

Résultats du suivi de l'impact potentiel des traitements au Bti
sur les amphibiens chanteurs, les invertébrés paludicoles et les
hirondelles des fenêtres en Camargue pour la période
juin 2006 à septembre 2007



1 octobre 2007

Rapport final présenté à Gaël Hemery
CHARGE DE MISSION ESPACES NATURELS
PARC NATUREL REGIONAL DE CAMARGUE
Mas du Pont de Rousty
13200 Arles



par
Brigitte Poulin & Gaëtan Lefebvre
Station Biologique de la Tour du Valat
Le Sambuc, 13200 Arles
Tél : 04 90 97 29 58
FAX : 04 90 97 20 19
courriel: poulin@tourduvalat.org

Introduction

Compte-tenu du caractère peu toxique et relativement sélectif du Bti, les suivis proposés visent essentiellement à détecter un éventuel impact des traitements au Bti sur des organismes prédateurs via le réseau trophique: les amphibiens associés aux marais, les invertébrés associés aux roselières et les hirondelles des fenêtres qui s'alimentent d'insectes à la volée à proximité des hameaux de Camargue.

La forte variabilité saisonnière et annuelle de l'hydrologie (fréquence et durée des périodes de mise en eau), dont l'impact sur l'écosystème est probablement supérieur à celui du Bti, nécessitera quelques années d'échantillonnage (minimum 5 ans) afin que puissent se dégager des tendances. Ces dernières s'appuieront sur la comparaison de sites traités et non traités.

Etant donné qu'il s'agit a priori d'un suivi à long terme et avec budget limité, les méthodes de détection ou de captures ont été sélectionnées pour leur rapidité d'exécution et leur robustesse, notamment par rapport à d'éventuels effets observateur, et procurent des données d'abondance relative, à l'exception de l'estimation de la taille des colonies d'hirondelles qui s'appuie sur un dénombrement absolu.

Densité relative des amphibiens chanteurs



Des 8 espèces d'anoures présentes en Camargue, 6 sont distinguables par le chant: le **crapaud commun** *Bufo bufo* dont la présence est accidentelle en Camargue sauf sur les marges du Plan du Bourg; le **crapaud calamite** *Bufo calamita* de distribution localisée et en déclin en Camargue; le **pélodyte ponctué** *Pelodytes punctatus* commun localement; le **pélobate cultripède** *Pelobate cultripes* rare et au chant très discret; la **rainette méridionale** *Hyla meridionalis* abondante et trois espèces de **grenouilles vertes** dont la distinction par le chant est difficile: la grenouille de Perez *Rana perezii*, la grenouille rieuse *Rana ridibunda* introduite et envahissante et enfin la grenouille de Graf (*Rana klp graffii*), hybride entre les deux espèces précédentes. Afin de cibler les périodes maximales d'activité de chant de chacune de ces espèces, 4 séances d'écoute sont prévues entre janvier et octobre :

- (1) janvier-février : crapaud commun et pélodyte ponctué
- (2) mars-avril : crapaud calamite, pélobate cultripède, rainette méridionale et grenouilles vertes
- (3) mai-juin : grenouilles vertes et rainette méridionale
- (4) septembre-octobre : pélodyte ponctué, crapaud calamite, pélobate cultripède et rainette méridionale.

La réalisation des périodes d'écoute est cependant dépendante des conditions météorologiques locales qui motivent l'activité de chant (températures douces et sans vent après précipitations abondantes). Ainsi, aucun dénombrement n'a pu être réalisé à l'automne 2006 et celui de janvier-février a finalement été reporté à février-mars faute de conditions propices en début d'année.

Rappel Protocole:

Réalisation de 10 points d'écoute de 5 minutes, distants d'au moins 500 m et tous situés à proximité d'un plan d'eau où l'observateur note un index d'abondance des individus chanteurs de chaque espèce de 0 (aucun individu) à 3 (chœur). Dénombrements débutant 60 minutes après le coucher du soleil sous des conditions météorologiques favorables (vent faible et pluie absente ou faible) lorsque l'activité de chant est maximale. Pour faciliter l'interprétation des données à moyen terme, la distance approximative des amphibiens est notée comme suit: <50, 50 - 250 ou >250 m.

Sites échantillonnés

Les dénombrements sont réalisés à l'intérieur de 6 entités géographiques dont 4 en île de Camargue (Palissade, Réserve Nationale, Tour du Valat, Nord Vaccarès) et 2 sur le Plan du Bourg (Marais du Vigueirat et Marais de Sollac/Port Autonome de Marseille).

Résultats

Depuis le début de l'année 2007, **un dénombrement a été réalisé en février/mars sur tous les sites et en avril/mai et juin/juillet sur quatre sites témoins mais malheureusement pas sur le seul site traité de la Palissade**, le personnel de la Palissade étant dans l'impossibilité de dégager le temps nécessaire à leur réalisation (Tableau 1). Manque également le dénombrement du printemps sur le secteur Nord Vaccarès qui pris en charge par le Parc Naturel Régional de Camargue.

Tableau 1. Bilan des dénombrements réalisés sur l'ensemble des sites jusqu'à ce jour.

Sites	2006			2007		
	hiver	printemps	automne	hiver	printemps	été
Tour du Valat (TdV)	X	X		X	X	X
Port-Autonyme (PAM)				X	X	X
Nord Camargue (PNRC)				X		X
Réserve Nationale (RNC)				X	X	X
Marais du Vigueirat (MdV)				X	X	X
Palissade				X		

La figure 1 montre bien la nécessité de réaliser plusieurs dénombrements au cours de l'année alors que la proportion de contacts pour chaque espèce diffère selon les saisons, d'autant plus que certaines espèces qui chantent fort (eg., rainettes) rendent difficile la détection des espèces au chant plus discret (eg., pélodytes).

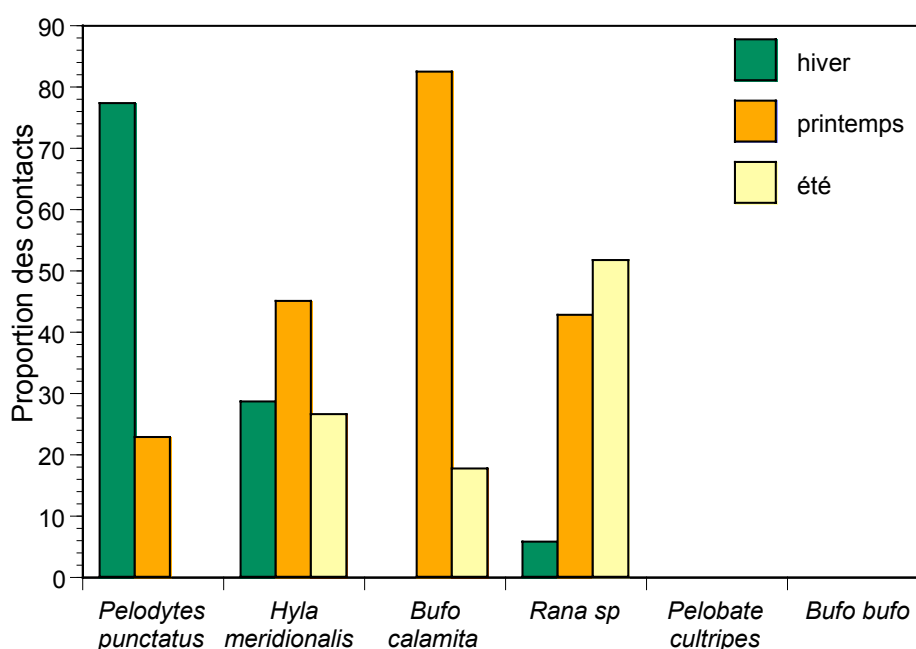


Fig. 1. Proportion des contacts auditifs obtenus pour chacune des espèces en fonction des saisons sur l'ensemble des sites.

La figure 2 résume les résultats des dénombrements réalisés jusqu'à ce jour en présentant la moyenne des indices d'abondance maximum obtenus pour chacun des marais suivis. Ces données suggèrent une structure de la communauté d'amphibiens chanteurs très différentes selon les sites, alors que même les espèces les plus communes, soit la rainette méridionale et les grenouilles vertes, présentent des indices d'abondance variables. Néanmoins, et malgré l'absence de dénombrement automnal en 2007, les données 2006 et 2007 récoltées sur le domaine de la Tour du Valat révèlent

une structure similaire de la communauté d'amphibiens chanteurs sur les deux années de suivi (Fig. 2).

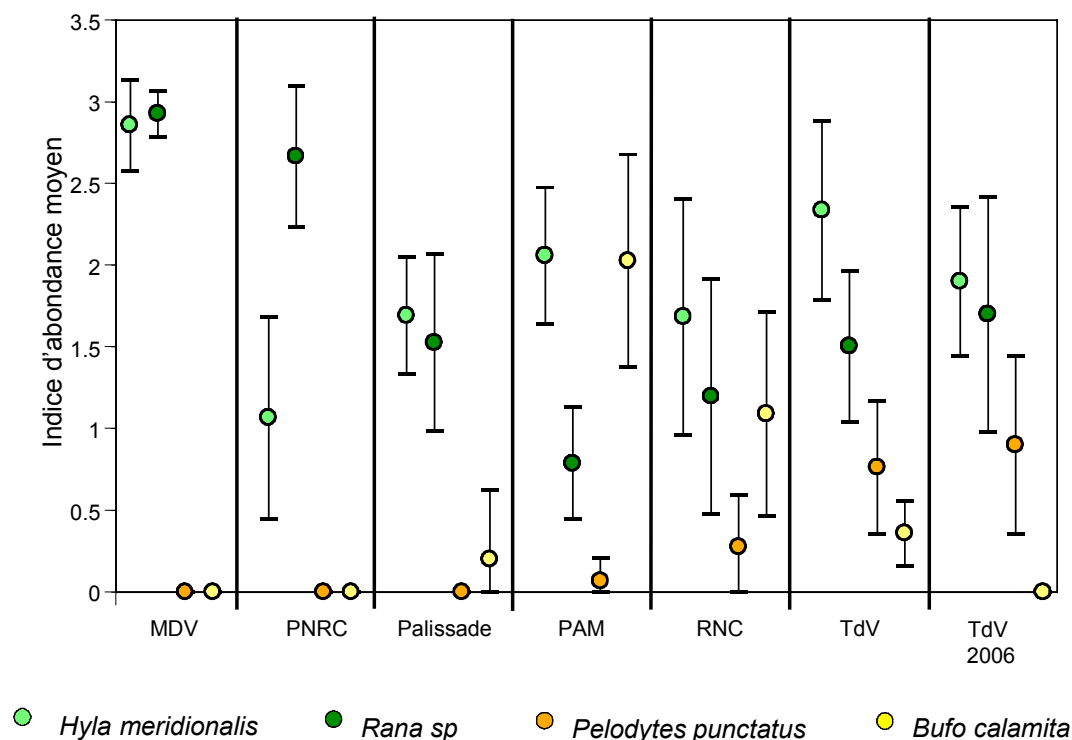


Fig. 2. Moyenne des indices d'abondance maximum obtenus pour chaque plan d'eau suivi sur chacun des sites.

Les 11 plans d'eau suivis sur le domaine de la Tour du Valat ont été dénombrés à deux reprises à un jour d'intervalle au printemps et à l'été 2007. Cette approche double-échantillonnage avait pour but d'estimer les probabilités de détection des différentes espèces. Celles-ci ont pu être calculées pour la rainette méridionale et la grenouille verte (Tableau 2). La rainette méridionale fut détectée sur tous les points lors des deux doubles dénombrements, alors que la grenouille verte, détectée sur les 11 points lors du premier passage en avril et juillet, ne fut pas entendue sur respectivement 2 et 4 points lors du deuxième passage. Les indices d'abondance montrent également des valeurs inférieures lors du second passage (1,8 vs 0,7 en avril; 1,9 vs 0,8 en juillet), suggérant une baisse générale de l'activité de chant entre les deux périodes d'écoute.

Tableau 2. Probabilité de détection de deux espèces d'anoures en fonction des dénombrements des 17/18 avril et 17/18 juillet sur le domaine de la Tour du Valat.

Espèces	Probabilité détection (%)	
	<i>Hyla meridionalis</i>	<i>Rana sp.</i>
Printemps	100	81,8
Eté	100	63,6

Perspectives 2008

Le dénombrement des amphibiens chanteurs selon la méthodologie employée permet d'obtenir rapidement des indices d'abondance des différentes espèces présentes en Camargue avec potentiellement une sous-estimation des espèces au chant discret comme le pélodyte ponctué, au moins par certains observateurs. L'expérience montre également que les plages d'écoute potentielles sont relativement rares et souvent très courtes au cours d'une année. Aucune période propice au chant ne s'est produite à l'automne 2006, alors que celle de l'hiver 2007, bien que présente, fut trop courte pour un double échantillonnage. On peut se demander si ce ne fut pas le cas également du printemps et de l'été 2007, alors que les indices d'abondance diminuaient de moitié entre les deux dénombrements réalisés à un jour d'intervalle. Cette forte variabilité observée même chez des espèces abondantes comme les grenouilles vertes, souligne la nécessité de réaliser les dénombrements lorsque l'activité de chant est maximale, ce qui demande beaucoup de réactivité de la part des observateurs. L'approche double-échantillonnage sera à nouveau réalisée sur le domaine de la Tour du Valat en 2008, si les conditions climatiques le permettent, afin d'obtenir des indices de détection fiables pour toutes les espèces d'amphibiens. La similitude des résultats obtenus pour le domaine de la Tour du Valat en 2006 et 2007 suggère que les données sont suffisamment robustes pour détecter un éventuel impact du Bti. Ces dénombrements permettent également de mieux connaître la répartition spatiale des amphibiens de Camargue dont l'abondance et la diversité n'avaient jamais fait l'objet de suivi. Enfin, ces dénombrements ont également permis de confirmer l'intérêt patrimonial de certaines zones, comme par exemple le secteur sud du Plan du Bourg (marais de Sollac et du Port Autonome de Marseille) où l'on retrouve les plus fortes abondances de crapaud calamite et la plus forte diversité d'amphibiens (toutes les espèces d'amphibiens présentes en Camargue ont été observées sur ce secteur avec des contacts visuels de crapaud commun, pélobate cultripède et triton palmé lors des dénombrements auditifs).

En l'absence de la mise en œuvre d'une déoustication expérimentale sur d'autres secteurs de la Camargue, il n'y a aucun intérêt à poursuivre ce suivi si la Palissade, le seul site traité actuellement, ne fait pas aussi l'objet de dénombrement. Afin d'éviter que la situation de 2007 se répète, le suivi de la Palissade pourrait être pris en charge par le personnel de la Tour du Valat. Cependant, rien ne pourra remplacer l'absence de données au temps zéro et t+1.

Estimation coût du suivi en 2007-2008:

Coordination des dénombrements: 2 j ingénieur

Monitoring : 1 j technicien par site 4 fois par an sur 4 sites (Marais de Rousty et Réserve Nationale exclus du budget) + 4 j pour le double-échantillonnage soit 20 jours + déplacements

Analyse/Rédaction : 3 j ingénieur + 4 j chercheur par an

Coût : 10 619 €

Disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles

Après les sansouïres, les roselières sont le deuxième habitat en importance en terme de superficie concernée par la démoistification. Font particulièrement l'objet de traitement les bordures de roselières où varient les niveaux d'eau, avec ou sans période d'exondation. On retrouve en Camargue 5 espèces de passereaux nicheurs strictement inféodées aux roselières : la rousserolle effarvatte (*Acrocephalus scirpaceus*), espèce migratrice, commune et généraliste ; la rousserolle turdoïde (*Acrocephalus arundinaceus*), espèce migratrice vulnérable en France ; la Lusciniole à moustaches (*Acrocephalus melanopogon*), espèce résidente vulnérable en Europe, la Panure à moustaches (*Panurus biarmicus*), espèce résidente à distribution fragmentée ; et le Bruant des roseaux (*Emberiza schoeniclus whitherbyi*) sous-espèce résidente dont les effectifs faibles sont probablement en déclin.



Une étude réalisée par la Tour du Valat a montré que l'abondance de ces espèces était 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 (Fig. 3). La mesure simultanée des arthropodes et du régime hydrologique dans plusieurs roselières traitées et non traitées, permettra d'évaluer l'impact des traitements au Bti sur la structure fonctionnelle de la communauté d'invertébrés-proies et par extension sur l'avifaune paludicole qui en dépend.

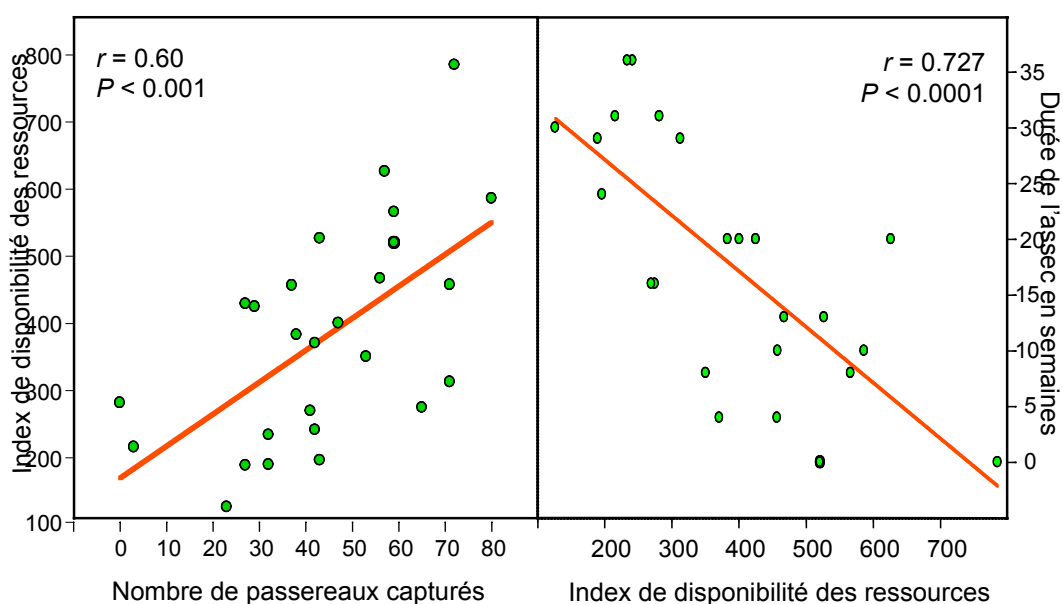


Fig. 3. Relations entre l'index de disponibilité des ressources, l'abondance des passereaux paludicoles nicheurs et la durée de l'assèchement au cours de l'année précédente.

Les disponibilités alimentaires sont calculées à partir de l'équation :
$$\sum_{i=1}^n p_i \frac{x_{ij}}{y_i}$$

où p = la proportion d'items appartenant à la proie du taxon_i dans le régime alimentaire des passereaux paludicoles (régurgitats), x = le 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.

Rappel protocole

Capture des invertébrés-proies en balayant la végétation de 500 coups au filet fauchoir en bordure de la roselière dans des sites traités et non traités pendant la période de reproduction des passereaux (entre mi-mai et début juin).

Mesure mensuelle du niveau d'eau et de la salinité afin de pouvoir modéliser l'abondance des invertébrés-proies en fonction du régime hydrologique (toute l'année).

Sites échantillonnés

Les invertébrés ont été capturés au filet fauchoir entre le 21 mai et le 5 juin 2007 dans 13 sites de Camargue incluant les zones actuellement traitées (Palissade et Bélugue) et non traitées en Île de Camargue (nord Vaccarès, Réserve Nationale, Tour du Valat, nord des Saintes-Maries) et sur le Plan du Bourg (Marais du Vigueirat et de Sollac). Aux marais du Vigueirat, la roselière de Pisci Nord échantillonnée en 2006 a dû être remplacée par la roselière de Palunette en 2007, la gestion hydrologique de Pisci Nord (assèchement quasi-permanent) n'étant pas compatible avec le maintien d'une roselière à moyen-terme.

Résultats

Globalement, les échantillons de filet fauchoir provenant des 13 sites suivis en 2007 contenaient entre 11 à 24 catégories de proies (ordre taxinomique x taille) pour un indice de disponibilité des ressources variant entre 119 (Verdier) et 607 (Capelière) (Tableau 3). Ces sites avaient subi une durée d'assèchement variant entre 0 et 12 mois au cours de l'année précédant l'échantillonnage.

Tableau 3. Date d'échantillonnage, nombre de captures, richesse en arthropodes et durée de l'assec sur les 13 sites échantillonnés au printemps 2007.

Site	Indice ressource/no catégories en 2006	Date d'échantillonnage en 2007	Indice d'abondance des ressources	Nombre de catégories de proies	Durée de l'assec (mois)
Capelière (RN)	144/13	21/05/2007	607	12	4
Verdier (TdV)	70/18	21/05/2007	119	16	7
Baisse salée (TdV)	327/15	22/05/2007	525	17	6
Rendez-Vous (TdV)	254/24	22/06/2007	389	16	0
Esquineau (TdV)	265/22	22/05/2007	238	15	4
Sollac	47/15	05/06/2007	159	15	12
Rousty	697/22	23/05/2007	322	12	2
Palunette (MdV)		25/05/2007	248	14	
Pisci Sud (MdV)	276/28	25/05/2007	255	18	7
Canisson (MdV)	105/12	25/05/2007	442	24	4
<i>Palissade*</i>	<i>42/12</i>	<i>24/05/2007</i>	<i>334</i>	<i>22</i>	<i>0</i>
Consécanière	203/21	23/05/2007	233	13	3

Sites traités en 2006-2007.

La figure 4 illustre les différentes valeurs de disponibilités des ressources obtenues pour les sites étudiés en 1998-1999, les sites non traités en 2007 et les deux sites traités en 2007. Le fort chevauchement des intervalles de confiance à 95% démontre qu'il n'y a pas de différence significative entre les sites de référence et les sites non traités en 2007. La valeur moyenne de 2007 est néanmoins inférieure à celle de 1998-99 ce qui peut être dû à des conditions climatiques particulières, à un effet observateur (tous les sites sont échantillonnés par la même personne qui est différente de celle ayant collecté tous les échantillons de 1998-99) mais plus probablement à l'absence de sites particulièrement riches en ressources alimentaires au sein de l'échantillon. L'intervalle de confiance plus grand pour les données 2007 que 1998-99 découle probablement de la taille plus faible de l'échantillon, alors que les données de références étaient constituées de 40 sites et présentaient une étendue de variation de l'indice des ressources supérieur aux données 2007 (122-822 vs. 119-607). Si la Palissade présente une valeur similaire à la moyenne des sites non traités, ce n'est pas le cas du site de la Bélugue dont l'indice d'abondance des ressources alimentaires est significativement inférieur (Fig. 4).

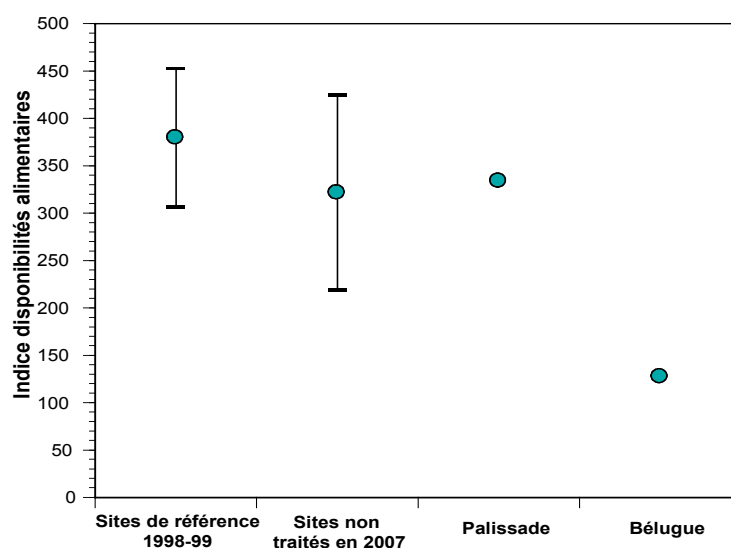


Fig. 4. Indice de disponibilités alimentaires pour les passereaux paludicoles aux sites étudiés en 1998-1999, aux sites non traités en 2007 et aux deux sites traités en 2007.

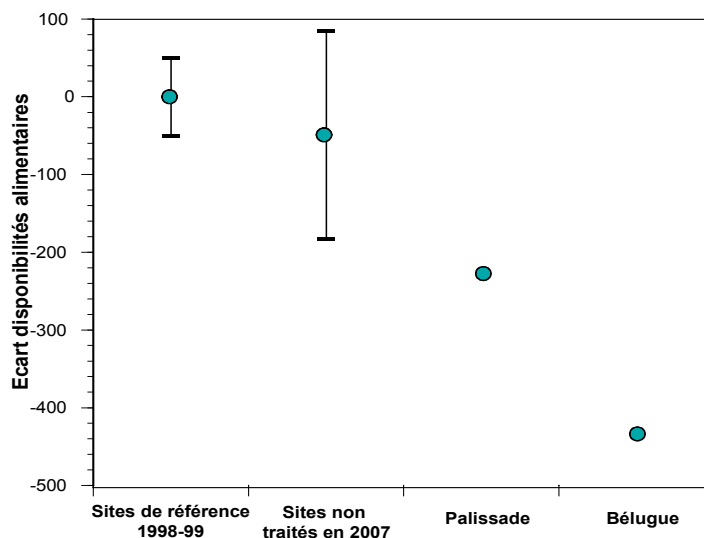


Fig. 5. Indice de disponibilités alimentaires corrigé en fonction de la durée de l'inondation aux sites étudiés en 1998-1999, aux sites non traités en 2007 et aux deux sites traités en 2007.

La figure 5 présente les mêmes données que la figure 4 lorsque celles-ci sont corrigées en fonction de la durée d'inondation, les données de référence étant cette fois centrées sur zéro. Cette correction réduit l'écart entre les sites échantillonnés en 1998-99 et les sites non traités en 2007, mais contribue à augmenter l'écart entre les sites traités et non traités en 2007 du fait de la constante inondation des sites traités qui devrait théoriquement se traduire par une abondance accrue des arthropodes. Si l'on modélise l'abondance des passereaux en fonction de l'indice d'abondance des ressources, l'écart entre l'indice de ressources observé et théorique à la Palissade et à la Bélugue se traduit par une diminution de l'ordre de 28 et 53 % dans l'abondance des passereaux, toute espèce confondue.

L'indice d'abondance des ressources obtenu à la Palissade en 2007 demeure dans le registre des valeurs obtenues pour les sites non traités et montre une forte augmentation par rapport à l'indice obtenu en 2006, passant du dernier au 5^e rang avec presque le double de taxons échantillonnés en 2007 par rapport à 2006. La tendance est cependant inverse pour le site de la Bélugue dont l'indice des ressources présente une valeur de 58% inférieure à la moyenne en 2007 par rapport à 36% en 2006, avec une perte de près de 33% des taxons échantillonnés de 2006 à 2007 (17 vs. 11, tableau 3).

Perspectives 2008

Contrairement aux données 2006 qui avait été acquises tardivement en saison suite aux délais causé par la signature de la convention et l'obtention des droits d'accès sur les différentes propriétés, l'échantillonnage de 2007 a été réalisé à la période optimale de nidification des passereaux, se traduisant par des indices d'abondance des ressources généralement supérieurs à 2006. Ce suivi des invertébrés paludicoles est relativement lourd puisqu'il implique 13 sites dont l'hydrologie est suivie mensuellement, en plus de la capture des invertébrés au printemps et de leur détermination. Néanmoins, il devrait permettre à moyen terme d'évaluer s'il existe un impact du Bti sur l'avifaune paludicole vulnérable des roselières au travers du réseau trophique. Il est donc prévu de poursuivre ce suivi en 2008 selon le même protocole qu'en 2007.

Estimation coût du suivi en 2007-2008:

Monitoring : Capture arthropodes : 1/2 j technicien par site = 6 jours + déplacements
Hydrologie : technicien 1 j/mois + déplacements
Tri arthropodes : 12 j technicien par an

Coordination/Analyse/Rédaction : 4 j ingénieur + 4 j chercheur / an.

Coût : 14 820 €

Effectifs des colonies d'hirondelles et succès d'alimentation



L'hirondelle des fenêtres (*Delichon urbica*) est une espèce migratrice qui niche en colonie à proximité des zones habitées. Elle s'alimente principalement d'insectes capturés à la volée au-dessus des plans d'eau comme les diptères chironomes qui sont parmi les taxons non cibles les plus affectés par les traitements au Bti. Des colonies importantes d'hirondelles des fenêtres ont été répertoriées au Sambuc, à Salin-de-Giraud, à Albaron (incluant le Mas de St-Andiol) et aux Saintes-Maries, permettant des comparaisons entre zones traitées et non traitées. Parallèlement au comptage des nids qui révèle les tendances des populations à long-terme, l'estimation de la durée des vols d'alimentation permet d'évaluer si les traitements au Bti se traduisent par des périodes d'absence plus longue au nid suggérant une diminution des disponibilités alimentaires. Afin d'évaluer si les insectes les plus vulnérables aux traitements Bti (moustiques, chironomes) font partie du régime alimentaire des hirondelles, des échantillons de fientes sont également récoltés pendant la période d'alimentation des jeunes et analysés en laboratoire. Ces données permettront également d'estimer à moyen terme si les traitements au Bti se traduisent par une modification du régime alimentaire en terme de taxon ou de taille des proies consommées dans les zones traitées par rapport aux zones non traitées.

Rappel protocole :

Estimation des effectifs de population par comptage des nids actifs de chaque colonie pendant la période d'alimentation des jeunes.

Estimation du nombre de vols d'alimentation pendant la période d'élevage des jeunes dans des sites traités et non traités pendant une période de deux heures (Fig. 6) entre 18:00 et 20:00 (Fig. 7) pour au moins 10 nids par colonie (Fig. 8).

Collecte de fientes en début, milieu et fin de période d'alimentation des jeunes sous 10 nids à chacun des sites.

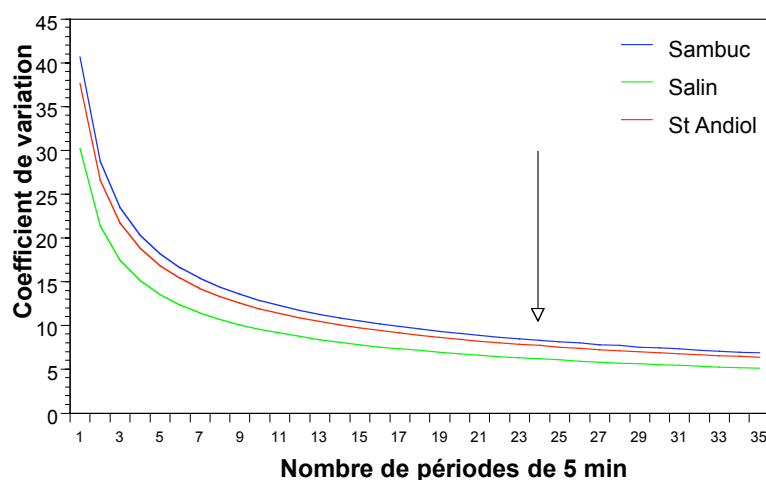


Fig. 6. Coefficient de variation du nombre de vols/5 min en fonction du nombre d'unités d'échantillonnage pour chacun des trois sites.

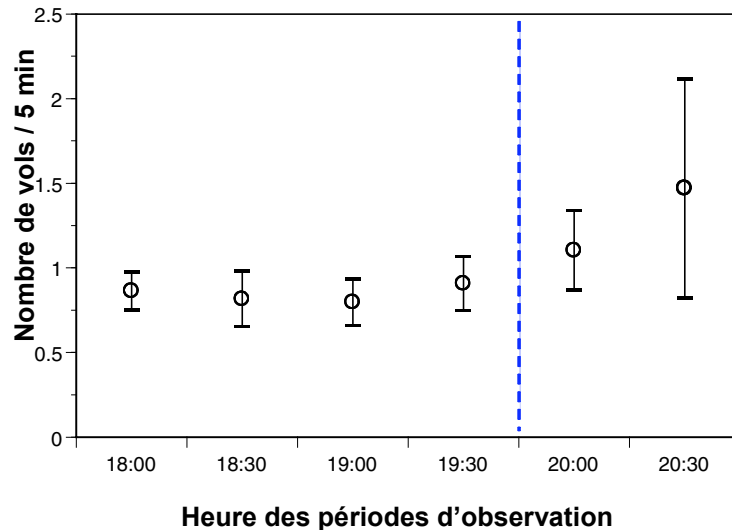


Fig. 7. Evolution du nombre moyen de vols par 5 minutes d'observation au cours de la soirée (données de tous les sites combinés).

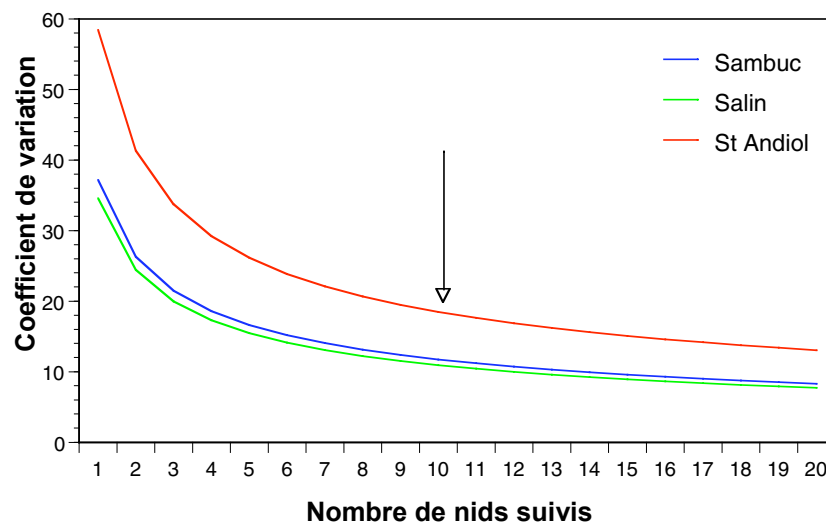


Fig. 8. Coefficient de variation du nombre de vols/5 min en fonction du nombre de nids suivis à chacun des trois sites.

Sites échantillonnés

Les nids de 3 localités ont été dénombrés en juin 2007 : le Sambuc, Salin-de-Giraud et Nord Vaccarès (Albaron et Mas de St-Andiol). Le nombre de vols d'alimentation entre 18h et 20h a été évalué pour 16 nids au Sambuc le 19 juin, 16 nids à Salin-de-Giraud le 20 juin et 16 nids au Mas Saint-Andiol dans le secteur Nord Vaccarès le 21 juin. Les fientes ont été récoltées sous dix nids sur les trois sites à trois périodes au cours de la saison d'alimentation des jeunes, soit les 6-7 juin, 19-20 juin et 2 juillet, mais seules les proies des fientes récoltées au Sambuc et à Salin-de-Giraud ont été déterminées.

Résultats

Dénombrement des colonies

Les effectifs en nombre de nids et de colonies en 2006 et 2007 sont indiqués au tableau 4. Le nombre total de nids a augmenté significativement et de façon similaire aux trois sites en 2007 par rapport à 2006 ($t = -5,24$, $df = 2$, $P = 0,03$), alors que le nombre de colonies demeurait stable ($t = -0,87$, $df = 2$, $P = 0,48$). En l'absence de données à long-terme il est difficile d'interpréter ces variations qui suggèrent de bonnes conditions de reproduction en 2006 et/ou une bonne survie sur les sites d'hivernage en 2006-2007.

Tableau 4. Nombre de nids et de colonies répertoriés à chacune des localités en 2006 et 2007 avec le taux de différence entre les deux années.

Localité	Nombre de nids (colonies) en 2006	Nombre de nids (colonies) en 2007	Nombre de nids Différence 2006-07
Sambuc	96 (9)	107 (6)	+11,4%
Salin-de-Giraud	116 (5)	133 (8)	+14,6%
Albaron	77 (2)	99 (5)	+28,6%
Saintes-Maries	215 (68)	--	--

Durée des vols d'alimentation

Le nombre de vols par tranche de 5 minutes se concluant par une alimentation des jeunes (Fig. 9) ne montre pas de différences significatives entre les trois sites en 2007 ($F = 2,12$; $df = 2, 45$; $P = 0,13$), mais diffère significativement de 2006 pour le site du Sambuc (1,05 vs 0,69, $t = 2,75$, $df = 34$, $P = 0,01$). Les deux autres sites montrent des valeurs similaires entre les deux années, notamment le site de Salin-de-Giraud avec 0,79 et 0,80 vols par 5 minutes en 2006 et 2007, respectivement (Fig. 9).

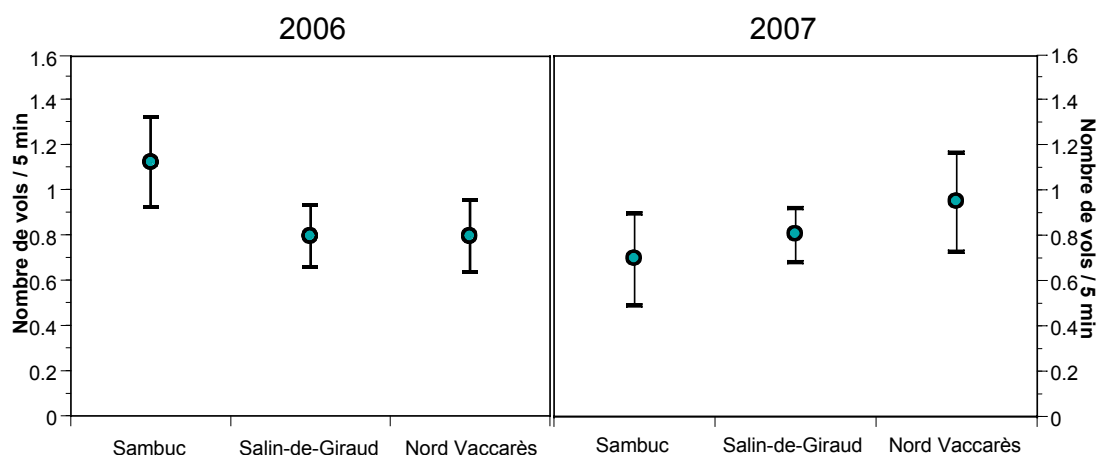


Fig. 9. Comparaison du nombre moyen de vols (intervalle de confiance à 95%) réalisés pour l'alimentation des jeunes par tranche de 5 min à chaque localité.

Par ailleurs, le nombre de vols infructueux suit une tendance similaire (Fig. 10), avec une valeur comparable entre les deux années pour les colonies de Salin-de-Giraud (0,18 vs 0,18) et Nord Vaccarès (0,13 vs. 0,17) et une diminution non significative (0,26 vs. 0,17, $t = 1,61$, $df = 34$, $P = 0,11$) pour la colonie du Sambuc. Puisque la diminution de la fréquence des vols d'alimentation fructueux au Sambuc ne s'accompagne pas d'une augmentation du nombre de vols infructueux, ces données suggèrent l'utilisation de sites d'alimentation plus éloignés en 2007 qu'en 2006 par cette colonie.

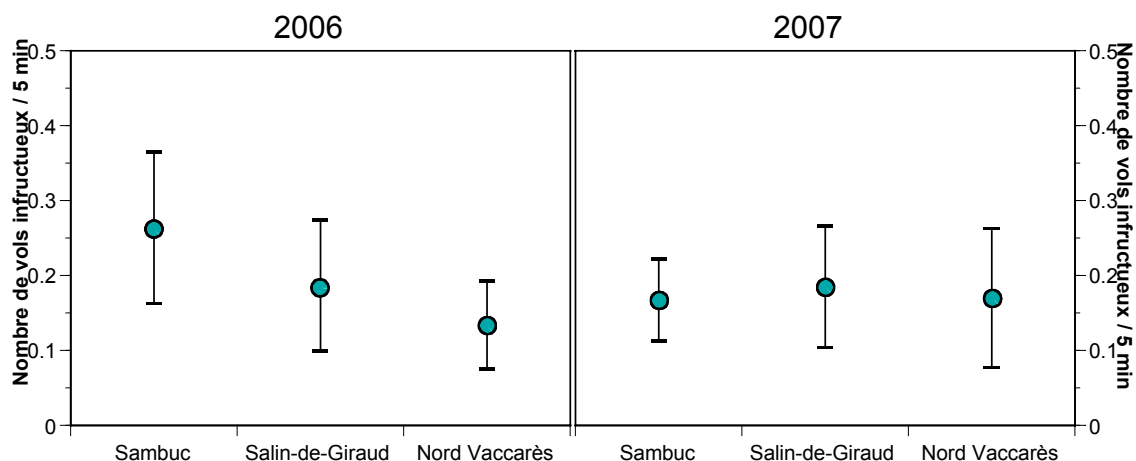


Fig 10. Nombre moyen (intervalle de confiance à 95%) de vols d'alimentation infructueux par tranche de 5 minutes aux trois sites échantillonnés en 2006 et 2007.

Régime alimentaire

Plus de 600 items avaient été identifiés à partir des échantillons de fientes récoltées sur les colonies de Salin-de-Giraud et du Sambuc en juin 2006, révélant une structure du régime alimentaire similaire où les nématocères, sous-ordre des diptères comprenant les chironomes et les moustiques, représentaient respectivement 6,4 et 4,8 % des proies consommées globalement aux deux sites (Fig. 11). En 2006, la diversité du régime alimentaire était équivalente aux deux sites avec un indice de Shannon-Weiner d'une valeur moyenne de 1,25 à Salin-de-Giraud et de 1,24 au Sambuc.

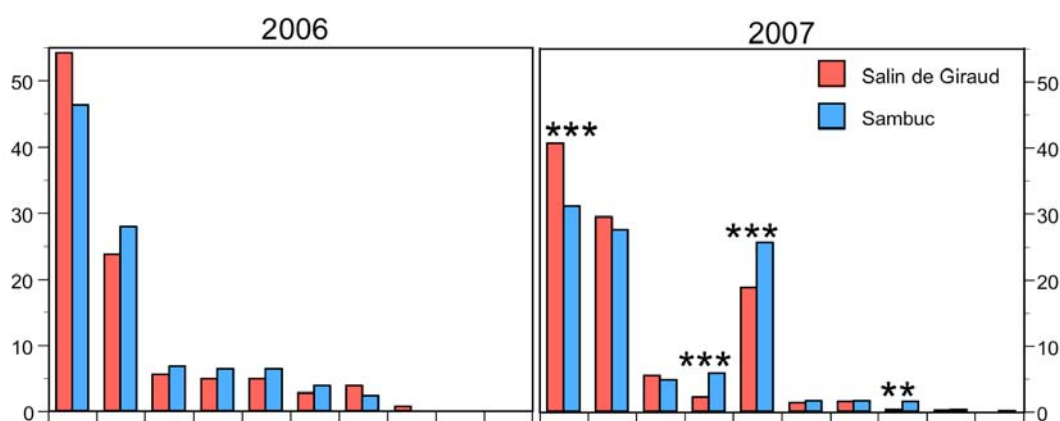


Fig. 11. Comparaison de la structure du régime alimentaire des hirondelles à Salin-de-Giraud et au Sambuc en 2006 et 2007. Test χ^2 de conformité sur les résidus standardisés : * $P < 0,05$, *** $P < 0,001$.

L'examen des fientes récoltées tout au long de la période de nidification au Sambuc et à Salin-de-Giraud en 2007 a permis d'identifier 1433 et 1361 proies, respectivement. La structure du régime alimentaire diffère passablement de celle de 2006, avec une dominance moindre des fourmis volantes, au profit des coléoptères et des nématocères (Fig. 11). Ces derniers représentent une plus forte proportion du régime alimentaire en 2007, avec 25,5 et 18,8 % des proies consommées au Sambuc et à Salin-de-Giraud, respectivement. A ces différences annuelles, s'ajoutent des différences entre sites qui n'étaient pas présentes en 2006 et qui se traduisent par une proportion de fourmis significativement plus élevée à Salin-de-Giraud et une proportion de punaises, de nématocères et de libellules significativement plus élevée au Sambuc en 2007. La diversité du régime alimentaire, estimée selon l'indice moyen de Shannon-Weiner calculé sur les trente échantillons disponibles pour chacun des sites, s'est avérée significativement plus élevée au Sambuc qu'à Salin-de-Giraud (1,40 vs. 1,17, $t = -3,76$, $df = 58$, $P = 0.0004$) en 2007. Des analyses plus fines ont été réalisées afin d'évaluer s'il s'agissait de tendances ponctuelles ou étalées sur l'ensemble de la période d'alimentation (Tableau 5).

Tableau 5. Différences dans la structure du régime alimentaire entre la colonie de Salin-de-Giraud et du Sambuc en début (6-7 juin), milieu (19-20 juin) et fin (2 juillet) de nidification selon les tests χ^2 de conformité appliqués aux résidus standardisés pour les taxons et des tests t pour l'indice de diversité.

Taxon	Saison de nidification			Global
	Début	Milieu	Fin	
Fourmi	+	+++	+++	+++
Coléoptère	+++		- - -	
Guêpe		+		
Punaise	- - -		- - -	- - -
Nématocère	- - -	- - -		- - -
Mouche				
Homoptère				
Odonate	-		- - -	- -
Araignée				
Lépidoptère				
Indice Diversité	- -		- - -	- - -

Valeur supérieure à Salin : + $P < 0.05$, +++ $P < 0.001$

Valeur supérieure au Sambuc : - - $P < 0.01$, - - - $P < 0.001$.

C'est au milieu de la saison de nidification qu'il y a moins de différences entre les deux sites, alors que la diversité des proies consommées au Sambuc diminue pour atteindre des niveaux comparables à ceux observés à Salin-de-Giraud. La consommation de nématocères est significativement supérieure au Sambuc en début et milieu de saison uniquement, suite à une forte augmentation de leur consommation à Salin en fin de saison. La consommation de punaises et d'odonates est significativement supérieure au Sambuc sauf en milieu de saison lorsqu'elle augmente à Salin-de-Giraud. Globalement, le régime alimentaire des hirondelles est moins diversifié à Salin-de-Giraud avec une plus forte consommation de fourmis volantes durant toute la saison de nidification. Il est intéressant de noter que parmi tous les taxons dont la consommation diffère entre les deux sites, il s'agit du seul groupe dont le développement larvaire n'est pas associé aux milieux aquatiques, cibles des traitements au Bti.

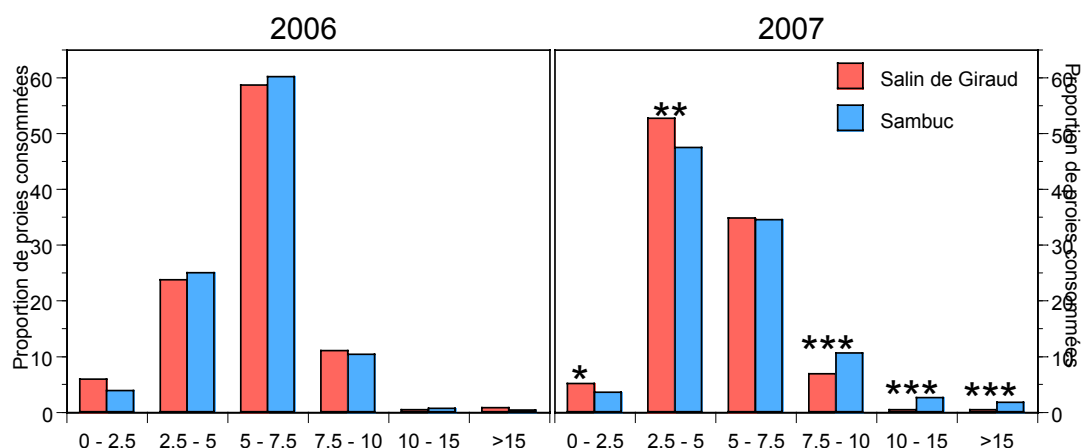


Fig. 12. Comparaison de la taille des proies consommées par les hirondelles aux colonies de Salin-de-Giraud et du Sambuc en 2006 et 2007. Test χ^2 de conformité sur les résidus standardisés : * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$.

En 2006, la distribution de la taille des proies consommées était similaire entre les deux sites, alors que les proies mesurant entre 5 et 7,5 mm représentaient environ 60 % du régime alimentaire (Fig. 12). En 2007, une plus forte proportion de proies appartient à la catégorie inférieure, soit 2,5- 5mm. Cependant cette différence inter-annuelle peut découler d'un artéfact dû au fait qu'un grand nombre de proies mesurent 5 mm et peuvent être classées dans l'une ou l'autre des catégories. Chose certaine, ce biais n'existe pas pour les proies d'une même année qui sont traitées dans un intervalle de temps très court. Contrairement aux données 2006, la taille des proies consommées diffère entre les colonies des deux sites avec une plus forte proportion de petites tailles à Salin et une meilleur représentativité des grandes tailles au Sambuc (Fig. 12).

Ces données ont également été analysées en fonction des trois périodes d'échantillonnage (Tableau 6), démontrant des différences particulièrement marquées en début et en fin de saison de nidification, tout comme pour les autres paramètres du régime alimentaire.

Tableau 6. Différences dans la taille des proies consommées par les hirondelles à Salin-de-Giraud et au Sambuc en début (6-7 juin), milieu (19-20 juin) et fin (2 juillet) de saison de nidification selon les tests χ^2 de conformité appliqués aux résidus standardisés.

Taille proies	Saison de nidification			Global
	début	milieu	fin	
0 - 2,5 mm	+	+++	+	+
2,5 - 5 mm	++		+++	++
5 - 7,5 mm				
7,5 - 10 mm	- - -			- - -
10 - 15 mm		-	- - -	- - -
>15 mm	- -		- - -	- - -

Consommation supérieure à Salin : + $P < 0.05$, +++ $P < 0.001$

Consommation supérieure au Sambuc : - - $P < 0.01$, - - - $P < 0.001$.

Perspectives 2008

Les populations d'hirondelles se portent plutôt bien en Camargue en 2007 avec une légère augmentation de la taille des trois colonies suivies par rapport à 2006, y compris sur le site traité de Salin-de-Giraud. La fréquence des vols d'alimentation fructueux et infructueux suggère que les hirondelles de la colonie du Sambuc ont dû parcourir de plus longues distances pour s'alimenter en 2007, alors qu'aucune différence n'est observée sur le site de Salin-de-Giraud. Le paramètre qui montre le plus de différence entre les deux années est sans conteste le régime alimentaire alors que la colonie de Salin-de-Giraud consomme une moins grande diversité de proies de plus petite taille avec notamment une proportion moindre des taxons ayant un développement larvaire aquatique et une proportion supérieure de fourmis volantes.

Le jeu de données sur les hirondelles des fenêtres est intéressant et prometteur pour détecter un éventuel impact du Bti et sera poursuivi en 2008 selon sensiblement les mêmes protocoles, mais une pression d'échantillonnage accrue si les fonds disponibles le permettent. Nous prévoyons en 2008 d'évaluer la durée des vols d'alimentation à trois périodes au cours de la saison de nidification, simultanément à la collecte des fientes qui concerneront les mêmes nids, afin qu'il soit possible d'associer les durée d'alimentation au régime alimentaire. De plus, il serait intéressant d'analyser le régime alimentaire également dans le secteur Nord Vaccarès afin d'obtenir un jeu de données complets sur trois sites. Des fientes avaient été collectées à ce site en 2007 mais n'ont pu être entièrement analysées dans les délais prévus par la convention actuelle qui ne devait concerner qu'une année de suivi, en l'occurrence 2006.

Estimation coût du suivi en 2007-2008:

Monitoring : Dénombrement des 3 colonies : 2 j techniciens + déplacements
 Succès d'alimentation : 6 j technicien + déplacements
 Régime alimentaire (analyse fientes) : 18 j ingénieur

Coordination/Analyse/Rédaction : 4 j ingénieur + 4 j chercheur / an

Coût : 14 180 €

Remerciements

Plusieurs personnes ont participé à la collecte des données présentées dans ce rapport. Emilien Duborper, technicien à la Tour du Valat, est responsable de la collecte des données sur les invertébrés paludicoles (suivi hydrologique, échantillonnage au filet fauchoir et détermination des arthropodes) et les hirondelles des fenêtres (comptage des nids, observation des vols d'alimentation et récolte des fientes). Le dénombrement des amphibiens, coordonné par Anthony Olivier de la Tour du Valat, a été réalisé par Anthony Olivier, Antoine Arnaud et Emilien Duborper (Tour du Valat), Silke Befeld et Jérôme Paoli (Réserve Nationale), Gaël Hemery (Nord Vaccarès), Philippe Lambret et Mathieu Chambouleyron (Marais du Vigueirat), Nicolas Beck et Anthony Olivier (Sollac – PAM) et Denis Lafage (Palissade). Leire Paz, Rémi Cardon et Alice Martinerie, stagiaires à la Tour du Valat en 2006 et 2007, ont participé à l'observation des vols d'alimentation des hirondelles sous la supervision d'Emilien Duborper. Merci à Mathieu Chambouleyron pour le suivi hydrologique sur les roselières des Marais du Vigueirat et à tous les propriétaires nous ayant permis d'accéder à leur marais.