Résultats du suivi écologique en parallèle à des opérations de démoustication au BTI sur le périmètre du Parc Naturel Régional de Camargue

Partie ODONATES



©F. Bourrié

Rapport final 2007 à 2011

Présentée par Christiane Jakob
à G. Hémery, chargé de mission espaces naturels, Parc naturel régional de Camargue

1. INTRODUCTION

L'étude Odonates fait partie des suivis entrepris entre 2007 et 2011 et ayant pour objectif de détecter au fil du temps d'éventuels effets de la démoustication par BTI (*Bacillus thuringiensis var. israelensis,)* sur des organismes non-cibles. Selon les études réalisées en laboratoire ou sur le terrain, les impacts sur la faune non-cible sont très limités, y compris lorsque les doses de BTI utilisées sont supérieures aux doses recommandées (Boisvert & Lacoursière, 2004). Toutefois, l'hypothèse d'un éventuel impact indirect sur les Odonates *via* la chaîne alimentaire est à considérer, particulièrement pour ce groupe clé, qui constitue à la fois des prédateurs d' invertébrés et des proies pour de nombreux vertébrés.

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 en cours, Amis des Marais du Vigueirat).

Le « **modèle Odonates** » a été choisi, puisque :

- Ce sont des organismes prédateurs et non-cibles du BTI, dont l'importance dans la chaîne trophique des écosystèmes camarguais est élevée (voir par ex. Aguesse, 1955).

- Les Odonates possèdent un cycle de vie complexe, comprenant un stade larvaire aquatique et un stade adulte aérien. Ainsi, ils sont doublement exposés à d'éventuels changements dans le niveau d'abondance de leurs proies.

Le type de suivis choisi dans ce cadre est appliqué depuis 2008; il correspond à un compromis coût-bénéfice, le suivi étant de long terme et le budget limité. Des méthodes d'échantillonnage robustes et peu couteuses en temps ont donc été sélectionnées. La combinaison de plusieurs types de méthodes vise à tenir compte des différents stades de développement et de comportement lors du cycle de vie des Odonates.

Ce rapport final quinquennal (2007 à 2011) intègre les résultats obtenus par les différentes méthodes mises en oeuvre sur les sites d'étude. Ces méthodes varient selon qu'elles s'appliquent aux Odonates nées dans les mares suivis ou aux adultes, chassant ou se reproduisant dans cette même zone. Un cumul interannuel des données (2009-2011) permet de tester les effets du BTI et d'autres variables sur la richesse spécifique et l'abondance du peuplement.

Le suivi, conçu en 2007 comme simple accompagnement d'autres études d'invertébrés (*via* l'analyse de larves issues collectées par «carottages » du sédiment) a évolué en 2008 puis en 2009 pour devenir un suivi des peuplements d'Odonates à part entière. Par conséquent, pour certaines des analyses ci-dessous, les années 2007 ou 2008 n'ont pas été prises en compte, du fait que le protocole d'échantillonnage a été élargi après.

En 2011*,* L'échantillonnage des adultes par transect s'est poursuivi sur 6 sites de Camargue, dont 3 font l'objet d'un traitement au BTI, les 3 autres faisant office de sites témoins. Une septième zone d'échantillonnage non-traité (Belugue 2), suivie pour la deuxième année consécutive, se trouve à environ 1km d'une zone traitée au BTI.

Cette année, **le succès de reproduction (volet C), n'a pas pu être évalué** en raison d'un assèchement précoce ou du fait de l'absence d'eau dans les marais suivis. Il a donc été estimé *via* la méthode des pièges d'émergences, installés sur chaque site au printemps.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Evolution du nombre de sites d'études

Pour mémoire, **en 2007**, le suivi des Odonates s'est limité à la détermination des larves trouvées lors des campagnes d'échantillonnages des larves de diptères chironomidés par carottage au moyen d'un cylindre de 23 cm de diamètre (cf. programme Chironomides, E.Franquet).

A partir de 2008, le suivi Odonates a été étendu à quatre sites, suivis de mai à octobre 2008, par d'autres méthodes de prélèvement. Un seul de ces sites se trouve à l'intérieur du périmètre de démoustication expérimentale (La Belugue). Les trois autres, (marais de Rousty au Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC), la Fangouse sur le Domaine de la Tour du Valat (TDV) et un marais à scirpes, la Boutardière au sein des Marais Du Vigueirat (MDV)) se trouvent en dehors des zones traitées. Les deux premiers sites sont localisés sur le territoire du PNRC, le troisième (MDV) est situé au Plan du Bourg, à l'Est du grand Rhône.

Les sites choisis sont ceux où des inventaires d'invertébrés sont déjà en cours, afin de permettre, à terme, un croisement des résultats. Les stations suivies se concernent des marais à Scirpes et des Jonchaies. Aucun autre site traité au BTI n'a pu être suivi en raison de l'absence de terrain accessible comportant des « marais à Scirpes », habitat concerné par le suivi.

A partir de 2009, les zones échantillonnées se situent sur sept sites d'étude (trois dans une zone de traitement au BTI, quatre autres en dehors de celles-ci). Tous sont des marais à dominance scirpes *(= Scirpus maritimus*, *S. lacustris,* 1967) ou de scirpes/joncs, choisis dans un souci d'homogénéité maximale des habitats (cartes : voir Annexe 1). Ainsi, tous les transects se situent dans des marais temporaires avec apport en eau douce, sauf au They du Roustan ou le transect se trouve en bordure d'une telle zone, pour une question d'accessibilité. Pour les sites traités au BTI, les marais choisis sont contact direct avec le traitement ou à proximité immédiate.

Pour le suivi des adultes d'Odonates il a également été important de vérifier que différents types d'habitats aquatiques se trouvaient à proximité de chaque zone d'échantillonnage sélectionnée (canal d'eau douce, grande surface d'eau permanente, etc.), puisque les adultes peuvent parcourir une certaine distance et ne sont pas nécessairement issus de la zone d'échantillonnage, mais l'utilisent pour la chasse et la ponte.

Nous parlerons de « **sites traités ou non-traités** » pour désigner les sites d'échantillonnages, qui se trouvent dans une zone traitée ou non au BTI, soit directement concernée par l'application soit *a priori* à très faible distance d'une zone traitée par survol.

Sites témoin non soumis au traitement BTI

- Marais de Rousty sur le terrain du Parc naturel régional de Camargue
- Marais de la Boutardière, site du conservatoire du littoral, géré par « les Amis des Marais du Vigueirat »
- Marais de la « Fangouse » sur le site de la Tour du Valat
- Marais à Scirpes de la Bélugue 2, à plus d'un km de la Bélugue 1 sur le site du conservatoire du littoral

Sites soumis au traitement de BTI

- Marais du They du Roustan, plan du Bourg, site du conservatoire du Littoral, géré par l'Office nationale de la chasse et de la faune sauvage
- Marais à scirpes de la Bélugue 1, sur le site du conservatoire du littoral
- Marais sur le site du conservatoire du Littoral « la Palissade »

2.2. Plan d'échantillonnage et méthodes

Les échantillonnages se sont déroulés sur les 6 sites entre avril et octobre de chaque année d'étude. Les différentes méthodes ont été appliquées totalement ou partiellement selon les années, en fonction des contraintes météorologiques (par ex. pas de pose de pièges à émergence en 2011) ou méthodologiques (échantillonnage au filet de surber aquatique, abandonné à partir de 2009, à cause du mauvais bilan coût/efficacité)

Approche qualitative

A. **Présence des larves en dehors de la saison de reproduction** : détermination des larves d'odonates issues des carottages de chironomes, méthode A (voir aussi rapport F. Franquet pour la méthode).Les larves de libellules prélevées en même temps que les larves de Diptères chironomidés (hors saison de reproduction) sont stockées dans de l'alcool à 90° et transmises après tri pour identification à l'aide d'une loupe binoculaire et de clés de détermination (Gerken & Sternberg, 1999 ; Doucet 2010). Il s'agit d'une approche uniquement qualitative, permettant d'identifier les espèces présentes, dans les différents milieux échantillonnés et de compléter les listes d'espèces présentes dans le meilleur des cas. Souvent l'identification n'est possible que jusqu'au genre.

Approches quantitatives

B. Reproduction sur le site et abondance larvaire: L'échantillonnage au filet de surber aquatique d'une surface de fond standard (35x35 cm) est utilisé pour prélever des larves dans l'eau, dans la végétation aquatique et les premières couches de sédiment, durant la saison de reproduction. Le résultat attendu est une abondance relative des larves d'odonates présents, une quantification et une comparaison de leur présence entre sites et entre années. Il s'agit d'une méthode plutôt adaptée aux eaux courantes, qui s'est avérée inefficace pour les plans d'eau sélectionnés. Elle a été abandonnée en 2008.

C. **Reproduction sur le site et phénologie**: La collecte des exuvies (mues du dernier stade larvaire) donne une indication de la reproduction des espèces sur le site (individu émergeant de la mare). Des pièges d'émergence sont installés au printemps, sur tous les sites au même moment. Ceci permet surtout une vérification des listes d'espèces et éventuellement un suivi de leur phénologie.

D. L'abondance relative des adultes : Elle est étudiée *via* l'observation des individus le long d'un transect, ce qui permet à l'observateur d'évaluer l'abondance de chaque espèce (ou le genre dans certains cas) et de la convertir éventuellement en densité. Dans un souci de standardisation du protocole, des transects de 100m ont été réalisés, sur chaque site durant 30 à 45 min (tracés des transects : *Annexe 2*). Les libellules observées jusqu'à environ 5m de distance de chaque coté du transect ont été recensées. Les campagnes de terrain ont été effectuées lors de trois périodes d'activité différentes dans l'année (printemps, été, automne). Pour chacune des campagnes, un maximum de 8 jours s'est écoulé entre la visite du premier et du dernier site.

Pour compléter ce protocole, des observations hors transects ont également été effectuées. Elles ont surtout servi à la comparaison des méthodes et à la discussion des résultats. Les niveaux d'eau et la salinité/conductivité ont été mesurés par les gestionnaires des sites au minimum une fois par semaine, et ont permis d'analyser les effets de ces variables sur la richesse spécifique et l'abondance.

Les résultats de 2011 se basent seulement sur les transects pour l'évaluation de la richesse spécifique et de l'abondance, alors qu'en 2010, les pièges à émergence ont permis de compléter les listes d'espèces.

3. RESULTATS

3.1. Résultats pour 2011

>>> Le chapitre **3.1.3. Cumul interannuel** (2009 à 2011) illustre les résultats les plus pertinents de cette étude car le cumul des données a permis de faire des analyses répondant le mieux aux questions posées au départ.

3.1.1 Richesse spécifique 2011

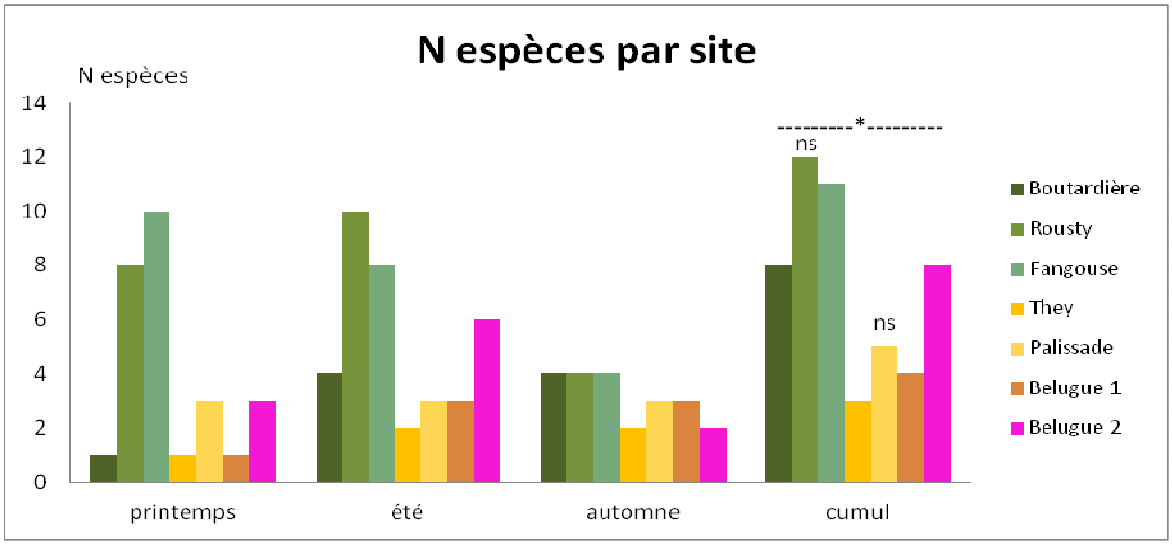


Fig. 3.1. : *Nombre total d'espèces observées en 2011 par site lors des transects, selon les trois saisons d'échantillonnage et cumulés pour 2010.* ***Sites non-traités*** *(dégradés vert): MDV= Boutardière, Marais du Vigueirat, Rousty=Marais de Rousty, Parc naturel de Camargue, TDV= Fangouse, Tour du Valat,* ***Sites traités au BTI*** *(dégradés jaunes): They=They du Roustan, Plan du Bourg ; Palissade= Marais de la Palissade ; Belugue= Marais de la Belugue, site 2.* ***N total individus = 456***

Le nombre total d'espèces rencontrées et déterminées, tous sites et méthodes confondus, est de **15** cette année, de **21** en 2010 et 2009 et de **20** en 2008. Le nombre d'individus déterminés cette année s'élève à **458** contre **629** en 2010 et **721** en 2009 (en 2008 le nombre de sites était inférieur, ce qui interdit les comparaisons) avec une détermination spécifique pour 456 individus.

Le suivi a permis de confirmer à nouveau la présence de *Lestes macrostigma* sur les transects de Rousty, Fangouse et Belugue 2. Elle s'est certainement reproduite dans ces zones, comme cela a déjà

été observé en 2010. Cette espèce, dont l'état de conservation est considéré comme « mauvais » selon le PNAO (Dupont et al, 2010), bénéficie depuis peu d'une attention particulière en PACA (Lambret et al, 2009). Hors des transects, des adultes de cette espèce ont pu également être observés sur le site du They du Roustan. La Leste à large stigmes (*L. macrostigma)* fait partie des espèces observées au moins une fois sur chacun des sites.

Oxygastra curtisii n'a pas été détecté lors des transects, néanmoins sa présence a été confirmée par une autre étude en tant qu'espèce reproductrice en Camargue, sur la RNR de la Tour du Valat (Aube de Bouic).

Comme en 2010, la richesse spécifique en 2011 est significativement inférieure pour le groupe des trois sites traités (*Fig.2.1*.et 2.2: dégradés jaunes) que pour celui dessites non-traités (dégradés verts), Wilcoxon-test :Z = 2,52 ; p = 0,012 ; N=18, Moy $_{NT}$= 5,88 +/- 3,1 SE vs Moy $_{T}$ =2,33 +/- 0,8 SE). Aucune différence significative de la richesse spécifique n'a été décelée entre chacun dessites soumis au même traitement (*Fig.3.1*). Cette tendance décelée depuis 2008, se poursuit donc. Pour l'année 2007, il n'existe pas de données quantitatives.

3.1.2. Abondance des adultes 2011

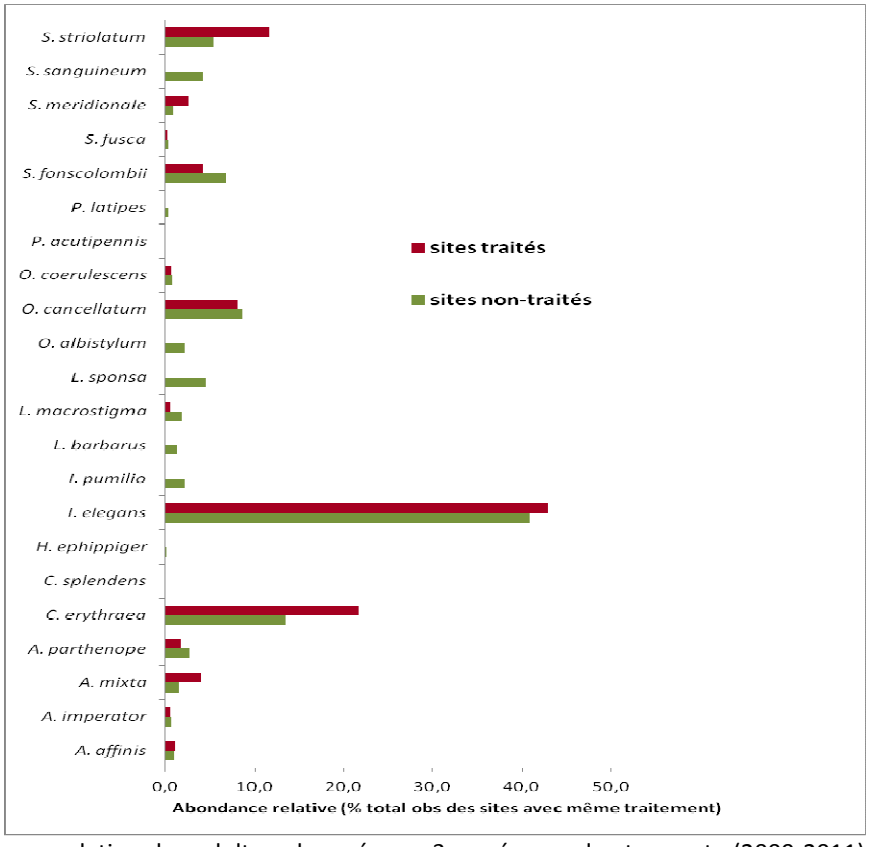


Fig.3.2. *:* Abondance relative des adultes observés sur 3 années sur les transects (2009-2011) des sites traités (rouge) et non-traités (vert). Données regroupées par groupe de site traités/non-traités par BTI. **N total sites traités= 806, N total sites non-traités= 1446.**

Une abondance totale composée par un nombre d'espèces plus élevés sur les sites non-traités par rapport aux sites traités concorde avec les résultats de 2010 et 2009 (voir aussi *indice de Shannon, rapport 2010*). L'abondance relative entre espèces est différente, en raison du nombre d'espèces total, qui diffère selon les traitements. Sur les sites traités, trois espèces suffisent pour cumuler 80% des

individus du peuplement, tandis qu'il en faut six pour les sites non traités Les quatre espèces les plus abondantes sur sites traités ou non sont considérées comme appartenant à des cortèges d'espèces pionnières, donc ayant en tant qu'adulte de bonnes aptitudes de re-colonisation de sites temporaires ou récents.

Les taxons tels que les Aeshnides ainsi que les Lestes sont faiblement représentés voir absents des transects sur les sites traités. De manière générale, les abondances moyennes de Zygoptères montrent une différence significative et croissante entre sites traités et non traités, alors que pour les Anisoptères cette différence n'est pas significative (voir *Fig. 3.7.*, chapitre 3.2.2.).

3.2. Cumul interannuel

Les comparaisons interannuelles de la richesse spécifique et des abondances relatives ou cumulées sont importantes pour mieux comprendre le rôle des éventuelles perturbations dans l'apparition des Odonates.

3.2.1. Richesse spécifique 2009-2011

Les résultats ci-dessous se basent sur un ensemble de 3064 observations de taxons, inventoriés sur l'ensemble des transects effectués entre 2009 à 2011. Le nombre d'espèces est significativement le plus élevé pour les sites non traités pour chaque année d'étude (N=19 ; Moy ± Ecartype : $_{NT}$ = 10,91 ± 0,3 vs $_{T}$ = 5,55 ± 0,39), mais aussi pour les trois années cumulés (2009-2011), comme l'illustrent la Figure 3.3. et 3.4. (Wilcoxon : Z = 2,52; p = 0,012 ; N=6, Moy ± Ecartype : $_{NT}$ = 15,33 ± 1,5 vs $_{T}$ = 9,33 ± 2,8), ANOVA hiérarchique (test ci-dessous).

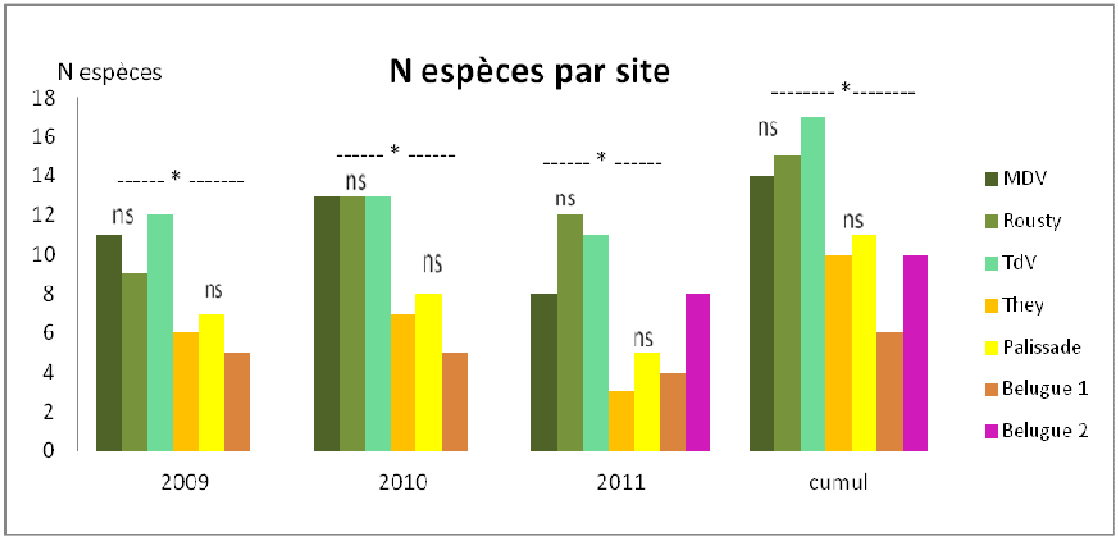


Fig. 3.3. : Nombre total d'espèces observées entre 2009 et 2011 par site lors des transects, selon les trois saisons d'échantillonnage et cumulés pour les trois années. **Sites non-traités** (dégradés vert): MDV= Boutardière, Marais du Vigueirat, Rousty=Marais de Rousty, PNR de Camargue, TDV= Fangouse, Tour du Valat, **Sites traités au BTI** (dégradés jaunes): They=They du Roustan, Plan du Bourg ; Palissade= Clos d'Armand ; Belugue= Marais de la Belugue, site 2. **N total individus = 3064**

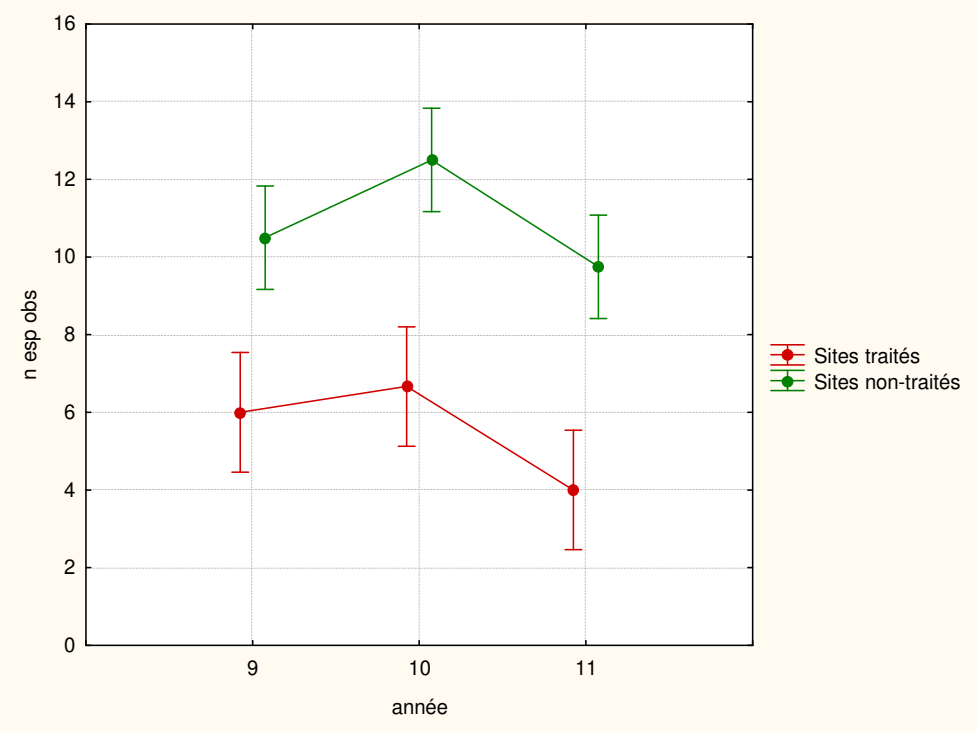


Fig. 3.4. : Moyennes du nombre d'espèces observées (± erreur type) sur les sites traités et non-traités de 2009 à 2011. Liste sites non-traités / traités au BTI : voir légende Fig.3.3. **N total individus = 3064**

Pour distinguer les effets éventuels du traitement BTI de ceux d'autres variables importantes (année, site) sur la composition spécifique et l'abondance des Odonates dans la zone du PNR Camargue , une analyse de variance hiérarchique a été réaliséee, comme en 2010. Cette approche permet de comparer des valeurs moyennes et la comparaison de la variance expliquée par la dispersion des moyennes au sein de chacune des deux groupes des sites à celle due à une dispersion au sein de chaque groupe de sites (ici les facteurs sites, année et traitement BTI pour les trois années de suivi).

L'effet de la conductivité sur la variance globale a été testé, mais reste extrêmement faible par rapport aux autres effets (BTI, année site), la variable a donc été écartée de l'analyse globale.

Dans le cas de la richesse spécifique le traitement *BTI* contribue à expliquer 92 % de la variance observée (*F(1,10)* = 103.53, *P* < 0.0001), par rapport à 5% pour l'année et 2% pour les sites (*Fig. 3.5.a*).

Le traitement des sites explique 47% de la variance observée dansl'abondance cumulée, tandis que l'année en explique 36% et le site 16% seulement (*Fig. 3.5.b.).* L'effet BTI étant imbriqué dans l'effet année, son effet varie selon les années.

Ainsi nous pouvons illustrer l'impact négatif significatif de la démoustication sur la richesse spécifique et l'abondance cumulé d'Odonates.

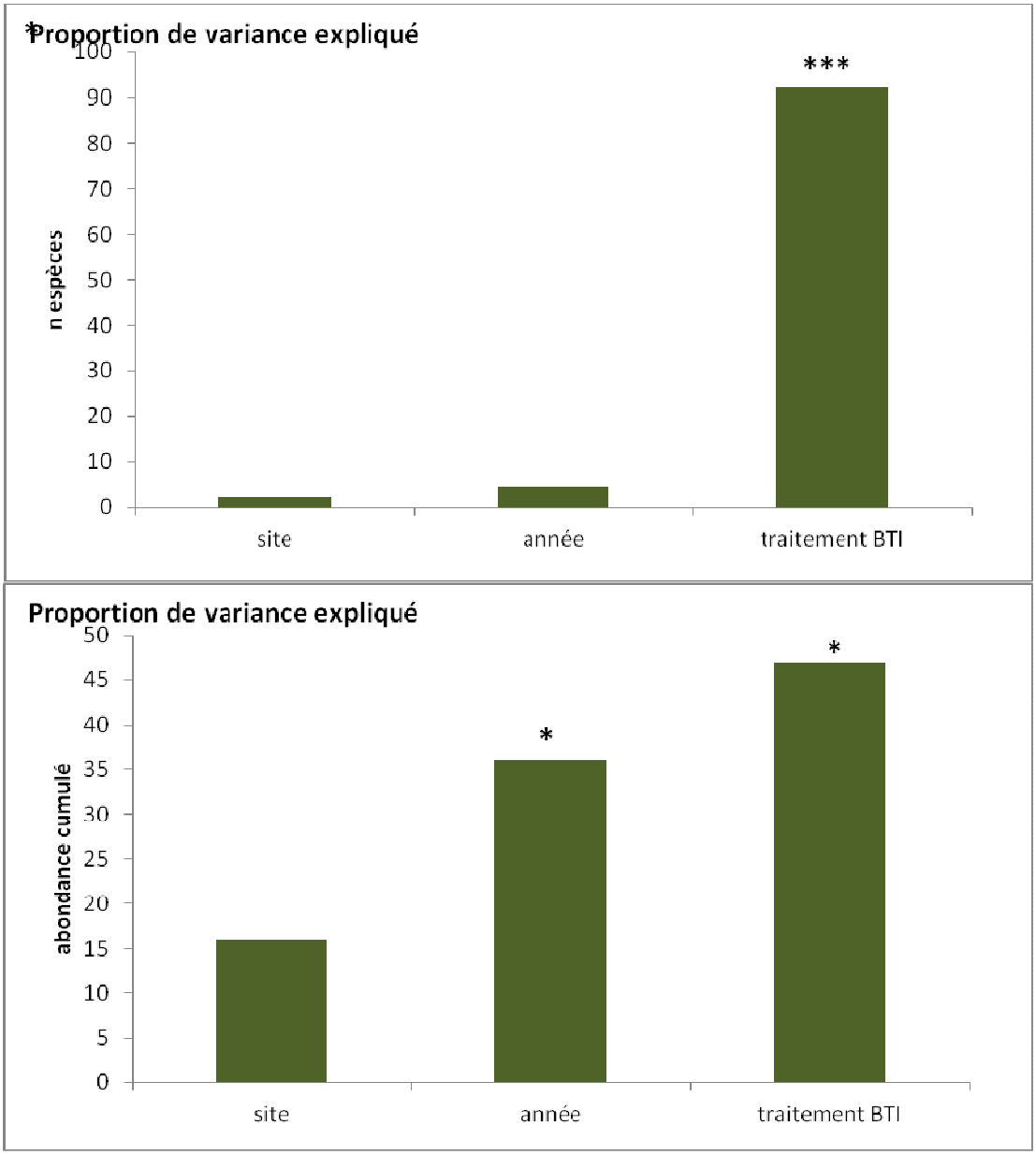


***Fig.3.5.a et b**:* Effet des variables site, années et traitement BTI sur la richesse spécifique (a) et l'abondance cumulé par site (b) pour les Odonates de 2009-2011 selon une ANOVA hiérarchique. Seuil de significativité*: *** $P < 0.001$, * $P < 0.05$.*

3.2.2. Abondance 2009-2011

L'importance du facteur traitement dans les écarts d' abondance observés augmente d'année en année (*Fig. 3.6.)* et s'avère désormais significatif pour l'ensemble de l'étude *(F(1,8) = 7.15; P = 0.028).* L'abondance moyenne des Zygoptères est significativement plus faible en cas de traitement (traités vs non-traités : N = 19, Moy ± Ecartype = 26,8 ± 6,01 vs 56,8 ± 6,7 ; *F(2,7)* = 4.98; *P* = 0.04), alors que ce n'est pas le cas pour les Anisoptères. L' Anova hiérarchique montre des effets BTI et année, expliquant 45 % et 39% de la variance respectivement. Cet effet n'a pas été aussi fort chez les Anisoptères. Par manque de nombre d'observation cette approche statistique n'a pas pu être testé à l'échelle des groupes fonctionnels (développement larvaire lent /rapide) ou selon les genres.

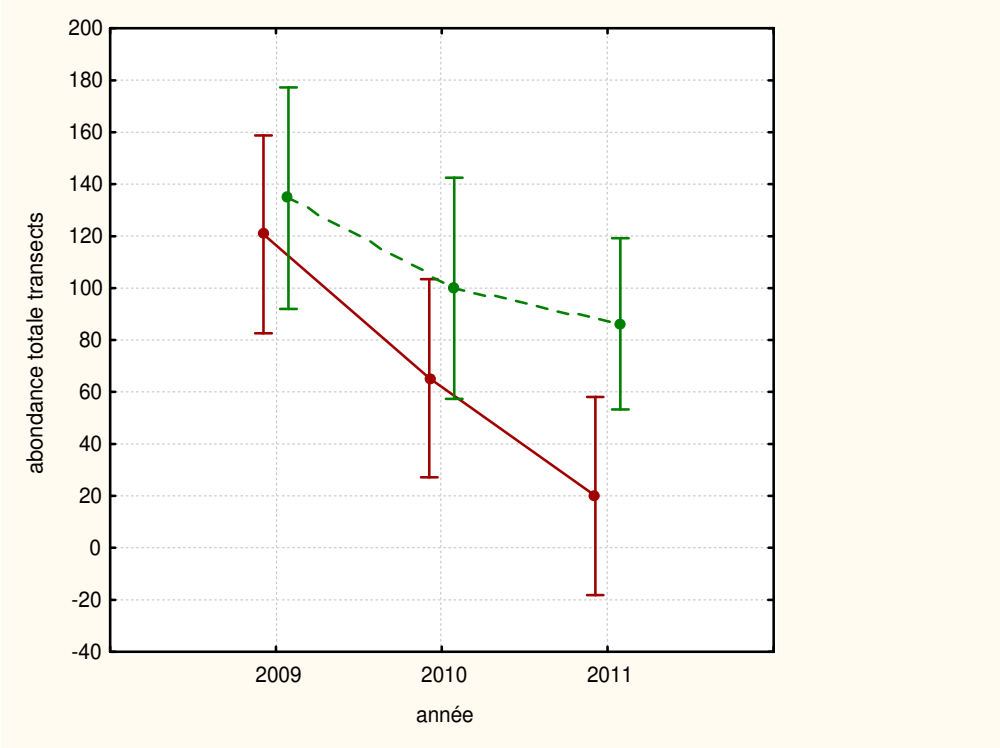


Fig.3.6.: Evolution des écarts d'abondances moyennes en Odonates (± erreur type) sur les sites traités (en rouge) et non-traités (en vert) de 2009 à 2011, basées sur les abondances cumulés par site, obtenues par méthode transect.

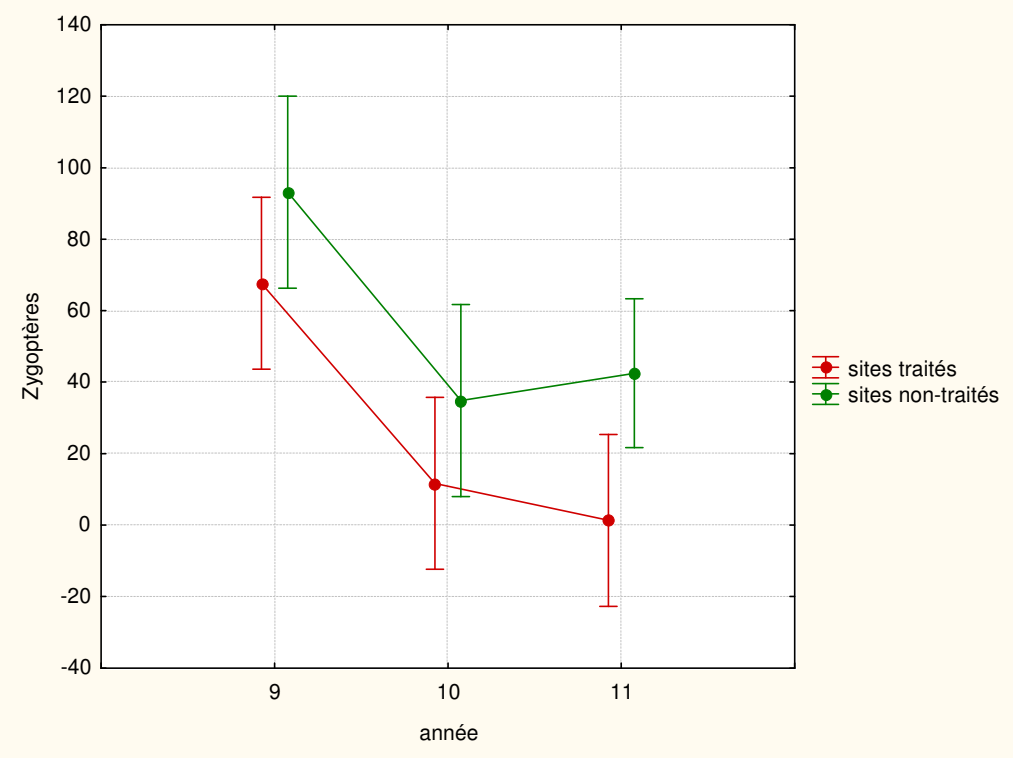


Fig.3.7.: Evolution abondances moyennes (± erreur type) de Zygoptères de 2009 à 2011 sur les sites traités et non-traités, basées sur les cumuls des données de transect pour ce taxon (N = 699).

3.2.3. Reproduction sur les sites (Volet C) de 2010 et 2009

En 2011 aucun résultat n'a pu être obtenu sur cette partie de l'étude pour cause d'assèchement précoce des mares. En 2010, 90% des individus (2010 et 2009 respectifs) prélevés dans les pièges d'émergence entre fin mai et début juin sur 15 jours d'échantillonnage sont des jeunes imagos/adultes (N = 190), les observations d'exuvies ne représentant que 10% du total observé. Les exuvies des Zygoptères sont facilement emportées par le vent et donc moins souvent détectées et les jeunes imagos (sub-adultes) d'Anisoptères sont souvent soumis à une prédation indirecte dans les pièges (fourmis ou insectes aquatiques) (Jakob et al, 1999). Néanmoins, la détermination des exuvies et des imagos dans les pièges a ainsi permis d'ajouter des observations correspondant en 2010 à 6 espèces non-observées par la méthode des transect.

C'est sur la nouvelle zone d'échantillonnage « Belugue 2 » que le plus fort taux d'émergence a été observé (N = 150 individus), suivi par la Boutardière et Rousty (Bourrié, 2010). Sur le site du They de Roustan, malgré une colonne d'eau suffisante dans le piège durant l'échantillonnage, aucune émergence n'a pu être enregistrée. La Belugue 1 s'est asséchée avant la fin du suivi 2010. Mais les conséquences possibles de cet assèchement ont été anticipées pour l'échantillonnage : toutes les zones choisies pour disposer les pièges à émergence ont été à sec au plus tard une semaine après la fin du suivi.

Ces résultats d'émergence servent à confirmer le développement complet (autochtonie) d'une espèce sur un site d'échantillonnage. De plus, l'autochtonie pourra faire partie des variables à suivre dans les zones traitées au BTI dans le futur.

4. DISCUSSION

Les résultats de notre étude, menée de 2007 à 2011 sur les sites de Camargue témoignent donc d'**une moindre richesse spécifique et d'une plus faible abondance d'Odonates sur les sites traités au BTI, en comparaison de sites non traités**. Ces écarts sont imputables en premier lieu au traitement, les autres facteurs, tels que site, année ou conductivité, s'avérant secondaires.

Bien que le BTI (Goldberg et Margalit, 1977) soit considéré comme l'un des insecticides les plus sélectifs actuellement disponible sur le marché (XXXX)**,** son innocuité écologique doit être évaluée non seulement par la réponse immédiate d'espèces cibles, mais aussi par les effets possibles à court et moyen terme sur les espèces non-cibles (prédateurs ou détritivores), qui vivent dans le même habitat.

En l'absence de traitement, ou lorsque la fréquence des traitements est réduite (lors d'une année sèche, comme à priori en 2011), les traitements des années précédentes peuvent avoir un impact sur la structure et l'abondance du peuplement d' Odonates de l'année en cours. Effectivement, nous observons des écarts croissant de richesse spécifique et d'abondance depuis trois ans, entre sites traités et « témoins ». Cet effet retard, à 2-3 ans d'intervalle, à également été observé sur d'autres macro-invertébrés non-cibles (Hershey et al, 1998 ; Niemi *et al.* 1999).

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 (par ex. Borrvall et al., 2001). Pour certains écosystèmes saumâtres de Camargue, qui abritent

des peuplements pauvres en espèces mais abondants, il est donc impératif de surveiller cet impact à long terme. En effet, nous observons surtout des fortes densités d'espèces pionnières sur ces sites. Bien que les effets indirects du BTI sur les invertébrées non-cibles soient documentés par ailleurs (par ex. Merritt et Wipfli, 1991 ; Poulin et al, 2010), il n'existe que peu d'information quant à son effet à plus long-terme et in situ sur les Odonates en particulier (mais voir Niemi et al, 1999).

Nos résultats méritent une attention particulière, tant pour en comprendre l'origine que pour en expliquer le mécanisme écologique. Selon les références ci-dessus, il peut s'agir d'un simple effet indirect, lié au manque de proies préférées avec des conséquences néfastes sur la reproduction (ponte ou croissance larvaire) et donc sur le recrutement de l'année +1. Cet impact peut intervenir au niveau des larves d'Odonates, en tant que consommatrices de larves de Chironomides (Aguesse, 2004 ; Testard, 1961), mais également par la prédation aérienne des adultes. Pour une Odonate plus généraliste dans le choix des proies il y aura alors moins de répercussions que pour une spécialiste. Si la tendance actuelle se poursuit, il conviendra de s'interroger quant au risque de disparition de populations viables, les mares traitées devenant, en termes de métapopulation, des zones « puits ».

Les distances de déplacement (synthèse PNAO, Dupont 2010) des Zygoptères sont tellement faibles que l'on peut supposer que les individus observés lors de cette étude sont nés sur les sites mêmes, donc dans une zone traitée ou non-traitée. En revanche, les Anisoptères adultes ou immatures peuvent avoir selon l'espèce un rayon d'activité plus large, être erratique, et donc avoir éclos dans une autre mare/plan d'eau, soumis à un autre traitement que celui de la zone d'observation. Ceci expliquerait en partie pourquoi l'effet significatif du traitement n'est observé que pour les Zygoptères. Cet impact local est souligné par une différence significative en nombre d'espèces à la Bélugue 1, zone traitée et la Bélugue 2, zone non-traité à peu de distance de la première.



Prédation d'*Ischnura elegans* sur Chironomide © X.Houard

Les espèces pionnières parmi les Zygoptères et Anisoptères sont très abondants dans nos transects. Ce sont des espèces particulièrement attirées par des biotopes temporaires ou récents, où elles se reproduisent (Corbet, 2004). Ces spécialistes ont une biomasse élevée dans les zones à Scirpes et Jonc par rapport aux autres Odonates et dans les biotopes Camarguais (voir aussi Aguesse, 2004). Ils se trouvent les premiers affectés par un manque de proie potentiel avec de fortes répercutions sur la biomasse en Odonates produite. Ceci rejoint les résultats de Poulin et al (2010), qui montrent qu'un remplacement des proies d'Odonates par des proies de qualité moindre (fourmis etc.) chez les hirondelles de fenêtre, affecte clairement le succès reproducteur des ces dernières.

*Dans ce contexte**, deux espèces méritent une attention particulière, bénéficiant*** d'une priorité nationale via le Plan national d'actions en faveur des Odonates, (PNAO)**.**

Oxygastra curtisii, la seule espèce présente en Camargue et inscrite dans l'annexe II et IV de la « Directive Habitat » (*directive 92/43/CEE*), n'a pas été détecté sur les transects en 2011. Néanmoins sa présence a été confirmée par une autre étude en tant qu'**espèce reproductrice en Camargue**, sur la RNR Tour du Valat, dans un canal ombragé, avec une température d'eau à faible amplitude. Une surveillance de ses habitats parait donc doublement importante.

Le leste à large stigmes (***Lestes macrostigma***), dont le statut de protection l'état de conservation est considéré comme « mauvais » (PNAO, Dupont et al, 2010), bénéficie depuis peu d'une attention particulière en Provence-Alpes-Cote d'Azur (Lambret et al, 2009). La Camargue représente une des deux principales localités de reproduction de l'espèce en France. Les sites de reproduction se trouvent dans des milieux actuellement suivis, avec une éclosion précoce dans l'année.
Malheureusement, les résultats actuels sont fondés sur un trop petit nombre d'observations pour détailler l'impact des traitements à l'échelle des familles ou des genres d'Odonates. Les connaissances sur les espèces reproductrices sont également limitées. Notre étude ne concerne d'autre part que des mares à scirpes, qui abritent un cortège caractéristique d'espèces. D'autres biotopes tels que les roselières en eau permanente, les canaux ombragés à eaux fraiches et courant faible, ne sont pas intégrés actuellement aux suivis.

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'étude a permis de démontrer un impact négatif, significatif et croissant du BTI sur la richesse spécifique et l'abondance cumulée des Odonates. 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.

Si le traitement à titre expérimental se poursuit en 2012, la poursuite des suivis, tels que réalisés en 2011, est proposée sur les 7 zones d'échantillonnages des 6 sites, lors des 3 saisons d'activité des Odonates.

Au delà, il serait intéressant d'ajouter plusieurs transects et/ou pièges à émergence dans différents milieux permanents stagnants et faiblement courant de chaque site suivi, tels que des bordures de canaux ombragés (habitat pour espèces comme *Calopteryx sp.*; *Oxygastra curtisii),* ou bordures de roselières et plans d'eau permanents afin d'élargir la connaissance sur l'impact indirect du BTI.

Ceci est particulièrement à surveiller, car il est possible, qu'une modification de la composition et de l'abondance des peuplements de proie sait un impact sur le développement larvaire, voir l'émergence des adultes. Ces travaux intéressent particulièrement le PNAO.

Choisies pour leur rapport coût/bénéfice optimal, les méthodes employées restent néanmoins très longues à mettre en oeuvre. La prospection d'habitats supplémentaires impliquera de consacrer plus de temps. Différentes possibilités pour la phase terrain pourront être développées ensuite, par exemple par la prise en compte d'avantage d'années/zones d'étude. Un suivi de la phénologie de certaines espèces pourrait également aider à connaitre d'éventuelles répercussions du traitement expérimental au *BTI* à l'échelle larvaire (autochtonie).

6. BIBLIOGRAPHIE

- Aguesse P. 1955 - Note préliminaire sur les Odonates de Camargue. *Terre Vie,* 102 (4) : 287-308.
- Begon M.E., Harper J.L. Townsend C.R. (2006). Ecology from individuals to ecosystems. 4 ed., Blackwell editions, 714p.
- Bellmann H. (1993). Libellen beobachten, bestimmen. Naturbuch Verlag Augsburg, 274p.
- Borrvall C., Ebenman, B., & Jonsson, T. (2001) Biodiversity lessens the risk of cascading extinction in model food webs. *Ecology Letters,* **3**, 131-136
- Bourrié F. (2010). Suivi de l'impact de la démoustication sur la population d'Odonates en Camargue. Rapport de stage BTSA GPN, option GEN École Pôle Sup à Montpellier. 41pp.
- Boisvert J., Lacoursière J.O. (2004). Le *Bacillus thuringiensis israelensis* et le contrôle des insectes piqueurs au Québec. Québec, ministère de l'Environnement, Envirodoq no ENV/2004/0278, 101 p., l'Université du Québec, Trois-Rivières.
- Butler S.G. (1993). Key to the larvae of european *Orthetrum*. Odonatologica 22(2). 191-196.
- Carchini G. (1983). A key to the Italian odonate larvae. Societas internationalis odonatologica1, Utrecht..
- Corbet P. S. (2004). *Dragonflies: behaviour and ecology of Odonata* - Revised edition. Harley Books, Colchester, 829 pp.
- Dommanget J.L. (1994). Atlas préliminaire des Odonates de France. Etat d'avancement au 31/12/93. *Secrétariat de la Faune et de la Flore Paris (FRA) Patrimoines Naturels 16*
- 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.
- Franquet E., Cazaubon A., Fayolle S., Hudin S, Clayes-Mekdade C., Morales A. & Picon B. (2003). Etude d'impact d'un éventuel traitement au Bti sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue. Rapport scientifique. 203 p.
- Frazer (1973). Estimating butterfly numbers. Biological Conservation 5: 271-276
- Gerken B. & K Sternberg (1999): Die Exuvien europäischer Libellen (The exuviae of european dragonflies). Huxaria Druckerei GmbH: 354 p.
- Goldberg, L.J., and Margalit, J. 1977. A bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against *Anopheles serengetii*, *Uranotaenia unguiculata, Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. Mosq. News 37: 355-358.
- Grand D. & Boudot P. (2006). Les libellules de France , Belgique et Luxembourg. Collection Parthenope, Mèze. 480p.
- Hershey, A.E., Lima A.R., Niemi G.J. and R.R. Regal. (1998). EFFECTS OF *BACILLUS THURINGIENSIS ISRAELENSIS* (BTI) AND METHOPRENE ON NONTARGET MACROINVERTEBRATES IN MINNESOTA WETLANDS. Ecological Applications 8:41–60
- Jakob C. (1995) Inventaire des Odonates du domaine de la Tour du Valat. *Station Biologique Tour du Valat Arles (FRA) 28p+annexes*
- Jakob C. & Suhling F. (1999). Risky times ? Mortality during emergence in two species of dragonflies (*Odonata :Gomphidae, Libellulidae*). - *Aquatic Insects,* 21 (1) : 1-10.
- Lambret P., Cohez D., Janczak A., (2009). *Lestes macrostigma* (Eversmann, 1836) en Camargue et en Crau (Département des Bouches-du-Rhône) (Odonata, Zygoptera, Lestidae). Martinia 25 (2) : 51-65. + Erratum, Martinia 25 (3) :115

- Merritt, R.W., and Wipfli, M.S. 1991. Changes in feeding habits ofselected nontarget aquatic insects in response to live and*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* de Barjac-killed black fly larvae (Diptera: Simuliidae). Can. Entomol. 123: 179-185.
- MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT : Arrêté du 22 juillet 1993 relatif à la liste des insectes protégés sur le territoire national
- Niemi G., Hershey A.E., Shannon L., Hanowski J.M., Lima A., Axler R.P. & R. R. Rega, (1999). ECOLOGICAL EFFECTS OF MOSQUITO CONTROL ON ZOOPLANKTON, INSECTS, AND BIRDS. Environmental Toxicology and Chemistry 549–559.
- Peet R.K. (1974). The measurement of species diversity. Annual Reviews of Ecology and Systematics. 5:285-307.
- Pinkney A.E., McGowan P.C., Murphy D.R., (2000). Effects of the mosquito larvicids temephos and methoprene on insect populations in experimental ponds. Env. Toxicol. and Chem. 19(3): 678-684.
- Pollard (1991). Monitoring butterfly numbers. In: Goldsmith, F.B. (ed.): Monitoring for Conservation and Ecology, 87-111. Chapman and Hall, London, New York 275
- Poulin B., Lefebvre G. and Paz L. (2010). Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. Journal of Applied Ecology 47 : 884–889
- Ramade F. (1994). Eléments d'écologie, écologie fondamentale. Ediscience international Paris. 579p.
- Riservato, E. *& al*. (2009). *Statut de conservation et Répartition Géographique des libellules du Bassin Méditerranéen*. Gland, Suisse et Malaga, Espagne : UICN. viii + 34pp.
- Suhling F. (1994). Einnischungsmechanismen der Larven von Onychogomphus uncatus (Charpentier) (Odonata: Gomphidae). Dissertation Technische Universität Braunschweig, 173pp.
- Suhling F., Lepkojus S. (2001). Differences in growth and behaviour influence asymmetric predation among early-instar dragonfly larvae. Can. J. Zool., 79(5): 854-860.
- Wendler A. & Nüß J.-H. (1994). *Libellules. Guide d'identification des libellules de France, d'Europe septentrionale et centrale*. Société Française d'Odonatologie (SFO), 130 pp.

Remerciements

Merci à Xavier Houard, OPIE pour la relecture et les commentaires précieux, Fanny Bourrié, stagiaire BTS GPN en 2010 motivée et dynamique. Les gestionnaires des sites et les personnes sur place ont fourni une aide précieuse et des conseils utiles (entre autres Philippe Lambret, Claire Tetrel, Damien Cohez, Carole Noury, Anaïs Crozille, Saïd, Nicolas Crocce), merci à eux également.

Annexe 1: Richesse spécifique et abondance totale 2010

Annexe 2*: Cartes des sites échantillonnés*



Fig.4.1 : Vue d'ensemble des sites étudiés entre 2007 et 2011.



Fig.4.2: Carte de la Bélugue (CDL) avec les deux sites d'étude (en rouge : Bélugue 1 ; en blanc : Bélugue 2) et l'emplacement du piège à émergence (point rouge). Coord. GPS: 43°25'17.68''N 4°40'0.42''E ; 43°25'33.18''N 4°39'6.90''E.



Fig.4.3 : Carte de la Boutardière (MDV) avec le transect en rouge et l'emplacement du piège à émergence (point orange). Coord. GPS: 43°32'1.31''N 4°45'28.37''E .

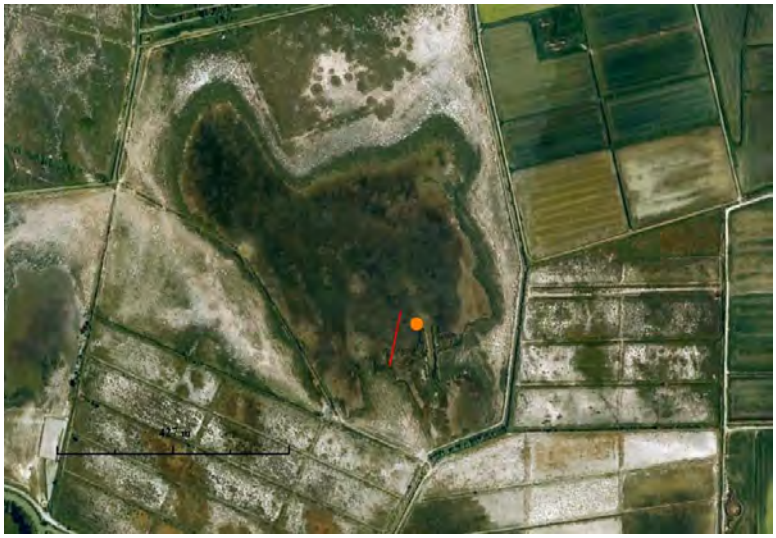


Fig.4.4: Carte de la Fangouse (TDV) avec le transect en rouge et l'emplacement du piège à émergence (point orange). Coord. GPS: 43°30'54.97''N 4°41'22.50''E .



Fig.4.5 Carte du Clos d'Armand à la Palissade (CDL) avec le transect en rouge et l'emplacement du piège à émergence (point orange). Coord. GPS: 43°21'55.72''N 4°48'57.30''E ;



Fig.4.6: Carte du Marais de Rousty (PNRC) avec le transect en rouge et l'emplacement du piège à émergence (point orange). Coord. GPS: 43°36'34.03''N 4°31'28.49''E.



Fig.4.7. Carte du They du Roustan (CDL) avec le transect en rouge et l'emplacement du piège à émergence (point orange). Coord. GPS: 43°20'53.06''N 4°50'55.56''E .