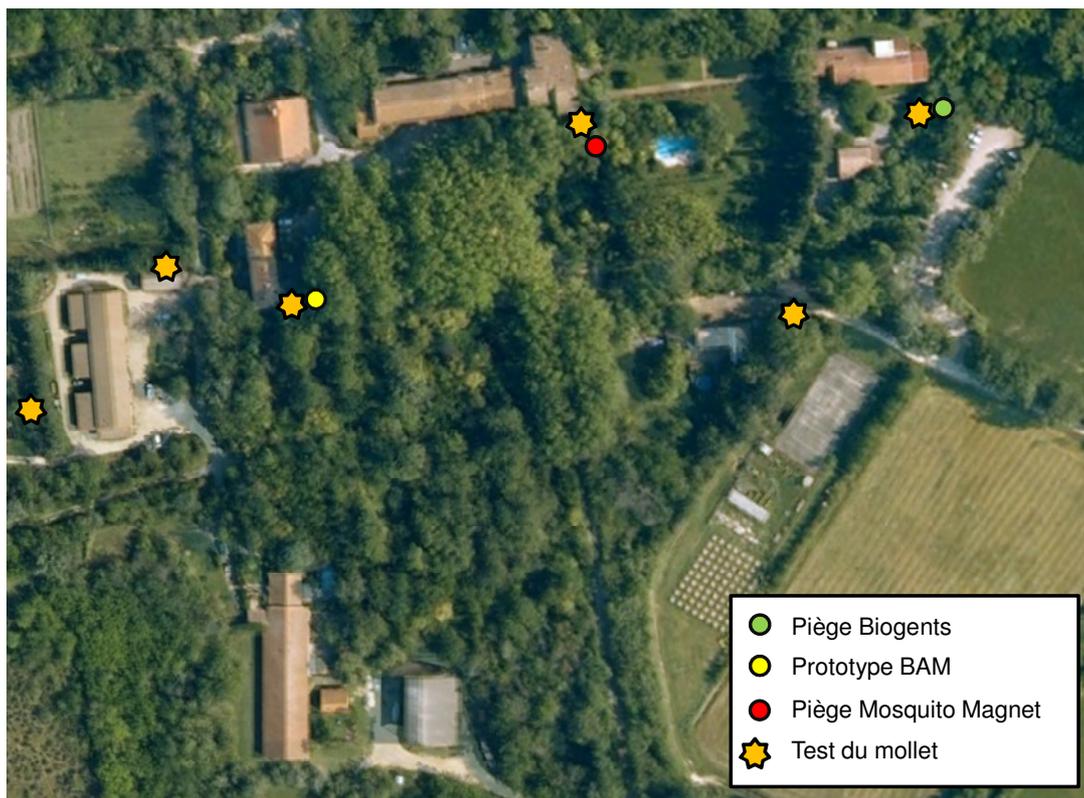


Fig. 34. Emplacement des pièges (Biogents, Mosquito Magnet et BAM) et des tests du mollets lors de la quatrième expérimentation au domaine de la Tour du Valat en 2014.

## Résultats

### Efficacité des pièges envers les moustiques

Le nombre de moustiques capturés dans les pièges fut très variable selon les modèles et la période, atteignant des valeurs maximales de 3584 moustiques par jour pour le piège Biogent, 2080 pour le Mosquito Magnet et 912 pour le prototype BAM. Le prototype BAM se distingue des deux autres pièges par son efficacité pour capturer les arabis avec un nombre record de 10 192 captures en une journée. Globalement, les différents emplacements ont procuré des taux de captures de moustiques non statistiquement différents ( $F_{(7, 381)} = 66.0, p < 0.09$ ).

De façon générale, et indépendamment du débit de CO<sub>2</sub> testé, une analyse de variance à facteurs imbriqués (dates de relevés et position des pièges), révèle un nombre moyen de moustiques capturés par jour de 362 pour le piège Biogents, ce qui est significativement supérieur ( $F_{(2, 141)} = 3.81, p = 0.02$ ) aux valeurs obtenues pour le Mosquito Magnet (193) et le prototype BAM (187), respectivement. Lorsque les débits de CO<sub>2</sub> sont pris en compte, les différences entre pièges suivent la même tendance ( $F_{(5, 68)} = 21.4, p < 0.000001$ ) mais sont encore plus marquées (Fig. 35). Si le faible nombre d'échantillons récoltés avec le prototype BAM ne permet pas de tester l'impact du débit de CO<sub>2</sub> (200, 250, 500 et 800 ml/min) sur les taux de captures, les résultats obtenus avec le piège Biogents démontre clairement une relation linéaire entre ces deux paramètres, alors que le nombre de moustiques capturés triple de 75 à 200 ml/min de CO<sub>2</sub> (Fig. 35). Le nombre de moustiques capturés en moyenne avec 200 ml/min est presque trois fois plus élevé que celui du Mosquito Magnet qui utilise pourtant un débit de CO<sub>2</sub> deux fois plus élevé.

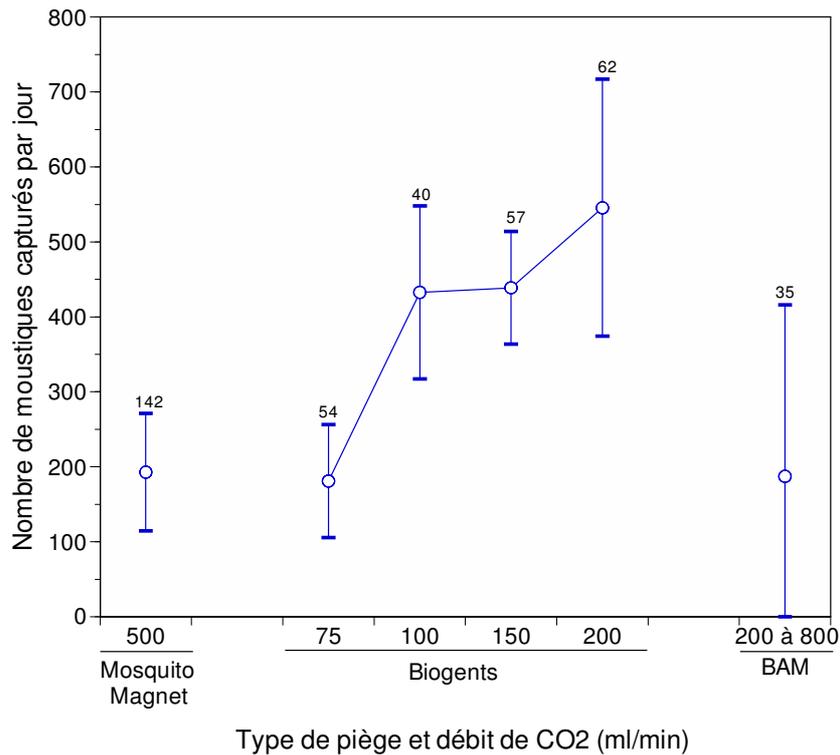


Fig. 35. Comparaison du nombre moyen de moustiques capturés en fonction du type de piège et des débits de CO<sub>2</sub>. Les chiffres indiqués au sommet des intervalles de confiance à 95% représentent le nombre d'échantillons.

### Efficacité des pièges envers les arabis

Le nombre d'arabis capturés a fortement varié selon les types de pièges (Fig. 36), avec des valeurs nettement supérieures pour le prototype BAM comparativement aux deux autres types de pièges ( $F_{(2, 141)} = 118665, p < 0.000001$ )

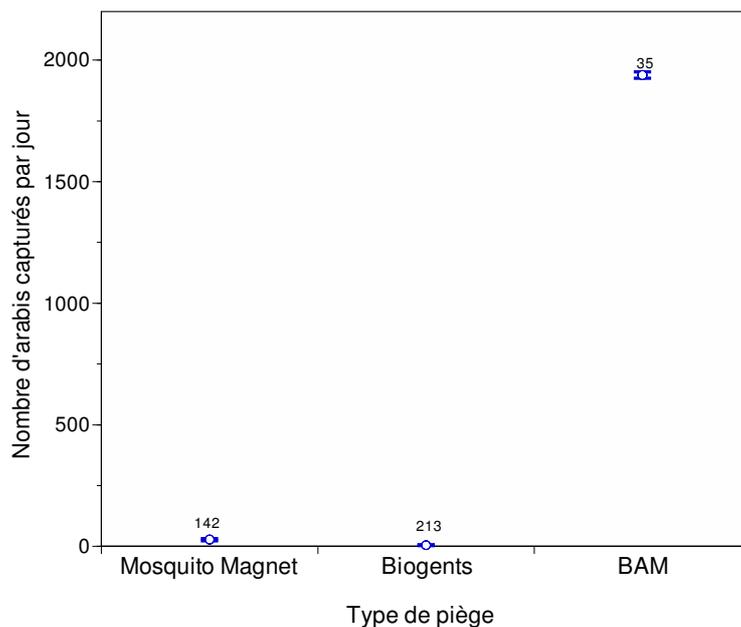


Fig 36. Nombre moyen d'arabis (IC95%) capturés par les trois types de pièges.

Avec une moyenne de 1561 arabis capturés par jour, le piège BAM fait bande à part par rapport aux 28 et 5 captures journalières des pièges Mosquito Magnet et Biogents, respectivement. Il est toutefois à noter que les arabis sont extrêmement abondantes sur le site jusqu'à la mi-juin et que contrairement aux autres pièges, le prototype BAM a été absent du site de la fin juin jusqu'au début septembre. Néanmoins, dès son retour, il capturait régulièrement plus de 1000 arabis (d'une autre espèce) par jour.

### Impact des pièges sur la réduction de la nuisance

Puisque les pièges étaient déplacés tous les deux jours pour éliminer les biais associés à une distribution spatialement variable des moustiques, l'estimation de la diminution de la nuisance n'a pu être estimée que globalement, via l'effet combiné des différents pièges et des différentes concentrations de CO<sub>2</sub>. Les données ont été divisées en trois niveaux de gêne en fonction du nombre de tentatives de piqûres par 15 minutes sur les sites témoins (sans pièges) soit: faible (1-9 piqûres, moyenne = 3) ; moyen (10-20 piqûres, moyenne = 14) et élevé (> 20 piqûres, moyenne = 44).

Une analyse de variance à facteurs imbriqués sur la nuisance résiduelle (test du mollet), révèle un impact très hautement significatif de la présence de pièges ( $F_{(1, 108)} = 29.9, p < 0.00001$ ), qui contribue à 60% de la variance expliquée, par rapport à 38% pour le niveau de gêne et 2% pour l'emplacement du piège (Fig. 37). Il s'avère que le taux de diminution de la nuisance varie selon l'intensité de la gêne, vraisemblablement dû à la diminution progressive de l'impact de facteurs aléatoires non-contrôlés lorsque la densité de moustiques augmente. Ainsi, l'usage combiné des trois pièges permet de réduire la nuisance de 50% lorsque le niveau de gêne est faible, de 60% lorsque le niveau de gêne est moyen et de 70% lorsque le niveau de gêne est élevé (Fig. 37).

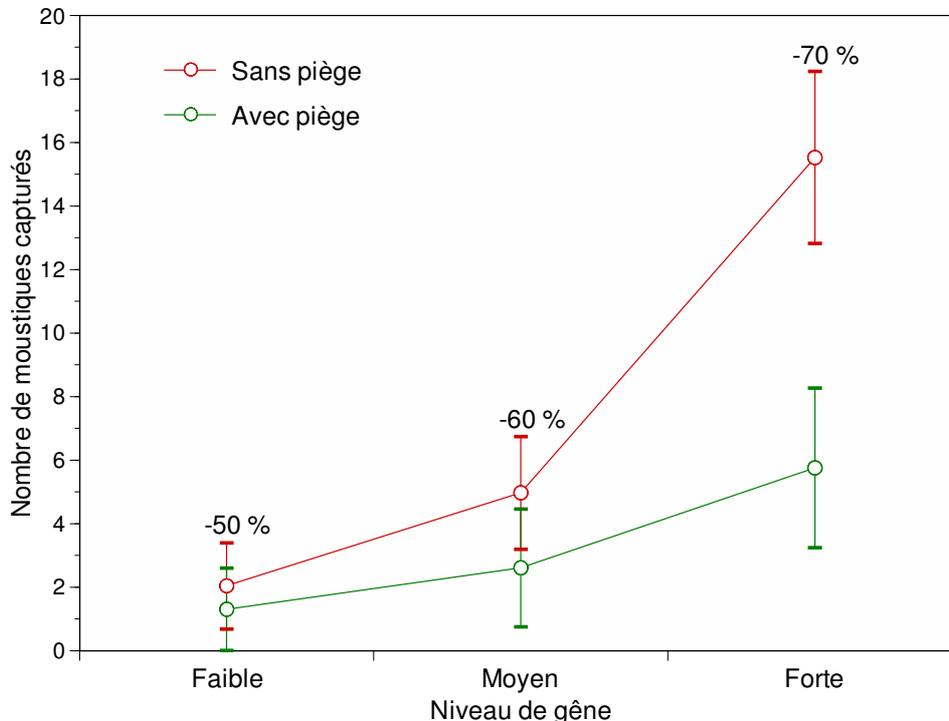


Fig 37. Réduction de la nuisance par les pièges en fonction du niveau de gêne, telle qu'estimée par le test du mollet.

## Discussion

Au regard des coûts économiques et écologiques élevés de la démoustication traditionnelle par épandage d'insecticides, le contrôle des moustiques par piégeage est une méthode de plus en plus répandue ayant fait ses preuves (Day & Sjogren 1994, Geier *et al.* 2011). Au regard des impacts avérés des traitements au *Bti* sur la faune non-cible en Camargue, il pourrait s'agir d'une alternative intéressante pour réduire la nuisance causée par les moustiques, dont il convient d'évaluer l'efficacité préalablement à une mise en œuvre à grande échelle.

Les quatre expérimentations conduites à la Tour du Valat, chacune d'une durée minimale de trois semaines, ont permis de comparer l'efficacité de trois modèles de pièges individuellement et de quantifier la réduction de nuisance découlant de leur usage combiné. Afin d'obtenir des résultats non biaisés par les variations spatio-temporelles dans l'abondance des moustiques, ces expérimentations sont lourdes à mener car elles nécessitent une rotation des pièges et la collecte des moustiques capturés à intervalles rapprochés. Elles ont ainsi mené à la collecte de 390 échantillons issus des pièges, pour lesquels seuls le nombre total de moustiques et d'arabis capturés ont été estimés, les déterminations spécifiques étant en cours.

Ces résultats démontrent que le piège BG-Sentinel de Biogents est le plus efficace et que le débit de CO<sub>2</sub> est un facteur déterminant pour augmenter le nombre de moustiques capturés et donc l'efficacité des pièges. Avec un débit de CO<sub>2</sub> de moitié inférieur à celui du Mosquito Magnet, le piège Biogents permet de capturer près de trois fois plus de moustiques. Ce piège, plus esthétique et économique à l'achat (150 €) que le Mosquito Magnet (500 - 1200 €) est cependant plus coûteux à l'utilisation suite au coût des bouteilles de CO<sub>2</sub> qui est supérieur à celui des bouteilles de propane. Dans la mesure où une augmentation de débit augmente le coût d'utilisation du piège, il serait donc pertinent d'évaluer si le débit peut être diminué, voire interrompu, à certaines heures du jour ou de la nuit, sans réduire les taux de captures des moustiques. Biogents produit par ailleurs un régulateur de débit selon différentes plages horaires pour en faciliter la gestion.

Bien que l'EID utilise des pièges à moustiques en différents points stratégiques et notamment à Salin-de-Giraud, ces données ne sont pas divulguées et ne permettent donc pas comparer l'efficacité d'une démoustication innovante par usage de pièges avec celle d'une démoustication traditionnelle à l'aide du *Bti*. Dans tous les cas, les pièges offrent l'avantage de ne pas être limités à deux espèces de moustiques et d'offrir un moyen de contrôle du moustique tigre, typiquement associés aux zones habitées, qui pose des problèmes croissant de santé publique.

## Perspectives

Pour 2015, il est prévu de construire plusieurs prototypes BAM selon une version améliorée capitalisant sur les tests réalisés en 2014, afin d'estimer leur efficacité pour réduire la nuisance à plus grande échelle en utilisant comme site test le hameau du Sambuc. Il serait alors pertinent de conduire des entretiens avec les habitants de ce hameau dans le cadre du suivi sociologique afin de comparer le niveau de satisfaction par rapport à celui rapporté pour Salin-de-Giraud qui fait l'objet d'une démoustication traditionnelle. Si la gestion de ces pièges sera intégrée aux suivis scientifiques menés en parallèle à la démoustication au *Bti* dans un premier temps, l'idée serait à moyen terme Parallèlement à cette expérience (tributaire d'un financement à trouver), il apparaît judicieux de poursuivre les tests au domaine de la Tour du Valat pour déterminer quels sont les modulations à préconiser quant à la variation journalière des débits de CO<sub>2</sub> optimaux et leur variation dans le temps en fonction des pics d'activités des moustiques. Enfin, grâce aux expérimentations conduites en 2014, il sera possible de déterminer

quantitativement l'efficacité de chacun des modèles de pièges en termes de réduction de nuisance.

## Références

- Cooperband MF & Cardé RT. 2006. Comparison of plume structures of carbon dioxide emitted from different mosquito traps. *Medical and Veterinary Entomology* 20:1-10.
- Crepeau TN, Unlu I, Healy SP, Farajollahi A & Fonseca DM. 2013. Experiences with the large-scale operation of the Biogents Sentinel™ Trap. *Journal of the American Mosquito Control Association* 29: 177-180. DOI: 10.2987/12-6277r.1
- Day JF, Sjogren RD. 1994. Vector control by removal trapping. *Am J Trop Med Hyg* 50(6 Suppl):126-33.
- 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, Kesavaraju B, Price DC, Williams GM, Healy SP, Gaugler R, Nelder MP. 2009. Field efficacy of BG-Sentinel and industry-standard traps for *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and West Nile virus surveillance. *J Med Entomol* 46:919-925.
- Geier M, Englbrecht Ch, Carey B, Horton S, & Rose A. 2011 Innovative mosquito control: Reducing human landing rates through new innovative mosquito traps. Pp. 121-132, Proceedings of the 23rd Scientific and Educational Seminar DDD and ZUPP 2011. Korunic, Zagreb, Croatia.
- Poulin B, Albalat F, Claeys C, Després L, Jakob C, Tétrel C. 2013. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2012 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport présenté au PNRC, 108 pp.
- Poulin B. 2014. Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport présenté au PNRC, 156 pp.

## VOLET VIII

### Test de méthodes alternatives au Bti : traitement homéopathique

**Brigitte Poulin & Gaëtan Lefebvre**  
Tour du Valat



## 9. Test de méthodes alternatives au Bti: traitement homéopathique

### Etat de l'art

Le suivi sociologique réalisé l'an dernier a mis en valeur une panoplie de méthodes de protection individuelle disponibles et utilisées par les habitants et visiteurs de Camargue (Geneys *et al.* 2014). Parmi les méthodes prometteuses mais peu connues car non commercialisées à grande échelle, existe un **traitement préventif homéopathique**, mis au point par M. Vincent Ramon pharmacien, en collaboration avec les laboratoires Boiron. Ce traitement, disponible à la pharmacie des manades à Saint-Martin de Crau, est composé d'une plante, le *Staphysagria*, triturée et diluée dans du lactose. Les recommandations pour la prise est du traitement est une mesure-dosette 3 fois par jour pendant 7 à 8 jours, idéalement avant exposition aux moustiques, à répéter tous les mois. L'objectif de ce suivi est de **tester l'efficacité de ce traitement sur 40 volontaires en comparant les taux de piqûres sur des sujets témoins et traités exposés simultanément aux moustiques.**

### Site d'étude

La Camargue

### Méthodologie

Le protocole repose sur **18 groupes de deux volontaires**, dont l'un a suivi le traitement. Avant la prise du traitement, les deux sujets doivent faire le **test du mollet**, c'est-à-dire s'exposer ensemble aux moustiques lorsqu'ils sont abondants pendant 15 minutes et compter toutes les tentatives de piqûres. Pour ce faire, les volontaires disposaient d'un aspirateur à bouche pour entomologiste qui permettait de capturer chaque moustique dès qu'il se posait sur un individu. Ce test était réalisé au moins une fois par semaine, **jusqu'à quatre semaines après la prise du produit** afin d'en évaluer objectivement l'efficacité et son évolution dans le temps. Le test du mollet réalisé avant le début du traitement avait pour objectif de prendre en compte les différences individuelles en terme d'attractivité pour les moustiques. Il était ensuite proposé de reconduire le test au moins un mois plus tard en inversant les sujets traités et témoins. **Un test a également été conduit dans les laboratoires de Biogents SA** par Astrid Schuhbauer qui a exposé son avant-bras dans un cage contenant 30 femelles de l'espèce *Aedes aegypti* pendant une minute et ce, à trois reprises dont avant traitement.

### Résultats

Sur les 18 binômes de volontaires ayant accepté de prêter leur mollet à la science, 9 ont réalisé le test à deux reprises (en inversant les sujets traités), 3 ont réalisé le test une fois, 2 n'ont toujours pas transmis les données et 4 n'ont finalement pas mis le protocole en œuvre. L'une des principales difficultés du protocole est la nécessité pour les binômes de faire le test du mollet ensemble et en un lieu et période où les moustiques sont abondants. L'année 2014 a d'ailleurs été caractérisée par une nuisance en moustiques relativement faible en Camargue, compliquant la mise en œuvre du protocole et réduisant la pertinence des données récoltées avec plusieurs tests du mollet réalisés sous condition de faible densité de moustiques.

Une analyse de variance utilisant le binôme, l'individu au sein du binôme et la semaine comme facteurs imbriqués suggère qu'il n'y a **aucun effet significatif du traitement homéopathique** ( $F_{(1, 164)} = 0.54, P = 0.46$ ) quant à la susceptibilité des sujets à être

piqué par un moustique (Fig. 39). Les **facteurs contribuant le plus à la variance expliquée sont le binôme (57,6%), la semaine (21,9%), l'individu (10,4%) et enfin le traitement (9,9%)**. Un seul des 9 binômes ayant appliqué le protocole dans sa totalité a expérimenté une baisse significative de tentatives de piqûres par les moustiques suite à la prise du traitement (DCZ-PCZ, Fig. 39). En l'absence d'un effet marqué du traitement, **près de 80% de la variance expliquée par le design expérimental apparaît lié aux variations d'abondance des moustiques dans l'espace (effet binôme) et le temps (effet semaine)**.

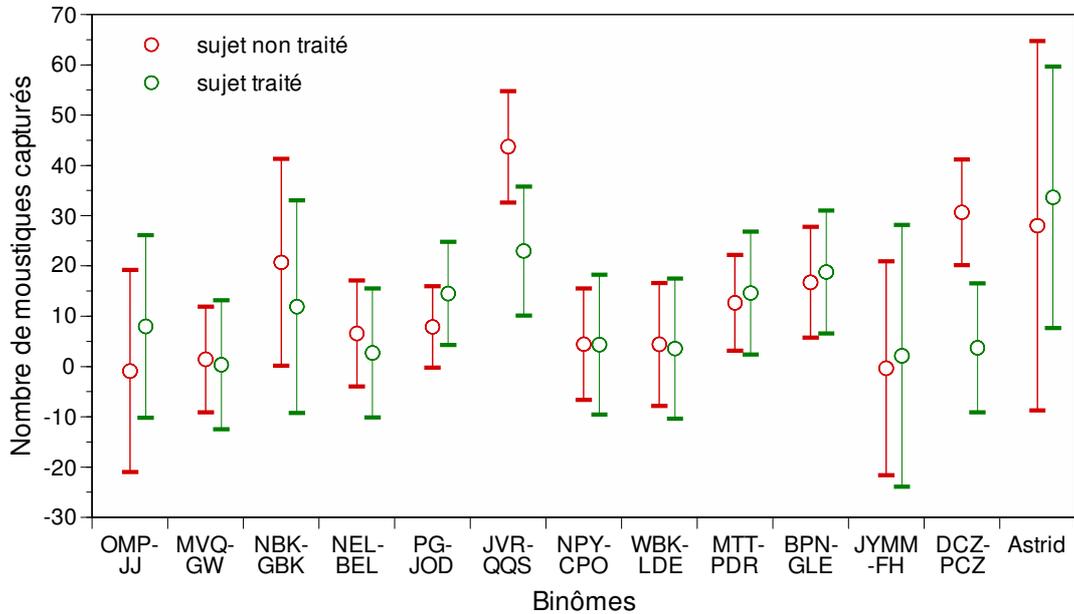


Fig. 39. Résultats de l'effet du traitement homéopathe sur l'attractivité des moustiques pour les sujets testés en binômes selon une analyse de variance à facteurs imbriqués.

Afin de vérifier si ces résultats pouvaient être partiellement associés à une diminution de l'efficacité du produit dans le temps, nous avons analysé plus en détails l'effet 'semaine' (Fig. 40). Le traitement tend à être plus efficace dans les deux semaines suivant la prise du produit, sans néanmoins avoir un effet significatif sur le nombre de piqûres. La non significativité des résultats est liée à la fois au faible écart entre les sujets traités et non traités et à la forte variabilité au sein de chaque échantillon (intervalles de confiance à 95%).

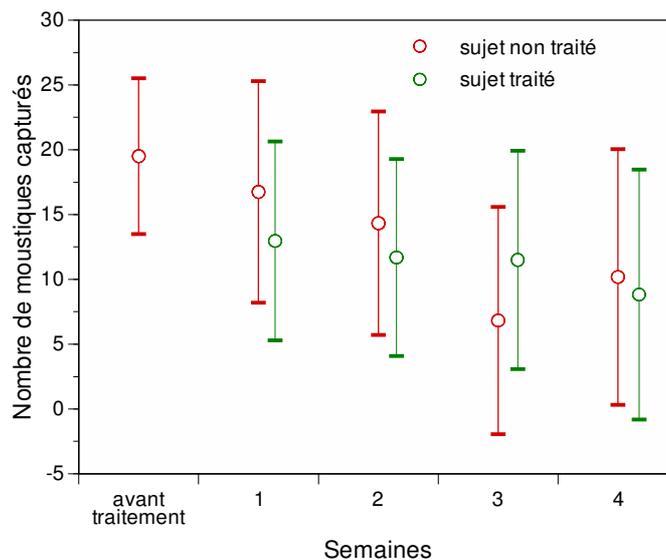


Fig. 40. Résultats de l'effet du traitement homéopathe sur l'attractivité des sujets aux moustiques au cours du temps selon une analyse de variance à facteurs imbriqués.

## Discussion

Lorsqu'elles sont à la recherche d'un repas sanguin, les femelles moustiques détectent leur hôte d'abord à la vue, puis à l'odorat. Le mouvement et les couleurs (noir, bleu foncé, rouge) sont les principaux repères visuels utilisés par les moustiques anthropophiles. Une fois à proximité d'un humain, le moustique sera attiré par le dégagement de CO<sub>2</sub>, les odeurs et la chaleur. Ainsi, les personnes ayant un taux de métabolisme plus élevé (femmes enceintes, personnes de grande taille), produisent plus de CO<sub>2</sub> et attirent davantage les moustiques (Lindsay *et al.* 2000). Les principales odeurs attirant le moustique sont celles de l'acide lactique (produit lors de l'exercice), de l'acétone (composé chimique présent dans la respiration) et de l'estradiol (dérivé de l'œstrogène). Il a également été démontré que le groupe sanguin O (Shirai *et al.* 2004) et la consommation d'alcool (Shirai *et al.* 2002) avaient un impact positif sur les préférences des moustiques. Quelque 20% de la population serait considérée comme particulièrement 'attractive' envers les moustiques. Certains chercheurs considèrent cependant que la clé n'est peut-être pas d'identifier ce qui attire les moustiques parmi plus de 300 composés chimiques produits par la peau (Bernier *et al.* 2000), mais plutôt quels sont ceux qui ont un effet répulsif et masquent l'effet des précédents pour expliquer les différences d'attractivité entre individus (Logan *et al.* 2008).

Les méthodes de protections individuelles agissent pour la plupart comme agents répulsifs envers les moustiques. Les produits les plus traditionnels et efficaces se présentent sous forme de lotion à mettre sur les parties cutanées exposées aux moustiques. Ces produits, et notamment ceux à base de DEET peuvent atteindre une efficacité totale contre les piqûres pour une durée allant jusqu'à cinq heures (Fradin & Day 2002). Certains diffuseurs personnels ont également été testés récemment et s'avèrent très efficaces, réduisant les risques de piqûres par plus de 95% (Revaya *et al.* 2013). Une étude réalisée sur des extraits de plantes (Deletre *et al.* 2013) révèle la présence combinée d'effets répulsifs, irritants et toxiques envers le moustique *Anopheles gambia* pour trois des 20 espèces testées: la citronnelle (*Cymbopogon winterianus*), la cannelle (*Cinnamomum zeylanicum*) et le thym (*Thymus vulgaris*). Nous n'avons cependant pas trouvé dans la littérature d'exemples relatant un traitement homéopathique ayant un effet répulsif sur les moustiques, d'où la pertinence de tester ce produit original et développé localement.

Bien que basé sur un nombre restreint de 'cobayes', les résultats suggèrent que la prise du traitement homéopathique ne réduit pas significativement les risques de piqûres par les moustiques. Il est intéressant de noter que l'un des binômes avait par ailleurs remarqué que la consommation d'alcool avait un effet attractif contrebalançant l'effet répulsif du traitement homéopathique. Ainsi, le protocole imposé ne pouvait prendre en compte tous les facteurs influençant potentiellement l'attractivité des sujets envers les moustiques, sous peine d'imposer trop de contraintes. Néanmoins, le test réalisé chez Biogents sous des conditions très contrôlées suggère qu'il n'y a aucun impact du traitement sur les probabilités d'être piqué par les femelles moustiques d'*Aedes aegypti*.

## Références

- Bernier UR, Kline DL, Barnard DR, Schreck CE, Yost RA. 2000. Analysis of human skin emanations by gas chromatography/mass spectrometry. 2. Identification of volatile compounds that are candidate attractants for the yellow fever mosquito (*Aedes aegypti*). *Anal Chem.* 72:747-56.
- Fradin MS & Day JF. 2002. Comparative efficacy of insect repellents against mosquito bites. *N Engl J Med* 347:13-18.

- Geneys C, Lizée C, Claeys C & Nicolas L. 2014. Volet VII - Suivi sociologique. Pp. 69-136  
In B Poulin (ed), Rapport final sur le suivi scientifique annuel mené en 2013 en parallèle aux opérations de démoustication au *Bti* sur le périmètre du Parc naturel régional de Camargue. Rapport présenté au PNRC, 156 pp.
- Deletre E, Martin T, Campagne P, Bourguet D, Cadin A, Menut A, Bonafos R & Chandre F. 2013. Repellent, irritant and toxic effects of 20 plant extracts on adults of the malaria vector *Anopheles gambiae* mosquito. PLoS One 8(12): e82103.
- Lindsay S, Ansell J, Selman C, Cox V, Hamilton K, Walraven G. 2000. Effect of pregnancy on exposure to malaria mosquitoes. Lancet 3;355(9219):1972.
- Logan JG, Birkett MA, Clark SJ, Powers S, Seal NJ, Wadhams LJ, Mordue Luntz AJ, Pickett JA. 2008. Identification of human-derived volatile chemicals that interfere with attraction of *Aedes aegypti* mosquitoes. J Chem Ecol. 34:308-322.
- Revaya EE, Junnilab A, Xuec R-E, Klinded DL, Bernier UR, Kravchenko VD, Whitney A, Qualls WA, Ghattas N, Müller GC. 2013. Evaluation of commercial products for personal protection against mosquitoes. Acta Tropica 125:226-230
- Shirai O1, Tsuda T, Kitagawa S, Naitoh K, Seki T, Kamimura K, Morohashi M. 2002. Alcohol ingestion stimulates mosquito attraction. J Am Mosq Control Assoc. 18:91-6.
- Shirai Y, Funada H, Seki T, Morohashi M, Kamimura K. 2004. Landing preference of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) on human skin among ABO blood groups, secretors or nonsecretors, and ABH antigens. J Med Entomol. 41:796-9.

## **VOLET X**

### **Suivi sociologique**

**Premiers résultats concernant le test de pièges alternatifs durant l'été  
2014**

**Laurence Nicolas<sup>1</sup>, Cyril Geneys<sup>2</sup>, Cécile Lizée<sup>2</sup>,  
Cécilia Claeys<sup>3</sup>**



- 1** Bureau d'études Ressource
- 2** Bureau d'études c2psy
- 3** Aix-Marseille Université

## INTRODUCTION

Ce chapitre présente l'état d'avancement du volet sociologique du suivi scientifique de la démoustication expérimentale de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône 2014. Sont tout d'abord rappelés les objectifs scientifiques et les choix méthodologiques engagés jusqu'alors. Un état d'avancement décrit ensuite la mise en œuvre du dispositif d'observation sociologique choisi pour ce volet 2014 et fournit un premier bilan concernant les forces et faiblesses de chaque dispositif testé dans différents contextes. L'approfondissement du traitement des données et le développement des analyses sociologiques et ethnologiques seront fournis dans le rapport final. Ce travail en cours est réalisé par Cyril Geneys et Cécile Lizée, psychosociologues consultants spécialisés dans les problématiques environnementales, Laurence Nicolas, chargée de recherches en anthropologie et Cécilia Claeys, Maître de conférences en sociologie.

## BILAN DES SEPT PREMIERES ANNEES DU SUIVI SOCIOLOGIQUE

Les sept premières années du suivi sociologique de la démoustication expérimentale de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône ont permis de constituer un **corpus de données quantitatives et qualitatives diachroniques (de 2007 à 2013) réunissant 950 questionnaires, 70 entretiens semi-directifs** associés à leurs fiches de suivi hebdomadaire de la gêne dans le cadre du réseau de mollets (2009 et 2010) puis du test des pièges à moustiques (2012 et 2013).

L'analyse sociologique de ce corpus aboutit aux résultats suivants : en zone démoustiquée, une très grande majorité des habitants interrogés se dit favorable aux traitements, à leur poursuite, mais aussi à leur élargissement à d'autres espaces habités de Camargue. Inversement, en zone non démoustiquée les demandes de traitements sont moindres, du fait de revendications environnementales et culturelles plus marquées, observées de longue date et caractéristiques de localités à forte identité territoriale (Camargue (Claeys 2002) et Bretagne (Huneau 2008)), tout en s'installant progressivement dans les esprits. La dichotomie « moustiques des villes, moustiques des champs » (Claeys 2003, Claeys et Nicolas 2009) perdure et tend à se renforcer. Ce compromis taxonomique et spatial permettant d'articuler désir de démoustication et souci environnemental est toutefois un idéal techniquement difficile à concrétiser, tant l'insecte sait faire preuve de mobilité. Ce processus a aussi été souligné par la littérature sociologique dans l'analyse du rapport à d'autres espèces animales (Mauz 2005, Strivay et Mougenot 2010).

Par ailleurs, l'émergence d'une nouvelle problématique sanitaire est à prendre en compte dans une logique d'anticipation. Les premiers travaux sociologiques réalisés en France métropolitaine concernant l'introduction du moustique tigre montrent que les spécificités comportementales de cet *Aedes* bousculent les anciens modes de gestion collective et individuelle de la nuisance (Claeys et Mieulet 2012). Son penchant pour les eaux domestiques non ou peu souillées fait de chaque coupelle de jardin un lieu potentiel de ponte, rendant inopérant les traitements classiques par épandage, et exigeant une gestion à l'échelle de chaque foyer. Or, comme le montre de façon récurrente le suivi sociologique de la démoustication, les habitants considèrent aujourd'hui comme négligeable le rôle de leur gestion individuelle dans la limitation de la nuisance. Un accompagnement de la population vers la découverte de nouveaux dispositifs et l'utilisation effective de pratiques alternatives a donc commencé à être engagé.

Enfin, le suivi sociologique mené en 2012 et 2013 a mis en place une nouvelle démarche de test de dispositifs alternatifs, les pièges à moustiques, basée sur l'implication de volontaires habitants en Camargue démoustiquée et non démoustiquée. Il ressort de cette première expérience que l'efficacité ressentie de ces pièges est très inégale selon les

habitants et les conditions d'utilisation. En outre, ces habitants se disent très intéressés par de telles méthodes, qu'ils semblent percevoir toutefois comme des compléments aux campagnes de démoustication et non pas comme un remplacement de ces dernières.

Les sept premières années de suivi sociologique ont ainsi abouti à la formulation des conclusions et des préconisations suivantes :

Au terme de sept ans de démoustication de Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône, est-il encore pertinent de qualifier ces traitements d'expérimentaux ? Les habitants de ces localités s'y habituent et résistent à l'idée d'y mettre un terme, revendiquant aussi peu ou prou son extension à d'autres zones de Camargue, dans un contexte de crispations idéologiques. Toutefois, cette sixième et septième année de suivi sociologique révèlent que le recours à des dispositifs alternatifs concrets peut permettre de dépasser ces crispations idéologiques.

Ainsi, l'issue de ce dossier « pour ou contre la démoustication de tout ou partie de la Camargue » passe par un dépassement des crispations. En premier lieu, la question de départ est à reformuler. Il ne s'agit plus de savoir s'il faut ou non démoustiquer la Camargue, question qui traîne un cortège de présupposés idéologiques et de rapports de force qui sclérosent les débats depuis plusieurs décennies.

La question est en effet davantage celle de la *reconnaissance sociale*. Comme le souligne Axel Honneth (2004), « *la disparition de ces relations de reconnaissance débouche sur des expériences de mépris et d'humiliation qui ne peuvent être sans conséquences pour la formation de l'identité de l'individu* ». La question devient dès lors la suivante : *comment instaurer des rapports de reconnaissance réciproque entre les protagonistes du débat camarguais relatif à la démoustication ?*

S'il est illusoire et déontologiquement contestable de tenter sur le court terme de modifier les postures idéologiques particulièrement ancrées et exacerbées des protagonistes, en revanche, la recherche d'alternatives pragmatiques mobilisant la participation des acteurs locaux et des habitants est une voie qu'il convient de développer et de poursuivre.

De ce fait, il a été jugé nécessaire de passer d'une posture d'observation scientifique à une démarche d'innovations sociotechniques pragmatiques et de l'analyse scientifique académique à l'ingénierie de terrain.

Les premiers résultats de la nouvelle expérimentation menée en 2012 et 2013 concernant les méthodes de protection alternatives ont révélé que cet accompagnement de la population s'avère nécessaire afin de mieux repérer les résistances individuelles pratiques ou idéologiques des habitants. Par ailleurs, la question des démoustications dites « sauvages », et leurs conséquences sur le milieu naturel constituant une préoccupation croissante du Parc de Camargue a été explorée et prise en compte dans l'action de terrain et l'analyse, révélant aussi les forces et faiblesses associées à cette expérience de test qui se présente comme le point d'entrée d'une véritable démarche impliquante et participative.

A ce titre, le volet sociologique 2014 s'est proposé de développer cette approche d'un accompagnement du processus participatif sur le terrain et suggère aujourd'hui d'explorer avec le concours des acteurs du territoire et de la population camarguaise la question sensible et complexe des perceptions associées à « la production des moustiques ».

L'accompagnement au changement des populations exposées vers des pratiques alternatives plus respectueuses de l'environnement (Geneys, 2008) au travers du test des pièges à moustiques a ainsi été poursuivi et enrichi au travers de l'acquisition et du test de deux nouveaux dispositifs : le piège Mosquitaire de Biogents et la lampe anti

moustique GR 330 de Inadays, permettant ainsi de mieux repérer « les conditions optimales » d'utilisation de chacune de ces méthodes (prenant en compte l'encombrement, les difficultés techniques, conditions d'utilisation ... et d'élargir l'expérience à de nouveaux publics (notamment des hôteliers et restaurateurs).

## **METHODOLOGIE**

### **Sites d'étude :**

- Camargue démoustiquée : Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis-du-Rhône.
- Camargue non démoustiquée : commune des Saintes-Maries-de-la-Mer et commune d'Arles hors ville d'Arles et Salin-de-Giraud.

**Matériel :** Trois dispositifs de pièges alternatifs destinés à l'utilisation domestique.



- **1 Piège à CO<sub>2</sub> + phéromones**

(Modèle « Indépendance » de Mosquito Magnet)

(Dispositif jardin)



- **1 piège à phéromones**

(Modèle « Mosquitaire » de Biogents)

(Dispositif jardin)



- **1 piège lampe photocatalytique CO<sub>2</sub> + phéromones**

(Modèle « GR 330 » de Inadays)

(Dispositif intérieur ou interface intérieur/extérieur : terrasse, balcons ...)

## **Objectifs scientifiques :**

Ce volet sociologique a donc pour objectif de poursuivre et d'enrichir le suivi des sept premières années d'une part et d'autre part de mettre en œuvre une démarche d'ingénierie sociale. Pour l'année 2014, l'accent a été porté sur l'acceptation du dispositif, afin de repérer les conditions les plus favorables dans lesquelles peuvent s'insérer ce passage aux techniques alternatives de démoustication.

Par ailleurs, une enquête ethnographique auprès des gestionnaires de l'eau, actuellement en cours, permettra d'interroger au sens large la question de la production de gîtes larvaires de moustiques, permettant d'identifier notamment des leviers d'actions réalistes et cohérents avec la réalité des activités de chacun vers une diminution effective de cette nuisance moustique

- **I. Enquête ethnographique auprès des gestionnaires de l'eau**

L'EID Méditerranée a produit en novembre 2013 un guide des bonnes pratiques de gestion de l'eau visant à une diminution de la production de gîtes larvaires de moustiques. On peut y lire le constat suivant :

*Certaines années, les mises en eau artificielles, bien que localisées, peuvent, par leur répétition, être à l'origine de plus de la moitié des interventions (...) La chasse, l'agriculture et l'activité de conservation de la biodiversité sont les activités les plus présentes sur les zones potentiellement irrigables et y occupent plus de 70%, en termes de superficie.<sup>1</sup>*

Des fiches listant des pistes d'actions pour diminuer la nuisance ont été établies par l'organisme démoustiqueur pour chacune des activités concernées. Elles montrent par exemple que le choix du début de mise en eau, le mauvais nivellement des terrains favorisant des «séquestres» d'eau, ou encore les variations de niveaux des plans d'eau (etc.) favorisent la production de moustiques. Dans quelle mesure ces préconisations sont-elles applicables à l'exercice des activités concernées ? Quels sont les freins, les résistances ou les opportunités que pourraient rencontrer ces pistes de réduction de la nuisance moustique ?

Il s'agira d'enquêter auprès de gestionnaires de ces différentes activités en utilisant les fiches de l'EID correspondantes comme support à des entretiens couplés, dans la mesure du possible, à des visites sur le terrain. L'objectif n'étant pas d'évaluer les pratiques au regard de ces fiches mais de les confronter à des réalités de terrain et de pratiques de gestion. L'étude de quelques exemples choisis dans chacune des activités ciblées par ces pratiques adaptatives à une gestion hydraulique moins contributive aux éclosions de moustiques visera à alimenter la réflexion sur l'amélioration de la diminution « naturelle » de cette nuisance dans les activités de mises en eau volontaires.

Un panel d'acteurs clé dans les activités de gestion hydraulique du delta a été constitué et fait l'objet d'une enquête ethnographique en cours de déroulement. Ce panel se compose de gestionnaires de nature, de riziculteurs, de gestionnaires de marais de chasse et d'association syndicale agricole. Il fournira une première base de données qualitatives (entretiens et observations in situ) à partir de laquelle s'élaborera l'analyse des pratiques de mise en eau artificielle, en lien avec la problématique moustique, qui alimentera les résultats du rapport final.

---

<sup>1</sup> EID Méditerranée, 2013, *Guide des bonnes pratiques pour une gestion de l'eau moins contributive aux éclosions de moustiques et compatible avec les usages*, p 4 (en ligne : <http://www.eid-med.org/content/le-guide-des-bonnes-pratiques-de-leau>)

- **II. Enquête sociologique et poursuite du test de pièges à moustiques**

Pour ce faire, deux outils méthodologiques complémentaires ont été mobilisés :

1. **La poursuite du test des pièges à moustiques avec de nouveaux volontaires**, selon la même méthode retenue en 2012 et 2013 qui s'est révélée très opérationnelle. De nouveaux habitants ont été invités à participer librement à cette démarche, afin de viser la diversité des situations (type d'habitation, caractéristiques socio-économiques...).

Les trois pièges présentant chacun des caractéristiques techniques et un schéma d'utilisation différents ont été installés alternativement chez les volontaires dans chacune des localités pendant trois semaines au cours des 3 mois d'été 2014. Pendant cette période les participants impliqués ont renseigné des fiches hebdomadaires relatives à leur niveau de gêne ressenti.

A l'issue de ces cycles de trois semaines, un entretien sociologique a été réalisé afin de recueillir le sentiment de chacun sur cette expérience. Cet entretien présente l'occasion de les interroger de façon plus générale sur leur rapport aux moustiques et à la démoustication. La rencontre des volontaires à l'issue de cette période de test a permis de repérer la façon dont chaque dispositif est accueilli d'un point de vue idéologique et comportemental et d'opérer une comparaison entre efficacité et praticité co-construite à partir de leurs observations. Ce travail a été réalisé en zone démoustiquée et non démoustiquée.

2. **La réalisation d'une enquête par entretiens auprès de populations susceptibles d'avoir recours à des formes de démoustication individuelle et/ou d'avoir une affinité particulière avec la question des enjeux sanitaires de cette problématique moustique.**

Il appartient à la sociologie de fournir des éléments de compréhension des pratiques de démoustication individuelles (méthodes, argumentaires, enjeux sanitaires et socioéconomiques sous-jacents ...).

Ce volet, entamé lors du suivi 2013 est basé sur la réalisation d'entretiens semi-directifs. Il s'est concentré sur les acteurs susceptibles d'avoir recours à plusieurs méthodes de démoustication de façon combinée que ces personnes les utilisent dans le cadre de leur activité professionnelle (en raison d'une localisation particulière, ou d'activités de loisirs se déroulant en extérieur) ou travaillent quotidiennement aux contacts d'animaux pour pouvoir explorer des affinités particulières avec d'éventuelles problématiques sanitaires. Ont été prises en compte zones démoustiquées et non démoustiquées.

### **PLAN DU PROTOCOLE DE TEST :**

Chaque dispositif a donc été installé 3 semaines chez un habitant et/ou un professionnel dans chaque localité.

Au total **9 tests** ont été effectués durant l'été 2014.

Répartition des volontaires rencontrés et interrogés : (**2** restaurateurs / **3** particuliers - familles (dont 1 également agriculteur exploitant) / **4** professionnels du tourisme [*détail : hôtel-gîte (3) - ferme pédagogique (1)*])

Les 9 tests effectués durant l'été 2014 – 14 avis /personnes rencontrées

<b>Période</b>	<b>Salin de Giraud</b>	<b>Port Saint Louis du Rhône</b>	<b>Saintes Maries de la mer</b>
<b>JUIN</b> (Des 7,8 juins au 28, 29 juin)	Mosquitaire (particulier) ho/fe	Lampe (restaurateur) ho/fe	Mosquito Magnet (pro tourisme) ho
<b>JUILLET</b> (Du 5,6 juillet au 26,27 juillet)	Mosquito Magnet (particulier) fe/fe	Mosquitaire (particulier) ho/fe	Lampe (restaurateur) fe
<b>AOUT</b> (Du 2,3 aout au 23,24 aout)	Lampe (pro tourisme) fe	Mosquito Magnet (pro tourisme) ho /fe	Mosquitaire (pro tourisme) ho

Les pièges ont donc pu révéler chacun leurs forces et faiblesses selon différentes conditions :

- Utilisations (intérieur/ terrasse – ou – extérieur/ jardin)
- Situations (zone démoustiquée / zone non démoustiquée)
- Et sous l'œil de différents publics (particuliers /professionnels)

Ainsi, alors qu'un piège fonctionnant au CO<sub>2</sub> tel que celui testé en 2012 et 2014 couvre un large périmètre et se destine globalement, au vu de son fonctionnement et de son coût d'utilisation, à un public disposant d'un terrain souvent caractérisé par une implication particulière dans cette problématique moustique (généralement plus professionnels que particuliers), les deux nouveaux dispositifs testés permettent d'intégrer un autre type de population à l'intérieur de cette expérience de test.

### **FORCES ET FAIBLESSES DES DISPOSITIFS TESTES**



**Piège « Mosquitaire »** : Une pochette de phéromones est placée à l'intérieur du dispositif qui doit ensuite être branché en secteur. Relativement silencieux, son fonctionnement assez simple semble plaire. Il se pose à même le sol et couvre une zone réduite de type terrasse, jardin, proximité d'une piscine... Il semble attirer les moustiques présents dans un rayon assez restreint et plutôt adapté à un usage de type habitat pavillonnaire. Celui-ci semble en effet pouvoir convenir à des familles ou particuliers disposant d'un espace réduit, d'une cour ou d'un petit jardin et le test bien que jugé « peu impressionnant » en terme de capture parait en mesure de satisfaire ce type d'utilisateur.

Le piège peut être posé stratégiquement selon les usages extérieurs et les possibilités de branchement. Il doit être éloigné des fenêtres à une distance de quelques mètres en raison du pouvoir attractif des phéromones. On relève que cette contrainte de branchement a été relevée par les personnes, soucieuse de laisser « courir le fil » de façon inesthétique ou parfois « dangereuse » à leur yeux. Le piège doit en effet être arrêté (ce qui risque de libérer les moustiques non encore déshydratés) et/ou couvert en cas de pluie. Le choix de son emplacement reste ainsi soumis à ces différentes conditions

qui ne sont pas toujours faciles à harmoniser avec le repérage de lieux potentiels de production des moustiques (zone humide du jardin, à l'ombre, à l'abri du vent ...) pourtant déterminant pour une utilisation optimale de ce dispositif. On remarque par ailleurs des problèmes de sélectivité pour ce piège qui ont quelque peu gêné nos interlocuteurs notamment ceux qui connaissent le Mosquito Magnet. En effet, le piège semble avoir attiré mouches, moucherons et mites de façon remarquable aux côtés des moustiques.

Les résultats de l'enquête indiquent qu'une utilisation dans le cadre domestique, en village, semble préférable et que ce dispositif en l'état risque par ailleurs de ne pas être jugé suffisant ou satisfaisant dans le cadre de certains usages professionnels situés au cœur d'une nature riche (tourisme de la nature etc...). Est également évoquée la possibilité d'ajouter l'émission de CO<sub>2</sub> à ce premier dispositif, ce qui pourrait renforcer son efficacité et rendre son utilisation plus intéressante dans ces contextes quoi que plus complexe...



**Piège lampe « GR 330 » :** Ce dispositif doit être placé légèrement en hauteur (à au moins 75 cm du sol, dans l'idéal à côté d'une plante où peuvent se poser généralement les moustiques). Il bénéficie d'un petit format et d'un fonctionnement particulièrement simple. Un baume prévu pour attirer les moustiques à base de phéromones est placé à l'intérieur d'un tiroir. Le piège, semble séduire grâce à son allure esthétique et se présente comme une lampe qui nécessite d'être branchée puis mise en route.

Il produit une faible quantité de CO<sub>2</sub> qui couplée aux odeurs corporelles simulées par le baume, attire les moustiques mais aussi de petites mouches et moucherons, et présente donc lui aussi un défaut de sélectivité qui se trouve renforcé par de mauvaises conditions d'utilisation. On remarque que ce dispositif semble moins attirer que capturer les insectes qui passent à sa portée et ceci dans un rayon limité par ailleurs (une pièce, un balcon, un espace terrasse). Son efficacité maximale se révèle lorsque la gêne résiduelle est jugée comme importante en intérieur. Il peut par exemple capturer les moustiques présents dans une chambre avant de se coucher mais aussi permettre de réduire la nuisance en terrasse pour un restaurant obligé de conserver une grande ouverture sur l'extérieur (ce dernier usage testé cet été s'est d'ailleurs révélé particulièrement satisfaisant). Cette utilisation en intérieur reste à préconiser car en Camargue la nature paraît véritablement trop riche au regard des défauts de sélectivité que présente le piège qui attire des papillons de nuit, mites, mouches et moucherons en quantité lorsque celui-ci est placé un moment en extérieur.

Il est donc important de lui réserver cet usage exclusivement intérieur, au regard des tests menés cet été, qui correspond plutôt, devant le constat que de nombreux particuliers sont équipés de moustiquaires, à des activités touristiques destinées à l'accueil et ne pouvant systématiquement marquer cette frontière entre intérieur et extérieur (restaurants - commerces - hôtels ...). Il est à noter par ailleurs qu'il serait peut-être possible de contourner ce défaut de sélectivité en déplaçant ce test sur une interface intérieur/extérieur en hauteur notamment en terrasses, balcons pour des immeubles ou appartements. Cette approche pourrait se révéler intéressante, les personnes résidant dans ce type d'habitat n'ayant pu être enquêtées jusqu'ici.



**Piège « Indépendance » :** Ce dispositif déjà testé en 2012 et 2013 se présente sans conteste comme le plus efficace et sélectif. Fonctionnant par piles ou batteries, il présente l'avantage de pouvoir être placé n'importe où, sans craindre le soleil ou la pluie. L'action couplée de la diffusion de

phéromones et de CO<sub>2</sub> attire véritablement les moustiques sur un périmètre étendu. Cependant son fonctionnement reste complexe, fastidieux, couteux, et plusieurs particuliers en ayant pourtant fait l'acquisition nous ont avoué l'avoir abandonné pour ces différentes raisons. Jugé la plupart du temps efficace, il présente une excellente sélectivité en n'attirant et ne tuant que les moustiques. Celui-ci correspond néanmoins à un usage plutôt professionnel bien qu'il puisse être amené à satisfaire des particuliers possédant un terrain assez important, en raison de la force de son attractivité, qui dans des conditions particulières pourront se dire peu gênés par son aspect, son encombrement, son cout d'entretien etc...

On remarque par ailleurs qu'en zone démoustiquée celui-ci déjà considéré souvent uniquement comme « un complément de la démoustication » semble être de plus en plus jugé comme « peu utile » (notamment cette année où la gêne moustique a été à l'unanimité jugée comme faible sur les mois de Juin et Juillet, notamment en raison de la météo). En effet, la démoustication étant considérée comme véritablement efficace, les personnes semblent parfois s'interroger sur l'intérêt pour elles d'investir et d'utiliser ce type de dispositif qui reste contraignant (jugé couteux, encombrant, inesthétique...)

## **DE NOUVEAUX VOLONTAIRES ET DE NOUVEAUX CONTEXTES A ETUDIER**

Ainsi, les deux nouveaux dispositifs testés bien que décevants sur plusieurs points dans le cadre de notre protocole de test, nous ont permis d'approcher de nouveaux volontaires et de nouveaux contextes.

En effet, alors que le volet sociologique précédent se centrait sur la recherche de personnes susceptibles d'avoir recours à des démoustications dites « sauvages », qui présentaient par-là même des connaissances et des affinités particulières avec la problématique moustique, l'enquête réalisée cet été a donné la parole à des personnes qui semblent plus curieuses vis à vis de l'ensemble des thèmes abordés dans l'entretien.

En effet, une remarque générale concerne le relevé d'interrogations relatives à la démoustication, appelée souvent alors « le traitement », et aux éventuelles conséquences sanitaires de la présence du moustique tigre en Camargue, qui semble caractériser notamment le discours de mères de famille, mais aussi les professionnels du tourisme.

*« Oui je me pose des questions par rapport au produit parce que je suis maman encore, et oui ça doit être pour ça et on vit dans un monde ou ... les choses elles ont changées avec le temps. On en parlait il y a pas longtemps avec des amis. On parlait d'il y a simplement, y'a 30 ou 40 ans en arrière, puisqu'il a 58 ans lui ... et que les moules elles étaient comme ça, les tellines elles étaient comme ça euh ... les œufs de poules, il fallait les casser presque à coup de marteau. C'est fini tout ça ! » (Femme – Salin de Giraud)*

*« Enfin... moi, peut-être que, le fait d'être maman me préoccupe un peu plus maintenant. Voilà on entend, plus faire attention euh ... Après pour nous enfin personnellement, pas plus. C'est plus par rapport aux enfants je pense. Voilà. Adultes bon on est capable de le tuer quand on le sent... Bon voilà. Mais les enfants, c'est vrai qu'on se dit si demain euh... Après on connaît p'têtre pas forcément le fonctionnement non plus. » (Femme - Port Saint louis du Rhône)*

L'enquête s'est trouvée en effet en plein « boum » médiatique dans le courant des mois de Juin et Juillet où une carte de vigilance concernant la progression du moustique tigre en France avait été diffusée et plusieurs cas autochtones de chikungunya déclarés du côté de Montpellier et Marseille.

*« L'autre fois j'ai vu une carte de la France je crois que c'était à TF1 ou quoi avec les zones où y'en avait et ça avait... Mais bon ils parlaient pas de la Camargue mais j'ai vu que dans tout le sud ça se développait. Dans tout le sud y'en avait. C'était large ça apparaissait en rouge et ils montraient l'évolution. (...) Ah oui, ils mettent pas jaune ou ... non non, voilà c'est rouge pour nous. (rires) » (Homme - Femme - Port saint Louis du Rhône)*

L'enquête a ainsi été l'occasion d'éclaircir quelques points concernant le moustique lui-même, qui semble parfois méconnu de ces populations qui fonctionnent pourtant au quotidien avec l'insecte. On note en effet, une confusion retrouvée dans plusieurs entretiens entre le moustique et l'abeille (personnes persuadées avant notre visite que le moustique meurt après avoir piqué), et encore quelques interrogations et inquiétudes quant à la transmission possible du virus du Sida par simple piqûre de l'insecte.

*« On sait qu'il n'y que la femelle qui pique, une fois qu'elle pique elle meurt. Mais est-ce qu'elle est vecteur, est-ce qu'elle est porteuse réellement de ... Enfin. Il manque peut-être même pour nous qu'on est d'ici, qu'on a l'habitude... Il manque un peu de documentation. » (Femme - Port Saint Louis)*

*« Il me semble voilà le sang des animaux, nous voilà. Contaminé, il pique des choses contaminées après il nous repique hein. Après on peut avoir le SIDA ! Non ? » (Femme – Salin de Giraud)*

*« Mais je pense que de toute façon les gens ils essaient de pas trop calculer ou pas trop gratter le problème parce que c'est là qu'ils te sortent euh ... Parce que qu'est-ce que tu crois ? Les gens ils ont peur de quoi ? Tu manges à une table, le mec il a le sida tu le sais pas ... Le moustique il pique, il vient sur toi, il te pique à toi tu te dis aie. Déjà tu vois une goutte de sang, tu te dis oh putain c'est la mienne ou c'est pas la mienne ? Tout le monde il dit ça hein ! Alors moi oui c'est vraiment une angoisse, dès que je l'écrase je suis là je me dis oohh ... Voilà, c'est de qui ça ? Voilà, parce que si vous avez une blessure, il vous pique dessus vous l'écrasez ... bon peut-être que ça craint pas mais avec tout ce qu'on entend, ça rassure pas en tout cas... » (Femme - Port Saint Louis du Rhône)*

Plusieurs remarques, marquant des avis parfois divergents, ont également pu être relevées concernant des observations personnelles au travers du temps, à propos de la faune, de la flore (à l'échelle du jardin ou du village). Certaines personnes en zone démoustiquée, favorables à la démoustication et manifestement soucieuses de l'équilibre de leur environnement, ont ainsi abordé spontanément cette thématique.

*« Alors on s'est quand même aperçu de quelque chose c'est qu'à un moment donné y'avait plus de libellule. Hein, rappelle-toi. Y'a plus une libellule, et là on re ... même dans la piscine peuchère on s'aperçoit qu'elles reviennent. Donc quelque part y'a peut-être du mieux au niveau des traitements. C'est le renouveau qui nous a surpris. » (Homme et femme – Port saint Louis du Rhône)*

*« Moi les libellules, le moustique... Les libellules les hirondelles. Les hirondelles moi je suis un petit peu un observateur de la nature, un passionné et on voit que les hirondelles il y en a de moins en moins. Il faut se poser la question. Les hirondelles elles peuvent en manger, elles*

*peuvent nous débarrasser de tout mais elles font partie de cette chaîne. (...) Moi j'avais à un moment donné j'avais beaucoup de ... je sais pas comment ça s'appelle des petits lézards comme ça là. Tu les voyais manger et tchouc tchouc tchouc tchouc ... Ben y'en a plus, y'en a très peu. Et là j'en ai pas vu encore » (Homme et Femme - Port Saint Louis)*

*« Ben oui j'en ai discuté avec mon mari. Y'a ce côté-là alors est ce que c'est qu'on démoustique ? Est-ce que c'est ... je sais pas, même cette année on a eu ... toutes les années nous on a eu des bébés hirondelles. Ça fait 36 ans qu'on est marié, 36 ans que les hirondelles viennent ... Cette année il y a eu des bébés hirondelles comme toutes les années deux fois par an. Ils sont nés et ils sont morts ... de faim. Ils sont morts de faim. Les hirondelles n'ont pas pu euh alimenter ... alors nous on savait pas quoi faire parce que bon, on peut pas les toucher les bébés. » (Femme – Port Saint Louis du Rhône)*

Enfin, le nombre de moustiques s'est montré tellement réduit pour l'expérience de test réalisée cet été en zone démoustiquée (notamment sur les mois de Juin et Juillet), que les personnes n'ont semble-t-il pas réellement su se positionner entre l'hypothèse d'une démoustication efficace ou celle d'une météo particulièrement favorable. Par ailleurs, la prolifération potentielle de larves d'insectes observée à l'intérieur des récupérateurs domestiques d'eau de pluie, notamment du côté de Salin de Giraud, a été abordée comme l'un des derniers points à améliorer concernant la régulation de la nuisance.

*« Par contre si vous voulez des larves de moustiques je sais où il y en a. Ah ben ils sont à côté-là, dans tout les jardins. On a tous des tonneaux où on met de l'eau, c'est clafi de larves de moustiques (rires) (...) Tous ceux qui ont les jardins là y'a peut-être 2000 ou 3000 tonneaux en fait plein d'eau. Alors il faut voir ce qu'il y'a dedans d'ailleurs, on le voit ça se voit bien en plus (rires). » (Homme – Salin de Giraud)*

Ainsi l'efficacité des pièges n'a pu réellement être testée en terme d'évolution de la « gêne moustique », cette gêne étant considérée comme très réduite voire nulle avant même l'installation des dispositifs. Cependant cette observation se nuance au regard des résultats obtenus au mois d'Août notamment du côté de Port Saint Louis où une recrudescence des moustiques suite à plusieurs épisodes pluvieux a été observée par l'un des volontaires.

### **Résultat attendus :**

L'ensemble des données recueillies fera l'objet d'une analyse socio-anthropologique.

Ces analyses mettront tout particulièrement l'accent sur les stratégies de protection possibles à mettre en place par les habitants contre les moustiques.

En termes d'aide à la décision, ce volet sociologique 2014 permettra d'estimer les formes d'acceptation de méthodes de protection alternatives, en complément ou remplacement des actuels traitements au *Bti*.

Le travail de comparaison entre zones démoustiquées et non démoustiquées permettra d'évaluer l'impact des politiques de démoustication publique et légales sur les pratiques de protection individuelles (légales et « sauvages »).

Enfin ce nouveau suivi scientifique 2014 visera également à apporter des éléments de réflexion sur les conditions de réduction « naturelle » de la nuisance moustique par des pratiques adaptatives de gestion de l'eau.

## Références :

- Claeys C. (2013), "Biological invasions as causes and consequences of "our" changing world: Social and environmental paradoxes", in *The Routledge International Handbook of Social and Environmental Change*, S. Lockie, D. Sonnenfeld and D. Fisher (eds), Routledge.
- Claeys C. 2010, « Les « bonnes » et les « mauvaises » proliférantes : Controverses camarguaises », in *Etudes rurales*, N°185, Juin-Juillet.
- Claeys-Mekdade C. et Sérandour J. (2009), « Ce que le moustique nous apprend sur le dualisme anthropocentrisme/biocentrisme : perspective interdisciplinaire sociologie/biologie », *NSS*, 17, 136-144, pp. 136-144.
- Claeys-Mekdade C. et Nicolas L. (2009), « Le moustique fauteur de troubles », *Ethnologie Française*. XXXIX, 1-janvier, pp. 109-116.
- Claeys-Mekdade C. (2003), *Le lien politique à l'épreuve de l'environnement. Expériences camarguaises*, Peter Lang, P.I.E., Bruxelles, 240p.
- Geneys C. (2008), « Enquête sur l'entretien des communes du Gard en zone non agricole pour le CIVAM 30 : de l'utilisation des produits phytosanitaires aux pratiques alternatives », *Rapport de stage, Unîmes*, 50 p.
- Huneau V. (2008), « Etude socio-environnementale de la présence des moustiques dans l'Est du Golfe du Morbihan (56, France) », in *Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France*, Vol. 30, N°4, p. 215.
- Mauz I., (2005), *Gens, cornes et crocs*, Versailles, INRA éditions, 256 p.
- Strivay L. et Mougnot C. (2010), « Ces animaux qui déménagent », *Communication orale au colloque « Vivre ensemble, question de diplomatie »*, Cemagref, Grenoble, 29 janvier.

## Synthèse

Le suivi scientifique objet du présent rapport répond à **trois principaux objectifs** : **(1) quantifier les effets du *Bti* sur les populations animales non cibles** potentiellement impactées par les opérations de démoustication ; **(2) tester l'efficacité de moyens alternatifs pour réduire la nuisance** causée par les moustiques en Camargue ; et **(3) mener des enquêtes sociologiques sur la perception de la nuisance et des différents moyens de la réduire.**

Le suivi écologique vise à **quantifier les effets de la démoustication au *Bti* sur les populations animales non cibles** potentiellement impactées dans les secteurs de Salin-de-Giraud, Port Saint-Louis du Rhône et Brasinvert en Camargue. Les groupes d'espèces considérés sont les **chironomes, les odonates, les invertébrés paludicoles, les hirondelles de fenêtres, les chiroptères et les oiseaux d'eau**. A l'exception du premier groupe qui est potentiellement affecté directement par le *Bti*, les effets observés résultent principalement d'un impact indirect à travers le réseau trophique (chaîne alimentaire). Ces suivis s'appuient systématiquement sur la **comparaison de sites traités** (Domaine de la Palissade, They de Roustan) **et témoins** (Tour du Valat, Marais du Vigueirat, Réserve Naturelle Nationale de Camargue, Marais de Rousty) avec un **effort d'échantillonnage** conséquent en termes de taille d'échantillon et de nombre de répliques, afin d'assurer la **puissance des tests statistiques**. Aux 6 volets écologiques s'ajoutent un **volet sur la persistance du *Bti* dans l'environnement, deux volets sur l'efficacité de méthodes alternatives** (pièges à moustiques et traitement homéopatique) **et un volet sociologique, axé sur l'accompagnement des populations exposées vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement.**

Capitalisant sur la poursuite des suivis entrepris lors de la précédente campagne d'échantillonnage, **les suivis réalisés en 2014 ont permis de démontrer:**

- Une **baisse significative de plus de 50% dans la richesse** (nombre d'espèces) **et l'abondance des odonates** (libellules) sur les sites traités ;
- La **remontée des invertébrés paludicoles plus de deux ans après l'interruption de la démoustication** d'une roselière ;
- Une **baisse des effectifs d'hirondelles sur les sites traités de 26%** par rapport aux sites témoins ;
- Un **taux de colonisation de 60% des 40 nichoirs à chauve-souris** installés en 2012 et l'identification des facteurs influençant leur colonisation.
- Une **persistance avérée du *Bti*, avec prolifération des spores dans les roselières et les scirpaies six mois après la fin des traitements.**
- Une **diminution significative au Domaine de la Palissade de 8 espèces d'oiseaux associées aux milieux traités** (foulque macroule, canards colvert et chipeau, grèbes, bécassine des marais, huître pie) **qui coïncide avec la période de mise en œuvre des opérations de démoustication** et n'est pas observée sur d'autres espaces naturels de Camargue.
- Une **efficacité supérieure du piège Biogents Sentinel par rapport au Mosquito Magnet et le potentiel élevé d'un prototype de piège (BAM) développé localement** et adapté aux collectivités. A eux trois, ces pièges ont permis une **réduction de la nuisance de 70%** sur le domaine de la Tour du Valat.

- **L'utilité d'accompagner les populations vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement** avec la réalisation d'une enquête par entretiens et l'élargissement du test des pièges à moustiques avec de nouveaux dispositifs.

## ▪ Conclusions

Cette huitième année d'une démoustication 'expérimentale' fut accompagnée de suivis écologiques et sociologiques de plus en plus orientés vers la mise en œuvre de solutions alternatives à la démoustication au *Bti* en Camargue, et ce, conformément à l'appel à propositions du Parc naturel régional de Camargue. Ces suivis, originaux et innovants, car sans précédent pour leur aspect pluridisciplinaire, ont évolué vers un caractère plus adaptatif, en capitalisant sur les connaissances acquises pour répondre à de nouvelles questions ou pour tester de nouvelles modalités de démoustication. Les modes opératoires actuels ont des impacts forts et avérés sur de nombreux compartiments de la faune non cible. La persistance et la prolifération du *Bti* dans certains marais, suggèrent un impact à long terme bien au delà des quelques jours suivant son épandage. Cette formule est-elle la mieux adaptée au territoire Camarguais, refuge de biodiversité constitué encore aujourd'hui de grands espaces naturels ? Les seuls secteurs de Salin-de-Giraud et Port Saint-Louis représentent près de 20 % des superficies traitées cumulées dans tout le Languedoc-Roussillon. Une approche centrée sur le piégeage des moustiques dans les zones habitées permettrait de mieux concilier réduction de la nuisance et des risques sanitaires causés par le moustique tigre avec la protection de l'environnement, en adéquation avec la vocation de développement durable des parcs naturels régionaux.

## **Remerciements**

Nous tenons tout d'abord à mentionner tous les propriétaires et gestionnaires conservateurs des sites traités et témoins utilisés pour la majorité des suivis: Jean-Christophe Briffaud et Claire Tétré pour le Domaine de la Palissade; Carole Nourry et la commune de Port Saint-Louis pour le They de Roustan; Jean-Laurent Lucchesi et Leïla Debiesse pour les Marais du Vigueirat et Damien Cohez pour la Tour du Valat. Merci de nous avoir permis d'y réaliser nos suivis, avec tout ce que cela peut apporter en terme de nuisance! Notre reconnaissance va également au Conservatoire du Littoral, propriétaire de trois de ces quatre sites.

### ***Suivi des odonates***

Merci aux gestionnaires des sites échantillonnés (cités ci-dessus) et aux personnes ayant fourni une aide précieuse et des conseils utiles: Damien Cohez, Saïd Chenoufi, Sandrine Kirmamarios, Philippe Lambret, Carole Nourry, Rémi Tiné et Gaëtan Lefebvre.

### ***Suivi des disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles***

Merci aux propriétaires/gestionnaires des roselières de nous avoir permis des accès répétés tout au long de l'année y compris pour les sites et les périodes 'sensibles': M. Deville (Mourgues), Carole Nourry (They de Roustan), Gaël Hemery (Marais de Rousty, Bélugue), Leïla Debiesse (Marais du Vigueirat), Damien Cohez (Tour du Valat), Jean-Christophe Briffaud (domaine de la Palissade).

### ***Suivi des colonies d'hirondelles***

Merci à tout ceux qui accueillent des hirondelles au-dessus de leurs fenêtres pour nous avoir permis l'accès à 'leurs' colonies: Jean Paul Taris (Armellière), M. de la Gamba (Salin-de-Giraud), M. Raynaud (hôtel Longo Mai du Sambuc), M. Rousseau (Port Saint-Louis) et M. Rozière (mas Saint-Andiol).

### ***Suivi des Chiroptères***

Le Groupe Chiroptères de Provence (GCP) remercie tous ceux qui ont participé à l'étude: Fanny Albalat, Céline Hough, Hugo Neeser, Emmanuel Bonnays, Benjamin Vollot, Géraldine Kapfer, Emmanuel Cosson et tous les propriétaires, gestionnaires et conservateurs des milieux naturels qui ont permis et facilité l'installation et le suivi des nichoirs: Claire Tétré (Domaine de la Palissade), Carole Nourry (ONCFS, They de Roustan), Leïla Debiesse et Rémi Tiné (Marais du Vigueirat), Damien Cohez, Nicolas Beck, Brigitte Poulin (Tour du Valat) et la Réserve Nationale de Camargue (SNPN, Salin de Badon). Merci aux stagiaires de la Tour du Valat et en particulier à Céline Hanzen pour nous avoir accompagner lors du suivi des nichoirs et des colonies et à Gaëtan Lefebvre pour l'analyse des facteurs influençant les probabilités de colonisation.

### ***Suivi de la persistance du Bti dans le milieu***

Merci à Claire Tétré et Carole Nourry pour avoir veiller à la collecte des échantillons de sol aux périodes préconisées et à Solenne Lozinguez et Sophie Perigon pour la réalisation des analyses microbiologiques au laboratoire LECA de Grenoble.

### ***Suivi du domaine de la Palissade***

Merci à Agnès Esposito, Nadine Youssef, Elsje Matic et Maryline Jardin de l'accueil du domaine de la Palissade pour avoir incité les visiteurs à remplir le questionnaire. Merci à Jean-Christophe Briffaud, Claire Tétré, Antoine Arnaud, Thomas Galewski, Emmanuel Vialet et Lydie Catala-Malkas pour avoir contribuer aux comptages d'oiseaux lors des traitements aériens. Merci également à la Tour du Valat, au Parc naturel régional de Camargue (domaine de la Palissade) et à la SNPN (Réserve Nationale de Camargue) pour avoir mis à disposition leurs données de suivis à long terme sur les populations d'oiseaux

d'eau. Enfin merci à Julien Deleuze et Anthony Argiller ainsi que les autres agents de l'EID pour leur collaboration.

### ***Estimation de l'efficacité des pièges à moustiques***

Nous remercions la Caisse d'Épargne (CEPAC) et Biogents AG ([ww.biogents.com](http://ww.biogents.com)) pour avoir participé financièrement à l'acquisition des pièges et aux coûts de leur maintenance (bouteilles CO<sub>2</sub> et propane). Merci en particulier à Astrid Schuhbauer, responsable des services de tests biologiques au sein de Biogents AG et à Antoine Cohen de KO-démoustication ([www.ko-demoustication.com](http://www.ko-demoustication.com)) pour leur appui logistique qui fut grandement apprécié. Merci à Simon Lillamand et Pierre Bellagambi, ingénieurs qui ont mis au point le prototype BAM pour leur réactivité lors des divers tests réalisés sur le terrain.

### ***Estimation de l'efficacité d'un traitement homéopathique***

Merci à M. Vincent Ramon, pharmacien ayant mis au point le traitement homéopathique commercialisé par les Laboratoire Boiron pour s'être prêté au jeu du test scientifique, à la pharmacie des Manades de Saint-Martin de Crau pour son efficacité et à tous les volontaires qui ont prêté un mollet ou un avant-bras à la science pendant quelques semaines!

### ***Suivi sociologique***

Un grand merci à tous les participants qui se sont impliqués dans ce travail très souvent au-delà de leur réponse à l'enquête, permettant ainsi de faire progresser cette démarche participative de façon dynamique au travers de leurs suggestions et de la rencontre de nouveaux volontaires.

Merci à tous les volontaires, particuliers et professionnels, qui se sont rendus disponibles pour répondre aux questionnaires et pour tester les pièges à moustiques sur leur propriété.

Enfin, merci à Régis Vianet, directeur du Parc naturel régional de Camargue, et à son conseil scientifique pour nous avoir fait confiance en nous accordant la tâche de réaliser ces suivis.