Agroparistech - MS Forêt, Nature, et Société

Rapport de stage

Habitats et pratiques de gestion favorables aux fauvettes à lunettes en grande Camargue



Samuel Thévenet

19 août 2011

Stage du 26/04/2011 au 26/08/2011
Maître de stage : Brigitte POULIN, Tour du Valat
Enseignant tuteur : Géraldine DERROIRE, AgroParisTech

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES **2**

Liste des Figures **5**

Liste des Tableaux **9**

Listes des sigles et abréviations **10**

INTRODUCTION **11**

I. Le centre de recherche de la Tour du Valat, un référent scientifique des zones humides méditerranéennes **12**

II. La fauvette à lunettes : écologie et conservation **12**

II.1. Ecologie *12*

II.1.1. Habitat 12

II.1.2. Régime alimentaire 14

II.2. Reproduction *15*

II.3. Taille des populations *16*

II.4. Tendances et facteurs d'évolution des populations *17*

II.5. D'impératives mesures de suivi et de conservation *18*

III. Objectifs du stage **19**

IV. Matériels et méthode **20**

IV.1. Zone d'étude *20*

IV.1.1. Périmètre d'étude Pèbre – Bélugue – Fangassier 20

IV.1.2. Périmètre d'étude du domaine départemental des Impériaux 27

IV.2. Effectifs de fauvettes à lunettes *27*

IV.2.1. Objectifs du protocole de dénombrement 27

IV.2.2. Tour d'horizon des méthodes de dénombrement d'avifaune existantes 28

IV.2.3. Méthodes testées 33

IV.2.4. Méthode de repasse du chant 37

IV.2.5. Calcul final des effectifs 38

IV.3. Relevés botaniques *39*

IV.4. Impact des pratiques de gestion *41*

IV.4.1. Pâturage 41

IV.4.2. Démoustication 42

IV.5. Analyse *45*

IV.5.1. Variables utilisées 45

IV.5.2. Arbre de décision CART 46

IV.5.3. Algorithme du Boosting 48

IV.5.4. Modèles Linéaires 49

IV.6. Hypothèses de travail *51*

IV.6.1. Détectabilité des fauvettes à lunettes 51

IV.6.2. Habitat 51

IV.6.3. Pratiques de gestion 52

V. Résultats 53

V.1. Dénombrement des fauvettes à lunettes 53

V.1.1. Effectifs et densités 53

V.1.2. Modes de détection 54

V.1.3. Effet de l'observateur sur la détection 56

V.1.4. Effet des conditions météorologiques sur la détection 58

V.2. Compétition avec la fauvette mélanocéphale 58

V.3. Influence de l'habitat sur la présence ou l'absence de fauvettes à lunettes 59

V.3.1. Sélection des variables les plus prédictives par la méthode du Boosting 59

V.3.2. Test des variables avec les arbres de décision CART 61

V.3.3. Synthèse des résultats sur la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes 63

V.4. Influence du pâturage sur la végétation et sur les fauvettes à lunettes 64

V.4.1. Prédiction de la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes par les indices de pâturage 64

V.4.2. Prédiction de la variable du nombre d'empreintes d'herbivores domestiques 64

V.4.3. Prédictions des variables de charge de pâturage et de nombre de déjections d'herbivores domestiques 64

V.5. Ressources alimentaires et démoustication 66

V.5.1. Impact direct de la démoustication sur les fauvettes à lunettes 66

V.5.2. Influence des ressources alimentaires sur la présence de fauvettes à lunettes 66

V.5.3. Relation entre démoustication et ressources alimentaires 66

V.5.4. Ressources alimentaires et habitat 67

VI. Discussion 68

VI.1. Effectifs de fauvettes à lunettes 68

VI.1.1. Proposition d'un protocole de dénombrement 68

VI.1.2. La population camarguaise de fauvettes à lunettes, un effectif sous-évalué 69

VI.2. Habitat et ressources alimentaires 70

VI.2.1. L'habitat type des fauvettes à lunettes : une végétation haute avec des haies de soude ou salicorne en buisson 70

VI.2.2. Importance du sol nu 71

VI.2.3. Incompatibilité entre *S. conspicillata* et haies de tamaris : structure végétale inappropriée ou compétition avec *S. melanocephala* ? 71

VI.3. Un pâturage extensif à l'impact faible à nul 71

VI.4. Difficultés méthodologiques d'évaluation de l'impact de la démoustication 72

VI.5. La prédation par les sangliers et les renards, un donnée manquante 74

VII. Préconisations 75

VII.1. Pâturage 75

VII.2. Démoustication 75

VII.3. Mesures de revégétalisation et de terrassement 75

VII.3.1. Distribution spatiale de la végétation 75

VII.3.2. Etat initial et intervention 77

VII.3.3. Suivi 79

VIII. CONCLUSION 80

BIBLIOGRAPHIE 82

Annexes.....87

Annexe I : Numérotation des espèces botaniques échantillonnées 87

Annexe II : Régression des distances maximales de détection des fauvettes à lunettes grâce aux valeurs de l'écart entre direction du vent et direction du transect..... 88

Annexe III : Corrélation entre les variables botaniques..... 89

Liste des Figures

Figure 1 : Entrée des terrains du Conservatoire du Littoral 11

Figure 2 : Paysage typique de sansouire constituée ici d'arbustes de salicorne glauque (les plus plats) et de salicorne en buisson (les plus ronds) entourées par du sol nu. On aperçoit des tamaris à l'arrière plan. 14

Figure 3 : Les araignées constituent 18 % des insectes consommés par les fauvettes à lunettes lors du nourrissage des jeunes. 15

Figure 4 : Situation géographique des périmètres étudiés en Camargue (Source : Tour du Valat). .. 20

Figure 5 : Carte du périmètre d'étude dans la zone Pèbre - Bélugue – Fangassier (Parc Naturel Régional de Camargue). 21

Figure 6 : Cartographie Natura 2000 des habitats de la zone Pèbre - Bélugue – Fangassier (PNRC, 2006). 21

Figure 7 : Bovin de race Brave. 22

Figure 8 : Carte des zones pâturées et des indices de pression de pâturage dans la zone pâturée par les animaux de la manade Francine Yonnet (source PNRC). 23

Figure 9 : Carte des zones pâturées et des indices de pression de pâturage dans la zone pâturée par les animaux de la manade Hubert Yonnet (source PNRC). 24

Figure 10 : Carte du périmètre démoustiqué par l'EID autour des agglomérations de Salin de Giraud et Port Saint Louis du Rhône (EID, 2011). 25

Figure 11 : Carte des traitements aériens réalisés par l'EID de janvier à juin 2011 (réalisée avec ArcGIS 9.2 sur la base de cartes communiquées par l'EID). 26

Figure 12 : Carte des bandes d'épandage aérien de Bti par l'EID Méditerranée sur la Bélugue le 06/06/2011 (Source : EID, 2011). 26

Figure 14 : Vue satellite du périmètre d'étude dans la zone du Domaine départemental des Impériaux (IGN, BD ORTHO® 2003). 27

Figure 14 : Représentation schématique du passage de l'observateur (en noir) entre des quadrats de 100 m de côté. 30

Figure 15 : Représentation schématique des trajets d'observateurs éloignés de 50 m les uns des autres lors d'un comptage par battue. 31

Figure 16 : Représentation schématique de la couverture d'une zone avec des points de diffusion de repasse du chant (au centre des cercles rouges). La distance inter-points est ici de 200 m. 32

Figure 17 : Représentation schématique de la méthode utilisée. 34

Figure 18 : Carte de la préparation sur SIG d'un dénombrement à deux observateurs et distance inter-observateurs de 100 m dans le secteur de Tourvieille (ArcGIS 9.2, fond BD ORTHO 2003). 35

Figure 19 : Boxplot de la distribution des distances de détection des fauvettes à lunettes (m) lors des 24 premiers contacts.....36

Figure 20 : Boxplot de la distribution des distances de détection des fauvettes à lunettes (m) avec une distance inter-observateurs de 100 m (n = 428). 37

Figure 21 : Exemple de tracé de cantons de fauvettes à lunettes sur ArcGIS 9.2 (Fond BD ORTHO 2003) (Carré = Mâle, Rond = Femelle, Etoile = Jeune, Losange = Indéterminé). 38

Figure 23 : Matériel utilisé pour mesurer la hauteur et le recouvrement de la végétation.....39

Figure 23 : Géolocalisation des carrés "fauvettes" n° 25, 26 et 27 et des carrés témoins 23, 24 et 28 au nord de Briscon - Tourvieille sur ArcGIS 9.2 (Fond BD ORTHO 2003).....40

Figure 25 : Matériel.....40

Figure 25 : Représentation schématique du positionnement des transects des carrés de végétation et des mesures prises. 41

Figure 27 : Bouses sur le sol nu. 41

Figure 27: Avion de l'EID Méditerranée épandant du Bti. 42

Figure 28 : Représentation schématique des transects de filet fauchoir. 43

Figure 29 : Filet, filtre et poteau de marquage du carré utilisés pour réaliser les captures d'invertébrés. 44

Figure 30 : Diagramme de l'arbre construit avec la variable dépendante de la présence (F) *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes (T) et les variables prédictives de hauteur moyenne des cinq points les plus hauts de la végétation et d'espèce de haie. 47

Figure 31 : Histogramme de l'évolution de l'apprentissage et de l'erreur de prévision (données de test) en fonction du nombre d'arbres. La variable dépendante est la hauteur médiane. Les variables explicatives toutes les variables d'habitat et de pratiques de gestion. 48

Figure 32 : Histogramme de l'importance des prédicteurs avec la variable dépendante de présence *vs.* absence de fauvettes à lunettes et diverses variables botaniques et variables de pâturage.....49

Figure 33 : Plant de salicorne glauque dominant localement le reste de la végétation.....52

Figure 34 : Histogramme des pourcentages cumulés des trois modes de détection pour chaque session de comptage de fauvettes à lunettes à Briscon – Tourvieille (* = valeur significativement différente de la distribution de la moyenne des cinq sessions). 54

Figure 35 : Histogramme de la proportion de contacts que représente chaque session de comptage pour chaque mode de détection des fauvettes à lunettes à Briscon – Tourvieille (* = valeur significativement différente de la distribution de la moyenne des trois modes de détection). 54

Figure 36 : Histogramme de la proportion d'individus détectés à chaque session par rapport au nombre total de couples et d'individus isolés à Briscon – Tourvieille. 55

Figure 37 : Histogramme du nombre de fauvettes à lunettes juvéniles contactés pour chaque session de comptage à Briscon – Tourvieille. 55

Figure 38 : Pourcentage moyen de familles de fauvettes observées par rapport aux fauvettes observables du 27/04 au 13/05 (période 1), du 14/05 au 30/05 (période 2) et du 31/05 au 16/06 (période 3). 56

Figure 39 : Diagramme de la dispersion spatiale des fauvettes à lunettes détectées par Marc Thibault grâce aux trois modes de détection (n = 215). L'observateur est positionné au point 0. 57

Figure 40 : Diagramme de la dispersion spatiale des fauvettes à lunettes détectées par Samuel Thévenet grâce aux trois modes de détection (n = 177). L'observateur est positionné au point 0. ... 58

Figure 41 : Fauvette mélanocéphale transportant de la nourriture. 59

Figure 42 : Evolution de l'apprentissage et du taux d'erreur dans la série d'arbres construits pour prédire la présence et l'absence de fauvettes à lunettes par Boosting. 60

Figure 43 : Histogramme de l'importance de chaque prédicteur de la présence/absence de fauvettes à lunettes dans la construction d'arbres par Boosting (variables botaniques, de pâturage et de démoustication). 60

Figure 44 : Arbre de classification CART des prédicteurs classant le mieux la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes. 61

Figure 45 : Arbre de classification CART des prédicteurs classant le mieux la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes en l'absence du prédicteur « Distance à la haie la plus proche ». 62

Figure 46 : Schéma bilan des caractéristiques de l'habitat favorable aux fauvettes à lunettes (photo de fauvette : Marc Thibault). 63

Figure 47 : Diagramme de l'arbre de la variable dépendante « UGB » analysée par la méthode CART avec les meilleurs prédicteurs issus du Boosting. 65

Figure 48 : Graphique du nombre d'invertébrés significativement plus grand dans les zones effectivement démoustiquées (0 pour l'exclusion et 1 pour l'inclusion dans ces zones). 66

Figure 49 : Comptage de fauvettes à lunettes sur le domaine départemental des Impériaux. 68

Figure 51 : Sol nu après la pluie. 71

Figure 51 : Empreintes de bovins sur du sol nu. 72

Figure 53 : Nuage de chironomes. 73

Figure 53 : Sangliers dans la sansouire à Tourvieille. 74

Figure 54 : Répartition de trois espèces de la sansouire le long du gradient topographique créé par une digue : d'abord le sol nu, puis la salicorne glauque qui supporte les grandes amplitudes de salinité, ensuite la salicorne en buisson de plus en plus haute à mesure qu'elle s'élève sur la digue, enfin le tamaris au sommet de la digue. 76

Figure 55 : Montille constituée de Soude en buisson et de Graminées, au second plan, la sansouire est constituée de soude en buisson puis de salicornes. 78

Liste des Tableaux

Tableau I : Effectifs de fauvettes à lunettes en Camargue. 17

Tableau II: Caractéristiques du pâturage sur les différentes parcelles du périmètre d'étude (extrait de la convention de pâturage – données non publiées, (Conservatoire Du Littoral, 2008)). 23

Tableau III : Nombre de carrés "témoins" et "fauvettes" dans les quatre groupes de relevés de ressources alimentaires. 43

Tableau IV : Nombre de familles de fauvettes à lunettes dans les différents secteurs des périmètres étudiés 53

Tableau V : Moyennes et minimums des distances des bords ou des centres de chaque canton de fauvettes à lunettes avec le canton le plus proche (* valeurs significativement distinctes). 53

Tableau VI : Nombre de contacts obtenus par les différents modes de détection et distance moyenne de détection pour chacun de ces modes et chacun des observateurs. 57

Tableau VII : Estimation du risque de mauvaise classification. 61

Tableau VIII : Rapport de la variance intra-classe à la variance totale (en pourcentage) après la régression réalisée par l'arbre de la variable dépendante « UBG ». 65

Listes des sigles et abréviations

Bti	*Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*
CMR	Capture-Marquage-Recapture
CART	Classification and Regression Tree
EID	Entente Interdépartementale pour la Démoustication
GPS	Global Positioning System
PNRC	Parc Naturel Régional de Camargue
SIG	Système d'Information Géographique
TdV	Tour du Valat
UGB	Unité Gros Bovin

INTRODUCTION

En 2007, 2061 ha d'anciens salins ont été acquis par le Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres auprès du groupe SALINS en plan social. La gestion a été confiée au Parcs Naturel Régional de Camargue (Conservatoire Du Littoral, 2008) qui y a établi une notice de gestion. Celle-ci met en évidence les manques de connaissance des besoins de certaines espèces remarquables de ces écosystèmes. La Tour du Valat est un partenaire de référence en Camargue susceptible d'apporter ces connaissances. Le PNRC souhaite donc, avec son aide, acquérir ces connaissances afin d'adapter la gestion à la conservation d'espèces remarquables. Cette gestion pourrait passer par des mesures de revégétalisation, des travaux de terrassement et une adaptation de la pression de pâturage ou de la démoustication. La mise en œuvre de mesures de gestion est d'autant plus cruciale que la pression foncière est forte dans le secteur et que le délaissement de la zone pourrait donner des arguments aux promoteurs d'aménagements (parcs photovoltaïques en projet).



Figure 1 : Entrée des terrains du Conservatoire du Littoral

La fauvette à lunettes (*Sylvia conspicillata*) est un passereau migrateur de milieu ouvert qui, en France, ne niche que sur le littoral méditerranéen. Les sansouires de Camargue constituent un habitat essentiel pour sa reproduction. Sa faible aire de répartition en France associée à une chute des effectifs (Gilot & Rousseau, 2008) a justifié son classement « en danger » dans la liste rouge des oiseaux nicheurs de France de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Union Internationale pour la Conservation de la Nature *et al.*, 2008). La mise en valeur de ces espaces pour la fauvette à lunettes, espèce remarquable de l'avifaune camarguaise, se pose. La condition préalable est de mieux connaître les effectifs de fauvettes à lunettes, ses préférences en termes d'habitat et de ressources alimentaires, l'influence des pratiques de gestion actuelles afin de pouvoir préconiser de nouvelles mesures de gestion. C'est l'objectif de ce travail.

La présente étude a été réalisée lors d'un stage de 4 mois du mastère spécialisé « Forêt, Nature et Société » de l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts (ENGREF), école interne d'AgroParisTech. Elle est un projet conjoint du PNRC et de la Tour du Valat.

I. Le centre de recherche de la Tour du Valat, un référent scientifique des zones humides méditerranéennes

La Tour du Valat (TdV) est un centre de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes qui emploie près de 60 personnes (Guillet, 2011).

Le domaine de la Tour du Valat (2600 ha), en Camargue, a été acheté par Luc Hoffmann en 1947. Il y fonde en 1954 la station biologique de la Tour du Valat. L'intérêt premier pour l'avifaune s'élargit vers la conservation des habitats au début des années 60. En 1974, la structure juridique actuelle de centre de recherche reconnu d'utilité publique est mise en place. L'organisation se professionnalise, le conseil scientifique en devient l'organe de gouvernance. Dans les années 80, c'est la recherche pluridisciplinaire et appliquée qui prévaut. Un premier plan de gestion est mis en place sur le domaine. Dix ans plus tard, l'objectif de l'organisation est de diversifier ses profils techniques pour dédier ses connaissances à des méthodes de gestion. En 1992, l'initiative MedWet est mise en place pour collaborer à un niveau international afin de partager méthodes et savoirs faire. Cette initiative vient confirmer l'action de la Tour du Valat au niveau méditerranéen. Dans les années 2000, les métiers et les compétences scientifiques et techniques s'articulent mieux, la pluridisciplinarité s'enrichit de l'intégration des sciences sociales. Ceci permet de travailler sur les politiques publiques (plans Nationaux Zones Humides). En 2007, l'organisation crée l'observatoire des zones humides méditerranéennes pour mieux suivre les zones humides sur le pourtour méditerranéen, les sciences techniques et biologiques doivent alors s'articuler avec la politique.

II. La fauvette à lunettes : écologie et conservation

II.1. Ecologie

La fauvette à lunettes (*Sylvia conspicillata*) est une espèce méditerranéenne du genre *Sylvia*. Cette espèce migratrice hiverne au Maroc, en Algérie et en Lybie. Le retour sur les sites de reproduction, dans la péninsule ibérique, en France, en Italie et au Proche Orient, a lieu entre fin mars et mi avril (Gilot & Rousseau, 2008). Les couples de fauvettes à lunettes ont généralement deux nichées par an.

II.1.1. Habitat

Habitats en France

La fauvette à lunettes présente des exigences écologiques relativement strictes, évitant les maquis arborés et préférant les milieux arbustifs bas et éparses (Glutz von Blotzheim & Bauer, 1991). Ses habitats de prédilection sont ceux où la strate arborée est très peu développée ou absente, la strate buissonnante basse et où une large place de la strate herbacée est constituée de sol nu. Le milieu caractérisé par Hodar (2004) à Hoya de Baza en Espagne était constitué d'un milieu arbustif avec *Salsola vermiculata, Ononis tridentata, Artemisia spp., Gysophyla strutium* et *Tamarix africana*. La hauteur moyenne de végétation était de 80 cm avec une couverture herbacée de 21 % et une proportion de sol nu de 46 %.

Gilot et Rousseau (2008) ont mené une enquête auprès d'ornithologues qui leur a permis de chiffrer les effectifs de fauvettes à lunettes selon les différents habitats. Les garrigues littorales comptent 23 % des effectifs, les landes de montagnes, 7 %, les sansouires littorales, 17 % et les cultures de lavandin 50 %. La population serait donc très dépendante d'habitats anthropiques, les cultures de lavandin.

Habitat en Camargue

Les sansouires littorales :

Le mot « sansouire » est d'origine provençale, il désigne les étendues dominées par le sol nu où les solutions salines remontent à la surface sous forme d'efflorescences salines en période de sécheresse (Hudin, 2002). Le terme « engane », de langue d'oc, est utilisé pour désigner les étendues de salicorne ligneuse. L'usage en Camargue est de désigner l'ensemble de la steppe halophile méditerranéenne temporairement inondée par le mot « sansouire » et non « engane ».

Il existe dans ces steppes des variations topographiques naturelles, les montilles et les baisses. Les montilles sont des monticules constitués par des fossiles de cordons dunaires formés lors de l'ouverture du delta. Une lentille d'eau douce se forme sous la dune, ce qui permet à des pelouses de s'y développer (Hudin, 2002). Les baisses sont des zones en dépression à faible profondeur, les eaux de drainage et de pluie s'y accumulent pour former des marais et mares temporaires. Les roubines et lévadons sont des modifications anthropiques de la microtopographie des sansouires. Les roubines sont les canaux d'irrigation ou de drainage bordés de talus nommés lévadons (Parc Naturel Régional de Camargue, 2003).

La végétation des sansouires est classée parmi les habitats d'intérêt communautaire sous le nom de « fourrés des marais salés méditerranéens » (code 15.6 de la nomenclature CORINE) (European Commission, 2007). Ces formations ligneuses broussailleuses et basses sont constituées essentiellement de salicornes (Chénopodiacées). Elles sont subdivisées en divers habitats en fonction des espèces dominantes. Cette subdivision est très liée au rythme des inondations et à la salinité qui dépendent eux-mêmes du niveau de la nappe phréatique salée et des précipitations. Le sel influence à la fois la répartition spatiale des espèces mais encore la hauteur de végétation, réduite dans les sols les plus salés (Corre, 1979). On distingue (Corre, 1979, Bissardon *et al.*, 1997, European Commission, 2007) :

- Les tapis de salicorne vivace (*Arthrocnemum perennis*) dans les dépressions les plus longtemps inondées.
- Les bosquets d'arbrisseaux à salicorne en buisson (*Sarcocornia fruticosa*) dans les zones humides (généralement inondées en hiver), basses et de salinité variable selon la saison. Les grosses touffes de salicorne font alors 60 à 80 cm de haut et couvrent plus de 80 % du sol. Ces bosquets peuvent se présenter sous forme de fourrés méditerranéens à obione faux-pourprier (*Halimione portulacoides*) et salicorne en buisson notamment sur les lévadons. On parle de « sansouire haute ».
- Les bosquets de formations broussailleuses à salicorne glauque (*Arthrocnemum macrostachyum*) sur des zones les plus salées. Ces formations végétales prennent la forme d'une mosaïque de touffes plus ou moins prostrées, de 20 à 30 cm de haut. Elle ne couvrent que 50 à 70 % du sol, laissant ainsi une large place au sol nu. On parle de « sansouire basse ».

- Les bosquets d'arbrisseaux à soude en buisson (*Suaeda vera*) sur les zones sèches, peu salées et topographiquement plus élevées. Elles font transition avec les sansouires hautes dans des espaces de pelouses riches en Graminées, en obione (*Halimione portulacoides*) et en saladelles (*Limonium vulgare*), notamment sur les montilles. Ces milieux sont également favorables à la filaire (*Phillyrea angustifolia*).

Dans les zones amphibies, légèrement saumâtres et temporaires, la végétation est souvent dominée par les joncs maritimes *(Juncus maritimus).* Les zones de jonc peuvent donc faire transition entre sansouire haute et étangs ou baisses.



Figure 2 : Paysage typique de sansouire constituée ici d'arbustes de salicorne glauque (les plus plats) et de salicorne en buisson (les plus ronds) entourées par du sol nu. On aperçoit des tamaris à l'arrière plan.

Sur le domaine de la Tour du Valat, les fauvettes à lunettes colonisent préférentiellement les lisières séparant sansouires hautes (*Sarcocornia fruticosa* de hauteur supérieure à 50 cm) et boisements de filaires ou les bords de marais ou de roubine en sansouire haute avec quelques tamaris clairsemés utilisés comme postes de chant (Huret, 2009). Les cantons occupés par les fauvettes à lunettes en 2009 étaient recouverts de 10 % de sol nu, 45 à 60 % de strate herbacée (le recouvrement de *Juncus maritimus* étant plus important que dans le reste de la sansouire), 30 à 45 % de strate arbustive (inférieure à 120 cm de haut) constituée de soude et/ou de filaire et une strate arborescente inexistante ou insignifiante. Les zones de sansouires basses, à salicorne glauque (*Arthrocnemum macrostachyum*), étaient globalement défavorables à *Sylvia conspicillata*. Les sansouires du domaine de la Tour du Valat sont cependant singulières car le recouvrement par les filaires est important et les densités de fauvettes à lunettes y sont très faibles (0,2 couple/10ha). Les données obtenues sur le domaine ne sont donc pas extrapolables au reste de la Camargue. Ceci justifie cette étude sur une zone distincte, outre le besoin de connaître précisément les effectifs de fauvettes à lunettes dans cette zone acquise récemment.

II.1.2. Régime alimentaire

Son régime alimentaire est constitué principalement d'invertébrés mais également de fruits au printemps et en automne (*Rubus, Morus, Myoporum*). L'analyse de quelques contenus stomacaux a

révélé la présence d'œufs d'insectes, coléoptères, orthoptères, araignées et hyménoptères (Cramps *et al.*, 1992).

L'unique étude dédiée à l'analyse du régime alimentaire des fauvettes à lunettes a été réalisée par capture de fauvettes à lunettes et analyse de fèces (Hodar, 1994). Hodar a analysé pendant la saison de reproduction (avril-juin) 8 fientes totalisant 44 proies de 3,7 mm de longueur moyenne et 4 fientes contenant des proies de 2,9 mm de longueur moyenne en post-reproduction (juillet-septembre).

- **Période d'élevage des jeunes :** Le régime alimentaire est constitué uniquement d'arthropodes terrestres, capturés sur la végétation, pendant la période du nourrissage des jeunes (36 % de *Formicidae* (fourmis), 18 % d'araignées, 13,6 % d'Hyménoptères, 6,8 % d'Orthoptères et 4,6 % de larves de lépidoptères ; en % d'items). En termes de biomasse, ce sont les orthoptères, les larves de lépidoptères et les araignées qui représentent la majorité du régime alimentaire.

- **Après l'élevage des jeunes** : La biomasse déféquée par les 4 fauvettes à lunettes échantillonnées était composée de 66,6 % d'araignées, 27,2 % d'homoptères et quelques coléoptères avec des fruits dans 70 % des échantillons.



Figure 3 : Les araignées constituent 18 % des insectes consommés par les fauvettes à lunettes lors du nourrissage des jeunes.

II.2. Reproduction

Le mâle édifie plusieurs ébauches de nid, jusqu'à 4, et laisse la femelle en choisir une puis la complète avec elle (Sultana & Gauci, 1982). Le nid fait alors une dizaine de centimètres de diamètre, à proximité du sol (10 à 20 cm dans le Latium italien) et quatre œufs y sont déposés. Les

plantes à port buissonnant de 30 à 60 cm de haut sont privilégiées (Guerrieri & Santucci, 1996). En Camargue, la nidification a été observée dans la salicorne en buisson (Blondel, 1972), dans la filaire (*Phillyrea angustifolia*) et fortement suspectée dans la soude en buisson (*Suaeda vera*) (Huret, 2009). La durée d'incubation est de 11 à 12 jours. L'élevage des jeunes est pris en charge conjointement par le mâle et la femelle (Glutz von Blotzheim & Bauer, 1991) durant 11 jours (Guerrieri & Santucci, 1996). Les fauvettes ont généralement une à deux nichées (exceptionnellement trois), les nichées de rattrapage étant fréquentes lors d'échec de la première nichée (Huret, 2009). Ces échecs représentent environ 55 % des nichées (Guerrieri & Santucci, 1996)

II.3. Taille des populations

La population européenne serait comprise entre 180 000 et 440 000 couples nicheurs selon Birdlife (2004) mais plusieurs auteurs considèrent que cette estimation devrait être revue à la baisse (Carbonnel, 2003, Noguerra, 2004). Il existe peu de données fiables concernant les tailles des populations. La population espagnole semble avoir été largement surévaluée par le passé puisqu'elle ne compterait que 13 500 à 30 000 couples nicheurs au lieu des 140 000 à 300 000 estimés auparavant (Carbonnel, 2003). Elle constituerait 70 % de la population européenne (Huret, 2009). Les effectifs français avaient été estimés à 4 400 couples (Glutz von Blotzheim & Bauer, 1991), mais les estimations les plus récentes sont de 300-1 300 couples (Gilot & Rousseau, 2008), 700-2 000 couples (Dubois *et al.*, 2008). Après une étude des effectifs de fauvettes à lunettes dans les champs de lavandin, l'estimation nationale faite par Gilot & Rousseau (2008) a été abaissée à 400-1 000 couples (Bailleul, 2009).

- **En France**, seules deux populations importantes subsistent aujourd'hui. L'une est rencontrée dans les cultures de lavande des Alpes de Haute-Provence avec un effectif récemment estimé à 200-400 couples et l'autre est inféodée à la Camargue avec une population estimée à 100-150 couples (Gilot & Rousseau, 2008).

- **La population camarguaise est largement sous-estimée** d'après les comptages réalisés en divers points de la Camargue. Une fourchette de 200-500 couples constituerait une estimation plus appropriée (Thibault, communication pers.). Cette dernière fourchette remonterait l'estimation nationale de Bailleul à 500-1350 couples, la population camarguaise représentant alors environ 40 % de cet effectif.

Des estimations des populations établies en plusieurs localités de Camargue ont été réalisées selon différentes méthodes (quadrats, points d'écoute, extrapolation) dans le Tableau I. La Réserve Nationale de Camargue comprend les plus grandes superficies d'habitats favorables et accueille donc probablement la population la plus importante du delta mais l'estimation de ses effectifs ne s'appuie pas sur un recensement. Il n'existe aucune estimation d'effectifs pour de nombreuses localités camarguaises pourtant constituées d'habitats favorables et/ou sur lesquelles la présence de la fauvette à lunettes est connue. Les domaines de la Bélugue, du Pèbre, de Fiélouse, de St Antoine et d'Icard, les marais des Saintes et les theys de Port-Saint-Louis, notamment, sont des localités comprenant de vastes superficies d'habitats potentiellement favorables.

Tableau I : Effectifs de fauvettes à lunettes en Camargue.

Localité	Effectif estimé (nombre de couples)	Années	Référence	Méthode de dénombrement
Réserve Nationale de Camargue	100-150	2005	Coulet comm. pers.	Estimation établie sans recensement
Tour du Valat	32 16 15 22	1995 2000 2005 2010	Données Tour du Valat	Points d'écoute
Propriétés du Conseil Général des Bouches-du-Rhône	59-70	2010	Thibault comm. pers. / BRL, Tour du Valat, SNPN, in prep. Plan de gestion des propriétés départementales de Camargue.	Méthode des Quadrats
Domaine de la Palissade	23 17 3	1988 1997 2005	Hafner & Pineau, 1988. Données SMGDP	Points d'écoute
Zone industrielle de Fos	50-70	2008	Gomila & Naturalia, 2008.	Non communiquée

II.4. Tendances et facteurs d'évolution des populations

En Espagne, l'aire de répartition des fauvettes à lunettes aurait été réduite de 44 % en 20 ans (Noguerra, 2004). Ceci explique en partie la révision à la baisse des estimations de la taille des populations espagnoles.

En France, seules des estimations de tendances d'évolution des populations ont été établies en région Languedoc-Roussillon, où Gilot & Rousseau (2008) considèrent, notamment en s'appuyant sur des données historiques (Affre, 1975), qu'en 30 ans son aire de répartition a décliné de 50 % et sa population de 80 %. Selon ces mêmes auteurs, les populations de la vallée du Rhône ont régressé depuis 1989 entraînant une probable disparition en Ardèche, dans la Drôme et dans le Vaucluse. Les populations espagnoles, françaises mais également italiennes seraient donc de plus en plus isolées (Gilot & Rousseau, 2008).

- **Déclin des populations camarguaises :** Les effectifs sur la Tour du Valat montrent une tendance au déclin sur la période 1995-2010 avec toutefois des incertitudes liées à la méthode de recensement (Huret, 2009). Les effectifs recensés sur le domaine de la Palissade ont connu un déclin de plus de 80 % entre 1988 et 2006, attribué à la fermeture rapide des sansouires. On relèvera que selon Isenmann (Isenmann, 1992, Isenmann, 1995) les densités des populations migratrices sont connues pour être soumises à d'importantes fluctuations interannuelles.

En France, les causes de déclin de la fauvette à lunettes sont mal identifiées mais plusieurs hypothèses sont avancées par Gilot & Rousseau (2008) :

- fermeture des garrigues (cependant l'espèce ne semble plus recoloniser les zones incendiées),
- démoustication des sansouires en Languedoc-Roussillon,

- concurrence avec la fauvette mélanocéphale (*Sylvia melanocephala*), qui est sédentaire et dont les populations ont profité des successions d'hivers doux. Cette concurrence n'a pas encore été explorée mais on sait que la compétition entre la fauvette de Chypre (*Sylvia melanothorax*) et la fauvette mélanocéphale est défavorable à la première (Pomeroy & Walsh, 2002).
- problèmes sur les zones d'hivernage et sur les routes migratoires (Sanderson *et al.*, 2006).

En Camargue, plusieurs menaces potentielles ou avérées sont identifiées (Gilot & Rousseau, 2008, Huret, 2009, Thibault, communication personnelle) :

- évolution défavorable des sansouires (liée à l'irrigation, aux changements climatiques ou à la fermeture par les filaires),
- fragmentation des paysages,
- prédation des nids,
- concurrence avec la fauvette mélanocéphale (pouvant être en partie favorisée par la fragmentation des paysages),
- pâturage des sansouires et traitement vermifuge du bétail,
- aménagement de la zone industrialo-portuaire de Fos,
- démoustication des sansouires à Salin-de-Giraud et Port-Saint-Louis depuis 2006 avec extension potentielle des périmètres traités.

Inversement, l'acquisition par le Conservatoire du Littoral de plusieurs milliers d'hectares de salins constitue une opportunité pour restaurer des habitats favorables à la fauvette à lunettes.

II.5. D'impératives mesures de suivi et de conservation

Une seule étude s'est intéressée récemment à l'écologie de la fauvette à lunettes en Camargue (Huret, 2009). Aucune étude n'a été menée à l'échelle du delta pour estimer précisément la taille de la population, suivre son évolution et évaluer les facteurs pouvant avoir une incidence sur son statut local de conservation.

Un oiseau sur la liste rouge de l'UICN : Classée « Vulnérable » en France (Rocamora & Yeatman-Berthelot, 1999), la fauvette à lunettes a récemment été placée dans la catégorie « En Danger » de la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine (Union Internationale pour la Conservation de la Nature *et al.*, 2008) en raison du déclin observé dans une partie de son aire de répartition nationale.

Elle est ainsi l'une des 6 espèces nicheuses en Camargue inscrites dans cette catégorie. Il convient de relever que les autres populations nicheuses en Camargue et classées « En Danger » sont des espèces (i) faisant déjà l'objet d'un monitoring à long terme et de mesures de conservation (Flamant rose, Glaréole à collier, Goéland railleur), (ii) ayant une aire de répartition mondiale étendue et des effectifs camarguais d'importance modérée lorsqu'on les rapporte à l'estimation de leur population française (Locustelle luscinioïde) ou (iii) ayant des effectifs faibles en Camargue et en France mais connaissant une augmentation importante et rapide de leur population et de leur aire de répartition, ce qui devrait rapidement conduire à leur attribuer un statut de conservation moins défavorable (Talève sultane). Enfin, seule une espèce nicheuse en Camargue est classée « En Danger Critique » en France : la Marouette de Baillon. On relèvera cependant que si cette espèce constitue à l'échelle

nationale un enjeu de conservation et aussi un enjeu scientifique (en raison des difficultés de détection et de l'absence d'estimation fiable de ses populations), l'aire de répartition de l'espèce est très étendue (Eurasie, Afrique, Océanie), de même que l'aire de répartition de la sous-espèce nominale (Europe, Asie Mineure, Afrique du Sud et de l'Est, Madagascar) (Clements *et al.*, 2009).

- **La fauvette à lunettes, un enjeu fort mais pratiquement pas pris en compte** actuellement en terme de recherche et de conservation. C'est pourquoi il est intéressant de profiter de l'acquisition par le Conservatoire du Littoral de plusieurs milliers d'hectares pour étudier les besoins de la fauvette à lunettes afin de savoir si l'on peut restaurer des habitats favorables à sa reproduction.

Ce stage a donc pour objet des questions de recherche dont les résultats sont dédiés à la mise en valeur de ressources naturelles par leur gestionnaire pour la conservation d'une espèce.

La volonté affichée par le gestionnaire d'adapter la gestion d'espaces naturels à la conservation de la fauvette à lunettes combinée à l'état insuffisant des connaissances actuelles sur les besoins de l'espèce nous amènent à nous demander : **Quelle est la population de fauvettes à lunettes sur zone, quel est son habitat, comment les ressources alimentaires l'influencent-elles et comment les pratiques de gestion de cet habitat peuvent-elles l'impacter?**

III. Objectifs du stage

Les objectifs du stage sont les suivants :

- Affiner les protocoles de dénombrement pour adopter un protocole standardisé.
- Déterminer les effectifs de population de cette espèce.
- Caractériser son habitat de reproduction.
- Déterminer les ressources alimentaires disponibles.
- Evaluer l'impact des pratiques de gestion actuelles (pâturage, démoustication).
- Proposer des mesures de gestion et de restauration pour améliorer les capacités d'accueil du site.

IV. Matériels et méthode

IV.1. Zone d'étude

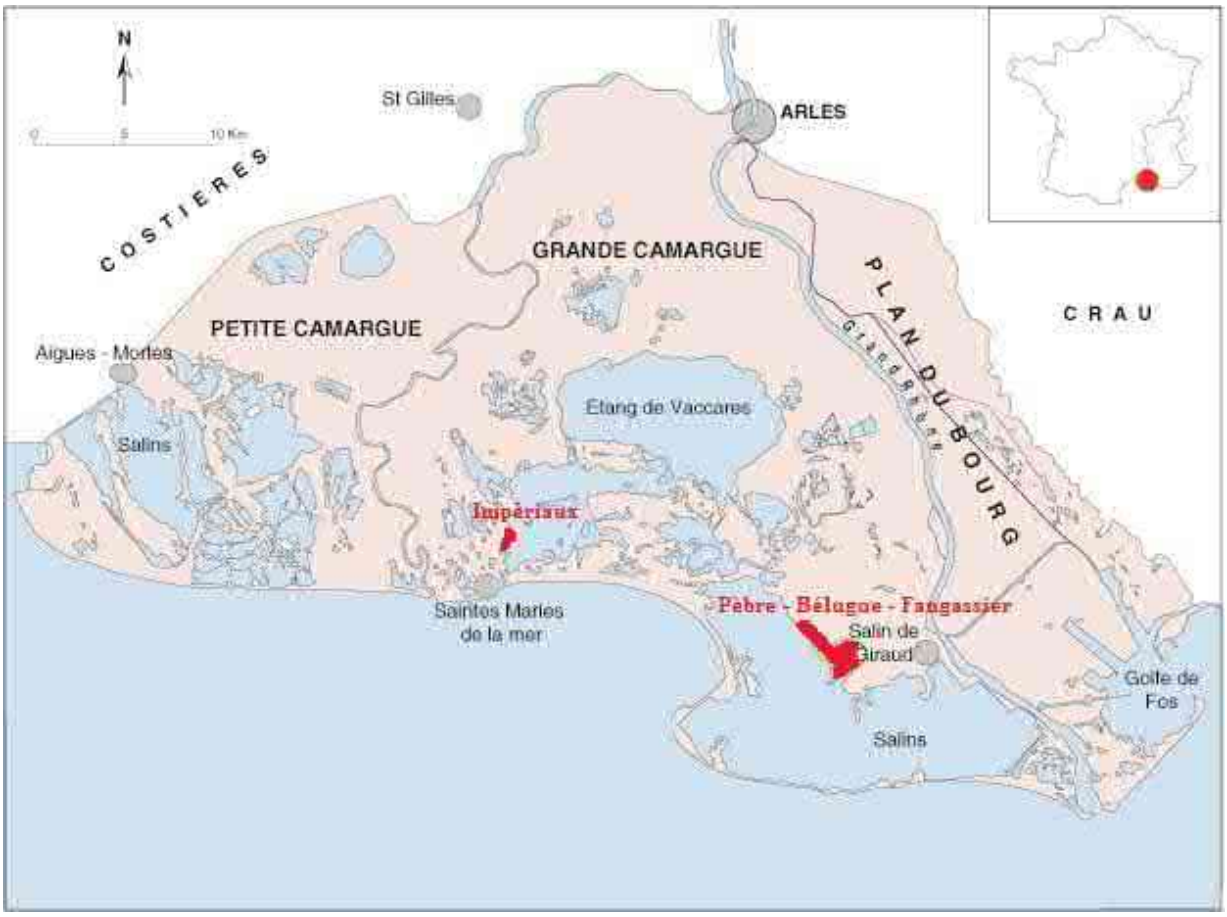


Figure 4 : Situation géographique des périmètres étudiés en Camargue (Source : Tour du Valat).

La zone d'étude couvre deux périmètres distincts :

- Environ 450 ha à l'est de l'étang du Fangassier (sud-est de la grande Camargue) couvrant une grande proportion des parties terrestres acquises par le Conservatoire du Littoral en 2007 auprès du groupe SALINS (noté « Pèbre – Bélugue – Tourvieille » sur la Figure 4).
- Environ 75 ha dans le domaine départemental des Impériaux (sud-ouest de la grande Camargue) (noté « Impériaux » sur la Figure 4).

IV.1.1. Périmètre d'étude Pèbre – Bélugue – Fangassier

Choix du périmètre d'étude

Dans la zone Pèbre – Bélugue – Fangassier, le périmètre d'étude a été déterminé grâce à la cartographie d'habitats Natura 2000 (Figure 5). Cette cartographie a été réalisée par le PNRC sur la base de photographies satellite appuyées par des vérifications de terrain. Les vastes zones de sansouires ou les zones mixtes avec jonchaies et sansouires ou pelouses et sansouires ont été intégrées dans le périmètre d'étude. Les pelouses, boisements ou friches ainsi que les zones isolées de sansouires n'ont pas été parcourus. Une partie des linéaires de digues d'habitat type « sansouire » a été incluse dans le périmètre d'étude. Pour éviter le dérangement de la colonie de

flamants roses nichant sur un ilot de l'étang du Fangassier, les parcours de digues ont été restreints aux digues situées le plus au sud.

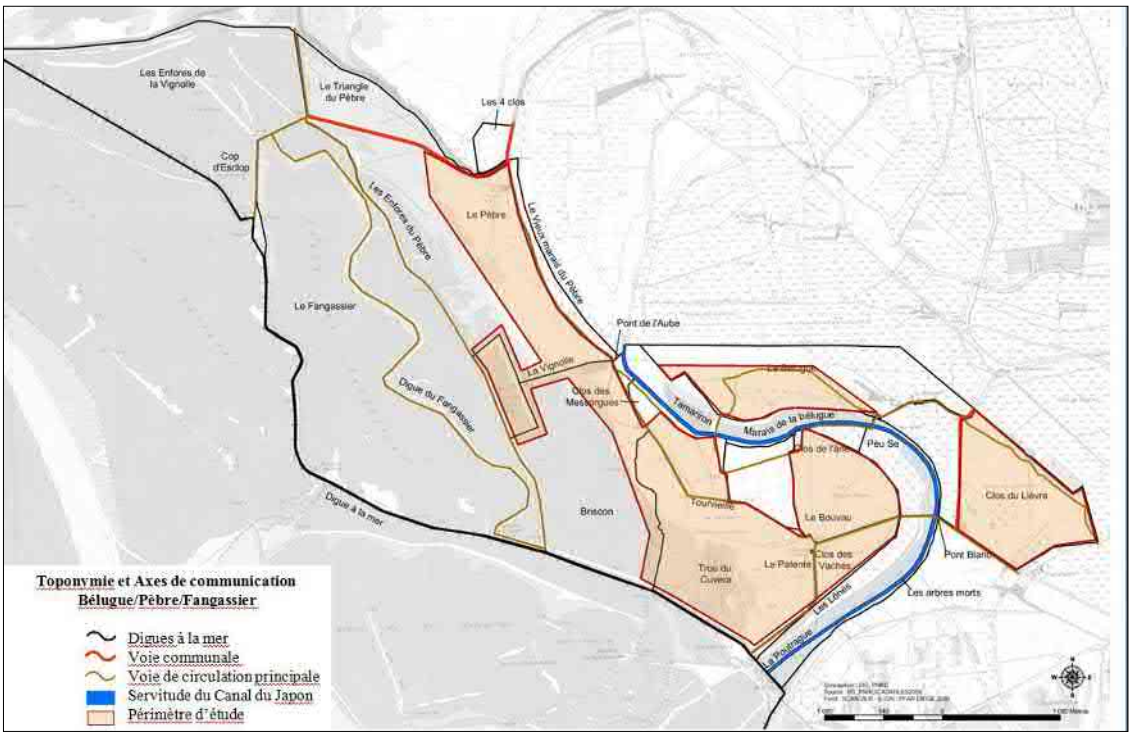


Figure 5 : Carte du périmètre d'étude dans la zone Pèbre - Bélugue – Fangassier (Parc Naturel Régional de Camargue).

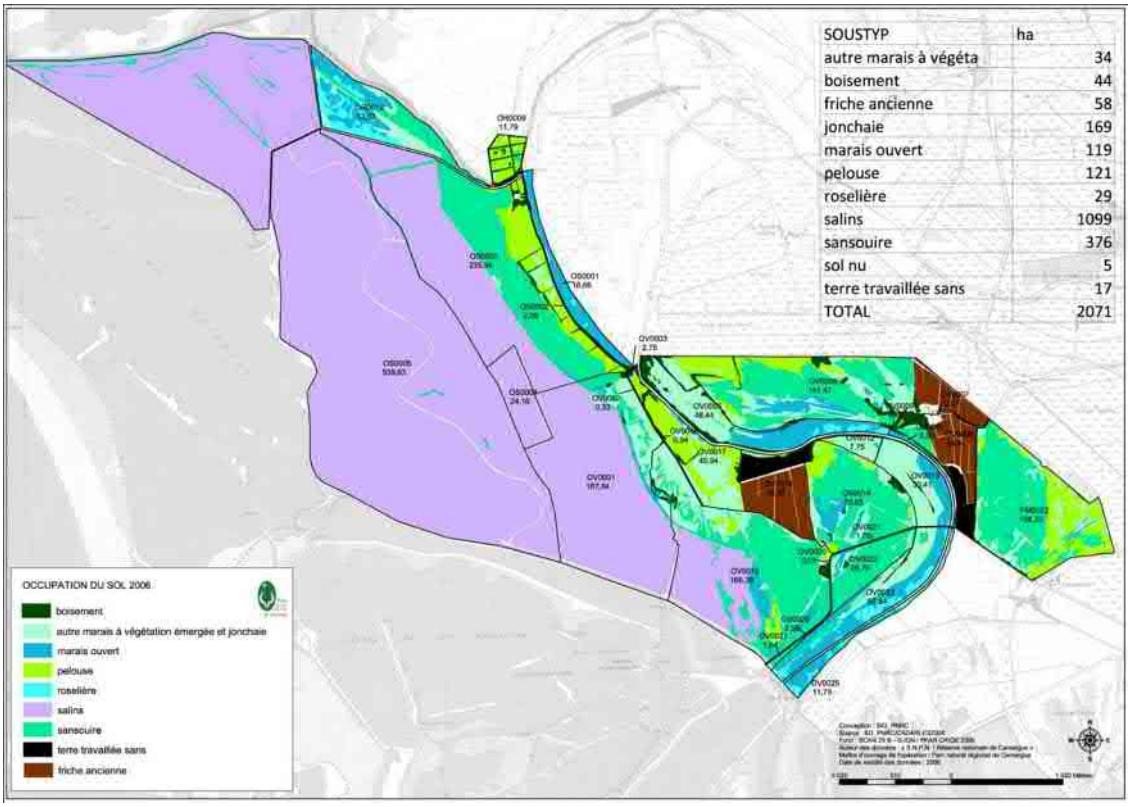


Figure 6 : Cartographie Natura 2000 des habitats de la zone Pèbre - Bélugue – Fangassier (PNRC, 2006).

Pâturage



Figure 7 : Bovin de race Brave.

Depuis l'acquisition par le Conservatoire du Littoral, en conformité avec le Code de l'Environnement, ces pratiques pastorales ont été maintenues « dans le cadre d'un conventionnement d'usage pastoral compatible avec les objectifs de protection de l'environnement du Conservatoire » (Conservatoire Du Littoral, 2008). Ces conventions déterminent la pression et la charge de pâturage. Le pâturage est hétérogène dans le temps et dans l'espace sur l'ensemble du périmètre. L'espace est pâturé soit par des taureaux de race Brave (dits « taureaux espagnols » ou « taureaux de combat ») soit par des chevaux.

Les bovins sont ici sélectionnés pour les jeux taurins, la filière viande constitue une pratique de diversification. Sur la zone d'étude, on se situe plutôt dans la fourchette basse en termes de pression de pâturage (souvent <1UGB/ha). Le nombre d'animaux admis sur chaque parcelle a été déterminé dans les conventions d'usage passées entre le PNRC et les deux manades de la zone : la manade Yonnet et la manade Yonnet et descendants. Sur chaque parcelle, 50 bovins de race Brave et 10 chevaux de race Camargue (avec une tolérance d'un tiers d'une autre race) sont admis sur l'ensemble de l'année. La tolérance est de 10 %.

Dans le périmètre d'étude, la répartition est grossièrement la suivante (détails dans le Tableau II):

- Vaches suitées dans les secteurs de Briscon - Tourvieille, du Pèbre, du Clos des Vaches et du Clos de l'âne.
- Génisses dans la zone dite « Vieux Rhône de la Bélugue ».
- Juments et poulains au Clos du Lièvre.

Le pâturage n'est pas constant au cours de l'année, la zone est partagée entre pays d'hiver et pays d'été (Figure 8 et Figure 9).

Tableau II: Caractéristiques du pâturage sur les différentes parcelles du périmètre d'étude (extrait de la convention de pâturage – données non publiées, (Conservatoire Du Littoral, 2008)).

Parcelle	Nom	Type de pays	Surface (ha)	Espèce	Charge maximale instantanée admise (en tête/ha)	Durée du pâturage
OS 1 et 3	Pèbre	Hiver	117	Bovins	0,5 UGB soit 60 vaches	Du 1 er octobre au 30 juin
OV1(b),2 3, 15, 17 et 19	Briscon, Tourvieille	Hiver	185	Bovins	0,6 soit 110 bovins	Du 1er Octobre au 31 mars
OV 12,13 et 14	Clos de l'âne et Péu sé	Eté	108	Bovins	0,6 UGB soit 65 bovins	Du 1er avril au 30 septembre
OV 5	Vieux Rhône de la Bélugue	Eté	48	Bovins	0,6 UGB soit 30 bovins	Du 1er avril au 31 Octobre
PM 22	Clos du Lièvre	Eté	108	Equins	0,4 soit 40 équins	Du 1er avril au 30 septembre

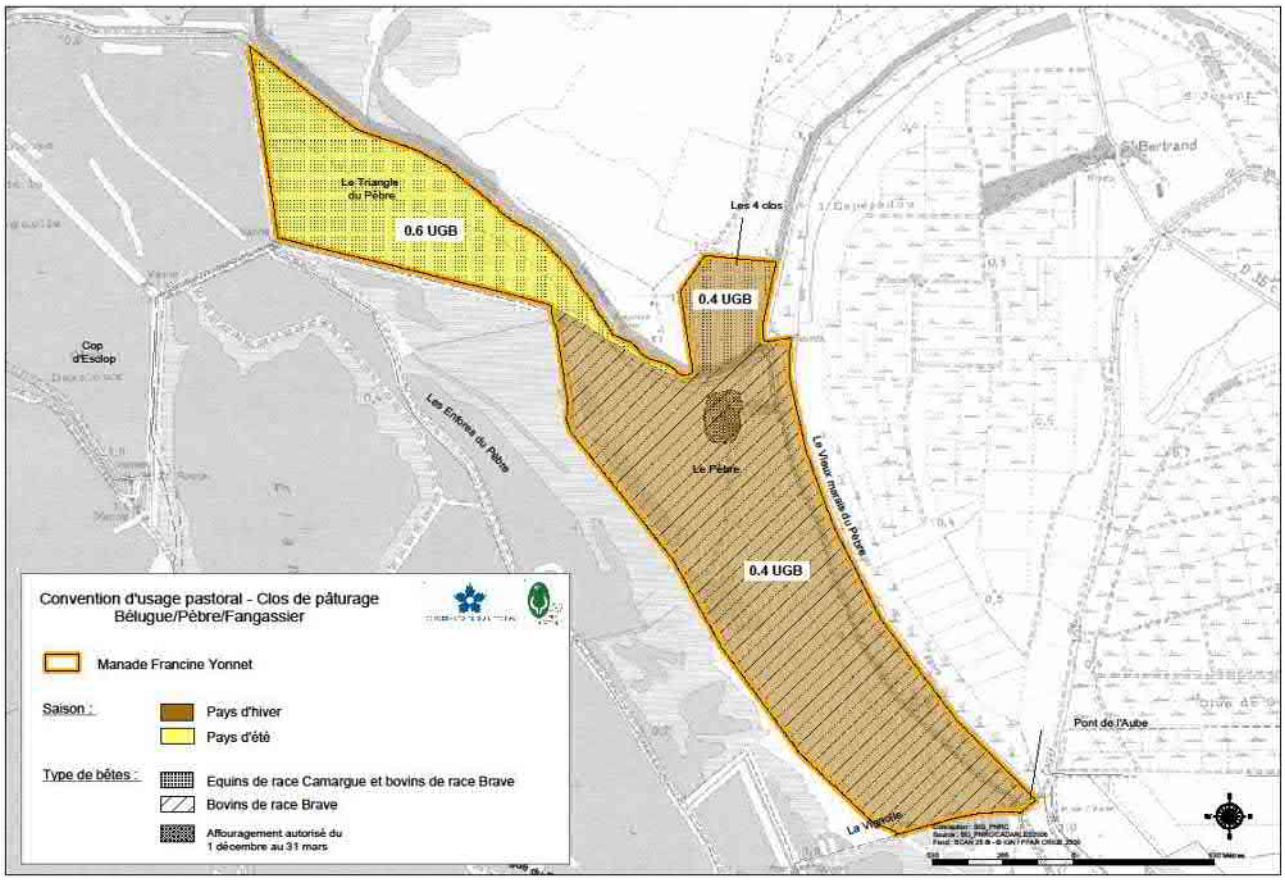


Figure 8 : Carte des zones pâturées et des indices de pression de pâturage dans la zone pâturée par les animaux de la manade Francine Yonnet (source PNRC).

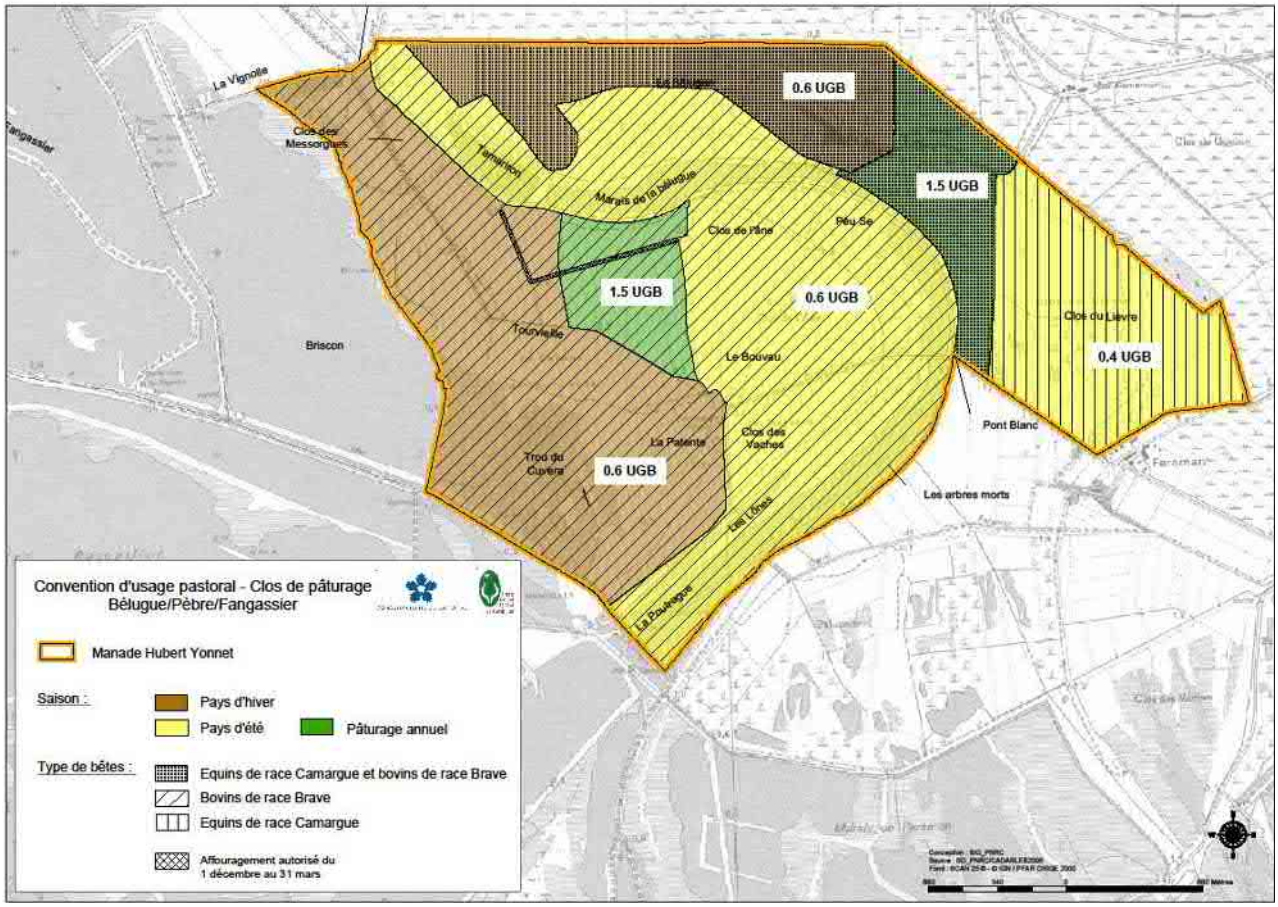


Figure 9 : Carte des zones pâturées et des indices de pression de pâturage dans la zone pâturée par les animaux de la manade Hubert Yonnet (source PNRC).

Démoustication

Depuis septembre 2006, l'Entente Interdépartementale pour la Démoustication en Méditerranée (EID) met en œuvre une campagne de démoustication à l'aide de pulvérisation de bio insecticide Bti (*Bacillus thuringiensis var. israelensis*) dans les régions de Port-Saint-Louis-du-Rhône et des Salins-de-Giraud (Actualités News Environnement, 2006). Les secteurs d'étude sont pour partie inclus dans les périmètres soumis à la démoustication et pour partie exclus de toute intervention. Depuis, 2006, un suivi écologique a été mis en place pour suivre les effets du Bti sur les écosystèmes concernés par la démoustication. Il s'agit de s'intéresser aux populations animales et végétales pouvant être impactées par les opérations de démoustications par les effets directs du Bti, ses effets sur les réseaux trophiques et les effets du dérangement occasionnés par les opérations de démoustication en elle mêmes. Les suivis concernent :

- Les algues et cyanobactéries, producteurs primaires consommés par les diptères culicidés (« moustiques ») (Fayolle & Franquet, 2009).

- Les chironomes, du fait de leur biologie proche de celle des diptères culicidés (Fayolle & Franquet, 2009).

- Les odonates, organismes prédateurs de culicidés mais non cibles du Bti (Jakob, 2009).

- Les chiroptères, organismes prédateurs de culicidés (Groupe Chiroptères de Provence, 2009).

- Les invertébrés paludicoles, également reflet des populations de passereaux paludicoles (Poulin *et al.*, 2010b)

- Les hirondelles de fenêtre, organismes prédateurs de culicidés et chironomidés (Poulin *et al.*, 2010b).

Ce suivi a mis en évidence les effets du Bti sur le réseau tropique des hirondelles de fenêtre. Un nombre réduit de poussins est observé chez ces oiseaux du fait d'une taille de ponte réduite et d'une augmentation de la mortalité des poussins liée à une privation de nourriture. Le Bti est donc susceptible d'avoir un impact sur les effectifs d'avifaune à travers ses effets sur les réseaux trophiques des insectivores. Il est donc pertinent de s'intéresser à l'impact de la démoustication sur les effectifs de fauvettes à lunettes, oiseau insectivore.

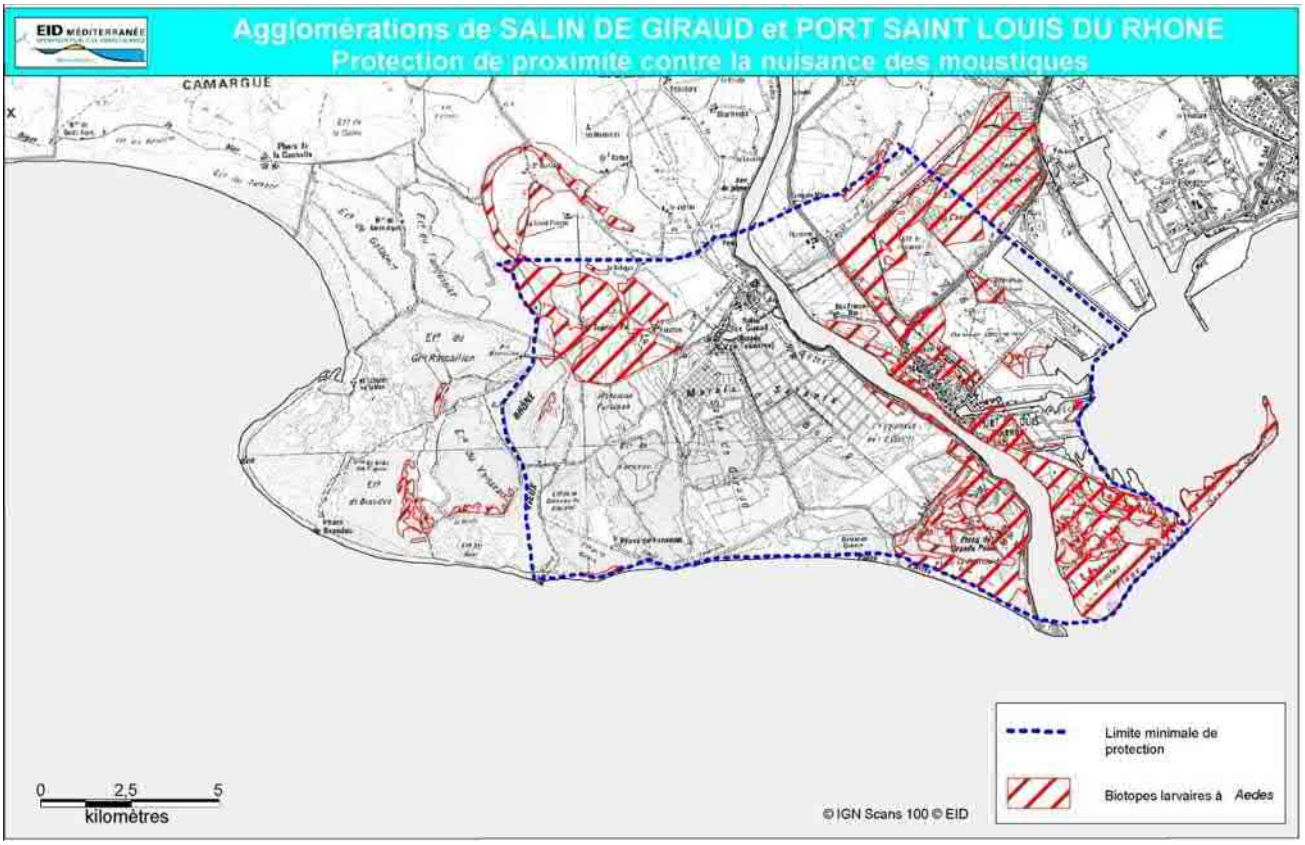


Figure 10 : Carte du périmètre démoustiqué par l'EID autour des agglomérations de Salin de Giraud et Port Saint Louis du Rhône (EID, 2011).

La démoustication est pratiquée par aspersion de Bti par avion sur les gites larvaires d'une partie de la zone (roubines et baisses). Le périmètre démoustiqué s'arrête au « pont de l'Aube» (Figure 10). Le nord du Pèbre est donc exclu de toute intervention.

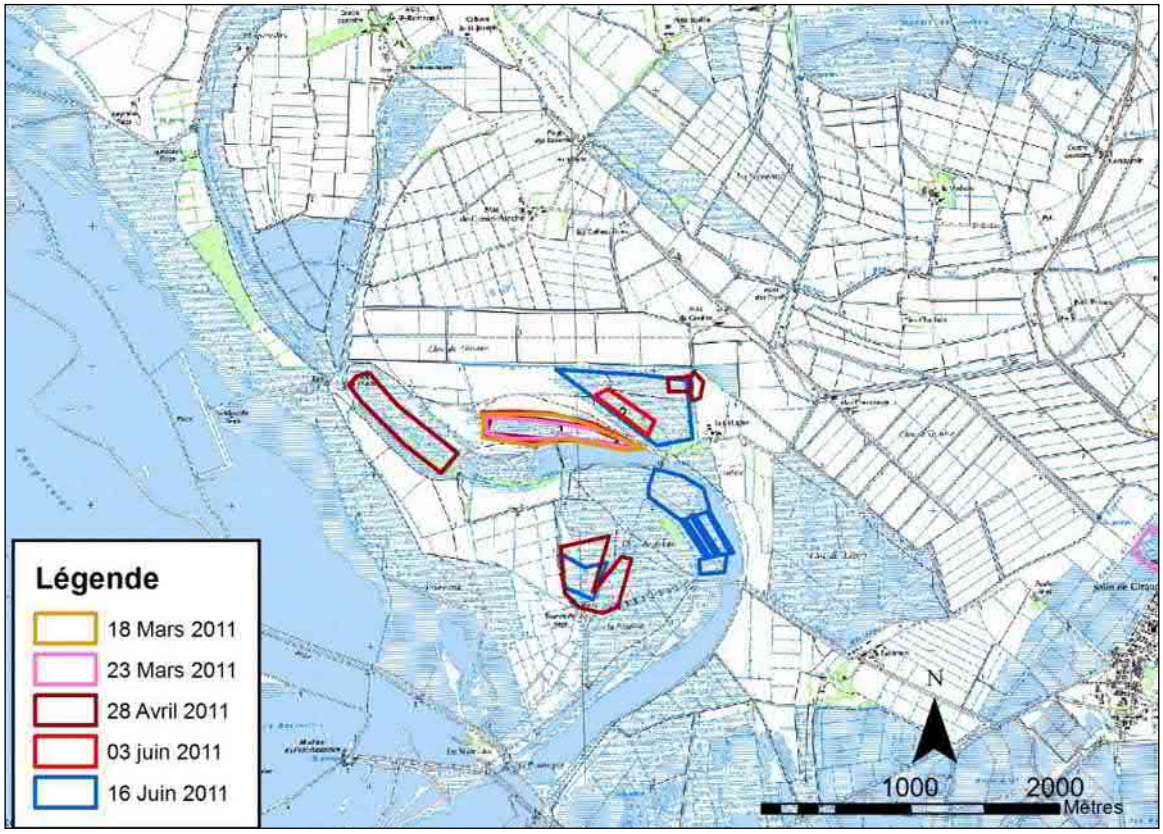


Figure 11 : Carte des traitements aériens réalisés par l'EID de janvier à juin 2011 (réalisée avec ArcGIS 9.2 sur la base de cartes communiquées par l'EID).

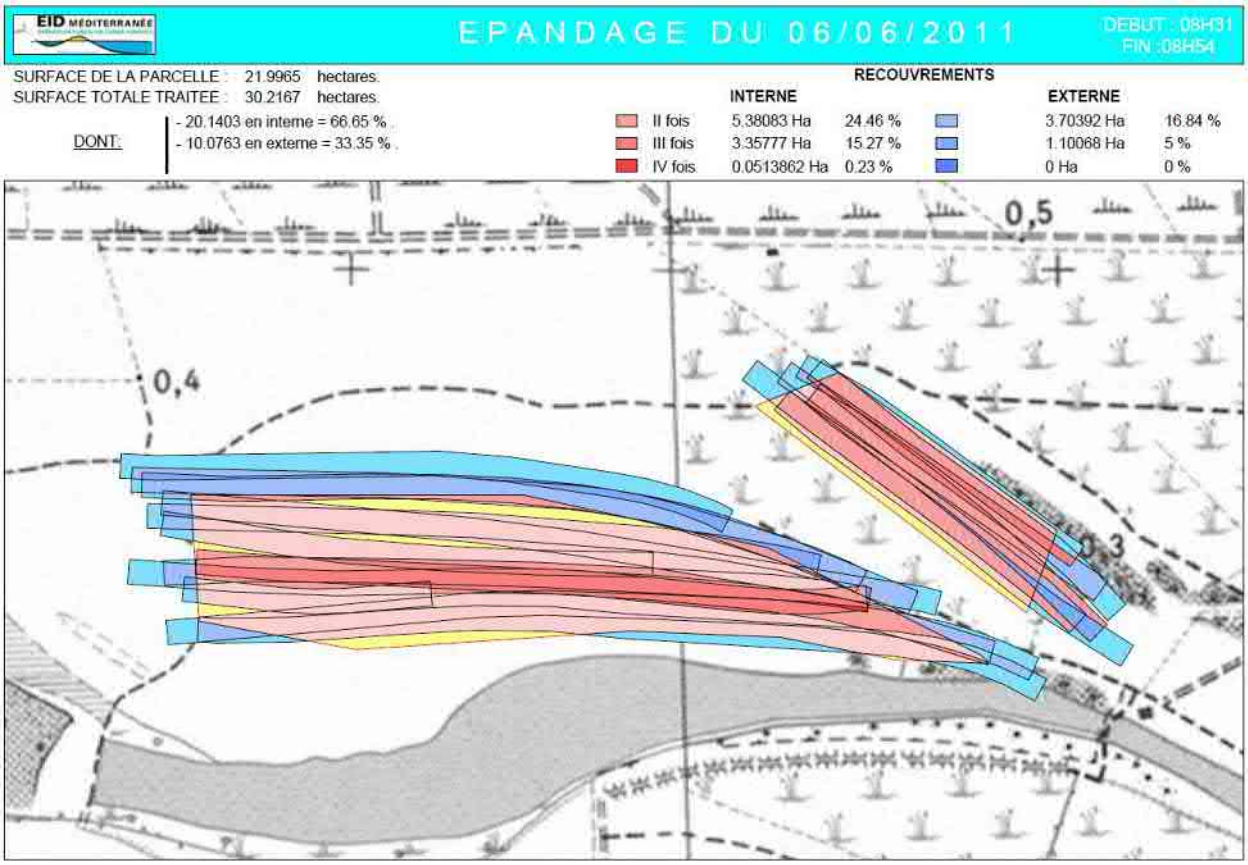


Figure 12 : Carte des bandes d'épandage aérien de Bti par l'EID Méditerranée sur la Bélugue le 06/06/2011 (Source : EID, 2011).

La Figure 11 montre que les zones incluses dans le périmètre démoustiqué ne sont pas toutes traitées de façon équivalente. L'effort de démoustication est intense sur la Bélugue, traitée le 18/03, le 23/03, le 28/04 et le 03/06. Le sud du secteur du Clos de l'âne a été traité deux fois le 28/04 et le 16/06. Sur un même secteur, l'épandage de Bti n'est pas uniforme et dépend du nombre de passages réalisés par l'appareil lors du même traitement (Figure 12).

Cependant**, les données transmises par l'EID sont incomplètes**. Nous ne disposons pas des cartes de traitements terrestres éventuels et **des avions traitant ont été observés voire photographiés le 29/04, le 06/06, le 07/06 et le 22/06 sans que l'EID ne fasse mention de ces traitements** dans les cartes envoyées.

IV.1.2. Périmètre d'étude du domaine départemental des Impériaux

Le périmètre situé le long de l'étang des Impériaux, au sud de la pointe de Jonquas, a été choisi pour constituer une zone témoin du point de vue des habitats et des pratiques de gestion.

Cette zone présente trois intérêts majeurs pour notre étude : elle est exclue de toute intervention de démoustication (Celet, 2010), de pâturage par des animaux domestiques et est connue pour ses fortes densités de fauvettes à lunettes (Thibault, communication personnelle).

Elle présente donc un grand intérêt pour augmenter notre jeu de données dans une zone témoin du point de vue des pratiques de gestion.

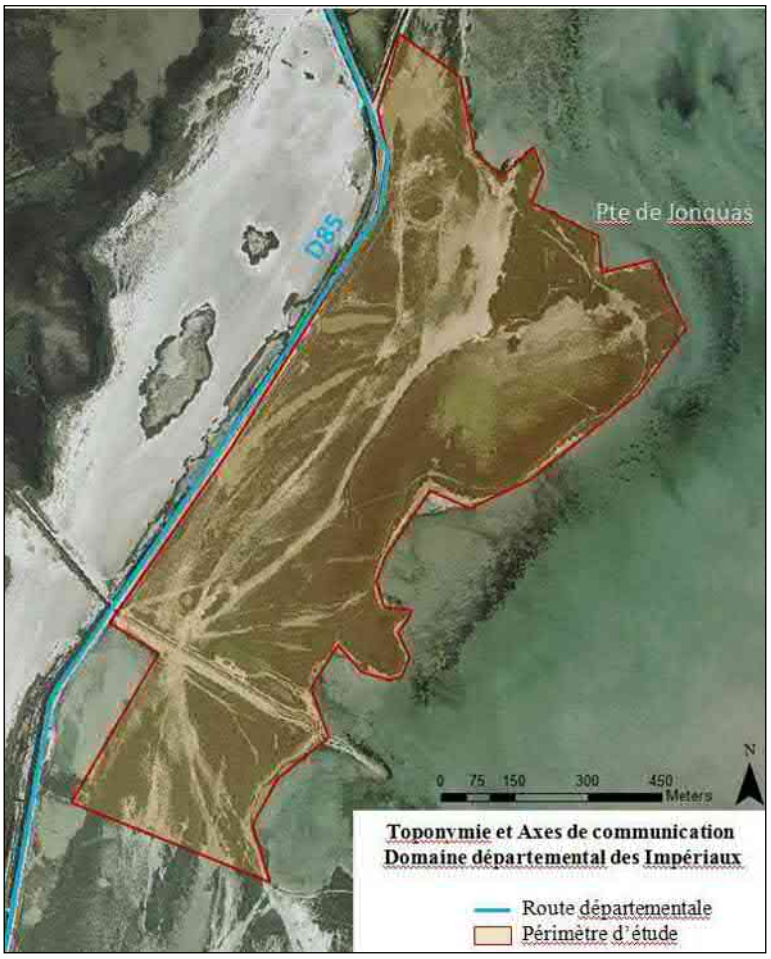


Figure 13 : Vue satellite du périmètre d'étude dans la zone du Domaine départemental des Impériaux (IGN, BD ORTHO® 2003).

IV.2. Effectifs de fauvettes à lunettes

IV.2.1. Objectifs du protocole de dénombrement

Dans cette étude, il s'agit de déterminer les effectifs de fauvettes à lunettes de façon fiable et exhaustive mais aussi de connaitre leurs positions afin de pouvoir caractériser dans un second temps

la végétation et les ressources alimentaires des zones qu'elles affectionnent. Par ailleurs, le protocole doit permettre de couvrir le maximum de surface en un temps réduit, en optimisant le nombre d'observateurs et le nombre de sorties sur le terrain. Ce protocole pourra alors être utilisé dans les années à venir pour déterminer les effectifs et les positions des fauvettes à lunettes.

IV.2.2. Tour d'horizon des méthodes de dénombrement d'avifaune existantes

Plusieurs types de méthodes sont utilisés pour dénombrer l'avifaune. La méthode de référence est la méthode de capture-marquage-recapture (CMR). Cette méthode consiste à capturer des oiseaux grâce à des filets. Les oiseaux sont alors marqués et relâchés. Une autre ou plusieurs autres sessions de capture permettent de capturer des individus marqués (recapture) ou non. A partir de ces données, il est possible d'estimer la taille de la population et le nombre d'individus manquant par la formule de Lincoln-Petersen (Pollock, 1981). Cette méthode est lourde en termes de matériel, de temps et de ressources humaines nécessaires et ne permet de prospecter qu'une zone limitée. En milieu ouvert, les filets sont visibles et la capture par conséquent beaucoup plus difficile. La méthode de CMR est donc souvent réservée à l'étude de la dynamique d'une population. D'autres méthodes sont donc utilisées pour prospecter de plus grandes zones sans avoir recours à la capture des oiseaux mais à leur observation. Certaines méthodes, dites semi-quantitatives, reviennent à échantillonner une partie de la zone étudiée en estimant un indice d'abondance relative, kilométrique ou ponctuel. D'autres prétendent à l'exhaustivité en balayant l'ensemble de la zone étudiée de façon méthodique et en estimant un indice d'abondance absolue, on parle de méthode quantitative. Ces méthodes de base ont été combinées ou modifiées par différentes approches de manière à rendre l'estimation de la population la plus fiable possible. Les méthodes de base et les approches qui en sont dérivées seront détaillées ici.

IV.2.2.1. Méthode de base pour la détection et le dénombrement des oiseaux

Méthode semi-quantitative : transects linéaires

L'observateur marche sur une ligne droite et recense tous les oiseaux qu'il entend et qu'il voit (Yapp, 1956). Il doit marcher à vitesse constante, dans un milieu homogène sur une surface telle que l'on puisse effectuer un tracé linéaire d'environ 800 m sans craindre un effet de lisière. L'observateur obtient un nombre d'oiseaux par kilomètre parcouru.

Méthode semi quantitative : points d'écoute

Mise au point par Blondel, Ferry et Frochot en 1970, la méthode des points d'écoute est une méthode de sondage, dite relative ou semi-quantitative, elle renseigne sur l'abondance relative des différentes espèces d'oiseaux (Fonderflick *et al.*, 2006). L'observateur se place en un point fixe pendant vingt minutes. Il relève les contacts avec chaque espèce. Chaque année, deux passages sont effectués sur les mêmes points d'écoute afin de relever l'ensemble du spectre de l'avifaune nicheuse. Le premier est réalisé au début du printemps, du 1er avril au 8 mai, pour détecter les espèces nicheuses précoces. L'autre est réalisée en fin de printemps, entre le 9 mai et le 15 juin, pour détecter l'ensemble des espèces migratrices. La prise de données est standardisée et il n'y a pas à contrôler la vitesse de l'observateur ou la distance parcourue contrairement aux transects linéaires. Les autres avantages de la méthode sont sa reproductibilité, sa facilité et sa rapidité de mise en place (pas de tracé rectiligne à préparer). Enfin, les points d'écoute sont utilisables sur des

milieux morcelés ou accidentés. Néanmoins, la détection des espèces discrètes peut être difficile du fait de l'immobilité de l'observateur.

Les contacts obtenus par chacune des deux méthodes sont convertis en indices relatifs d'abondance selon les règles suivantes :

- un oiseau vu ou entendu criant 0,5 couple
- un mâle chantant : 1 couple
- un oiseau bâtissant : 1 couple
- un groupe familial, un nid occupé : 1 couple

Ces indices sont l'Indice Kilométrique d'Abondance (IKA) pour les transects linéaires et l'Indice Ponctuel d'Abondance (IPA) pour les points d'écoute. Les méthodes semi-quantitatives permettent de connaître les abondances relatives des espèces par rapport à un effort d'échantillonnage donné (20 minutes à un point d'écoute ou 3 km de transect linéaire parcouru) et de comparer ces abondances en différents sites. Le suivi sur plusieurs années permet de retracer l'évolution des populations (Dupieux, 2004). Leurs limites reposent sur le fait qu'elles ne suffisent pas à déterminer de façon absolue la composition et la densité d'avifaune d'un site (Uster, 2009). Pour ce faire, il faut connaitre la taille de l'aire prospectée et contrôler les fluctuations de détectabilité des espèces que l'on relève. En effet, la différence de détectabilité des espèces fait que l'on ne peut comparer entre eux les indices d'espèces différentes. Une abondance et une diversité intermédiaires de l'avifaune sont souhaitables car si elles sont élevées, les confusions sont possibles et si elles sont trop faibles, les données restent fragmentaires (Blondel *et al.*, 1970).

Méthode quantitative : plans quadrillés

La méthode des plans quadrillés est une méthode absolue qui permet d'établir les densités d'oiseaux nicheurs (Uster, 2009). Elle permet d'avoir des valeurs non biaisées du nombre d'individus sur une surface déterminée. Pour les grands oiseaux coloniaux, il est aisé de compter les nids. Au contraire, les passereaux en période de reproduction ne sont pas détectables instantanément et leurs nids sont trop difficiles à trouver. Ainsi il est préférable de dénombrer les cantons des mâles (territoires) durant le printemps.

La méthode des plans quadrillés (ou méthode des quadrats) consiste à parcourir plusieurs fois un site durant la période de reproduction des oiseaux. Le site est préalablement cartographié avec un quadrillage d'itinéraires que suit l'observateur. L'itinéraire doit couvrir toute la zone d'étude de telle façon qu'aucun point ne soit distant de plus de 100 mètres de l'observateur quelque soit l'espèce (Figure 14, passage à moins de 50 m de chaque point).

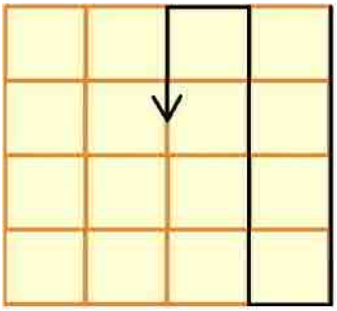


Figure 14 : Représentation schématique du passage de l'observateur (en noir) entre des quadrats de 100 m de côté.

Les contacts d'oiseaux sont ensuite cartographiés afin de calculer la densité pour chaque espèce donnée (Dupieux, 2004). L'observateur note les contacts simultanés entre mâles chanteurs. Il affecte aussi pour chaque oiseau contacté un indice de reproduction :

- Indices certains : nourrissage, transport de matériaux, construction d'un nid, présence de jeunes non émancipés, nid découvert.

- Indices probables : chant ou parade d'un mâle, observation d'un couple, accouplement, poursuite entre mâles.

- Indices possibles : observation d'un individu.

Les observations doivent être réalisées au début du jour, avec des conditions météorologiques favorables. La répétition de ce type de recensement cartographique permet de prétendre à l'exhaustivité de leur comptage (Fonderflick *et al.*, 2006). Les contacts établis lors des différents passages sont positionnés sur une même carte. 2 observations pour 5 ou 6 passages, 3 observations pour 7 ou 8 passages sont nécessaires afin qu'un nuage de points soit défini comme un canton.

Les avantages de la méthode sont la grande fiabilité des résultats. Ses inconvénients reposent sur le fort investissement en temps nécessaire pour la prospection et la préparation ainsi que la difficulté à reconnaître un même oiseau entre deux visites. Les résultats donnés par cette méthode permettent de calculer des coefficients de conversion des données semi-quantitatives en données quantitatives (nombre de couples à l'hectare). Cependant, les résultats sont valables uniquement pour la zone étudiée et sont délicats à généraliser (Uster, 2009).

IV.2.2.2. Approches dérivées des méthodes de base

Approche double-observateur

L'approche double-observateur est basée sur la présence d'un observateur primaire qui relaie tous les oiseaux qu'il détecte à un observateur secondaire. Celui-ci prend note de ces oiseaux et des oiseaux supplémentaires qu'il détecte et que l'observateur primaire a manqué. Les observateurs primaire et secondaire échangent régulièrement de rôle (Nichols *et al.*, 2000). L'approche double-observateur s'inspire de la méthode de capture – marquage – recapture des oiseaux. Dans l'approche double-observateur, le premier observateur entreprend l'étape de capture et le second observateur celle de recapture (Quang & Becker, 1997). La probabilité de détecter chaque oiseau présent dans le rayon d'un point d'écoute est considérablement plus forte qu'avec un seul observateur (Nichols *et al.*, 2000). La méthode est robuste à la faible expérience des observateurs et

à la transgression de l'hypothèse de stabilité de la population (Moore *et al.*, 2004). Sous cette hypothèse, la population est supposée ne subir ni ajout ni retrait d'individus au cours du comptage ou entre chaque session de comptage. Elle fait partie des hypothèses de la méthode de capture – marquage – recapture des oiseaux nécessaires à l'utilisation de la formule de Lincoln Petersen.

A l'origine mise en œuvre pour des points fixes de type point d'écoute, cette approche a aussi été décrite pour des transects linéaires réalisés par des avions lors de comptages aériens (Koneff *et al.*, 2008) mais pas pour des comptages à pied.

Battue

Les battues sont généralement utilisées pour dénombrer des Mammifères ou des galliformes (grand tétras, perdrix gris et perdrix rouge). Il s'agit de faire progresser, sur un terrain donné (en espace ouvert pour les galliformes de plaine), une ligne d'observateurs espacés de façon régulière afin de lever les individus et les comptabiliser. Les observations de chaque membre de la battue sont ensuite croisées, en particulier les heures de détection, afin de déterminer quels oiseaux ont été comptés par plusieurs observateurs (double-comptages) (Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, 2004). Le balayage méthodique d'une zone permet d'approcher l'exhaustivité du comptage.

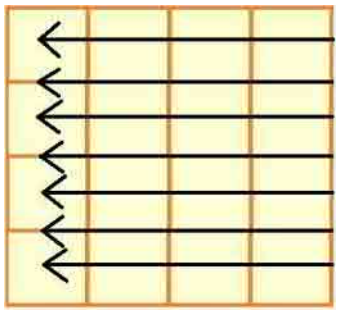


Figure 15 : Représentation schématique des trajets d'observateurs éloignés de 50 m les uns des autres lors d'un comptage par battue.

La battue est considérée comme une méthode fiable et quantitative dans les milieux ouverts (Pepin & Birkan, 1981). Cette méthode de comptage est très proche de la méthode des quadrats mais elle implique plusieurs observateurs. Leurs trajets constituent l'équivalent des itinéraires que suit l'observateur dans la méthode des quadrats. Ses résultats sont comparables à ceux obtenus par la méthode de transects linéaires, elle nécessite des ressources humaines plus importantes mais est moins chronophage (Duarte & Vargas, 2001).

Repasse du chant

La repasse du chant consiste à diffuser, à l'aide d'un haut parleur, le chant de l'oiseau afin de déclencher la réaction d'individus de la même espèce et de révéler la présence d'un canton. L'espèce d'intérêt doit exprimer un comportement territorial (Boscolo *et al.*, 2006), c'est le cas de la fauvette à lunettes. La repasse doit être effectuée avec des conditions météorologiques favorables : peu de vent, pas de pluie. Elle ne doit pas être utilisée en continu pour permettre à l'auditeur d'écouter la réponse des oiseaux. Il est préférable de diffuser durant une minute puis d'écouter pendant trente secondes et de répéter cette séquence à plusieurs reprises (Johnson *et al.*,

1981). Par ailleurs, une diffusion en continu au long d'un transect, outre le dérangement occasionné aux oiseaux, attirerait les oiseaux des cantons déjà identifiés. Il faut diffuser le chant, relever les contacts avec les oiseaux puis s'éloigner d'au moins 200 mètres avant de le diffuser à nouveau. L'aspect ponctuel de cette approche évoque la méthode des points d'écoute mais elle permet d'augmenter significativement les chances de détecter les oiseaux, en particulier en milieu fermé ou fragmenté et de les voir de plus près ce qui permet de les sexer plus facilement (Sliwa & Sherry, 1992). L'utilisation de repasse du chant a permis d'améliorer de 19 % la détection en milieu ouvert des parulines à ailes dorées, des fauvettes du Nouveau Monde (Kubel & Yahner, 2007), et de 23 % celle des perdrix rouges (Jakob *et al.*, 2010). Cependant, lors des comptages de parulines en milieu ouvert, 20 % des oiseaux n'étaient pas détectés, l'utilisation de facteurs correctifs est donc indispensable pour estimer la taille réelle d'une population (Kubel & Yahner, 2007). La répétition des points de repasse, de manière à couvrir l'ensemble d'un périmètre étudié, peut permettre de prétendre à l'exhaustivité du comptage en utilisant ces facteurs correctifs.

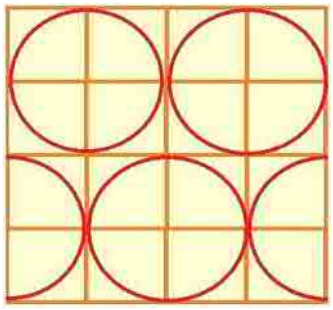


Figure 16 : Représentation schématique de la couverture d'une zone avec des points de diffusion de repasse du chant (au centre des cercles rouges). La distance inter-points est ici de 200 m.

La puissance de l'appareil doit correspondre au rayon de diffusion souhaité. Un étalonnage préalable est souhaitable. La sensibilité de l'ouïe des oiseaux diurnes étant comparables à celle de l'oreille humaine (Sachs *et al.*, 1978), il faut l'étalonner de façon à ce que le son soit juste audible à une distance de l'appareil correspondant à la moitié de la distance entre deux points (150 m pour une distance inter-points de 300m). De cette manière, le risque de compter le même oiseau lors de deux points successifs est minimisé.

IV.2.2.3. Méthodes utilisées pour recenser les fauvettes à lunettes

La fauvette à lunette est une espèce que l'on voit et dont les chants et cris sont aisés à repérer (Affre, 1974), un certain nombre de protocoles de localisation et de dénombrement ont déjà été testés. En 2000 et 2005, les fauvettes à lunettes du site de la Tour du Valat ont été dénombrées par la méthode des points d'écoute. La zone d'étude était séparée en carrés de 500 m de côté et chaque point d'écoute était placé au centre de ce carré (Huret, 2009). L'observateur écoutait et observait pendant 20 minutes à ce point dans un rayon de 250 m et relevait tous les contacts avec les fauvettes à lunettes.

- **Les résultats obtenus par la méthode des quadrats sont plus fiables que ceux obtenus par la méthode des points d'écoute** mais est plus chronophage (Huret, 2009). En effet, pour les recensements par points d'écoute l'hypothèse adoptée était que les fauvettes étaient détectables à 250 m alors que selon le rayon de détection des oiseaux du genre *Sylvia* a été évalué à 180 m (Affre, 1975). La méthode pratiquée en 2000 et 2005 pour le recensement

par points d'écoute sous-estimait le nombre de fauvettes et la méthode des plans quadrillés avec une distance de 100 m entre les transects a donc produit des données plus fiables (Huret, 2009).

- **La repasse du chant** a été utilisée par Guerrieri et Santucci (1996) pour dénombrer les fauvettes à lunettes dans le Latium italien en diffusant le chant 3 fois pendant 3 minutes tous les 300 m.

IV.2.3. Méthodes testées

Compte tenu des objectifs de fiabilité et d'exhaustivité de notre étude, les méthodes semi-quantitatives ne conviennent pas, une méthode de dénombrement quantitative est donc indiquée pour notre étude. Il faut l'adapter à la prise des coordonnées Global Positionning System (GPS) des fauvettes.

- **Transects parallèles à deux ou trois observateurs :** La fiabilité apportée par les comptage à deux observateurs et la disponibilité de ressources humaines à la Tour du Valat a permis d'envisager la réalisation de ces comptages à plusieurs. Une des méthodes testées et utilisées a été le balayage méthodique des zones d'études avec une ligne de deux ou trois observateurs marchant sur des transects parallèles et espacés de façon régulière. Cette méthode est inspirée de la battue mais elle diffère par le faible nombre d'observateurs utilisés. 19 comptages ont été réalisés ainsi : 7 avec une distance inter-observateurs de 50 m à deux ou trois observateurs et 12 avec une distance inter-observateurs de 100 m à deux observateurs.

- **Repasse du chant :** La fauvette à lunettes étant un oiseau territorial, elle quitte peu son canton et réagit par des cris d'alarmes aux intrusions de prédateurs ou d'autres individus. C'est donc un bon candidat pour tester l'approche de repasse du chant. Une méthode de repasse du chant a été testée avec relevé des distances de détection et des distances entre les points de repasse de 100 m ou 200 m (2 comptages).

Les comptages ont tous eu lieu le matin sauf un comptage de repasse du chant. Ils ont globalement débuté au lever du soleil ou 30 minutes après et duraient 2 à 4h. Les conditions météorologiques mesurées à 8 h au Pèbre ont été enregistrées à chaque sortie (site internet WindGuru). Les autres espèces d'oiseaux observées, en particulier les fauvettes mélanocéphales, ont été notées mais leurs positions GPS n'étaient, en général, pas relevées.

Méthode de transects parallèles à plusieurs observateurs

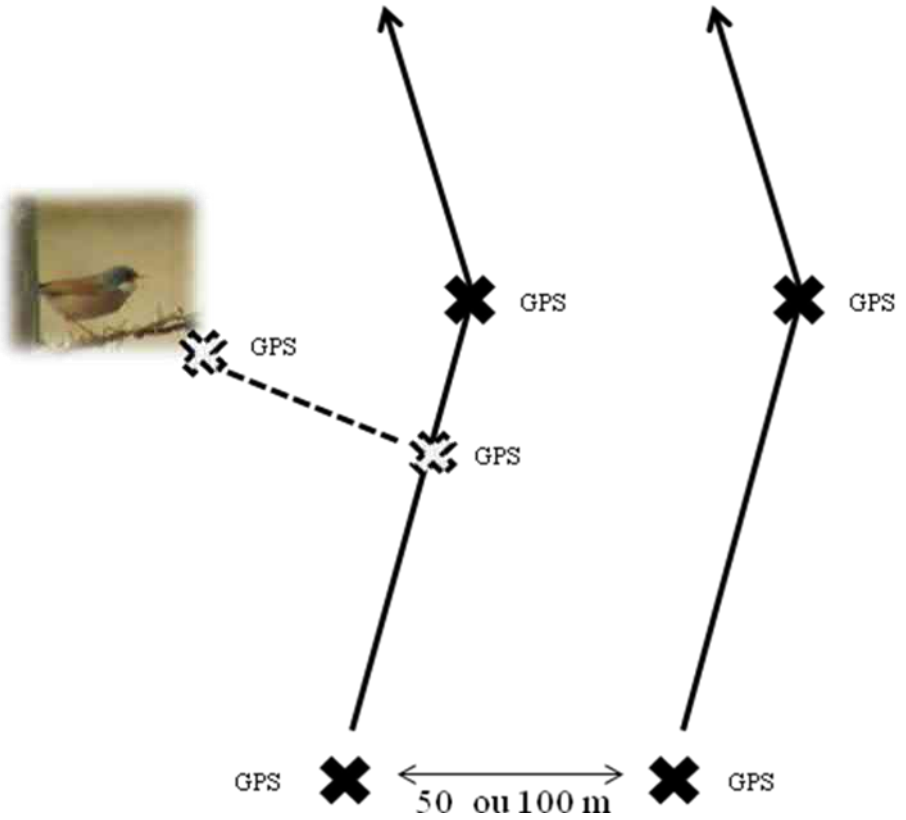


Figure 17 : Représentation schématique de la méthode utilisée.

Les deux ou trois observateurs se plaçaient à 50 m ou 100 m d'intervalle sur un axe perpendiculaire à la direction du transect. La distance était calculée grâce à un penta-décamètre ou grâce au calcul des positions GPS sur ArcGIS 9.2. L'axe des transects était déterminé de façon à couvrir le plus fidèlement possible l'ensemble de la zone par analyse de photographies aériennes (Figure 18). Dans la plupart des cas, chaque zone était couverte par un transect aller et un transect retour. Ainsi sur la Figure 18, deux observateurs parcouraient en début de matinée les transects 1 et 2 en direction du Nord et parcouraient les transects 10 et 11 en direction du sud.

- **Informations relevées pour chaque observation** : Les coordonnées GPS de l'observateur, les coordonnées GPS de l'oiseau, l'heure d'observation, le sexe (Mâle, Femelle, Jeune, Indéterminé), le type de groupe social (Isolé, Couple, Famille) et des informations éventuelles sur le comportement de l'oiseau étaient notées. Les oiseaux recontactés plusieurs fois lors du même transect ou noté simultanément par les deux observateurs ou encore recontacté lors d'un transect voisin ont été signalés.

Dès qu'un oiseau était contacté, l'observateur relevait sa propre position GPS, posait son sac et se déplaçait vers le point où se trouvait l'oiseau quand il l'avait vu ou entendu. Cette approche permettait souvent de préciser le sexe de l'oiseau et parfois de détecter d'autres individus de la même famille. C'était souvent le cas pour les jeunes : un adulte (le mâle en général) ou deux alarmaient, l'approche de l'observateur faisait décoller les jeunes individus une fois à quelques mètres de leur nid. Les positions de ces individus étaient également relevées. Ensuite, l'observateur retournait à son point de départ (son sac) et reprenait son transect (Figure 17). Il restait attentif aux éventuels déplacements des individus déjà détectés afin de ne pas faire de doubles comptages.

- La rectitude des transects n'était pas toujours aussi bonne qu'attendue et la distance entre les observateurs pouvait varier de 25 % environ.

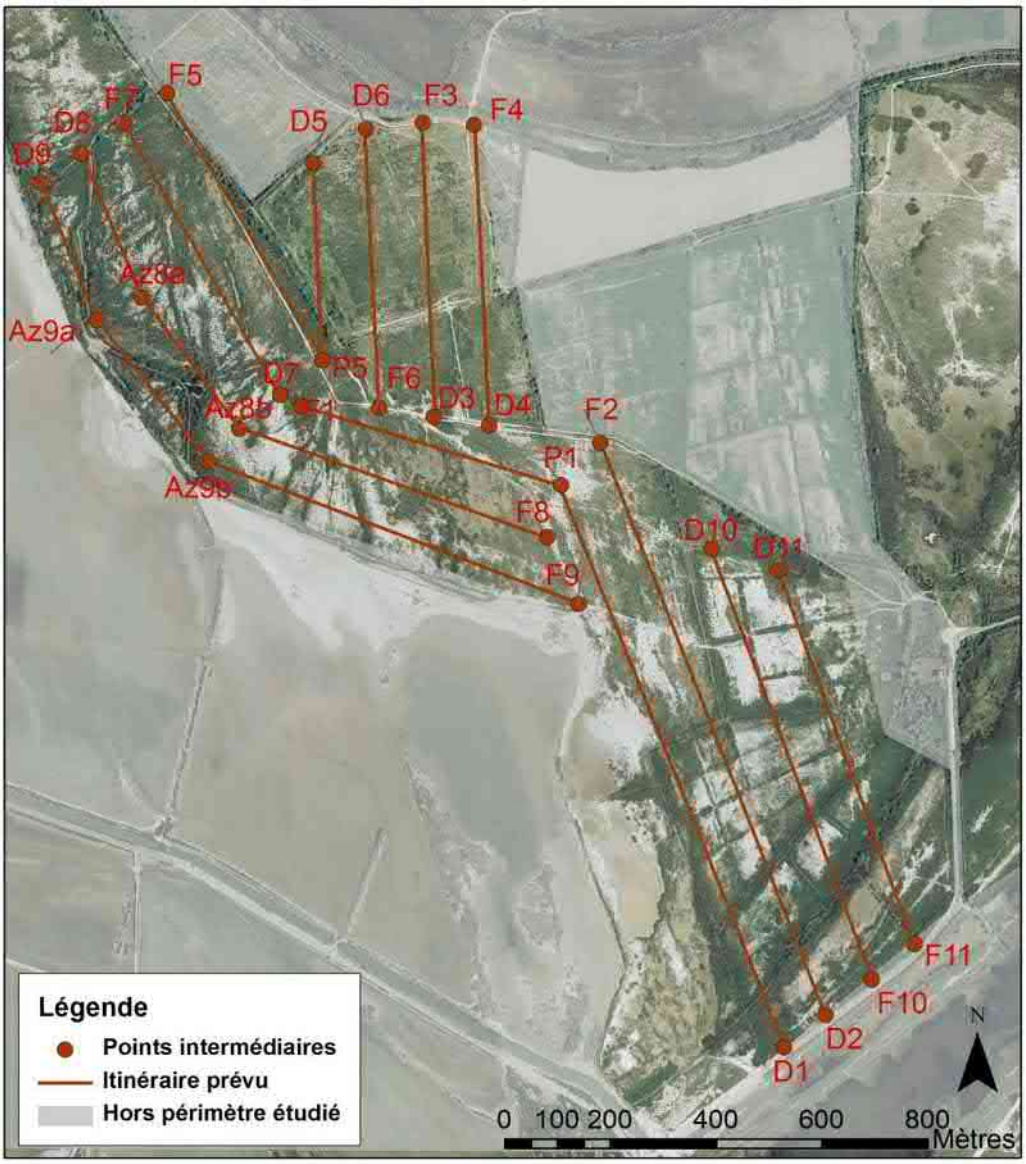


Figure 18 : Carte de la préparation sur SIG d'un dénombrement à deux observateurs et distance inter-observateurs de 100 m dans le secteur de Tourvieille (ArcGIS 9.2, fond BD ORTHO 2003).

Chaque partie des périmètres d'études a été prospectée entre 2 et 5 fois. Les zones prospectées seulement deux fois l'ont été en raison de la dangerosité des taureaux de combat (Clos de l'âne) ou lorsque les positions des fauvettes et non leur nombre très précis était nécessaire (Impériaux). Briscon – Tourvieille a été prospectée 5 fois car elle présente des densités intéressantes de fauvettes à lunettes réparties de façon hétérogène. Les répétitions des comptages y ont pour but de mieux connaître l'efficacité et les limites de la méthode de dénombrement utilisée.

- **Les intérêts de la méthode sont les suivants :**
  - Les densités sont évaluées de façon absolue.
  - Une zone de grande taille peut être couverte en un temps relativement limité.
  - Les deux observateurs potentialisent leurs capacités de détection en observant parfois simultanément les mêmes individus et en déclenchant plus facilement les alarmes des oiseaux.

- La prise des positions GPS des oiseaux permet un traitement par SIG sur photographies satellite qui permet de mettre en évidence les individus contactés plusieurs fois lors de la même sortie ou lors de différentes sorties.

➢ **Les limites de la méthode sont les suivantes :**

- Même si les comptages se font en milieu ouvert, certains individus peuvent être sous détectés. C'est le cas des jeunes, des femelles et des oiseaux en général en période d'incubation.
- Les alarmes des fauvettes attirent les autres fauvettes à proximité. Le dérangement est d'autant plus long qu'il faut se déplacer sur la position de l'oiseau. Dans les zones de fortes densités, les oiseaux peuvent quitter leurs cantons et se regrouper. Il devient alors très difficile d'en connaître le nombre exact et leurs positions initiales.

Distance inter-observateurs de 50 m

Dans un premier temps, nous avons considéré que la distance de détection latérale des fauvettes à lunettes par les observateurs était de 25 m dans le cas des transects linéaires avec intervalles de 50 m.

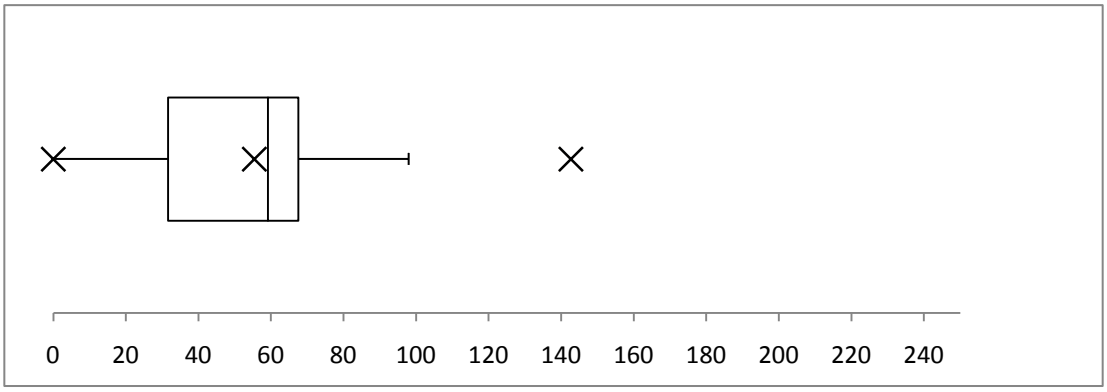


Figure 19 : Boxplot de la distribution des distances de détection des fauvettes à lunettes (m) lors des 24 premiers contacts.

La distance moyenne de détection était légèrement supérieure à 60 m (Figure 19). Les trois quarts des observations étaient faites à plus de 37 m (1er quartile). Compte-tenu de ces paramètres, il nous a paru envisageable de passer à une distance inter-observateurs de 100 m. Cette distance permet d'avoir une emprise d'observation de 200 m à deux observateurs et ainsi d'augmenter la surface prospectée en une sortie.

Distance inter-observateurs de 100 m

A l'issu des 428 observations réalisées avec une distance inter-observateurs de 100 m, la moyenne des distances de détection était de près de 72 m (Figure 20). Les trois quarts des fauvettes ont été détectées à plus de 43 m. Avec une distance inter-observateurs de 100 m, les distances de détection ont été globalement plus élevées, en particulier les longues distances de plus de 60 m ont été beaucoup plus fréquentes. L'augmentation de la distance inter-observateurs peut être responsable de l'augmentation du premier quartile. La forte croissance du troisième quartile peut résulter de l'expérience des observateurs croissant avec les comptages ou d'une détectabilité des fauvettes à plus grande distance.

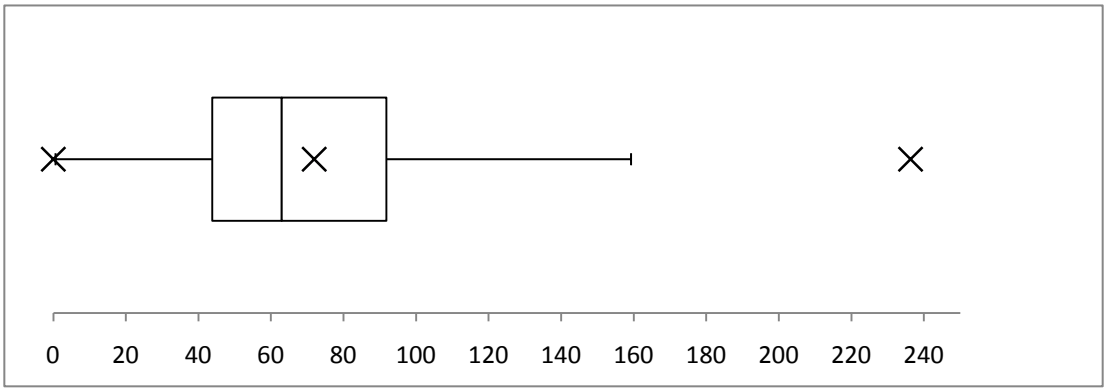


Figure 20 : Boxplot de la distribution des distances de détection des fauvettes à lunettes (m) avec une distance inter-observateurs de 100 m (n = 428).

IV.2.4. Méthode de repasse du chant

La bande son du chant de fauvettes à lunettes durant 40 secondes, la séquence choisie a été de trois séquences de 40 secondes espacées d'une minute de silence puis trois minutes de silence pour finir.

Une première session de test a été effectuée un soir et a mis en évidence que la portée de l'appareil utilisée était a priori trop faible pour déclencher les réactions des fauvettes dans un rayon de 150 m. Par ailleurs, la répartition des couples n'est pas homogène sur le périmètre d'étude et ceux-ci se concentrent sur quelques zones limitées. Une distance de 300 m fait changer trop rapidement de milieu. Le risque est donc de sous estimer le nombre de couples.

- Une seconde session, un matin, a permis de tester des distances inter-points de 100 m et 200 m. Les distances de 100 m ont mis en évidence que les mêmes oiseaux étaient recontactés plusieurs fois.

- Une distance inter-points de 200 m a constitué un bon compromis entre la portée de l'appareil, la continuité du milieu et les densités de fauvettes à lunettes.

Les avantages de cette méthode sont qu'elle diminue l'effet observateur, qu'elle augmente la détectabilité et qu'elle permet ainsi de s'assurer de l'absence de fauvettes sur une zone. Les problèmes de la repasse du chant sont le dérangement occasionné par la diffusion du chant, en particulier au début de la formation des territoires des mâles, et sa sensibilité plus forte au vent.

Biais lié au vent : le vent biaise la réception du chant par les oiseaux et la réception des réactions des fauvettes par l'opérateur. Ce sont les fauvettes en aval du vent (par rapport à l'observateur) qui entendent le mieux la repasse du chant alors que ce sont celles à l'amont du vent que l'observateur peut détecter le plus facilement.

Les exigences météorologiques sont très difficiles à satisfaire sur la zone d'étude. En effet, l'ensemble des terrains sont plats, ouverts et en bordure de plans d'eau ou de vastes étendues de sol nu donc soumis très fréquemment au vent. La méthode de repasse du chant a donc été testée mais n'a pas été utilisée pour déterminer les effectifs de fauvettes à lunettes sur les périmètres d'étude, la totalité des journées à météorologie favorable ayant été utilisées pour des comptages par la méthode de transects linéaires.

IV.2.5. Calcul final des effectifs

Les positions des fauvettes à lunettes ont été placées sur la photographie par satellite de la BD ORTHO® 2003 de l'Institut Géographique National grâce au logiciel ArcGIS 9.2® (STATSOFT). Les coordonnées récoltées sur le terrain étant en UTM WGS 1984 et le fond de carte en Lambert II étendu, la projection des points a donc été changée. Le sexe des fauvettes était mis en évidence par la forme des points et la date de l'observation par la couleur des points (Figure 21).

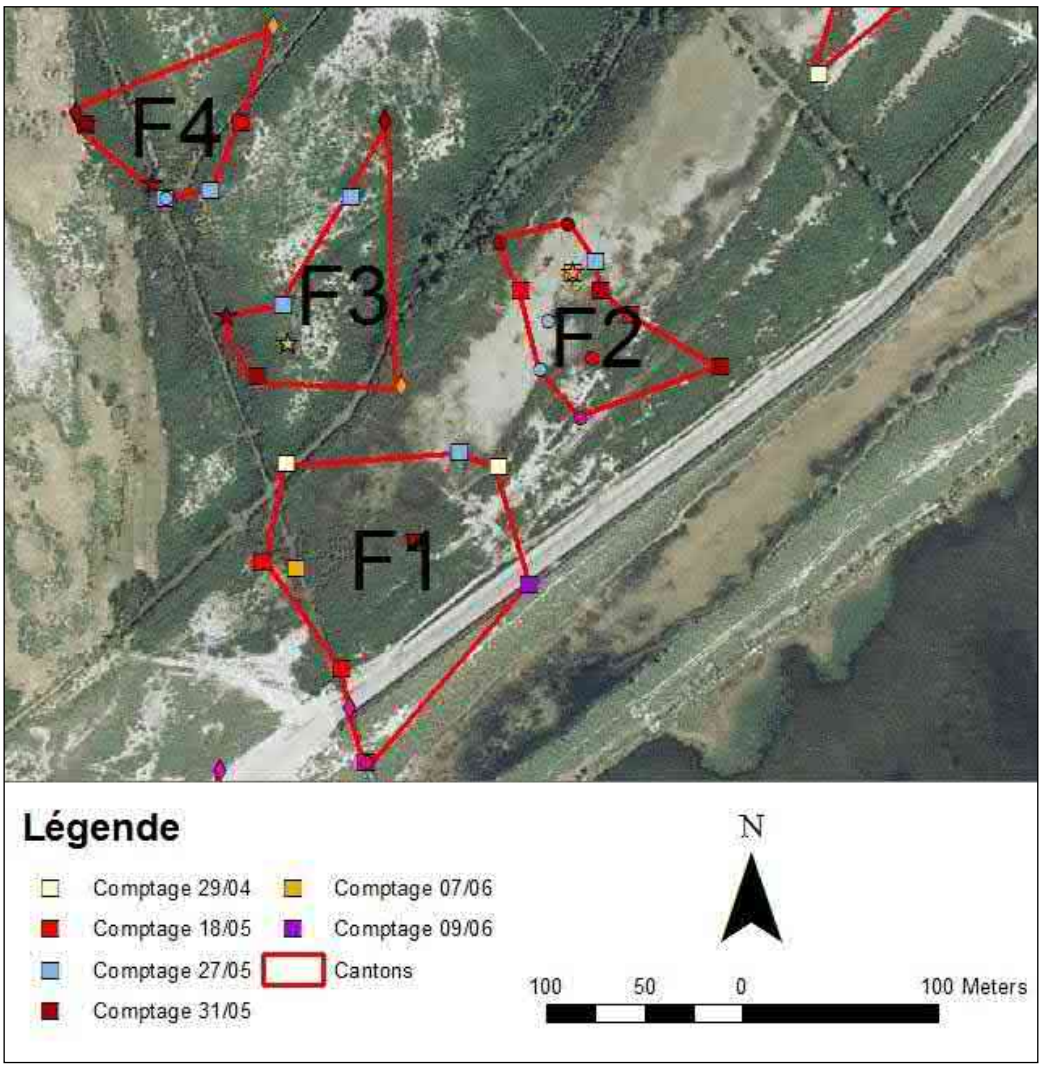


Figure 21 : Exemple de tracé de cantons de fauvettes à lunettes sur ArcGIS 9.2 (Fond BD ORTHO 2003) (Carré = Mâle, Rond = Femelle, Etoile = Jeune, Losange = Indéterminé).

La détermination des cantons des familles de fauvettes à lunettes a été délicate. Les indices qui permettent de séparer deux nuages de points proches en deux cantons différents :

- Mention par l'observateur d'individus de deux couples observés simultanément.
- Absence de mention par l'observateur d'un individu ou d'un couple comptabilisé à deux reprises lors de la même session.
- Nombre identique d'individus contactés à chaque session sur la même zone (au Nord du Pèbre par exemple, 5 mâles ont été identifiés aux trois sessions successives, la probabilité d'un double comptage est alors faible).
- Distance entre deux positions d'individus supérieure à 300 mètres.

- Absence de mention d'un mouvement d'un individu du premier canton potentiel vers le second.
- Horaires de comptages très proches sans qu'aucun observateur ne fasse mention d'un comptage simultané du même individu ou du même groupe d'individus.

Remarque : La fourchette haute inclut les oiseaux contactés même qu'une seule fois sur un canton donné, la fourchette basse les exclut. Les cartes ont été analysées conjointement par Marc Thibault et Samuel Thévenet. Lorsqu'il y avait une hésitation entre un nuage de points formant un seul canton et un nuage de point formant deux cantons distincts, la fourchette basse comptabilisait le premier cas et la fourchette haute le second.

Différents biais vont influencer les résultats :

- Les individus peuvent se déplacer pendant que l'observateur retourne à son transect après avoir pris les positions GPS des oiseaux
- Entre le transect aller et le transect retour, des individus peuvent être recontactés au même endroit ou à distance sans que l'observateur puisse dire avec certitude s'il compte les mêmes individus ou d'autres.
- Les individus peuvent être décantonnés par le déplacement de l'observateur ou les alarmes d'autres individus.
- Le sexe n'est pas toujours déterminé du fait de la distance séparant l'observateur de l'oiseau. Il n'est donc pas toujours possible de distinguer un adulte d'un juvénile.

IV.3. Relevés botaniques

Quentin Huret (2009) a utilisé des transects de 150 m pour déterminer la structure et la composition floristique des habitats de fauvettes à lunettes. La longueur de ces transects linéaires semblait peu appropriée à l'habitat des zones d'études, plus hétérogènes que les terrains de la Tour du Valat sur lesquels il a travaillé. C'est pourquoi nous avons choisi d'échantillonner les bissectrices de carrés de végétation. La longueur cumulée de celles-ci a été déterminée à partir des données de Quentin Huret analysées avec STATISTICA®. La longueur du transect à partir de laquelle la composition floristique était à 90 % la même que la composition finale était de 80 m. Compte-tenu de l'auto-corrélation liée à l'échantillonnage du centre du carré dans notre méthode, 100 m a été la longueur retenue.



Figure 22 : Matériel utilisé pour mesurer la hauteur et le recouvrement de la végétation.

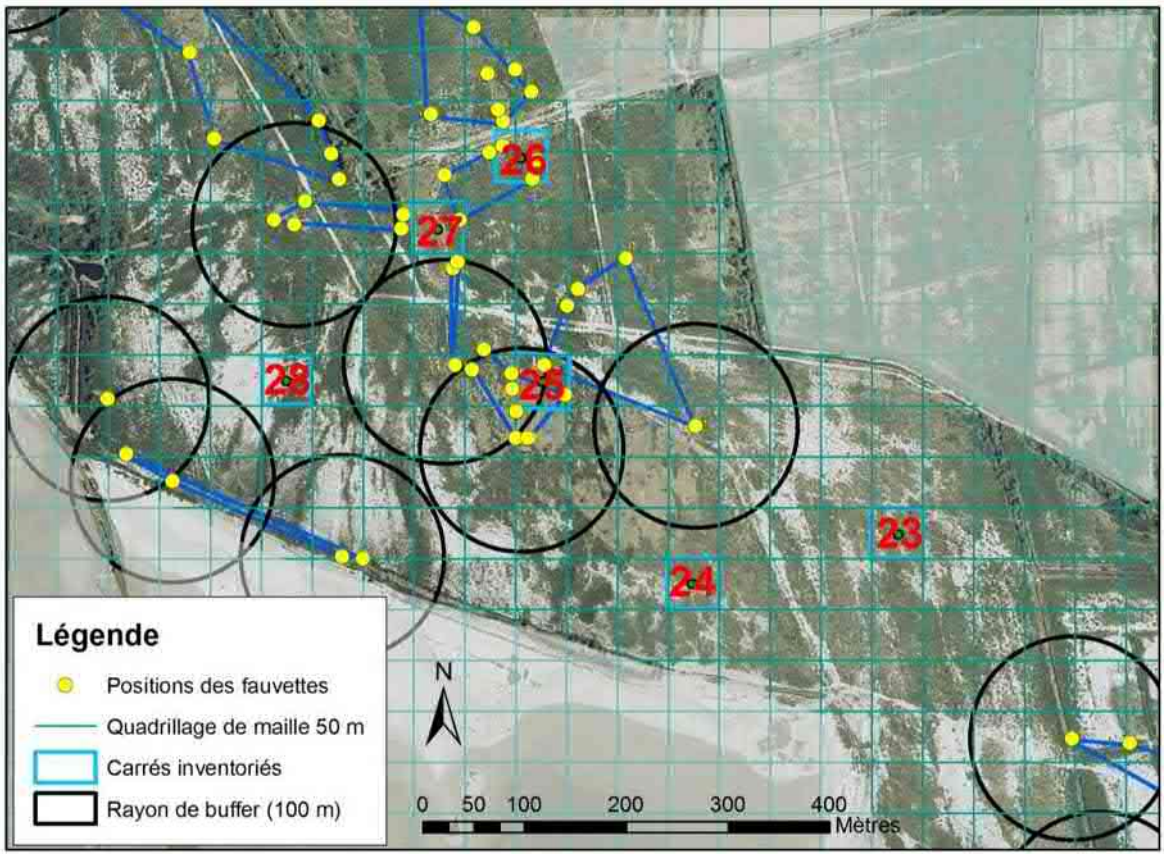


Figure 23 : Géolocalisation des carrés "fauvettes" n° 25, 26 et 27 et des carrés témoins 23, 24 et 28 au nord de Briscon - Tourvieille sur ArcGIS 9.2 (Fond BD ORTHO 2003).

Les périmètres étudiés ont été quadrillés sur ArcGIS 9.2 avec des mailles de 50 m (Figure 23). Quarante-six carrés ont fait l'objet de cette analyse botanique (soit 4,6 km linéaires de végétation échantillonnée).

- **Vingt trois carrés où la présence des fauvettes à lunettes a été avérée** lors de deux comptages au moins. Ces carrés ont été placés au centre du polygone dessiné par les positions des individus d'un couple ou d'une famille de fauvettes à lunettes. Les relevés botaniques ayant été commencé avant la fin des comptages d'oiseaux, le carré a pu se trouver décalé du centre du polygone (cas des carrés 26 et 27 de la Figure 23).

- **Vingt trois carrés témoins** : Le centre de chaque carré a été placé à 100 m de toute observation de fauvette à lunettes (200 m si possible). Les carrés ont été choisis de manière à couvrir l'ensemble des périmètres étudiés de façon relativement homogène, les zones présentant un intérêt plus important pour l'évaluation de l'impact des pratiques de gestion ont été inventoriées en priorité. Sur les clichés satellite, les zones d'apparence très différentes des habitats habituels des fauvettes à lunettes (vastes zones de sol nu, pistes, zones boisées) ont été évitées.

A partir du centre de ces carrés, quatre transects linéaires de 25 m ont été parcourus (Nord, Sud, Est, Ouest). Grâce à un penta-décamètre et un mètre, les espèces floristiques, leur recouvrement horizontal et leur hauteur ont été relevées sur chaque transect (Figure 25). La distance séparant le centre du carré du tamaris isolé le plus proche, d'une haie de tamaris et d'un linéaire de végétation

élevé de plus d'un mètre (digue, lévadon, haie) ont été mesurés sur le terrain ou sur SIG pour les plus distants (ArcGIS 9.2).

Seize espèces ou taxons ont été distinguées. Les espèces les plus communes étaient la salicorne en buisson (*Sarcocornia fruticosa*), la salicorne glauque (*Arthrocnemum macrostachyum*), la salicorne vivace (*Sarcocornia perennis*), la soude (*Suaeda vera*), les Graminées (non déterminées jusqu'à l'espèce), l'obione faux-pourpier (*Halimione portulacoides*), le filaire à feuilles étroites (*Phillyrea angustifolia*), le jonc (maritime, *Juncus maritimus*, et piquant, *Juncus acutus*) et le tamaris (*Tamarix gallica)*. Le sol nu et la végétation morte étaient également pris en compte.

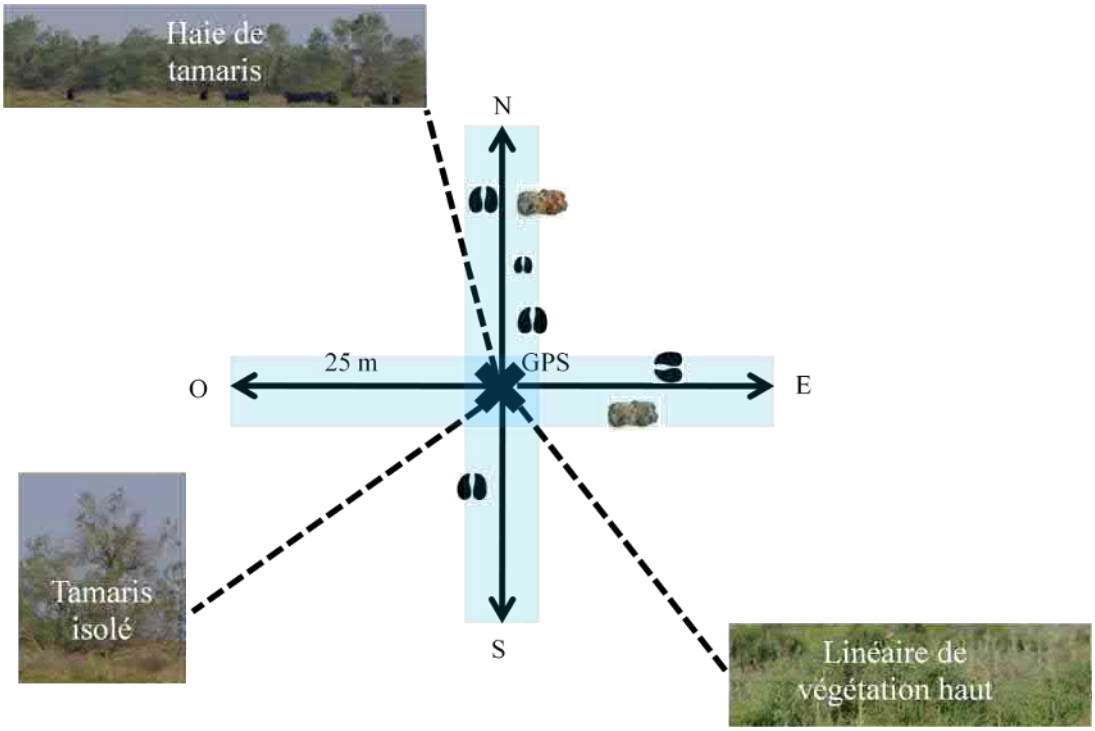


Figure 25 : Représentation schématique du positionnement des transects des carrés de végétation et des mesures prises.

IV.4. Impact des pratiques de gestion

IV.4.1. Pâturage

Les indices de charge de pâturage donnés par le PNRC masquent la grande disparité spatiale du pâturage de ces animaux. En effet, le pâturage semble se concentrer dans les zones les plus riches en graminées, les salicornes étant très peu consommées. Deux types d'impacts sont visibles : le piétinement et la défécation.



Figure 26 : Bouses sur le sol nu.

Les espaces compris entre les salicornes sont souvent constitués de graminées très basses ou de sol nu. Le passage

régulier des bovins et chevaux peut écraser ces espaces et accentuer leur mise à nue. Ces traces peuvent être dues à une présence temporaire ou prolongée. Elles ont été comptabilisées sur les mêmes transects que les transects végétation sur une bande d'un mètre de large à cheval sur le transect. Les empreintes de sanglier n'ont pas été relevées.

Les bouses et crottins révèlent plus une présence prolongée ou un passage régulier des animaux (Figure 27). Elles ont été relevées avec la même méthode.

IV.4.2. Démoustication

Pour évaluer l'impact de la démoustication, des mesures de disponibilité alimentaire ont été faites par la méthode du filet fauchoir sur des carrés de 50 m de diagonale. L'observateur passe des coups d'un filet en tissu de 26 cm de diamètre sur la végétation de manière à arracher de la végétation les invertébrés qui s'y trouvent.



Figure 27: Avion de l'EID Méditerranée épandant du Bti.

Vingt-deux carrés ont fait l'objet de ces mesures de disponibilité alimentaire en plus des relevés botaniques. Les questions qui ont motivé ces mesures sont les suivantes :

- Quelles sont les ressources alimentaires de chaque type d'habitat ? Quelles ressources alimentaires sont privilégiées par les fauvettes ? Est-ce que les préférences des fauvettes pour un type d'habitat est plus liée à sa structure botanique ou à ses ressources alimentaires ?

- Quel est l'impact de la démoustication sur les ressources alimentaires disponibles ? Par voie de conséquence, quel est l'impact de la démoustication sur la présence des fauvettes à lunettes ?

Un échantillonnage très large de la zone étudiée doit permettre d'apporter ces deux types d'information et de distinguer l'effet de l'habitat sur les ressources alimentaires et l'effet de la démoustication s'il en existe un. Pour cela, les différents types d'habitats existants doivent être identifiés dans les périmètres étudiés puis des carrés de chaque habitat doivent être placés dans des zones démoustiquées et non démoustiquées. Cependant, les zones susceptibles d'être les plus productrices de moustiques n'incluent pas toutes l'ensemble de ces habitats.

- **L'échantillonnage a donc mis l'accent sur des zones de divers degrés de démoustication**. Le risque est d'avoir des habitats trop variés sur ces carrés ne permettant pas de mettre de côté l'effet de l'habitat sur les ressources alimentaires. Les zones susceptibles d'être les plus productrices de moustiques ont donc été ciblées. Il s'agit de toutes les zones immergées une

partie de l'année, en particulier durant la période d'étude, d'avril à juillet. Quatre groupes de carrés ont été inclus dans l'étude selon les mesures de gestion appliquées :

- Groupe 1 : carrés inclus dans le périmètre démoustiqué et ayant subi trois traitements aériens (5 carrés à la Bélugue) pendant la période d'étude (28/04, 06/06 et 16/06/2011).
- Groupe 2 : carrés inclus dans le périmètre démoustiqué mais n'ayant pas subi de traitement aérien pendant la période d'étude (7 carrés au Clos du Lièvre).
- Groupe 3 : carrés à proximité du périmètre démoustiqué (5 carrés au Pèbre).
- Groupe 4 : carrés à distance de toute zone démoustiquée (5 carrés aux Impériaux).

On distingue 11 carrés « fauvettes » et 11 carrés témoins selon les mêmes critères que pour les relevés botaniques. Au sein de chaque groupe, l'équilibre entre carrés « fauvettes » et carrés « témoins » n'était pas atteignable du fait de la préférence des fauvettes pour les zones inondables en périmètre non démoustiqué et d'une seule observation de fauvette à lunettes à la Bélugue (Tableau III).

Tableau III : Nombre de carrés "témoins" et "fauvettes" dans les quatre groupes de relevés de ressources alimentaires.

Groupe	Fauvettes	Témoin
1	1	4
2	4	3
3	3	2
4	3	2

- **Balayage de la zone avec le filet fauchoir** à raison de 50 coups de filets par transect d'un bord à l'autre du carré (Figure 28) après avoir marqué les quatre points cardinaux du carré. Quatre-cent coups de filets étaient effectués par carré. Le vent doit être inférieur à 20 km/h de moyenne pour éviter que les insectes ne s'enfouissent trop dans la végétation.

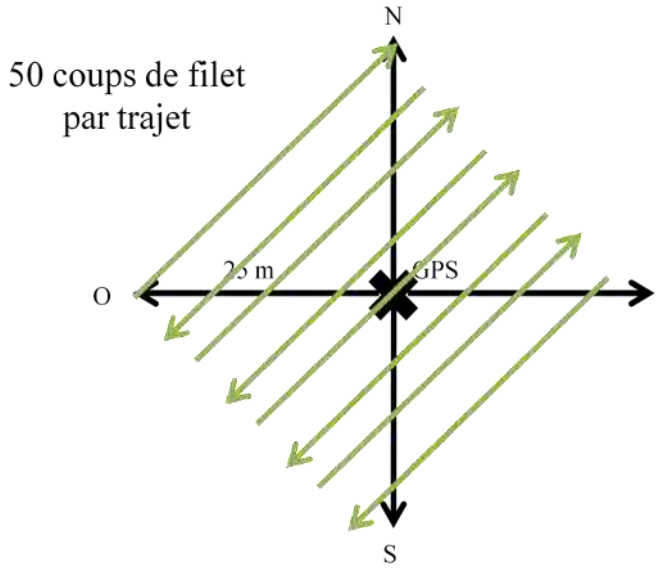


Figure 28 : Représentation schématique des transects de filet fauchoir.

- **Tri des invertébrés :** Le contenu du filet était noyé dans de l'eau savonneuse. L'ensemble des éléments flottants étaient jetés après un tri rapide des plus gros invertébrés. Le reste était filtré

avec un filtre de maille 0,6 mm et conservé dans de l'alcool. Sous loupe binoculaire, le contenu était trié et les invertébrés mesurés puis déterminés au niveau de l'Ordre ou du sous-ordre (pour les Brachycères) ou de la famille (pour les *Formicidae*, *Chironomidae* et *Culicidae*). Ces familles ont été distinguées car le Bti est susceptible d'avoir un impact différent sur elles alors qu'elles appartiennent au même Ordre.



Figure 29 : Filet, filtre et poteau de marquage du carré utilisés pour réaliser les captures d'invertébrés.

Il existe très peu de données sur le régime alimentaire des fauvettes à lunettes. Selon les résultats obtenus, il pourrait être difficile de mettre en relation la composition du cortège d'invertébrés avec la disponibilité alimentaire pour la fauvette à lunettes.

Remarque sur la méthodologie :

- Dans un premier temps, les éléments flottants n'étaient pas jetés et c'est l'ensemble du contenu du filet qui était trié. Le tri sous loupe demandait alors 3h30 à 4h par carré. La filtration avec une colonne de tamis (5 mm, 1 mm et 0,6 mm) ne permettait pas d'exclure de façon satisfaisante ces débris sans passer à côté de nombreux invertébrés.

- L'utilisation de systèmes de Berlèse a été envisagée. Cela consiste à éclairer et chauffer avec une lampe incandescente les débris végétaux afin de faire descendre dans un récipient les invertébrés. Ce système est adapté au tri d'êtres vivants photophobes de la litière. N'ayant aucune certitude sur la photophobie potentielle des invertébrés vivants sur la végétation, l'exclusion des éléments flottants a été testée. Le nombre et la composition d'invertébrés triés était du même ordre de grandeur que lors des tris exhaustifs pour quarante minutes à deux heures de tri. Cette méthode a donc été adoptée.

IV.5. Analyse

IV.5.1. Variables utilisées

Grâce aux relevés faits sur les quatre transects des carrés végétations, les variables suivantes sont calculées :

- Le recouvrement moyen de chaque espèce végétale (R_*nom de l'espèce*).
- La moyenne des hauteurs de chaque espèce végétale (H_*nom de l'espèce*)
- La moyenne des hauteurs de chaque espèce végétale pondérées par leurs recouvrements horizontaux. (HP_*nom de l'espèce*).
- La médiane des hauteurs de la végétation (H_med).
- La hauteur maximale de la végétation (H_max).
- La moyenne des hauteurs des cinq plus grandes hauteurs de végétation (H_max5).
- La moyenne des hauteurs de toutes les espèces pondérées par le recouvrement total (100 m) (HPTT).
- Le nombre d'espèces ou groupes botaniques distincts sur chaque carré (Biodiv).

Sur chaque carré, sont également relevés :

- La présence de fauvettes (F) ou leur absence (T) (F/T).
- La distance au linéaire de végétation élevé de plus d'un mètre le plus proche, sa hauteur et l'espèce botanique dominante (D haie, H haie, Espèce haie).
- La distance au tamaris isolé le plus proche et sa hauteur (D tamaris et H tamaris).
- La distance à la haie de tamaris la plus proche et sa hauteur mesurée ou estimée (D haie tamaris et H haie tamaris).

Pour l'analyse de l'impact des pratiques de gestion, les variables utilisées étaient :

- Le nombre moyen d'empreintes (Empreinte).
- Le nombre moyen de bouses ou de crottins (Bouse).
- La charge maximale admise (Tableau II) pour chaque secteur d'après les conventions de pâturage (UGB).
- Les différents secteurs toponymiques des périmètres étudiés (Secteur).
- L'inclusion ou l'exclusion du périmètre démoustiqué (Per-dem).
- L'inclusion ou l'exclusion des espaces ayant subi un traitement aérien de Bti au moins, d'avril à juillet (Dem_eff).

Pour l'analyse de disponibilité alimentaire, les variables choisies étaient :

- Le nombre moyen d'invertébrés de chaque ordre (*Nom de l'ordre,* exemple : Orthoptères).
- Le nombre moyen d'invertébrés de chaque classe de taille (*Classe de taille,* exemple : « 2-5 – 5 » pour les invertébrés de 2,5 à 5 mm de long).
- Le nombre total d'invertébrés (Total).

Chacune de ces variables possède une valeur par carré soit 46 valeurs par variable sauf pour les variables de disponibilité alimentaire (22 valeurs).

IV.5.2. Arbre de décision CART

Compte-tenu de la nature de nos données, qui rend difficile la formulation d'hypothèses sur la linéarité des relations entre les variables prédictives et la variable dépendante ou sur l'existence d'une fonction de liaison non-linéaire spécifique entre variables prédictives et variable dépendante (Hill & Lewicki, 2007), l'analyse par exploration ou fouille de données (« data mining ») nous a paru particulièrement indiquée.

- **L'utilisation d'arbres de décision permet de faire émerger des relations simples entre un petit nombre de variables** (Hill & Lewicki, 2007). C'est pourquoi, l'analyse des préférences d'habitat des fauvettes à lunettes a été faite sur STATISTICA 9 (Statsoft®) par construction d'arbres binaires de décision interactifs CART (pour Classification and Regression Tree (Breiman *et al.*, 1984)) après sélection des variables les plus pertinentes grâce à la construction d'arbres de classification et de régression par la méthode du Boosting.

L'objectif de notre analyse est d'expliquer une variable dépendante y par des variables explicatives x. Si y est une variable continue, on parle de régression. Si y est une variable discrète, on parle de classification. L'objectif est de trouver une fonction *f*(x) qui permette de transformer chaque valeur de x en une valeur de y. La construction de cette fonction nécessite un nombre n de valeurs de couples (x_n,y_n) (dans notre étude n = 46) (Loh, 2008). La méthode statistique d'algorithmes d'arbres de décision consiste à mettre en évidence des conditions logiques de division (partition) du type « Si…Alors » pour prévoir de façon la plus précise possible les classifications ou valeurs prévues des observations. Les variables explicatives sont utilisées pour répartir les valeurs de la variable dépendante dans des groupes hétérogènes (classes). Il faut donc déterminer le ou les critères de séparation prédisant l'appartenance à une classe.

- **Le résultat obtenu par cette méthode se présente sous forme d'une séquence de conditions logiques (« Si…Alors »)**, ce sont les nœuds des arbres (Hill & Lewicki, 2007) (Figure 30). Les calculs utilisés pour diviser le jeu de données afin de bâtir un arbre simple mais aussi utile et informatif sont complexes.

Depuis la racine de l'arbre, les critères de séparation divisent le jeu de données en noeuds jusqu'aux feuilles pures, lorsque toutes les données sont triées. CART génère ainsi une séquence de sous-arbres jusqu'à avoir des nœuds purs. Le problème majeur est d'arrêter la division de l'arbre lorsque les données contiennent beaucoup de bruit aléatoire. Le risque est d'extraire l'ensemble des données originales jusqu'à avoir un nombre de division égal à (n-1) sans être capable reproduire cet arbre avec un échantillon de nouvelles observations (sur-ajustement). Il faut donc arrêter la division lorsque les nouveaux nœuds n'apportent que peu d'amélioration à la prévision (Hill & Lewicki, 2007). On parle d'élagage de l'arbre. Le critère d'arrêt que nous avons retenu est l'indice de Gini, le plus communément utilisé avec les arbres CART, plus il est haut, moins les nœuds sont purs (Vesin, 2006).

- **La qualité de prévision de l'arbre est ensuite testée sur des échantillons d'observations** non utilisés dans les calculs originaux (l'échantillon de test, qui diffère de l'échantillon d'apprentissage). Cette validation croisée peut être répétée plusieurs fois en tirant aléatoirement un échantillon de test différent pour chaque taille d'arbre en démarrant à la racine de l'arbre (validation croisée par v-ensembles).

L'arbre retenu est celui qui a la meilleure précision moyenne pour les valeurs prévues de la validation croisée. Cette méthode sélectionne un plus petit arbre à partir d'une séquence d'arbres. Le logiciel propose alors l'arbre élagué avec les variables explicatives et les critères de discrimination des classes (Hill & Lewicki, 2007).

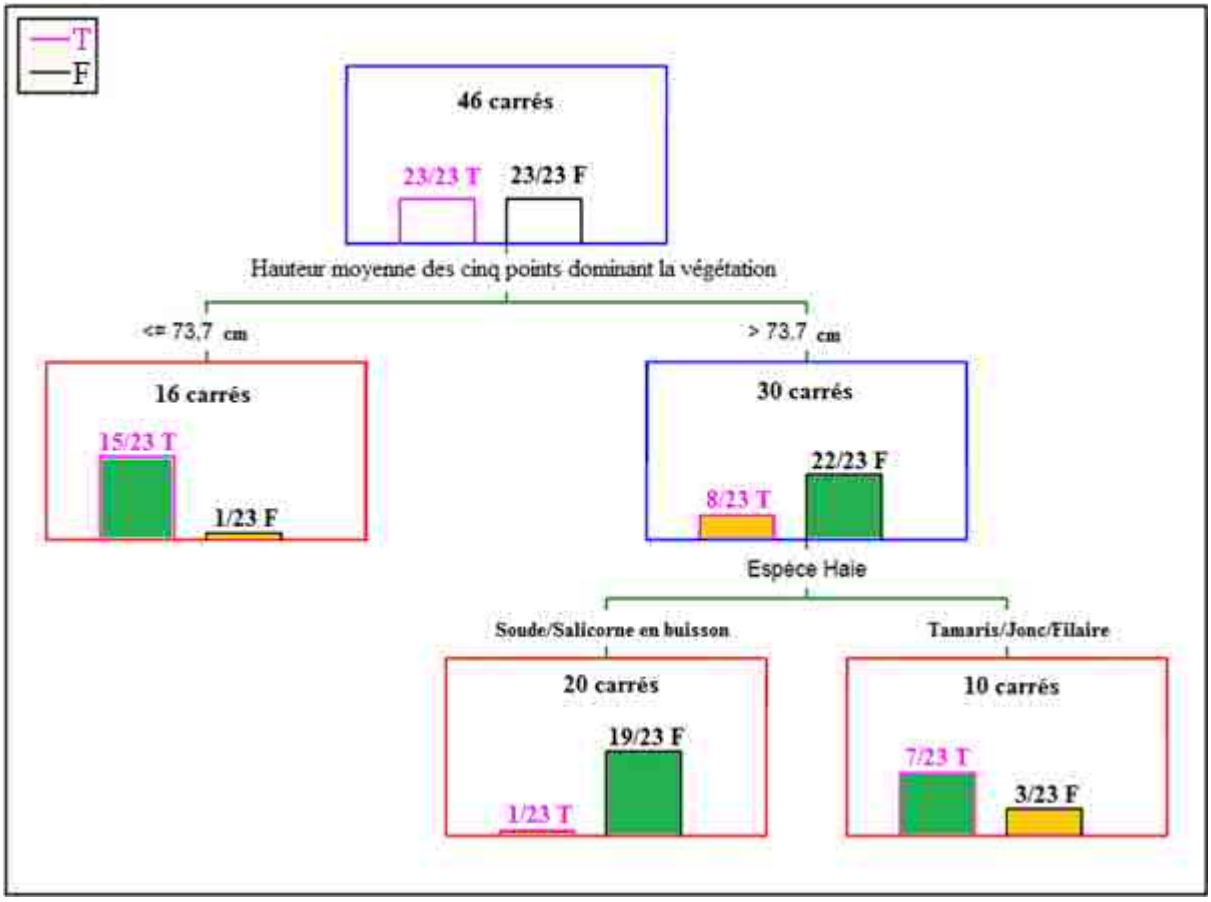


Figure 30 : Diagramme de l'arbre construit avec la variable dépendante de la présence (F) *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes (T) et les variables prédictives de hauteur moyenne des cinq points les plus hauts de la végétation et d'espèce de haie.

Sur la Figure 30, le jeu de données initial comprend 46 carrés de relevés botaniques. Parmi ces 46 carrés, il y a 23 carrés où la fauvette à lunettes est présente et 23 d'où elle est absente. L'objectif de cette classification est donc de trouver les variables botaniques dont la classification des valeurs va le mieux permettre de retrouver la classification en carrés « fauvettes » *vs.* « témoins ». Le seuil de 73,7 cm de hauteur moyenne des cinq points dominants la végétation permet de bien classer (en vert) presque tous les carrés « fauvettes » (22/23) mais 8 carrés « témoins » se trouvent classés par erreur avec eux (en orange). La branche de gauche, avec 16 carrés, n'a donc quasiment que des carrés témoins. Ainsi, dans la branche de droite à 30 carrés, les données peuvent encore être mieux triées. C'est l'espèce de haie qui permet de classer ces 30 carrés mais 1 carré « témoin » et 3 carrés « fauvettes » sont encore mal classés (en orange). Au final, si l'on additionne les valeurs en orange dans les branches terminales (rectangles rouges) qui sont les carrés mal classés à l'issu du tri, on a 1 carré « témoin » et 4 carrés « fauvettes » (1 + 3).

La construction d'arbre CART permet de traiter **un grand nombre de variables et de tous types** (Vesin, 2006).
Elle donne de **très bons résultats avec les très petits jeux de données** (Hill & Lewicki, 2007).
Il est possible d'avoir **plus de variables que d'observations.**
Le diagramme de l'arbre donne des **critères simples de division du jeu de données.**

IV.5.3. Algorithme du Boosting

L'algorithme du Boosting est une méthode de calcul d'une série d'arbres de décision simples où chaque arbre de décision consécutif est bâti pour prévoir les résidus de la prévision du précédent arbre.

- **La construction de chaque arbre se fait sur un échantillon aléatoire des résidus de la prévision de tous les arbres précédents** (paramétré à 30 % dans notre analyse) pour éviter le sur-ajustement, on parle de Stochastic Gradient Boosting.

Le logiciel présente un graphique montrant l'évolution du nombre d'arbres et de l'erreur de prévision à mesure que le nombre d'arbres augmente (Figure 31).

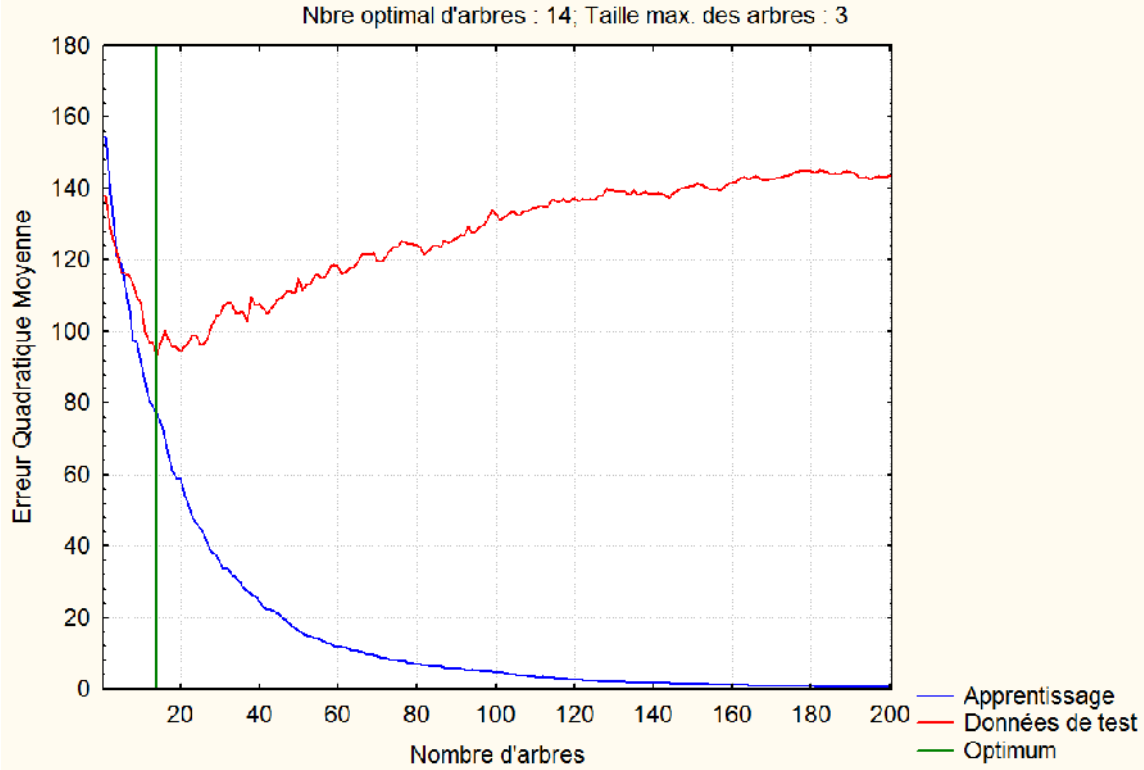


Figure 31 : Histogramme de l'évolution de l'apprentissage et de l'erreur de prévision (données de test) en fonction du nombre d'arbres. La variable dépendante est la hauteur médiane. Les variables explicatives toutes les variables d'habitat et de pratiques de gestion.

Sur les graphiques, la série d'arbres est nommé « Apprentissage » et l'erreur de prévision est nommée « Données de test ». La barre verticale « Optimum » matérialise le nombre d'arbres pour lequel le modèle trouvé, fruit de l'apprentissage, minimise le taux d'erreur. Un faible nombre d'arbres indique que le modèle est évident à déterminer à partir des données. Ceci est de bon pronostic pour la qualité du modèle.

- **L'histogramme de l'importance des prédicteurs fait ressortir les variables qui ont la contribution la plus importante à la prévision de la variable dépendante** (Figure 32). Ces valeurs sont le reflet de l'intensité de la relation unissant les prédicteurs à la variable dépendante à chaque étape du Boosting. Le meilleur prédicteur est affecté de la valeur 1. Le seuil de 0,6 ou 0,7 était retenu pour avoir moins d'une quinzaine de variables à intégrer dans l'analyse par arbre CART.

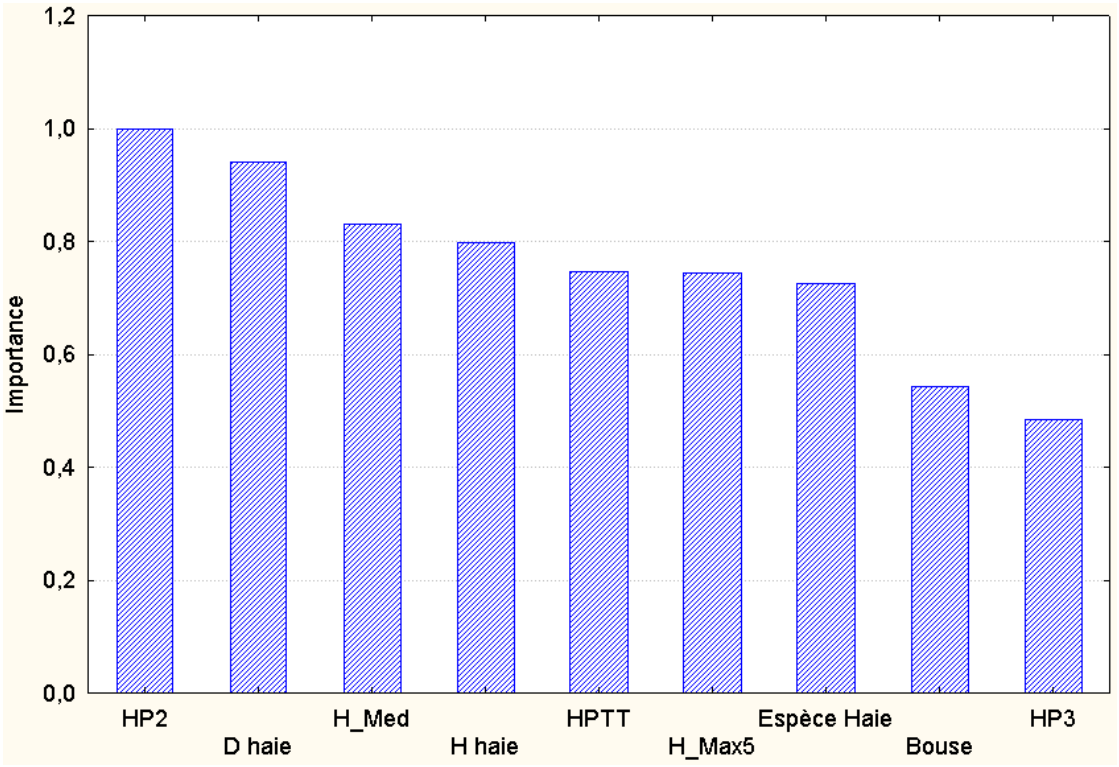


Figure 32 : Histogramme de l'importance des prédicteurs avec la variable dépendante de présence *vs.* absence de fauvettes à lunettes et diverses variables botaniques et variables de pâturage.

La méthode du Boosting permet de sélectionner efficacement les meilleurs prédicteurs de la variable dépendante. Ils sont alors intégrés comme prédicteurs dans la construction d'arbre CART.

IV.5.4. Modèles Linéaires

Pour analyser une variable dépendante continue, la construction d'arbre peut se heurter à des difficultés d'organisation des valeurs en fonction de valeurs seuils alors qu'il existe une ou plusieurs relations de corrélation statistique entre la variable dépendante et la ou les variables prédictives.

- **Lorsque les arbres étaient impossibles à construire ou trop complexes, les données ont été analysées par modèles linéaires généraux.**

Les modèles linéaires généraux étudient la relation entre une variable dépendante catégorielle (ex : Présence/absence de fauvettes) ou continue (ex : Nombre d'empreintes) et un ensemble de variables explicatives ou prédicteurs. Les variables testées doivent avoir une distribution normale et des variances comparables. En modèles généraux de régression, l'algorithme calcule le coefficient de

détermination (R^2) qui traduit la proportion de variance expliquée par le modèle par rapport à la variance totale. Le travail en régression multiple faisant intervenir plusieurs variables, à mesure que leur nombre augmente, R^2 croit également. Le coefficient de détermination ajusté (R^2 ajusté) permet de corriger ce problème. Plus il augmente, en s'éloignant de 0 pour s'approcher de 1, plus le modèle proposé (utilisant une ou plusieurs variables explicatives) explique la variance de la variable dépendante. La valeur p indique si R^2 ajusté est significativement différent de 0 dans le cas d'une régression (Hill & Lewicki, 2007). Elle indique si le modèle est significatif dans le cas d'une variable dépendante catégorielle. Dans ce travail, les valeurs de R^2 données sont celles du R^2 ajusté.

- **Un modèle de qualité doit avoir un R^2 grand et significativement différent de 0** (pour une variable dépendante continue).

Pour connaitre le seuil critique de signification, il existe la table des valeurs critiques du coefficient de corrélation de Pearson R, racine positive de R^2. Cette table renvoie les valeurs critiques de R en fonction du nombre de variables et du nombre d'observations (pour une seule variable avec 46 observations, R = 0, 246 et avec 22 observations, R = 0,360). Les résultats dont les coefficients de corrélation de Pearson sont inférieurs à ces seuils ne sont pas significatifs (Scherrer, 1984).

Ainsi, la présence ou l'absence des fauvettes à lunettes peut être analysée à partir des variables botaniques, de pâturage, de pression de démoustication et de disponibilité alimentaire. Ces méthodes permettent également d'analyser les relations entre habitat, pratiques de gestion et ressources alimentaires. Les combinaisons de variables à tester sont donc nombreuses et vont permettre de confirmer ou d'infirmer nos hypothèses de travail.

IV.6. Hypothèses de travail

IV.6.1. Détectabilité des fauvettes à lunettes

- **Variations selon le stade d'élevage des jeunes :**

Les adultes de fauvettes à lunettes sont faciles à détecter, en particulier à partir du premier envol des jeunes car ils alarment beaucoup plus. Cette hypothèse est à vérifier à partir des types de détection relevés à chaque observation (Chant, Vue, Cri). La présence de jeunes dans le même buisson au début de la période d'envol est l'indice le plus certain de l'emplacement du nid et donc du cœur du canton du couple. Les jeunes sont plus discrets car silencieux, le comptage sous estime certainement le nombre de jeunes. En période de nidification, les adultes sont discrets, il est possible que la différence d'effectifs observées avant et après le 13/05 y soit liée.

- **Une influence du vent sur la distance de détection :**

Le vent influence de façon importante la distance de détection des fauvettes à lunettes en positif comme en négatif. En positif car les distances les plus importantes de détection sont des cas de mâles chanteurs et d'observateur dans l'axe du vent. En négatif car lorsque le vent est contraire au sens du transect, les oiseaux sont détectés beaucoup plus tard.

L'analyse des conditions météorologiques lors des différents comptages, à Tourvieille notamment, doit permettre d'apporter des informations sur ce point.

- **Effet « observateur » :**

Trois personnes différentes ont participé aux comptages. Il est probable qu'il y ait un effet de l'observateur sur la détectabilité. Afin de minimiser ce biais sur la détermination finale des effectifs, les transects ont été réalisés alternativement par l'un ou l'autre des observateurs.

IV.6.2. Habitat

- **Préférence pour les habitats avec un gradient de hauteurs de végétation :**

D'après les observations réalisées lors des comptages et d'après les données analysées par Quentin Huret, nous suspectons une préférence des fauvettes à lunettes pour les zones de végétation présentant des points ponctuellement surélevés du fait de la microtopographie ou de la hauteur de la végétation (soude, haut buisson de salicorne, tamaris isolé, digue, poteaux de barrière, montille) et des espaces entre les touffes de sansouires comblés par des graminées plutôt que du sol nu (Huret, 2009). Il est possible qu'il faille distinguer deux types d'habitats, ceux de sansouire haute dominés par la salicorne en buisson (*Sarcocornia fruticosa*) avec des points hauts de soude en buisson (*Suaeda vera*) ou de tamaris (*Tamaris gallica*), de ceux constitués par des pelouses sur montilles avec des plans isolés de soude, de salicorne en buisson et de tamaris. L'analyse statistique révèlera peut-être que les distances séparant le centre du point végétation d'un tamaris isolé ou d'un linéaire de végétation surélevé sont les premiers déterminants de la présence de fauvettes à lunettes.

- **Les zones de végétation basse défavorables**

Les zones a priori les plus défavorables sont celles de sansouire basse à *Arthrocnemum macrostachyum* où la proportion de sol nu est forte ainsi que les secteurs ou la végétation arbustive est importante (haies de tamaris, bosquets de filaires).



Figure 33 : Plant de salicorne glauque dominant localement le reste de la végétation.

IV.6.3. Pratiques de gestion

- **De fortes pressions de pâturage défavorables à l'oiseau :**

A ce stade de l'analyse, il apparait uniquement que la zone la plus fortement pâturée (Clos de l'âne) est dépourvue de fauvettes à lunettes malgré une végétation qui semble favorable. L'impact du pâturage paraît donc relativement délétère à la présence de cet oiseau. Les empreintes sont uniquement visibles sur le sol nu. Le nombre d'empreintes semble donc fortement corrélé à la présence de sol nu sans qu'on puisse dire si la présence de sol nu encourage les passages d'herbivores ou en résulte. La variable « empreintes » peut donc être peu pertinente pour caractériser l'intensité du pâturage.

- **Un impact indirect de la démoustication sur les fauvettes à travers le réseau trophique :**

Pour la démoustication, l'impact mesuré sur les hirondelles et les invertébrés paludicoles (Poulin *et al.*, 2010b) laisse penser que la démoustication a un impact négatif sur la disponibilité alimentaire pour l'avifaune. Le manque de pertinence des données transmises par l'EID par rapport à la démoustication effective risque d'affecter la qualité de l'analyse statistique.

V. Résultats

V.1. Dénombrement des fauvettes à lunettes

V.1.1. Effectifs et densités

Les effectifs estimés pour chaque secteur sont reportés dans le Tableau IV.

Tableau IV : Nombre de familles de fauvettes à lunettes dans les différents secteurs des périmètres étudiés

SECTEUR	Nombre de familles de fauvettes à lunettes [fourchette haute – fourchette basse]
Clos du Lièvre	3 - 4
Clos des Vaches	3 - 4
Tourvieille	15 - 18
Briscon	2 - 3
Pèbre	10 - 11
Bélugue	1
TOTAL Pèbre – Bélugue – Fangassier	**34 - 41**
Impériaux	**19 - 29**
TOTAL tous périmètres	**53 - 70**

Les effectifs calculés ont permis de déterminer les densités de fauvettes à lunettes :

- 0,76 à 0,92 familles pour 10 ha dans le périmètre Pèbre – Bélugue- Fangassier.
- 2,3 à 3,6 familles pour 10 ha dans le périmètre des Impériaux.

L'éloignement de chaque canton de fauvette à lunettes avec le canton le plus proche a été calculé avec ArcGIS® 9.2, soit à partir des bords du canton, soit à partir du centre du canton. Les moyennes de ces distances ont été calculées (Tableau V).

Tableau V : Moyennes et minimums des distances des bords ou des centres de chaque canton de fauvettes à lunettes avec le canton le plus proche (* valeurs significativement distinctes).

	Distance moyenne entre les bords des cantons (m) [intervalle de confiance à 95 %]	Distance moyenne entre les centres des cantons (m) [intervalle de confiance à 95 %]
1 Impériaux	**80,7** [51,9 ; 109,4]	**106,2*** [75,2 ; 137,1]
2 Pèbre-Bélugue-Tourvieille	**100,2** [69,3 ; 131,2]	**211,0*** [178,6 ; 243,5]
3 Tourvieille	**63,8** [43,3 ; 84,3]	**159,8** [39,4 ; 184,2]
Moyenne 1 et 2	**93,3** [71,2 ; 115,4]	**135,7** [147,2 ; 200,3]

V.1.2. Modes de détection

Les fauvettes ont principalement été détectées par le cri, la vue arrive en seconde position et la détection par le chant reste marginale (Figure 34). Ainsi, les positions des fauvettes reportées sur SIG sont peu corrélées à des postes de chant mais plutôt à des postes d'alarme que l'on peut penser proches du nid du couple.

L'évolution générale tend vers une diminution de la détection par le cri au fil de la saison concomitante d'une augmentation de la détection par le chant.

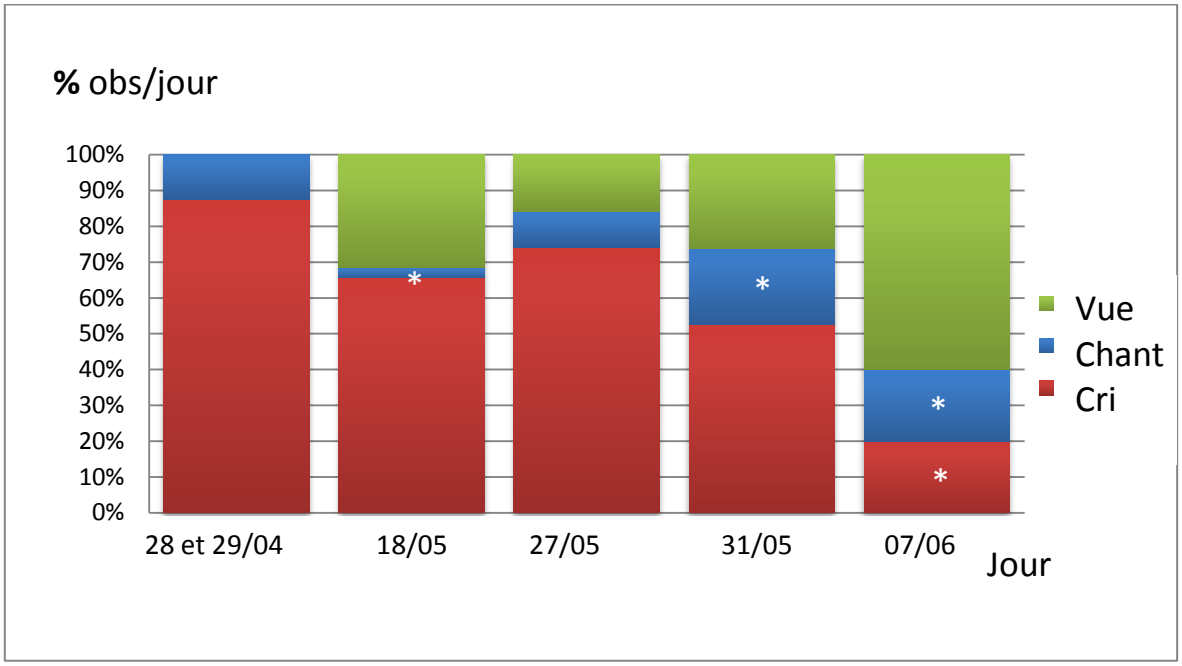


Figure 34 : Histogramme des pourcentages cumulés des trois modes de détection pour chaque session de comptage de fauvettes à lunettes à Briscon – Tourvieille (* = valeur significativement différente de la distribution de la moyenne des cinq sessions).

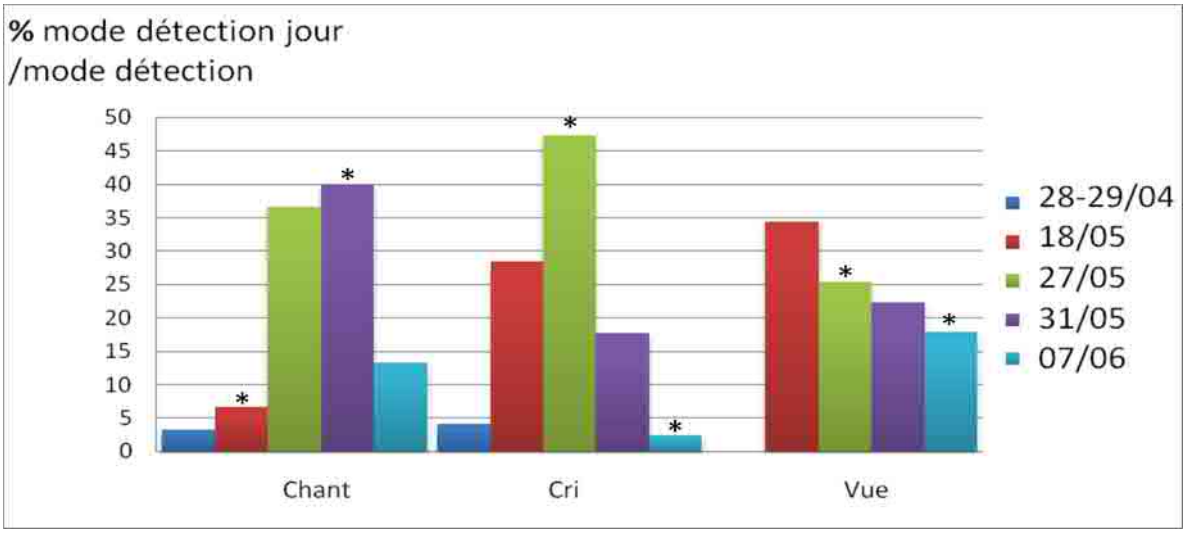


Figure 35 : Histogramme de la proportion de contacts que représente chaque session de comptage pour chaque mode de détection des fauvettes à lunettes à Briscon – Tourvieille (* = valeur significativement différente de la distribution de la moyenne des trois modes de détection).

- **Un pic de détection des mâles en milieu de saison :** plus de 80 % des mâles sont détectés en milieu de saison (du 18/05 au 31/05) alors que moins de 50 à 65 % sont détectés en tout début et en toute fin de saison (Figure 36). Pour les femelles, la tendance est relativement similaire.

- **Des femelles bien moins détectées que les mâles :** la proportion de femelles détectées ne dépasse pas 55 %.

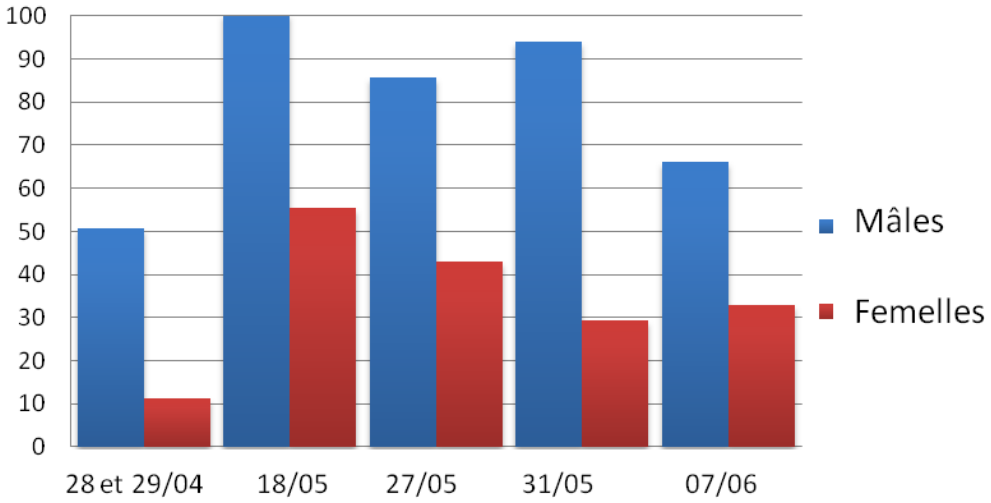


Figure 36 : Histogramme de la proportion d'individus détectés à chaque session par rapport au nombre total de couples et d'individus isolés à Briscon – Tourvieille.

- **Un nombre de jeunes individus augmentant au fur et à mesure des sessions de comptage** : C'est à partir du moment où les jeunes étaient visibles (18/05), c'est-à-dire mobiles, que l'on a constaté une augmentation importante du nombre d'individus détectés tous sexes confondus (Figure 37). Le pic de détection par le cri correspondait à l'envol des jeunes (27/05). Ensuite, les jeunes prenaient leur indépendance, les parents n'alarmaient alors plus, ce qui correspondait à l'augmentation du nombre de jeunes contactés et à la chute du taux de détection des oiseaux (31/05).

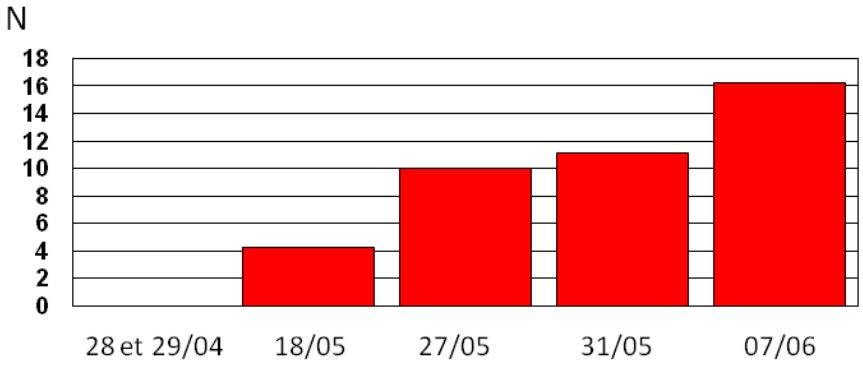


Figure 37 : Histogramme du nombre de fauvettes à lunettes juvéniles contactés pour chaque session de comptage à Briscon – Tourvieille.

- **L'envol définitif des jeunes a eu lieu entre le 27/05 et le 31/05.**

V.1.3. Effet de l'observateur sur la détection

Marc Thibault (MT), Emilien Duborper et Samuel Thévenet (ST) ont été les trois observateurs de ce travail. Emilien Duborper a participé à un nombre limité de sessions de comptage, concentrées aux périodes où la détection était la plus difficile (2,5 % de l'ensemble des contacts relevés). Son effet observateur n'a donc pas été analysé.

V.1.3.1. Sensibilité de détection de chaque observateur

Sur SIG, les transects des observateurs ont été tracés avec une emprise de 25 ou 50 m de part et d'autre du trajet. Ils traversent les cantons des fauvettes à lunettes. Il est donc possible de savoir à chaque session de comptage quelles fauvettes ont été observées ou non et par quel observateur. Le pourcentage de familles de fauvettes observées par rapport aux fauvettes observables a été calculé pour trois périodes de 17 jours du 27/04 au 16/06 (Figure 38).

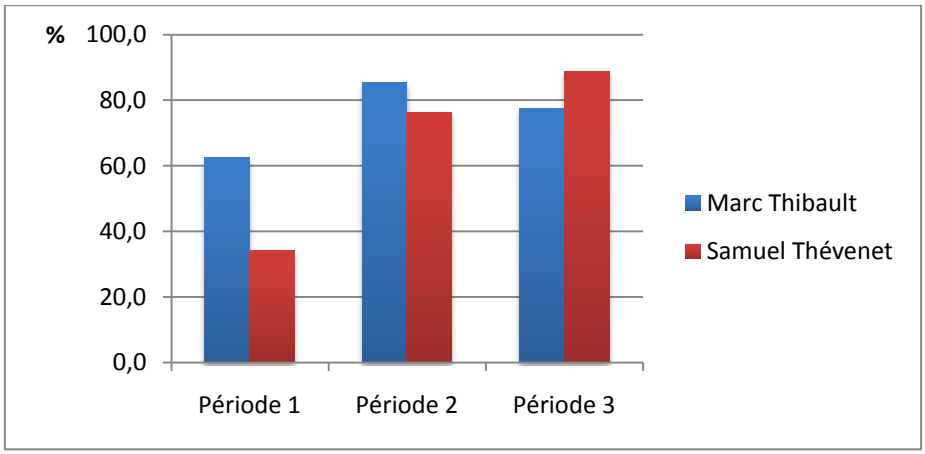


Figure 38 : Pourcentage moyen de familles de fauvettes observées par rapport aux fauvettes observables du 27/04 au 13/05 (période 1), du 14/05 au 30/05 (période 2) et du 31/05 au 16/06 (période 3).

Lors des premiers dénombrements, l'observateur le plus expérimenté (Marc Thibault) avait une sensibilité de détection nettement meilleure. Après quatre sessions de comptage, les deux observateurs avaient des sensibilités de détection comparables.

➢ **Les effectifs dénombrés étaient sous-évalués en début de saison à cause d'une détectabilité inférieure mais aussi du fait de l'inexpérience d'un des observateurs.**

V.1.3.2. Effet de l'observateur sur les distances de détection

Les spectres de détection de MT et ST ont été réalisés en projetant chaque contact avec une fauvette à lunette dans le référentiel de l'observateur. Le point 0 est alors la position de l'observateur dont le sens et l'axe de progression correspondent à ceux de l'axe des abscisses. Les spectres de détection obtenus avec chacun des modes de détection ont été distingués (Figure 39 et Figure 40).

La distance moyenne entre l'observateur et chaque contact de fauvettes à lunettes à été calculée pour les trois modes de détection. Les aires colorées sur les diagrammes couvrent les points dont l'éloignement de l'observateur est inférieur à la moyenne considérée (bleu pour le Chant, rouge pour le Cri et vert pour la Vue).

- **Le chant est ce qui révèle la présence de fauvettes de la plus grande distance, suivi du cri et de la vue.** Certains oiseaux sont détectés dans le dos de l'observateur par le cri ou le chant, exceptionnellement par la vue.

Tableau VI : Nombre de contacts obtenus par les différents modes de détection et distance moyenne de détection pour chacun de ces modes et chacun des observateurs.

	CHANT		VUE		CRI		TOTAL	
	% observations	Distance moyenne (m)	% observations	Distance moyenne (m)	% observations	Distance moyenne (m)	Nombre	Distance moyenne (m)
M. Thibault	15 %	92,4	29 %	71,8	56 %	65,1	**212**	**70,8**
S.Thévenet	7 %	116,4	15 %	42,3	78 %	81,0	**166**	**75,6**

- La distance moyenne de détection est supérieure pour ST (Tableau VI). Néanmoins, les différents spectres de détection sont répartis de façon plus homogène dans l'espace pour MT, observateur expérimenté. Les modes de détection contribuent de façon plus équilibrée chez MT que chez ST pour qui le cri est le mode très majoritaire de détection.

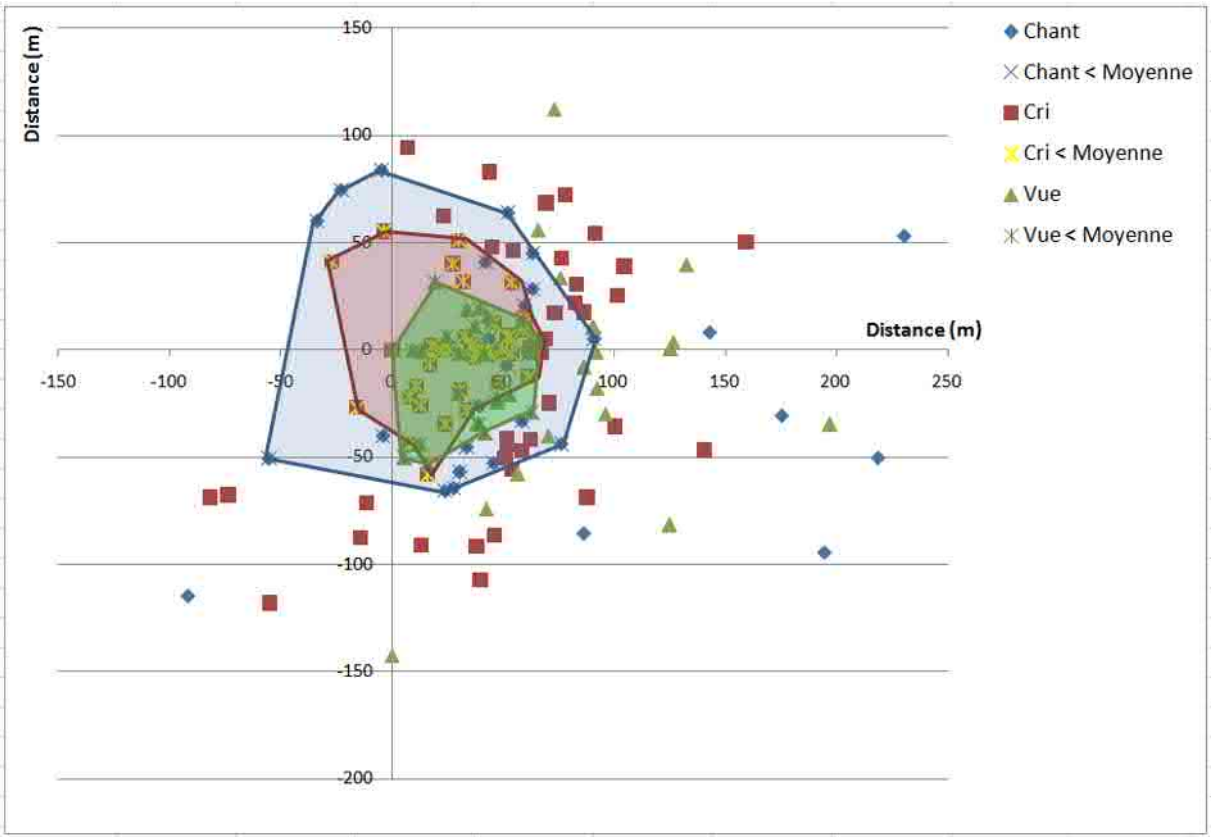


Figure 39 : Diagramme de la dispersion spatiale des fauvettes à lunettes détectées par Marc Thibault grâce aux trois modes de détection (n = 215). L'observateur est positionné au point 0.

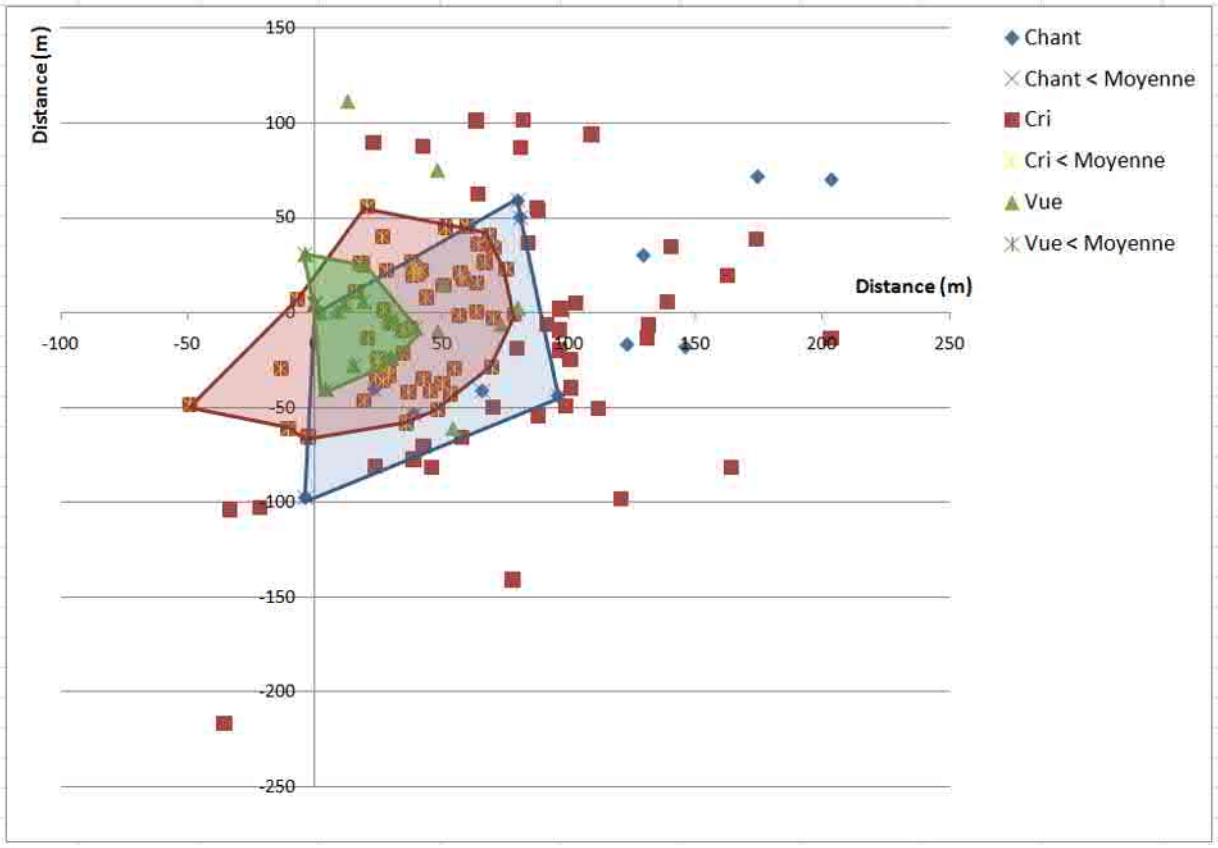


Figure 40 : Diagramme de la dispersion spatiale des fauvettes à lunettes détectées par Samuel Thévenet grâce aux trois modes de détection (n = 177). L'observateur est positionné au point 0.

V.1.4. Effet des conditions météorologiques sur la détection

La température de l'air à 8h est la variable qui classe le mieux la distance moyenne, la distance maximale et la moyenne des trois distances maximales d'observations des fauvettes. Ce classement est peu significatif. Il peut facilement s'expliquer par le fait que la température était sensiblement plus basse lors des comptages d'avril que lors de ceux de mai, pendant lesquels le plus de fauvettes ont été contactées. Ce classement n'est donc pas pertinent.

Notre hypothèse d'un effet de la force du vent sur les distances de détection extrêmes n'est pas vérifiée statistiquement mais les conditions de fort vent ont été évitées. Néanmoins, il existe un léger effet de la direction du vent sur la distance de détection des fauvettes.

- **Par vent de face, les fauvettes sont détectées de plus loin que lorsque le vent est dans le dos de l'observateur.** En effet, lorsque l'écart angulaire entre la direction du transect et la direction du vent est inférieur à 101°, les fauvettes ont tendance à être détectées de plus loin (voir Annexe II).
-

V.2. Compétition avec la fauvette mélanocéphale

Les observations de fauvettes mélanocéphales ont été notées par les observateurs. A plusieurs reprises, elles ont été observées à proximité de fauvettes à lunettes, en particulier dans des haies de tamaris. La distance minimale entre chaque carré de relevé botanique et l'observation de fauvette

mélanocéphale la plus proche a été calculée pour chacun des carrés. L'analyse de ces distances n'a rien donné.



Figure 41 : Fauvette mélanocéphale transportant de la nourriture.

V.3. Influence de l'habitat sur la présence ou l'absence de fauvettes à lunettes

V.3.1. Sélection des variables les plus prédictives par la méthode du Boosting

L'ensemble des variables de végétation et de pâturage ont été intégrées dans une analyse statistique par la méthode du Boosting.

Le nombre d'arbres optimal était 15, la taille maximale des arbres était 3, ce qui est de bon pronostic pour la qualité des résultats (
Figure 42). Les trois prédicteurs les plus puissants étaient la hauteur pondérée de salicorne en buisson, celle de salicorne glauque et la hauteur médiane (

Figure 43). Les prédicteurs les plus faibles ont été ceux relatifs aux espèces présentes sur peu de carrés inventoriés lors des relevés (chardon d'Espagne, chiendent, germandrée).

L'analyse du Boosting avec les dix-huit meilleurs prédicteurs du Boosting précédent a mis à nouveau en avant HP2, HP3 et H_med. L'ordre des autres prédicteurs n'a absolument pas changé. La réduction du nombre de variables a donc eu peu d'impact sur la qualité de l'extraction des meilleurs prédicteurs. Les dix prédicteurs de statistique supérieure à 0,7 ont été sélectionnés pour une analyse par la méthode CART.

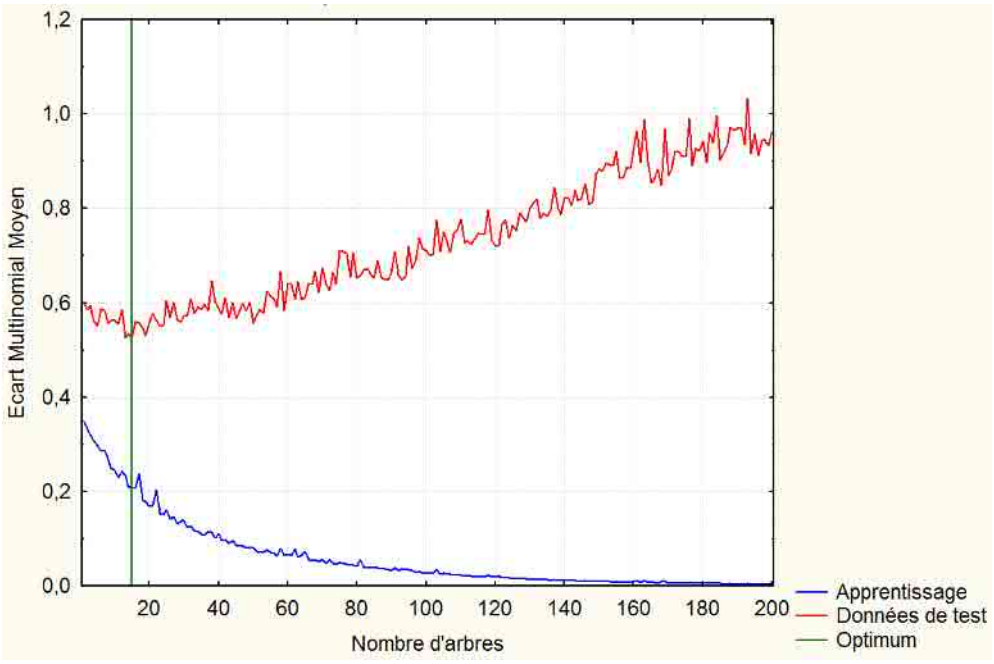


Figure 42 : Evolution de l'apprentissage et du taux d'erreur dans la série d'arbres construits pour prédire la présence et l'absence de fauvettes à lunettes par Boosting.

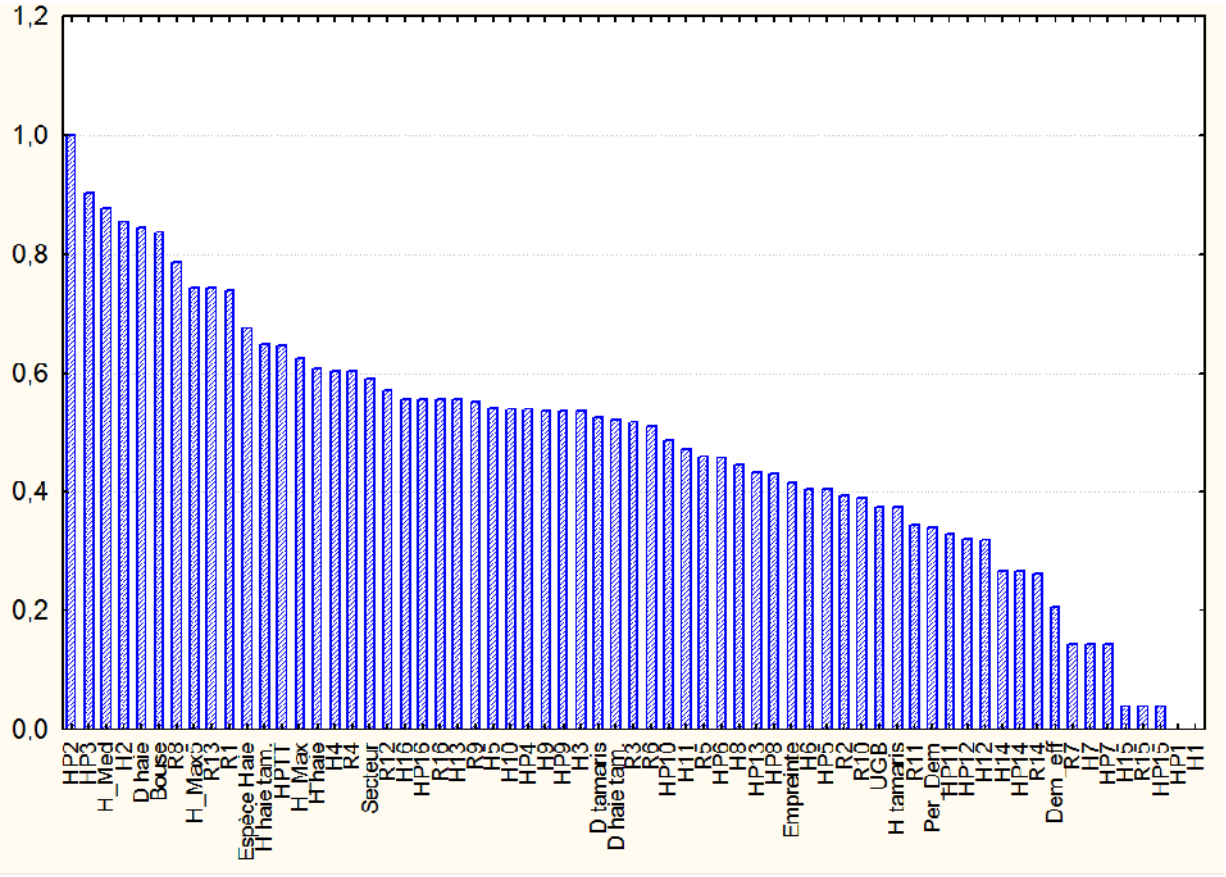


Figure 43 : Histogramme de l'importance de chaque prédicteur de la présence/absence de fauvettes à lunettes dans la construction d'arbres par Boosting (variables botaniques, de pâturage et de démoustication)[1].

[1] Les numéros des variables H, R et HP (exemple HP2) font référence à la numérotation des espèces disponible en Annexe I.

V.3.2. Test des variables avec les arbres de décision CART

Construction à partir des dix meilleurs prédicteurs

Les dix meilleurs prédicteurs issus du Boosting ont été entrés dans l'analyste statistique. L'arbre proposé classe les données en deux temps (Figure 44).

- **Les fauvettes à lunettes préfèrent être à moins de 20,40 m d'une haie** (19 des 23 carrés « fauvettes » pour deux carrés témoins).

- Toutes les fauvettes qui se trouvent à plus 20,40 m se trouvent sur des zones où la **hauteur pondérée moyenne de salicorne glauque est supérieure à 48 cm** alors que la grande majorité des carrés témoins ont une hauteur pondérée de salicorne glauque inférieure (20 des 21 carrés bien classé dans la branche de droite).

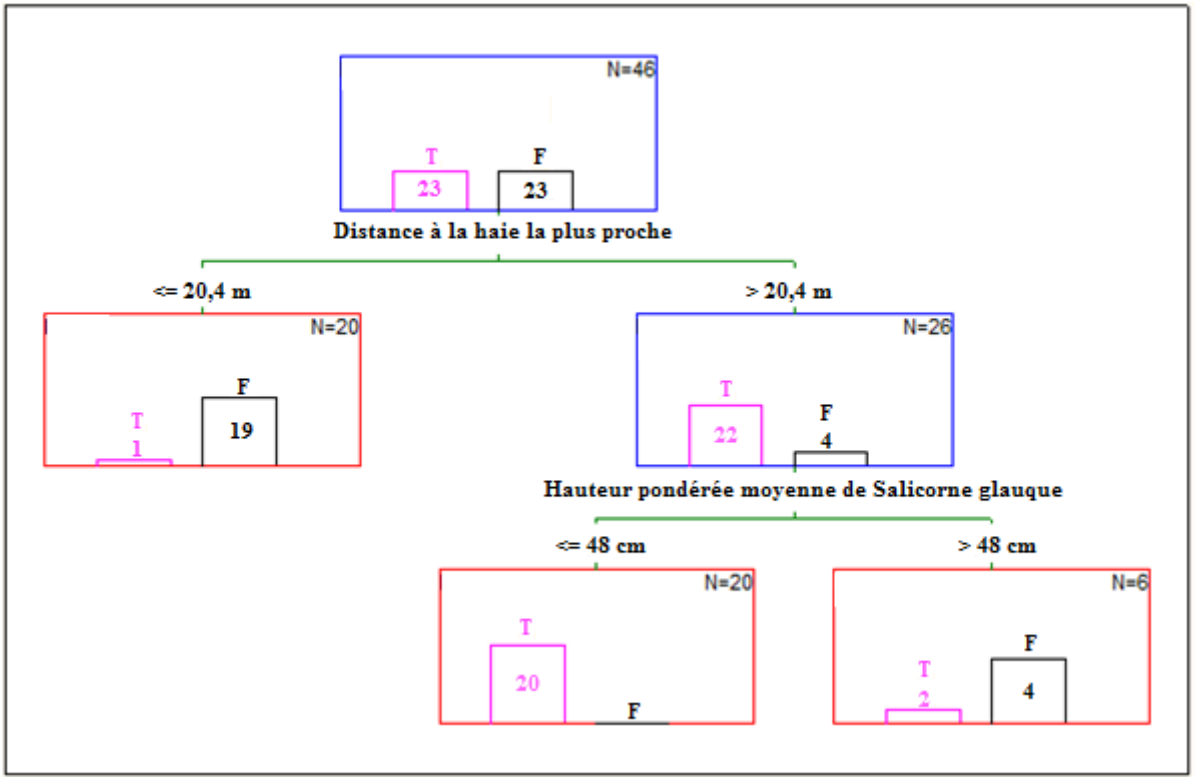


Figure 44 : Arbre de classification CART des prédicteurs classant le mieux la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes[2].

Le risque de mauvaise classification de ce modèle n'est que de 15 % sur l'échantillon de validation croisée et de 6,5 % sur l'échantillon d'apprentissage (Tableau VII). La classification est donc de très bonne qualité avec cet arbre.

Tableau VII : Estimation du risque de mauvaise classification.

	Estimation du risque	Variance expliquée
Echantillon d'apprentissage	0,065	93,5 %
Echantillon de validation	0,150	85 %

[2] Sur chaque arbre, « T » signifie « témoin » et « F » signifie « fauvette » ; les chiffres indiqués dans les rectangles sont les effectifs de chaque sous ensemble issu du tri par la variable prédictive.

Analyse sans la variable de distance à la haie la plus proche

Il est surprenant que le logiciel prenne un prédicteur qui ne faisait pas parti des trois meilleurs à l'issu du Boosting. Le logiciel à donc été forcé de prendre hauteur pondérée moyenne de salicorne en buisson comme prédicteur de niveau 1.

- **Une hauteur pondérée moyenne de salicorne en buisson supérieure à 48,4 cm était relativement favorable aux fauvettes à lunettes et défavorable aux témoins.** La partition est cependant déséquilibrée (18 à droite, 28 à gauche) avec un grand nombre de carrés témoins mal classés. La classification est donc de qualité inférieure à l'arbre précédent même si la variance expliquée est comparable (résultats non présentés).

Le logiciel a alors été laissé libre de choisir le prédicteur de niveau 1 mais D haie a été enlevé des variables prédictives possibles (résultats non présentés)

- **Les zones avec une hauteur moyenne des cinq points les plus hauts de la végétation supérieure à 73,7 cm sont globalement très favorables aux fauvettes à lunettes**.

Au second niveau, c'est un recouvrement linéaire de jonc supérieur à 5 % qui est défavorable aux fauvettes à lunettes. Cet arbre explique 87 % de la variance sur l'échantillon d'apprentissage mais seulement 59,6 % sur l'échantillon de validation. La capacité prédictive de cet arbre est donc moins bonne que les précédents.

Pour améliorer la classification, les dix-huit meilleures variables du premier Boosting ont été intégrées à la construction d'arbre CART afin de trouver un prédicteur qui améliore mieux la classification de second niveau que le recouvrement de jonc.

Construction à partir des dix-huit meilleurs prédicteurs

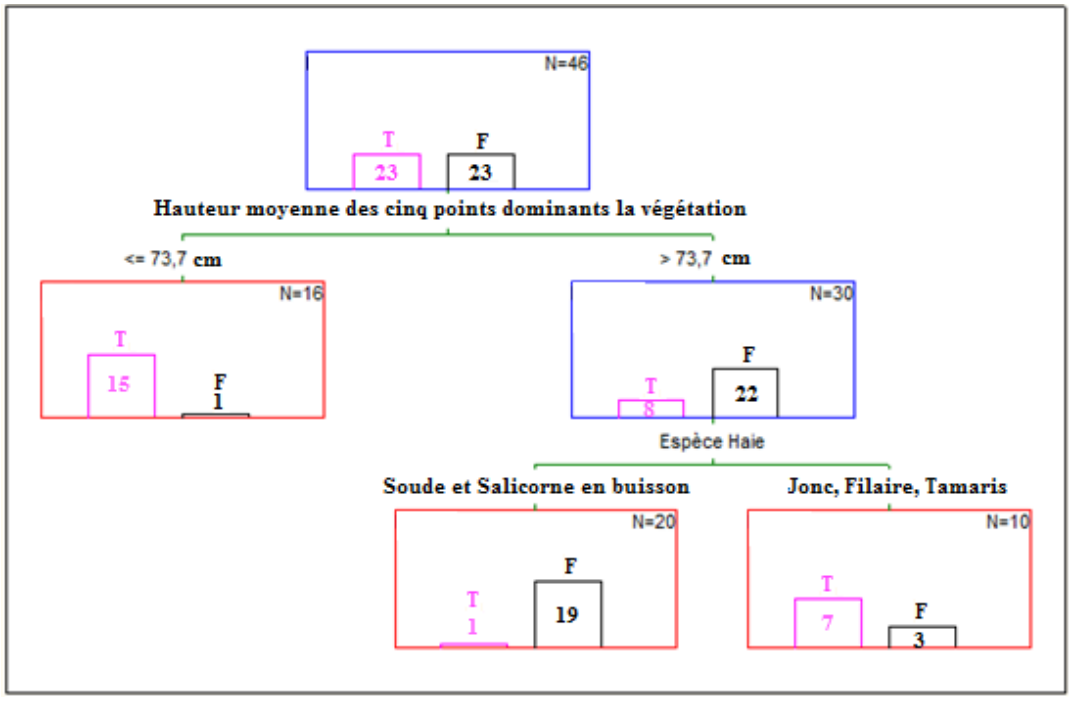


Figure 45 : Arbre de classification CART des prédicteurs classant le mieux la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes en l'absence du prédicteur « Distance à la haie la plus proche ».

L'espèce de haie est celle qui améliore le mieux la classification après le tri des variables par la hauteur moyenne des cinq points les plus hauts de la végétation.

- **Les haies de soude et de salicorne en buisson sont favorables aux fauvettes à lunettes alors que les haies de filaire, de tamaris et de jonc sont défavorables.**

4 carrés « fauvettes » et 1 carré « témoins » sont mal classés. La variance est expliquée à 90,1 % sur l'échantillon d'apprentissage et à 60 % sur l'échantillon de validation. La qualité de cet arbre est donc comparable à l'arbre précédent.

Sans « D haie » et sans « Espèce haie », au niveau 2, c'est la distance à la haie de tamaris qui classe les valeurs observées. La qualité de la classification est la même que l'arbre précédent.

- **Les haies de tamaris à plus de 58,5 m sont globalement plus favorables aux fauvettes à lunettes.**

Enfin, les corrélations entre certaines variables botaniques ont été explorées (Annexe III), aucune corrélation n'est forte ($R^2 < 0,3$) démontrant un faible degré de liaison entre les variables.

V.3.3. Synthèse des résultats sur la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes

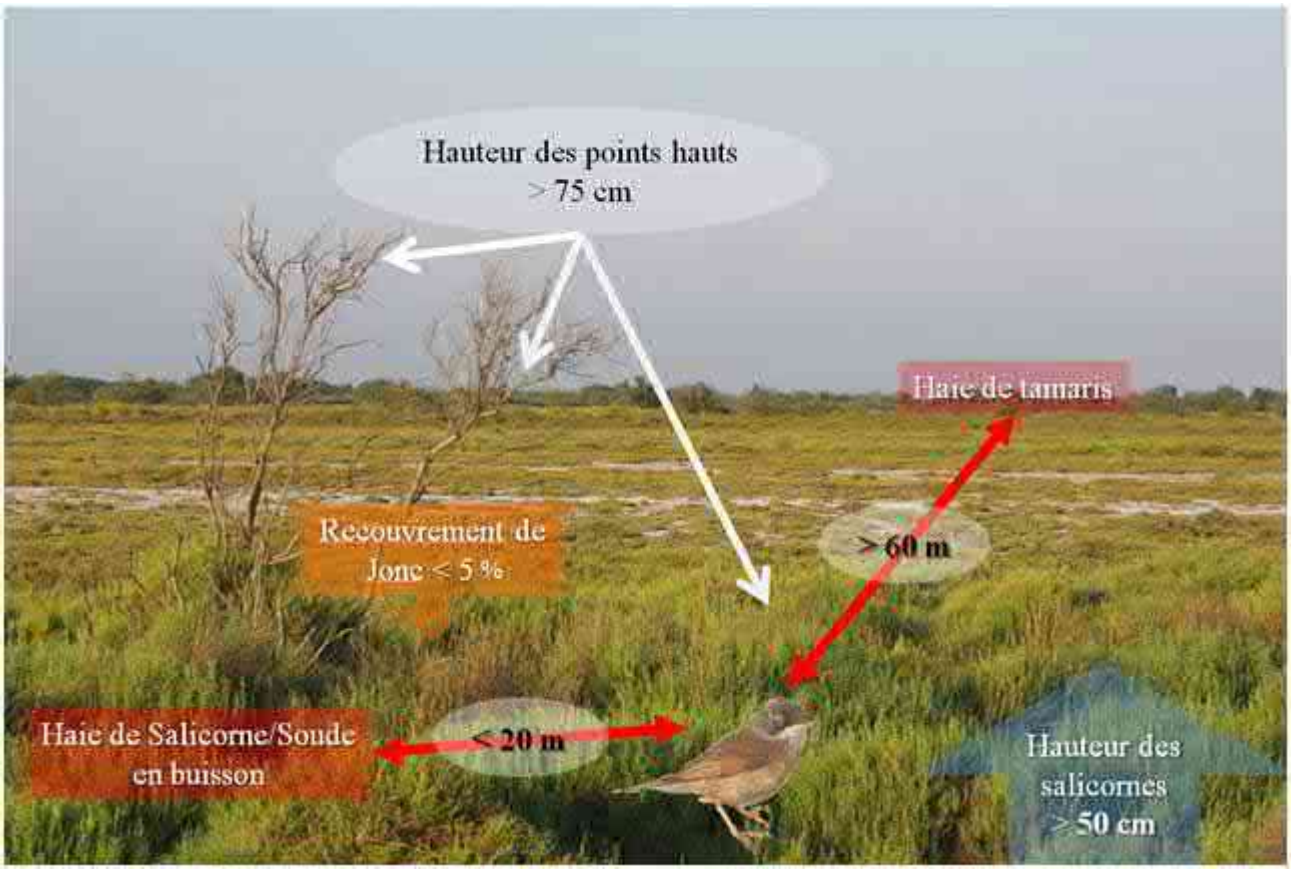


Figure 46 : Schéma bilan des caractéristiques de l'habitat favorable aux fauvettes à lunettes (photo de fauvette : Marc Thibault).

V.4. Influence du pâturage sur la végétation et sur les fauvettes à lunettes

V.4.1. Prédiction de la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes par les indices de pâturage

L'analyse précédente des prédicteurs de la présence *vs.* l'absence de fauvettes à lunettes par la méthode du Boosting a mis en évidence que le nombre moyen de déjections d'herbivores domestiques est une des dix meilleurs prédicteurs. Cependant, utilisé isolément, il ne permet pas de classer de façon satisfaisante les carrés « fauvettes » et les carrés témoins.

Avec le nombre d'empreintes ou la charge de pâturage conventionnée les résultats sont similaires et n'apportent pas d'aide à la classification.

- **Il n'y a pas d'impact du pâturage extensif sur la présence de fauvettes à lunettes.**

V.4.2. Prédiction de la variable du nombre d'empreintes d'herbivores domestiques

Les caractéristiques de l'habitat pouvant expliquer le nombre d'empreintes d'herbivores domestiques ont été explorés par construction d'arbre et par modèle linéaire général. La construction d'arbre met en évidence l'importance du recouvrement de sol nu mais ne donne pas de résultat de qualité. L'analyse par modèle linéaire généralisé montre que le nombre d'empreintes est corrélé :

- Positivement aux recouvrements de sol nu (R^2=0,60 et p<0,05) et de tamaris (R^2=0,20 et p<0,05).
- Négativement à la hauteur pondérée totale (R^2=0,22 et p<0,05).

La hauteur pondérée totale et la hauteur médiane de la végétation intègrent dans leur calcul le recouvrement de sol nu. Ainsi, plus il y a de sol nu, plus ces hauteurs sont faibles. La hauteur pondérée de la végétation de chaque point a donc été calculée sans prendre en compte le recouvrement de sol nu. Cette nouvelle variable n'est pas corrélée au nombre d'empreintes (R^2 < 0,06 et p > 0,05).

- **Le nombre d'empreintes et le recouvrement du sol nu sont corrélés.**

V.4.3. Prédictions des variables de charge de pâturage et de nombre de déjections d'herbivores domestiques

Les mêmes analyses ont été conduites pour le nombre de déjections d'herbivores domestiques. La première méthode d'analyse ne fait pas émerger de prédicteur pertinent capable d'établir une bonne construction d'arbre. L'analyse par modèle linéaire général met en évidence que le nombre de déjections est positivement corrélé à la charge de pâturage (variable UGB, R^2=0,25 et p<0,05) et à la hauteur des haies (R^2=0,10 et p<0,05).

Pour la charge de pâturage, l'arbre obtenu est le diagramme de la Figure 47. Les données ont été classées uniquement avec le nombre moyen de bouses.

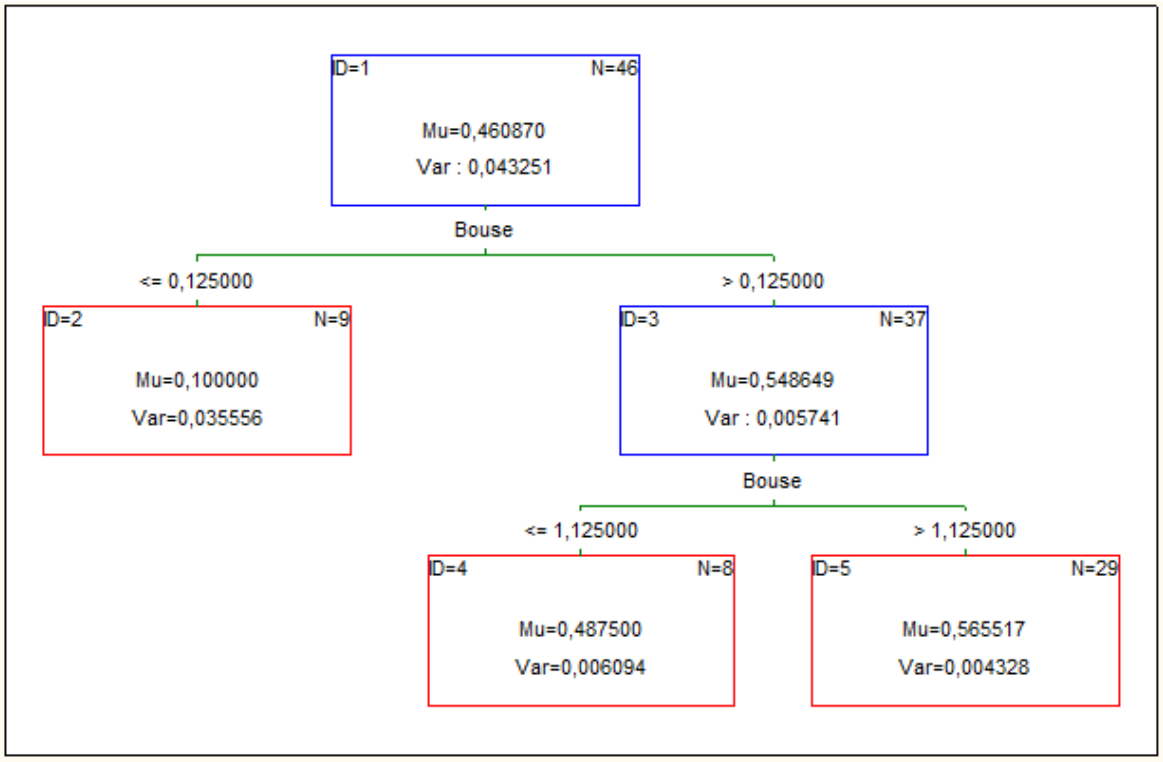


Figure 47 : Diagramme de l'arbre de la variable dépendante « UGB » analysée par la méthode CART avec les meilleurs prédicteurs issus du Boosting[3].

Le pourcentage de variance intra-classe sur la valeur totale met en avant la qualité acceptable de la régression réalisée grâce au prédicteur « Bouse » (Tableau VIII).

Tableau VIII : Rapport de la variance intra-classe à la variance totale (en pourcentage) après la régression réalisée par l'arbre de la variable dépendante « UBG ».

	Variance intra-classe / Variance totale
Echantillon d'apprentissage	24,84 %
Echantillon de validation	45,93 %

- **La charge de pâturage et le nombre de déjections de grands herbivores sont corrélés.**

Conclusion sur le pâturage : Le nombre d'empreintes est proportionnel à l'importance du sol nu. Néanmoins, seul le nombre de déjections est corrélé à la charge de pâturage. Les variables de pâturage n'ont aucun autre effet perceptible sur la végétation.

[3] Mu est la moyenne des valeurs de la variable « Bouse » classées dans chacun des rectangles du diagramme, Var est leur variance.

V.5. Ressources alimentaires et démoustication

V.5.1. Impact direct de la démoustication sur les fauvettes à lunettes

Il n'y a pas de différence significative entre le nombre de fauvettes à lunettes présentes dans le périmètre démoustiqué ou dans les zones effectivement démoustiquées et le nombre de fauvettes dans les zones qui en sont exclues.

V.5.2. Influence des ressources alimentaires sur la présence de fauvettes à lunettes

Les effectifs de chaque taxon d'invertébrés et chaque classe de taille ont alors été analysés pour chaque carré (au total, 4625 invertébrés ont été mesurés et déterminés). Aucun arbre de qualité ne peut permettre d'expliquer la présence ou l'absence de fauvettes par les ressources alimentaires disponibles. L'analyse par Modèle Linéaire Général confirme ces résultats, par taxon comme par classe de taille.

- **Il n'y a aucune relation significative entre présence ou absence de fauvettes à lunettes et effectifs d'invertébrés.**

V.5.3. Relation entre démoustication et ressources alimentaires

L'influence de l'inclusion en périmètre démoustiqué et en zone effectivement démoustiquée sur les invertébrés a été testée par analyse par modèle linéaire général.

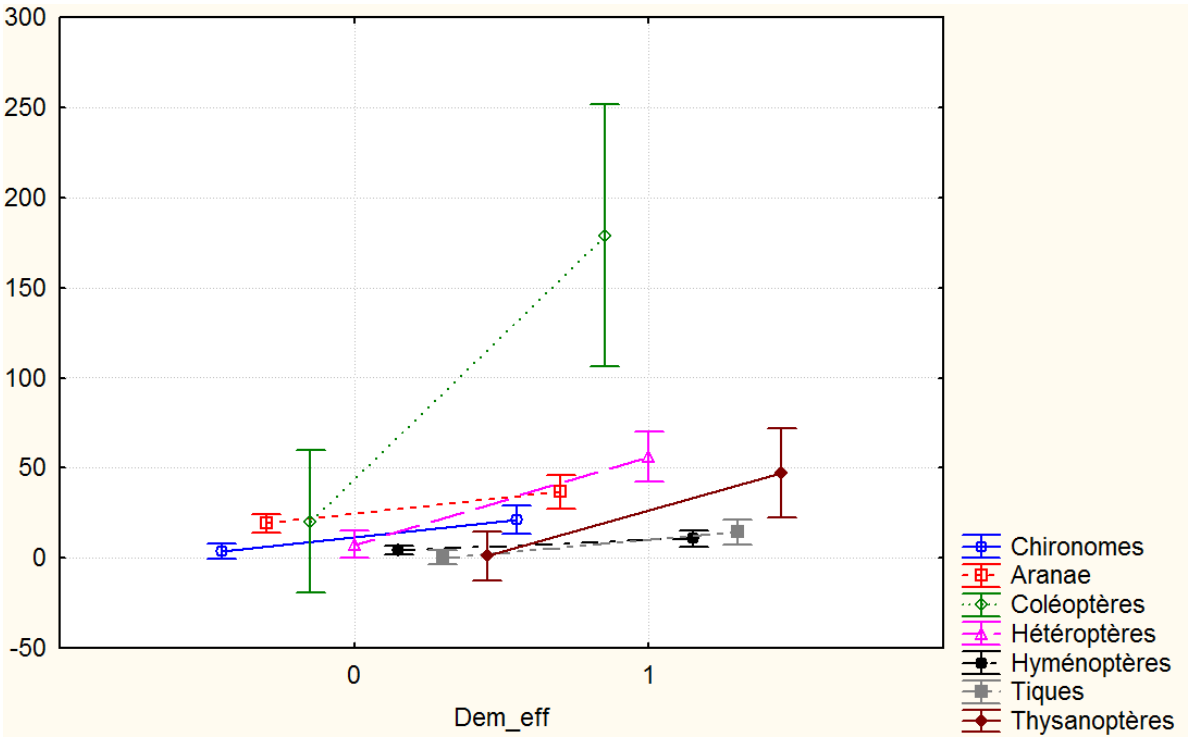


Figure 48 : Graphique du nombre d'invertébrés significativement plus grand dans les zones effectivement démoustiquées (0 pour l'exclusion et 1 pour l'inclusion dans ces zones).

- **Dans les zones effectivement démoustiquées, il y a significativement plus d'invertébrés** en général et en particulier de chironomes, d'araignées, de coléoptères, d'hétéroptères, d'hyménoptères, de tiques et de thysanoptères (Figure 48).

- **En périmètre démoustiqué, il y a significativement plus d'invertébrés** en général ($p = 0,046$) et de fourmis en particulier ($p = 0,013$).

V.5.4. Ressources alimentaires et habitat

Les taxons les plus consommées par les fauvettes à lunettes d'après l'étude de Hodar (1994) sont les araignées, les fourmis, les hyménoptères, les orthoptères et les larves de lépidoptères. Ces taxons peuvent être associés à des espèces végétales particulières. Ces associations ont donc été explorées.

- **Le nombre de fourmis est positivement corrélé au recouvrement par la soude et la filaire. L'association entre les fourmis, la soude et la filaire est positivement corrélée à la présence de fauvettes à lunettes.**

La présence de sol nu est un point commun aux différents habitats des fauvettes à lunettes (Guerrieri & Santucci, 1996, Bailleul, 2009, Huret, 2009). Le sol nu serait en effet déterminant pour l'alimentation de ces oiseaux (Huret, 2009).

Dans notre étude, le sol nu recouvre 14,9 % (Intervalle de confiance à 95 % : 9,9 % - 19,9 %). L'analyse par construction d'arbre et par GLM ne montre aucun lien statistique entre le recouvrement de sol nu et les effectifs de chacun des Ordres ou des classes de taille d'invertébrés.

- **Le recouvrement de sol nu n'a pas d'influence sur les effectifs d'invertébrés.**

Conclusion sur la démoustication : Il y a plus d'invertébrés en périmètre démoustiqué et dans les zones soumises aux plus fortes pressions de démoustication. L'association entre fourmis, filaire et soude en buisson est le seul paramètre de ressources alimentaire qui explique la présence de fauvettes à lunettes.

VI. Discussion

VI.1. Effectifs de fauvettes à lunettes

VI.1.1. Proposition d'un protocole de dénombrement

En termes de périodicité des comptages, la méthode par transects linéaires, abondamment utilisée dans cette étude, a eu des résultats optimaux à partir de moment où les jeunes étaient volants et jusqu'à leur émancipation. **La qualité de la détection dépend donc de la phénologie de reproduction de l'espèce.** La méthode a montré ses limites dans les zones à fortes densités. Le travail de terrain comme l'analyse SIG ont été confrontées à de nombreuses interrogations sur les doubles comptages et les déplacements des individus attirés par les cris d'alarme d'autres fauvettes. Le nombre exact d'oiseaux est alors difficile à évaluer. Il faudrait une campagne de capture-marquage-recapture pour lever ces interrogations. Cependant, la pose de filets dans le passage des oiseaux n'est pas facile dans de tels milieux ouverts.



Figure 49 : Comptage de fauvettes à lunettes sur le domaine départemental des Impériaux.

Dans les zones de faible densité, la méthode de repasse du chant est certainement à privilégier pour confirmer l'absence de fauvettes et identifier les familles isolées. Un nombre de sessions de test plus grand aurait été judicieux pour mieux explorer les avantages et les limites de cette technique.

Les objectifs d'un protocole de dénombrement des fauvettes à lunettes sont de connaître avec la meilleure précision possible le nombre d'individus et leurs positions et de minimiser l'investissement en temps nécessaire.

Le protocole que l'on peut suggérer est le suivant :

- **Faire des sorties de reconnaissance une matinée par semaine** (de préférence le même jour) à partir du milieu du mois d'avril dans un secteur restreint, facile d'accès, où la présence de cinq familles de fauvettes à lunettes environ est connu. Pour le personnel de la Tour du Valat, le Pèbre est un secteur optimal de ce point de vue, d'autant que toutes les familles sont situées sur

la digue ouest. La méthode utilisée serait un transect linéaire afin de d'observer si des jeunes individus sont visibles.

- **Dès que des juvéniles volants sont observés, un passage par transect parallèles avec distance inter-observateurs de 100 m doit être réalisé sur toute la zone**. Si la zone se présente sous la forme d'une bande de largeur constante, il faut privilégier un nombre d'observateur suffisant pour couvrir en une fois toute la largeur de la zone. Ceci permettrait de potentialiser au mieux les capacités de détection des observateurs et de ne pas recontacter des oiseaux sur le transect retour. Il faut préférer les observateurs expérimentés aux novices.

- **Après le premier comptage, confirmer les positions des fauvettes et les zones d'absence avec la repasse du chant** dans les zones où les densités sont faibles (distances entre bords des cantons supérieures à 150 m).

- **Repasser avec la méthode des transects parallèles une à deux fois dans les zones à forte densité** selon les possibilités météorologiques rapidement après le premier comptage (dans les dix jours). Au-delà, la qualité de détection diminue et le comptage s'en trouve biaisé.

VI.1.2. La population camarguaise de fauvettes à lunettes, un effectif sous-évalué

VI.1.2.1. Effectifs

Les effectifs que nous avons calculé sur près de 520 ha sont de 53 à 70 couples. En 2009, la population de la Tour du Valat était évaluée de 20 à 22 couples pour 450 ha de sansouire (Huret, 2009). Gilot et Rousseau estimaient en 2008 la population de Camargue de 100 à 150 couples. Il existe en grande Camargue 7754 ha de sansouires (Hudin, 2002) au sein desquelles se cache une grande disparité de capacités d'accueil de fauvettes à lunettes. Il n'est donc pas possible d'extrapoler nos données sans connaitre les hauteurs de végétation. Une analyse SIG avec les images SPOT, incluant ces paramètres, le permettrait. Cependant, il est raisonnable de penser que l**'effectif réel de fauvettes à lunettes en Camargue est plus important que celui estimé par Gilot et Rousseau (2008).** Il constituerait, au regard des estimations de Gilot et Rousseau (2008) et de Bailleul (2009), le plus important effectif français connu.

VI.1.2.2. Densités

Les densités de couples de fauvettes à lunettes calculées sur Pèbre – Bélugue – Tourvieille (0,57 à 0,68 couples pour 10 ha) sont du même ordre de grandeur que celles évaluées pour les sansouires de Camargue de 0,6 couples pour 10 ha (Blondel, 1985). Elles sont nettement supérieures aux 0,2 couples pour 10 ha estimés sur le domaine de la Tour du Valat (Huret, 2009). **Pèbre – Bélugue – Tourvieille peut donc être considéré comme une zone d'habitat représentative de l'habitat des fauvettes à lunettes en Camargue**. Les densités calculées pour les Impériaux, 2,3 à 3,6 couples pour 10 ha, sont comparables aux plus fortes densités mentionnées dans la littérature, notamment les densités les plus fortes du *Latium* italien qui étaient de 3 couples pour 10 ha (Gilot & Rousseau, 2008). **Le secteur des Impériaux constitue donc sans doute une des zones de Camargue les plus propices à l'espèce.**

VI.1.2.3. Distances entre couples

Guerrieri et Santucci (1996) ont mesuré des distances moyennes de 127 m entre couples dans les zones à plus fortes densités. La méthode de calcul de ces distances n'est pas détaillée. Les distances entre couples mesurés dans ce travail sont du même ordre de grandeur (136 m entre les centres des cantons et 93 m entre les bords des cantons) et varient de façon importante selon le secteur étudié.

VI.2. Habitat et ressources alimentaires

VI.2.1. L'habitat type des fauvettes à lunettes : une végétation haute avec des haies de soude ou salicorne en buisson

Les fauvettes à lunettes choisissent leur territoire en fonction des caractéristiques de sa végétation sans tenir compte des ressources alimentaires qui s'y trouvent. La présence de fauvettes à lunettes est favorisée par deux facteurs principaux de l'habitat :

- L'existence de haies de salicorne en buisson et de soude en buisson à moins de 20 m.
- Une végétation haute : plus de 50 cm de hauteur pondérée pour les salicornes glauques et en buisson et des points hauts de plus de 75 cm.

Par ailleurs, un recouvrement de jonc supérieur à 5 % et la proximité de haies de tamaris (< 60 m) sont également défavorables aux fauvettes à lunettes lorsque les conditions précédentes sont remplies. Aucune espèce botanique ne permet d'expliquer par son seul recouvrement la présence des fauvettes à lunettes. Les espèces de port arbustif (salicornes en buisson et glauque, soude en buisson) lorsqu'elles ont une hauteur suffisante sont préférées à celles de port herbacé (jonc) ou arborescent (tamaris).

Ces résultats confortent les études montrant d'une part **la grande sélectivité d'habitat des fauvettes à lunettes** et d'autre part **leur affinité pour la végétation dominée par une couverture buissonnante haute** quel que soit le cortège floristique (Gilot & Rousseau, 2008 ; Huret, 2009).

Les haies de soude et de salicorne en buisson étudiées sont constituées de végétation ayant poussé sur des zones en relief d'origine naturelle (montille) ou artificielle (bord de roubine, lévadon). La hauteur dominante de ces points est idéale pour constituer des postes de chant ou guetter la présence d'un danger. La solidité des branches allant de pair avec la hauteur de ces arbustes, leur structure est également très favorable à l'édification d'un nid lorsqu'ils sont hauts. La faible présence de filaire dans nos périmètres d'étude n'a pas permis de confirmer l'importance de cette essence pour *S. conspicillata* lorsqu'elle pousse sur les lévadons (Huret, 2009) au même titre que la soude et la salicorne en buisson pour cette étude. Les ressources alimentaires de ces formations végétales expliquent également leur attrait. En effet, le recouvrement de filaire et soude en buisson est corrélé au nombre de fourmis, largement consommées par l'oiseau (Hodar, 1994).

Les variations de la microtopographie sont essentielles pour servir de support à des linéaires de végétation buissonnante surélevée (haies), lieu de nidification et d'alimentation en fourmis.

VI.2.2. Importance du sol nu

La présence de sol nu est un élément partagé par les différents habitats des fauvettes à lunettes. Il représente 14 % du recouvrement du sol dans le Latium italien (Guerrieri & Santucci, 1996), 10 à 20 % dans les landes de montagne, 10 % sur le domaine de la Tour du Valat (Huret, 2009) et 50 % dans les champs de lavandin (Bailleul, 2009). Ici il représente 15 % environ de la surface. Son importance n'est pas corrélée aux effectifs d'invertébrés, ce qui est compréhensible étant donné l'inefficacité du filet fauchoir à collecter des insectes sur du sol nu. Cependant, il permet probablement aux fauvettes de capturer plus facilement leurs proies.



Figure 50 : Sol nu après la pluie.

- **La présence d'au moins 10 % de sol nu est une constante dans les différents habitats des fauvettes à lunettes.**

VI.2.3. Incompatibilité entre *S. conspicillata* et haies de tamaris : structure végétale inappropriée ou compétition avec *S. melanocephala* ?

La fauvette à lunettes est connue pour éviter les zones boisées. Son aversion pour les haies de tamaris dans notre étude peut s'expliquer par la structure arborescente de la végétation et par la présence de fauvettes mélanocéphales dans ces formations. Les données de ce travail sont insuffisantes pour apporter une réponse à cette interrogation.

La connaissance de l'effet de compétition entre fauvette mélanocéphale et fauvette à lunettes mériterait une étude beaucoup plus approfondie.

VI.3. Un pâturage extensif à l'impact faible à nul

Dans les prés salés du nord de l'Europe, le pâturage intensif par les chevaux, les bovins ou les moutons restreint la biodiversité botanique, réduit la biomasse végétale en diminuant la hauteur de la végétation (Turner, 1987) et augmente la mise à nu du sol (Jensen, 1985). Le pâturage intensif modifie également le cortège d'invertébrés qui passe d'un cortège d'herbivores à un cortège de détritivores. Ces effets du pâturage commencent à s'observer à partir de 0,5 UBG/ha (Andresen *et al.*, 1990).

Dans les périmètres pâturés, la pression de pâturage moyenne est de 0,54 UGB/ha, légèrement supérieure à cette limite. Le nombre d'empreintes ou de déjections de grands herbivores ainsi que la charge de pâturage conventionnée n'ont pas d'influence sur la hauteur de végétation. Aucun effet sur la biodiversité n'a été trouvé. Ce résultat est à nuancer par le fait que les Graminées n'ont pas été déterminées jusqu'au niveau de l'espèce.



Figure 51 : Empreintes de bovins sur du sol nu.

Le recouvrement de sol nu est bien corrélé au nombre d'empreintes. Trois effets peuvent l'expliquer :

- Le sol est mis à nu du sol par le piétinement.
- Le sol est primitivement nu à cause de la salinité et/ou de l'inondation du sol. Les empreintes sont alors plus présentes sur le sol nu car elles y sont plus facilement détectables et car les bovins passent préférentiellement dans ces zones où la progression est facile.
- Les deux effets précédents sont conjoints.

Les publications de Bakker (1985) et Jensen (1985) permettent de penser que le premier effet est vérifié. Cependant, ces expériences ont été réalisées dans des milieux halophiles de prés salés et non de sansouires. Les études menées à la Tour du Valat sur l'impact du pâturage sur les sansouires ne penchent pas en faveur de la mise à nu du sol par les bovins dans des zones où le pâturage est extensif (Mesléard, communication personnelle). Par ailleurs, le nombre d'empreintes n'est pas corrélé à la charge de pâturage conventionnée contrairement au nombre de déjections. La confiance à accorder à la variable « Empreinte » comme expression de l'impact des animaux domestiques sur la végétation est donc faible.

En conclusion, le pâturage tel qu'il est mené actuellement n'a pas d'impact significatif sur la végétation. Un doute persiste sur la causalité entre nombre d'empreintes et recouvrement de sol nu. La mise en place d'exclos non pâturés dans les périmètres étudiés permettrait de savoir si le sol est nu primitivement ou secondairement au passage régulier des animaux.

VI.4. Difficultés méthodologiques d'évaluation de l'impact de la démoustication

Les ordres d'invertébrés les plus capturés (Gastéropodes mis à part) sont en nombre significativement plus élevé dans les zones effectivement démoustiquées. Même les chironomes, traditionnellement impactés par le Bti, y sont plus nombreux. Ces résultats sont en contradiction avec études de l'impact du Bti sur les chironomes et invertébrés paludicoles (Fayolle & Franquet,

2009, Poulin *et al.*, 2010b). Ces résultats suggèrent une plus forte productivité des milieux plus fréquemment inondés non compensée par les traitements au Bti qui est un insecticide très sélectif.



Figure 52 : Nuage de chironomes.

La comparaison des ressources alimentaires des zones démoustiquées ou non s'est de plus heurtée à l'hétérogénéité des habitats qui ont été échantillonnés. Sur le secteur de la Bélugue, intensément démoustiqué, les carrés de végétation incluaient de larges zones de jonchaies à jonc maritime et des zones de sansouires partiellement immergées durant la majorité l'étude. Le nombre d'invertébrés capturés y était jusqu'à 5 fois plus élevé que dans les autres secteurs. La jonchaie est connue pour être plus riche en coléoptères que les formations à salicornes (Bigot, 1979). Or les coléoptères représentent l'ordre d'invertébrés dont les effectifs sont les plus importants de nos échantillons. **La végétation à proximité de l'eau ou partiellement immergée semble donc particulièrement productive, non seulement en moustiques mais plus largement en invertébrés.** Or les zones de baisses inondées régulièrement, en particulier au Pèbre et aux Impériaux, l'ont très peu été cette année en raison d'une pluviométrie particulièrement faible. Les seules zones de sansouire très humides échantillonnées sont donc des zones démoustiquées. Par conséquent, on ne peut exclure l'hypothèse d'un effet de la démoustication sur les ressources alimentaires disponibles pour les fauvettes à lunettes étant donné l'impossibilité de comparer au sein du périmètre d'étude des milieux de structures de végétation identiques traités et non traités au Bti.

Même traités au Bti, ces milieux humides restent bien plus productifs que les zones de sansouire plus sèche, d'autant que certains taxons 'terrestres' comme les fourmis ne sont pas impactés par le Bti. **Il n'en demeure pas moins que la démoustication est susceptible d'avoir un effet sur le succès reproducteur des fauvettes.** Ainsi, les résultats obtenus sur des passereaux de taille similaire nichant à proximité de zones humides montrent que les hirondelles (Poulin *et al.*, 2010a) et les passereaux paludicoles (Henry, 1977) nourrissent les poussins avec une proportion élevée de chironomes et/ou de moustiques, soit des taxons fortement sensibles au Bti. En zone démoustiquée, les hirondelles compensent avec un apport plus important de fourmis volantes plus difficiles à digérer, ce qui se traduit par une réduction de 33% dans le nombre de jeunes produits. Le Bti entraîne également une raréfaction des araignées qui se nourrissent de ces petits diptères (Poulin *et al.*, 2010a). Or les araignées sont des proies particulièrement prisées par les passereaux pour le nourrissage des poussins suite à leur valeur nutritive élevée (Foelix, 1996, McCarty & Winkler, 1999).

Pour pallier à ce biais, il aurait fallu distinguer différents types d'habitat et caractériser le spectre d'invertébrés présent pour chaque habitat, dans chaque zone de gestion. Une telle étude nécessite un investissement d'échantillonnage important, à la fois en termes d'habitat mais aussi en capture et

tris d'invertébrés. Pour certains habitats comme les jonchaies à jonc maritimes, essentiellement présentes à la Bélugue, il faudrait chercher hors des périmètres étudiés des zones semblables pouvant constituer des zones témoins.

Nos résultats ne mettent pas en évidence d'effet de la démoustication sur les populations de fauvettes à lunettes. Néanmoins, en l'absence de réplicats de végétation similaire avec et sans traitement au Bti, on ne peut écarter l'hypothèse que la démoustication affecte la densité de couples nicheurs de fauvettes à lunette ou leur succès de reproduction dans ces milieux.

VI.5. La prédation par les sangliers et les renards, un donnée manquante

Sangliers et renards sont très présents dans les sansouires. Des renards ont été observés sur une grande partie du périmètre étudié (Pèbre, Briscon – Tourvieille, Clos du Lièvre, Impériaux). Des sangliers ont été observés à trois reprises dans le secteur de Briscon – Tourvieille.



Figure 53 : Sangliers dans la sansouire à Tourvieille.

Leur impact de prédation des nichées d'oiseaux au sol ou proche du sol comme les fauvettes à lunettes n'a pas du tout été pris en compte. Guerrieri et Santucci (1996) ont mesuré 34,3 % d'échecs de reproduction principalement imputables à des prédations. Il est donc possible que l'activité des prédateurs influence la présence des fauvettes. Les sangliers ont par ailleurs un impact visible sur la proportion de sol nu par leurs boutis et leurs piétinements.

La prise en compte de cet impact aurait pu mener à des recommandations en matière de pression de chasse. Cependant, compte tenu de la grande mobilité de ces animaux et de leurs fortes densités en Camargue, l'influence de la pression de chasse locale est certainement négligeable.

VII. Préconisations

VII.1. Pâturage

Les pressions de pâturage faibles ne semblent pas mettre en péril la présence de fauvettes à lunettes ni la favoriser. Les bovins et chevaux consomment principalement les graminées et l'obione, espèces peu corrélées avec la présence ou l'absence de fauvettes.

Il faut cependant rester vigilant aux périodes où les ressources alimentaires sont les plus faibles et entraînent un plus fort impact des animaux sur les espèces ligneuses comme la soude en buisson. La fin de l'été constitue ainsi une période sensible. Une charge de pâturage minimale est préférable en période de nidification des fauvettes à lunettes, d'avril à juin, afin que les passages des bovins ou chevaux ne dérangent pas les nichées.

Le pâturage peut permettre de limiter l'extension des tamaris en consommant les jeunes pousses.

VII.2. Démoustication

Malgré les réserves exprimées plus haut, les résultats obtenus suggèrent que la démoustication par le Bti ne constitue pas une menace pour la fauvette à lunettes.

La réalisation d'une étude intégrant les ressources alimentaires comparées par habitat et par régime hydrologique permettrait de mieux connaitre l'impact du Bti sur les écosystèmes de sansouires.

VII.3. Mesures de revégétalisation et de terrassement

VII.3.1. Distribution spatiale de la végétation

L'analyse des préférences écologiques des fauvettes à lunettes a révélé des affinités pour des plants de soude en buisson ou de salicorne en buisson sur des lévadons et une incompatibilité avec les étendues basses de salicorne. Il est essentiel de comprendre les éléments susceptibles d'influencer la distribution spatiale de la végétation pour préconiser des mesures de gestion susceptibles de favoriser un habitat compatible avec les fauvettes à lunettes.

Dans les sansouires, la distribution spatiale de la végétation est caractérisée par une répartition en « patchs », on parle de « zonage » (« zonation » en anglais). Chaque patch est caractérisé par une seule espèce ou par une association particulière de plusieurs espèces. Les facteurs physico-chimiques qui influencent le plus la distribution des plantes sont les gradients spatio-temporels de salinité et d'humidité des sols (Chapman, 1974). D'un point de vue temporel, le sel descend en profondeur dans les horizons pédologiques lors de périodes de pluies et remonte en période sèche (Alvarez Rogel *et al.*, 2000). Certains ratios en éléments Na^+, K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} dans les sols peuvent expliquer plus finement la présence ou l'absence de quelques espèces. Rogel *et al.* distinguent sur cette base les espèces de sansouire humide (incluant *Sarcocornia fruticosa* et *Arthrocnemum macrostachyum*) des espèces de sansouire sèche (incluant *Suaeda vera*) (Alvarez Rogel *et al.*, 2000). Cependant, les variables chimiques les plus explicatives du cortège floristique varient selon les études. Seules la salinité totale et l'humidité (liée à la durée d'inondation du sol) sont des variables communes à la plupart des études (Álvarez Rogel *et al.*, 2001, Piernik, 2003, Álvarez-Rogel *et al.*, 2006). La compétition entre espèces joue également un rôle. Même si *Suaeda salsa* se développe mieux sur des niveaux topographiques plus élevés quelle que soit la salinité du sol, les

sols fortement inondés étant défavorables à cette espèce, c'est la compétition avec d'autres plantes qui limite son extension dans les niveaux topographiques plus élevés (He *et al.*, 2009).

- **Le zonage est déterminé par la composition chimique du sol (dont sa salinité), par son humidité (liée à la fréquence d'inondation) et par la compétition entre espèces**.

La microtopographie a une influence importante sur les deux premiers paramètres puisque les zones plus élevées sont d'autant plus éloignées de la nappe salée et connaissent moins d'inondations (Figure 54).

- **La topographie est donc fortement explicative du zonage observé** (Tessier *et al.*, 2002). Grâce à cela, des chercheurs italiens ont retracé les variations topographiques de zones de sansouire à partir de la détermination du zonage botanique sur données hyperspectrales prises par avion (Silvestri *et al.*, 2003).



Figure 54 : Répartition de trois espèces de la sansouire le long du gradient topographique créé par une digue : d'abord le sol nu, puis la salicorne glauque qui supporte les grandes amplitudes de salinité, ensuite la salicorne en buisson de plus en plus haute à mesure qu'elle s'élève sur la digue, enfin le tamaris au sommet de la digue.

Les salicornes glauque et en buisson sont les espèces qui tolèrent le mieux le sel, *Arthrocnemum macrostachyum* étant capable de supporter les conditions les plus extrêmes notamment la plus grande amplitude de salinité. (Álvarez Rogel *et al.*, 2001). Le jonc maritime est l'espèce qui tolère la plus longue période d'inondation.

- ***Juncus maritimus, Sarcocornia fruticosa* et *Arthrocnemum macrostachyum* se trouvent donc préférentiellement sur les zones topographiques les plus basses.**

La soude en buisson est moins tolérante au sel que les salicornes glauque et en buisson (Álvarez Rogel *et al.*, 2001). *Suaeda salsa* tolère mal l'inondation (He *et al.*, 2009). Dans notre étude, la fréquence de *Suaeda vera* sur les lévadons (digues de terres de part et d'autre des roubines) est en cohérence avec ces résultats. La soude en buisson peut également s'adapter à des sols anciennement amendés pour un usage agricole avec des sels de calcium et de potassium puisque c'est l'espèce qui supporte les plus forts ratios K^+/Na^+ et Ca^{2+}/Na^+ (Alvarez Rogel *et al.*, 2000).

- ***Suaeda vera*** **pourrait donc facilement coloniser des anciennes terres agricoles et s'implanter sur les lévadons plus facilement que d'autres espèces.**

Le tamaris est favorisé par une gestion de l'eau en balancement entre a-secs et mises en eau de roubines sur les bords desquelles il s'implante.

Pour favoriser la présence de soude en buisson, il faut donc des zones topographiquement plus élevées et/ou inondées le moins possible. Les salicornes glauques et en buisson sont tolérantes à l'inondation et au sel, c'est donc la compétition interspécifique qui va réguler leur présence sur les zones topographiques élevées.

VII.3.2. Etat initial et intervention

L'affinité des fauvettes à lunettes pour la salicorne en buisson et la soude en buisson poussant sur les lévadons révèle l'importance des variations de la microtopographie pour l'installation de cette espèce. La présence de haies de tamaris est plutôt défavorable à leur présence.

Ainsi pour rendre une zone de sansouire favorable aux fauvettes à lunettes, nos résultats suggèrent qu'il faut créer ces lévadons. La sansouire étant un habitat très sensible et d'intérêt communautaire de code Natura 2000 N°1420 (European Commission, 2007), **il est inconcevable d'intervenir dans des sansouires déjà existantes** pour mettre en œuvre les travaux de terrassement nécessaires. **Ce n'est pas le cas des rizières ou des surfaces de pré-concentration du sel en reconversion.** Des expériences de reconversion de rizière ont déjà eu lieu au marais du Vigueirat ou sont en cours (marais du Cassaïre). Sur les terrains acquis par le conservatoire du Littoral en 2007, l'ouest du Pèbre, l'étang du Fangassier, l'ouest de Briscon et les Enfores de la Vignolle sont des surfaces de pré-concentration du sel. L'abandon de la gestion hydraulique par entrée d'eau de mer est envisagée (Conservatoire du Littoral, 2008), la végétation pourrait alors recoloniser ces terrains et constituer des habitats favorables aux fauvettes à lunettes.

Dans ces espaces à reconvertir, le **maintien des lévadons encadrant le réseau d'irrigation** s'avère indispensable pour favoriser la diversité des niveaux topographiques favorables à la fauvette à lunettes. Leur arasement est à proscrire. Si cette structure s'avère insuffisante, notamment si les casiers des rizières ou des salins sont de grande taille, créer de nouveaux lévadons semble indispensable pour favoriser la diversité topographique. Pour **bâtir des structures linéaires de type digue ou bord de roubine, un maillage de 100 m** semble un bon compromis entre la distance minimale séparant deux cantons de fauvettes à lunettes et la distance limite éloignant une fauvette à lunettes d'un linéaire de végétation surélevée.

Ces variations de la microtopographie ont également pour intérêt de favoriser un effet puits. Les zones de dépression permettent de retenir la matière organique et favorisent la disponibilité en eau. Le maintien voire la création de variations topographiques permet ainsi d'accélérer la restauration

de milieux semi arides (Shachak *et al.*, 1998, Snyman, 2003). Par ailleurs, les zones en relief sont favorables aux graminées et à l'obione (légumineuse particulièrement broutée) qui ne peuvent pas pousser dans les zones basses trop riches en sel. Une telle restauration est donc compatible et même favorable à la présence extensive de bovins ou de chevaux. Ce type d'intérêt pastoral est donc valorisable dans un projet prenant en compte à la fois les impératifs de conservation des sansouires et le maintien de pratiques d'élevage traditionnelles.



Figure 55 : Montille constituée de Soude en buisson et de Graminées, au second plan, la sansouire est constituée de soude en buisson puis de salicornes.

Nos résultats ont mis en valeur l'importance des haies pour les fauvettes à lunettes, notamment celles de soude et salicorne en buisson. L'implantation de plants de ces espèces sur les lévadons de terrains en restauration présente deux intérêts. La compétition spatiale leur serait favorable sur les lévadons à court et moyen terme. Leur présence accélérerait la germination et la croissance d'autres espèces de la sansouire grâce à la rétention de matière organique et d'eau dans le microenvironnement des plants (Pueyo *et al.*, 2009).

En ce qui concerne les haies de tamaris, l'arrachage de haies existantes est une mesure envisageable compte tenu de l'abondance des habitats constitués par les boisements de tamaris en Camargue. Cependant, l'arrachage des racines des tamaris risque également d'arracher le relief des lévadons sur lesquels ils sont fixés du fait de la densité et de la profondeur de leur système racinaire. Il est préférable d'agir en préventif pour éviter l'installation des tamaris. Les tamaris ont besoin d'un léger éloignement topographique de la nappe salée et d'un apport d'eau important, oscillant au cours du temps, d'où leur installation sur les lévadons en bord de roubine. **Dans une surface en reconversion, il convient donc de ne pas maintenir le fonctionnement artificiel du réseau des canaux et de les combler pour éviter l'installation des tamaris.** Il faut cependant rester vigilant et arracher les jeunes pousses. Le sol d'une rizière en reconversion se charge naturellement en sel et les espèces botaniques de la sansouire se réinstallent spontanément pourvu que le terrain ne soit pas mis en eau (Mesléard *et al.*, 1991). Lorsque la gestion hydraulique est abandonnée, les

concentrations de sel des sols sont de 14 g/L après 5 ans contre 1,4 g/L lorsqu'elle est maintenue (Mesléard & Perennou, 1996)

Il y a des précédents de sansouires convertis en pelouses de graminées et en marais de chasse, écologiquement de valeurs bien plus faibles que la sansouire.

Pour convertir une surface de rizière ou de pré-concentration en sansouire favorable aux fauvettes à lunettes, des **mesures abiotiques : maintien du réseau de canaux existant, abandon de la gestion hydrologique et densification du maillage des lévadons, et des mesures biotiques : implantation de soude et arrachage de tamaris**, sont recommandées. Pour les sansouires existantes, la sensibilité de ces habitats proscrit toute intervention sinon la limitation des tamaris en ne favorisant pas la circulation d'eau dans les roubines et le maintien d'une pression de pâturage de bas niveau.

VII.3.3. Suivi

La restauration d'un milieu complexe est longue. Il faut environ cinq années pour observer une diversité botanique similaire à celle des sansouires environnant la zone restaurée. La colonisation des espèces vivaces n'est réellement significative qu'au bout de trois ans (Wolters *et al.*, 2008). La présence de zones de sansouires à proximité du site restaurée est essentielle car ses espèces botaniques dispersent leurs graines sur de faible distance. Cependant, le cortège botanique final de la parcelle restaurée est bien plus lié à la tolérance en sel des espèces qu'à l'importance relative des espèces de plantes environnantes (Wolters *et al.*, 2008).

VIII. CONCLUSION

La fauvette à lunettes est une espèce en danger mais méconnue. La réduction alarmante de son aire de répartition française pousse les gestionnaires d'espaces naturels à s'intéresser à cette espèce et à l'étiologie de son déclin. L'acquisition par le Conservatoire du Littoral de grandes zones d'habitats d'intérêt communautaire en Camargue pose la question de la gestion de ces écosystèmes modelés par les activités humaines passées et présentes.

C'est dans ce cadre que s'est inscrite cette étude sur l'écologie et l'impact des pratiques de gestion actuelles sur la fauvette à lunettes. Elle révèle que **les sansouires constituent un habitat plus favorable qu'on ne le pensait pour cette espèce** et donc des territoires d'autant plus essentiels pour sa conservation. Les cultures de lavandin, qui constituent le premier habitat de la population française, sont des terrains soumis à d'importantes mutations agricoles. La pérennité de cet habitat dépend de contraintes économiques liées à l'érosion de la consommation, à la saturation du marché des huiles essentielles bio, à la concurrence chinoise, aux aléas météorologiques de plus en plus fréquents et aux problèmes sanitaires (PPAM, 2010, Agence France Presse, 2011).

L'habitat camarguais des fauvettes à lunettes est constitué de végétation halophile haute associée à des variations de la microtopographie naturelle (montilles) ou anthropique (lévadons). L'aptitude de la végétation halophile à se reconstituer naturellement (en absence de gestion hydrique du milieu) et la possibilité technique de création de lévadons rendent réalisables la reconversion de surfaces de pré-concentration ou de rizières en faveur de cette espèce. Cette mise en relief favoriserait la croissance de plantes consommées par les herbivores domestiques (Graminées, obione). **La restauration écologique est donc compatible avec le pâturage extensif** d'autant qu'aucun effet délétère du pâturage sur la présence de fauvettes à lunettes n'a été mis en évidence. Ceci garantit une meilleure acceptation sociale en intégrant les pratiques pastorales traditionnelles de la Camargue.

La reconversion de ces surfaces en sansouire permet aussi la valorisation pour les intérêts cynégétiques qui sont prégnants en Camargue (Mathevet, 2004). En effet, les zones de baisses constituent des marais temporaires offrant des zones de remises ou d'alimentation pour les anatidés qui peuvent y être chassés à la passée ou à l'affût. Bien que les pratiques de chasse intensive au gibier d'eau en Camargue se traduisent souvent par des apports permanents d'eau douce (Mathevet, 2004), les longues périodes d'assèchement estival favorisent la flore d'assec et la flore amphibie (atriplex, renouées, scirpes, *Eleocharis, Echinochloa)* sur les berges de ces mares assurant le maintien d'une banque de graines qui contribue souvent davantage au régime alimentaire des canards que celles produites par les plantes vivaces submergées typiques des marais permanents (Mouronval & Baudouin, 2010). La création de légères dépressions, mises en eau naturellement par les précipitations, permet donc d'augmenter la valeur cynégétique et la biodiversité des sansouires restaurées sans atteinte au fonctionnement de cet écosystème sensible. Ce type de 'gestion chasse' est pratiqué sur une partie du domaine de la Tour du Valat et fait l'objet de certains projets de restauration actuellement en cours comme au domaine du Cassaïre (Mesléard, communication personnelle). Les parties plus terrestres des sansouires sont, pour leur part, favorables aux sangliers et aux lapins. Outre leur intérêt cynégétique, les lapins permettent d'éviter la fermeture des milieux en contrôlant les espèces ligneuses comme la filaire ou le tamaris (Mesléard *et al.*, 2011). La création de lévadons est particulièrement favorable à l'installation de garennes. Cependant, la colonisation par le lapin ne sera possible qu'une fois les problèmes sanitaires cunicoles dépassés

(myxomatose, maladie hémorragique du lapin). La chasse au lapin et au gibier d'eau pourrait donc constituer un autre un service écosystémique rendu par les surfaces converties en zones favorables aux fauvettes à lunettes. Si les dénombrements futures confortent l'importance de la Camargue pour la conservation de la fauvette à lunettes en France, on pourrait également imaginer une campagne de communication afin qu'elle soit valorisée comme une espèce emblématique comme complément d'une démarche de développement durable pour ce territoire.

Quant à la démoustication, elle n'influence pas le choix du site de nidification des fauvettes à lunettes. Son impact sur leur succès de reproduction n'est pas exclut compte tenu de ce qui est observé pour les hirondelles de fenêtre et les passereaux paludicoles.

La fauvette à lunettes est donc principalement menacée par la disparition de son habitat. Sa sélectivité d'habitat oblige les gestionnaires d'espaces naturels à être particulièrement vigilants à la fermeture des milieux et au surpâturage. Compte tenu de la faible population française et de sa dépendance à quelques milieux clés, la préservation des sansouires doit être une priorité.



BIBLIOGRAPHIE

Actualités News Environnement, 2006. *Démoustication avec le bio-insecticide* Bti *en camargue* [en ligne]. Disponible sur Internet, [http://www.actualites-news-environnement.com/20060601-bio-insecticide-Bti-camargue.php].

Affre G., 1974. Dénombrement et distribution géographique des Fauvettes du genre *Sylvia* dans une région du Midi de la France, I. - Méthode. *Alauda*, 42, 359-383.

Affre G., 1975. Dénombrement et distribution géographique des Fauvettes du genre *Sylvia* dans une région du Midi de la France, II. - Résultats. *Alauda*, 43, 229-262.

Agence France Presse, 2011. *Les producteurs de lavande retrouvent le moral après des années sombres* [en ligne]. Disponible sur Internet, [http://www.20minutes.fr/article/766802/producteurs-lavande-retrouvent-moral-apres-annees-sombres], [consulté le 08/11].

Álvarez-Rogel J., Martínez-Sánchez J., Blázquez L. & Semitiel C., 2006. A conceptual model of salt marsh plant distribution in coastal dunes of southeastern Spain. *Wetlands*, 26 (3), 703-717.

Alvarez Rogel J., Alcazar Ariza F. & Ortiz Silla R., 2000. Soil salinity and moisture gradients and plant zonation in Mediterranean salt marshes of Southeast Spain. *Wetlands*, 20 (2), 357-372.

Álvarez Rogel J., Ortiz Sillab R. & Alcaraz Ariza F., 2001. Edaphic characterization and soil ionic composition influencing plant zonation in a semiarid Mediterranean salt marsh *Geoderma*, 99 (1-2), 81-98.

Andresen H., Bakker J., Brongers M., Heydemann B. & Irmler U., 1990. Long-term changes of salt marsh communities by cattle grazing. *Plant Ecology*, 89 (2), 137-148.

Bailleul J., 2009. *Recensement et caractérisation d'habitat de la population nicheuse de Fauvette à lunettes sur la Zone de Protection Spéciale FR9312012 "Plateau de Valensole"*. PNR du Verdon.

Bissardon M., Guibal L. & Rameau J.-C., 1997. *Corine biotopes. Version originale. Types d'habitats français.* Nancy, Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts. 217 p.

Blondel J., Ferry C. & Frochot B., 1970. La méthode des indices ponctuels d'abondance (IPA) ou des relevés d'avifaune par « station d'écoute. *Alauda*, 38, 55-71.

Blondel J., 1972. Les vertébrés des « sansouires » de Camargue. *Bulletin de la Société d'Etudes des Sciences Naturelles de Nimes*, 52 p.

Blondel J., 1985. Niche shifts in Corsican birds. *In*: M. L. Cody (Ed.) *Habitat selection in birds*, 495 p.

Boscolo D., Jean Paul MetzgerI J. P. & Vielliard J. M. E., 2006. Efficiency of playback for assessing the occurrence of five bird species in Brazilian Atlantic Forest fragments *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78 (4), 629-644.

Breiman L., Friedman J. H., Olshen R. A. & Stone C. J., 1984. *Classification and regression trees*. Wadsworth, Monterey, California, U.S.A.

Carbonnel R., 2003. Curruca tomillera (*Sylvia conspicillata*). *In*: R. Marti and J.-C. Del Moral (Eds.), *Atlas de las aves reproductoras de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza-Sociedad Española de Ornitología, Madrid.

Chapman V. J., 1974. Salt Marshes and Salt Deserts of the World. *In*: R. J. Reimold and W. H. Queen (Eds.), *Ecology of Halophytes*. Academic Press, New York, pp. 3-19.

Clements J. F., Schulenberg T. S., Iliff M. J., Sullivan B. L. & Wood C. L., 2009. *The Clements checklist of birds of the world: Version 6.4.* Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, New York.

Conservatoire Du Littoral, 2008. *Fangassier - pèbre - bélugue, Eléments de connaissance pour la mise en place d'une gestion d'attente*. 1-33 p.

Cramps S., Brooks D. J., Dunn E., Gillmor R., Hall-Crages J., Hollom P. A. D., Nicholson E. M., Ogilvie M. A., Roselaar C. S., Sellar P. J., Simmons K. E. L., Snow D. W., Vincent D., Voous K. H., Wallace D. I. M. & Wilson M. G., 1992. Warblers. *In*: S. Cramps and D. J. Brooks (Eds.), *Birds of Europe, the Middle East and North Africa, The birds of the Western Paleartic*, Vol. VI. Oxford University Press, Oxford, New York, pp. 336-345.

Duarte J. & Vargas J., 2001. Survey methods for red-legged partridge (Alectoris rufa) in olive groves in southern Spain. *Game and Wildlife Science*, 18 (2), 141-156.

Dubois P. J., Le Maréchal P., Olioso G. & Yésou P., 2008. *Nouvel Inventaire des Oiseaux de France*, Editions Delachaux et Niestlé, 560 p.

Dupieux N., 2004. *Démarche d'harmonisation des protocoles de suivi scientifique des sites du programme Loire nature*. 15 p.

European Commission, 2007. *Interpretation manual of european union habitats*. DG Environment. 142 p.

Fayolle S. & Franquet E., 2009. *Mise en place d'un suivi écologique en parrallèle à des opérations de démoustication au Bti sur le périmètre du Parc Naturel Régional de Camargue, Diptères chironomidés et algues*. Marseille, Université Paul Cézanne, Institut Européen d'Ecologie et de Paléoécologie, UMR CNRS 6116., 45 p.

Fonderflick J., Julliard R. & Jiguet F., 2006. *Suivi de la faune : méthodes de dénombrement des oiseaux* [en ligne]. Disponible sur Internet, [http://agentdeterrain.espaces-naturels.fr/node/34]].

Gilot F. & Rousseau E., 2008. La fauvette à lunettes *Sylvia conspicillata*, en France : répartition, effectifs et évolution. *Alauda*, 76 (1), 47-58.

Glutz von Blotzheim U. N. & Bauer K. M., 1991. *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden.

Groupe Chiroptères de Provence, 2009. *Etude de l'influence du Bti sur les populations de chiroptères dans le cadre des campagnes de démoustication en Camargue, Rapport final février 2009*. 15 p.

Guerrieri G. & Santucci B., 1996. Habitat et reproduction de la Fauvette à lunettes, Sylvia conspicillata en Italie centrale. *Alauda*, 64 (1), 17-30.

Guillet F., 2011. *Construction et mise en oeuvre de la stratégie d'action dans les ONGE: l'exemple de la Tour du Valat, Cours du Master spécialisé FNS*. Montpellier, AgroParisTech.

He Q., Cui B., Cai Y., Deng J., Sun T. & Yang Z., 2009. What confines an annual plant to two separate zones along coastal topographic gradients? *Hydrobiologia*, 630 (1), 327-340.

Hill T. & Lewicki P., 2007. *STATISTICS Methods and Applications* StatSoft, Tulsa, OK, USA.

Hodar J. A., 1994. La alimentación de *Sylvia undata* y *Sylvia conspicillata* en una zona semiarida del Sureste peninsular. *Ardeola*, 41 (1), 55-58.

Hudin S., 2002. *Ecologie de la conservation des écosystèmes halopjiles de Camargue, en particulier des sansouïres.*, Paris-Sud (XI), Paris, 259 p.

Huret Q., 2009. *Répartition et sélection de l'habitat de la Fauvette à Lunettes - Rapport de stage à la Tour du Valat*. Toulouse, Université Paul Sabatier. 46 p.

Isenmann P., 1992. Migration of the ortolan bunting Emberiza hortulana through the Camargue (Mediterranean France). *Alauda*, 60 (2), 109-111.

Isenmann P., 1995. Fauvette à lunettes *Sylvia conspicillata*. *In*: D. Yeatman-Berthelot (Ed.) *Nouvel Atlas des Oiseaux Nicheurs de France 1985-1989*, Paris, pp. 564-565.

Jakob C., 2009. *Résultats du suivi écologique en parallèle à des opérations de démoustication au* Bti *sur le périmètre du Parc Naturel Régional de Camargue, Partie Odonates*. Arles, Parc Naturel Régional de Camargue. 7 p.

Jakob C., Ponce-Boutin F., Besnard A. & Eraud C., 2010. On the efficiency of using song playback during call count surveys of Red-legged partridges (Alectoris rufa). *European Journal of Wildlife Research*, 56 (6), 907-913.

Jensen A., 1985. The effect of cattle and sheep grazing on salt-marsh vegetation at Skallingen, Denmark. *Plant Ecology*, 60 (1), 37-48.

Johnson R. R., Brown B. T., Haight L. T. & Simpson J. M., 1981. Playback recording as a special avian censusing technique. *In*: C. J. Ralph and J. M. Scott (Eds.), *Estimating the numbers of terrestrial birds*, Vol. 6. Studies in Avian Biology, pp. 68-75.

Koneff M. D., Royle J. A., Otto M. C., Wortham J. S. & Bidwell J. K., 2008. A Double Observer Method to Estimate Detection Rate During Aerial Waterfowl Surveys. *The Journal of Wildlife Management*, 72 (7), 1641-1649.

Kubel J. E. & Yahner R. H., 2007. Detection probability of Golden winged Warblers during point counts with and without playback recordings. *Journal of Field Ornithology*, 78 (2), 195-205.

Loh W. Y., 2008. Classification and regression tree methods. *In*: Ruggeri, Kenett and Faltin (Eds.), *Encyclopedia of Statistics in Quality and Reliability*. Wiley, pp. 315-323.

Mesléard F., Grillas P. & Lepart J., 1991. Plant community succession in a coastal wetland after abandonment of cultivation: the example of the Rhone delta. *Plant Ecology*, 94 (1), 35-45.

Mesléard F. & Perennou C., 1996. *Aquatic emergent vegetation, Ecology and Management*. Conservation of Mediterannean Wetlands, Vol. 6. Tour du Valat, Arles (France), 86 p.

Mesléard F., Mauchamp A., Pineau O. & Dutoit T., 2011. Rabbits are More Effective than Cattle for Limiting Shrub Colonization in Mediterranean Xero-Halophytic Meadows. *Ecoscience*, 18 (1), 37-41.

Moore J. E., Scheiman D. M., Swihart R. K. & Murphy M., 2004. Field comparison of removal and modified double-observer modeling for estimating detectability and abundance of birds. *Auk*, 121 (3), 865-876.

Nichols J. D., Hines J. E., Sauer J. R., Fallon F. W., Fallon J. E. & Heglund P. J., 2000. A double-observer approach for estimating detection probability and abundance from point counts. *Auk*, 117 (2), 393-408.

Noguerra M., 2004. Tallaros trencamates (*Sylvia conspicillata*). *In*: J. Estrada, V. Pedrocchi, L. Brotons and S. Herrando (Eds.), *Atlas dels ocells nidnificants de Catalunya*. Institut Catala d'Ornitologia, Barcelona.

Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage, 2004. *Protocole de comptage en battue des perdrix grises*. 6 p.

Parc Naturel Régional de Camargue, 2003. *Glosssaire* [en ligne]. Disponible sur Internet, [http://www.parc-camargue.fr/Francais/gloss.php], [consulté le 16/08/11].

Pepin D. & Birkan M., 1981. Comparative total-and strip-census estimates of hares and partridges. *Acta Oecologica*, 2, 151-160.

Piernik A., 2003. Inland halophilous vegetation as indicator of soil salinity. *Basic and Applied Ecology*, 4 (6), 525-536.

Pollock K. H., 1981. Capture-recapture models: a review of current methods, assumptions, and experimental design. *Studies in avian biology*, 6, 426-435.

Pomeroy D. & Walsh F., 2002. A European endemic warbler under threat? Population changes in Sylvia warblers on the island of Cyprus. *Oryx*, 36 (4), 342-348.

Poulin B., Lefebvre G. & Paz L., 2010a. Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47 (4), 884-889.

Poulin B., Lefebvre G., Duborper E. & Paz L., 2010b. *Résultats du suivi de l'impact potentiel des traitements au* Bti *sur les invertébrés paludicoles et les hirondelles des fenêtres en Camargue pour la période 2006-2009*. Arles, La Tour du Valat. 20 p.

Conseil spécialisé PPAM, 2010. *Séance du 22 juin 2010, Conjoncture des marchés de la filière PPAM.*, FranceAgriMer Etablissement Nationale des Produits de l'Agriculture et de la Mer.

Pueyo Y., Alados C. L., Garcia-Avila B., Kéfi S., Maestro M. & Rietkerk M., 2009. Comparing Direct Abiotic Amelioration and Facilitation as Tools for Restoration of Semiarid Grasslands. *Restoration Ecology*, 17 (6), 908-916.

Quang P. X. & Becker E. F., 1997. Combining line transect and double count sampling techniques for aerial surveys. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 230-242.

Rocamora G. & Yeatman-Berthelot D., 1999. *Oiseaux menacés et à surveiller en France*. Société d'Etudes Ornithologiques de France, Ligue pour la Protection des Oiseaux., Paris, 560 p.

Sachs M., Sinnott J. & Hienz R., 1978. Behavioral and physiological studies of hearing in birds. *Federation Proceedings*, 37(10), 2329-2335.

Sanderson F., Donald P., Pain D., Burfield I. & Vanbommel F., 2006. Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biological Conservation*, 131 (1), 93-105.

Scherrer B., 1984. *Biostatistique*. Gaëtan Morin, Chicoutimi, Québec, Canada, 850 p.

Shachak M., Sachs M. & Moshe I., 1998. Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1 (5), 475-483.

Silvestri S., Marani M. & Marani A., 2003. Hyperspectral remote sensing of salt marsh vegetation, morphology and soil topography. *Physics and Chemistry of the Earth*, 28 15-25.

Sliwa A. & Sherry T. W., 1992. Surveying wintering warbler populations in Jamaica: point counts with and without broadcast vocalizations. *The Condor*, 94 (4), 924-936.

Snyman H., 2003. Revegetation of bare patches in a semi-arid rangeland of South Africa: an evaluation of various techniques. *Journal of arid environments*, 55 (3), 417-432.

Tessier M., Gloaguen J. C. & Bouchard V., 2002. The role of spatio temporal heterogeneity in the establishment and maintenance of Suaeda maritima in salt marshes. *Journal of Vegetation Science*, 13 (1), 115-122.

Turner M. G., 1987. Effects of grazing by feral horses, clipping, trampling, and burning on a Georgia salt marsh. *Estuaries and Coasts*, 10 (1), 54-60.

Union Internationale pour la Conservation de la Nature, Muséum National d'Histoire Naturelle, Ligue de Protection des Oiseaux, Société d'études ornithologiques de France & Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage., 2008. *La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux nicheurs de France métropolitaine* [en ligne]. Disponible sur Internet, [http://www.uicn.fr/Liste-rouge-oiseaux-nicheurs.html].

Uster D., 2009. *Eléments de méthodologie pour la mise en place de mesures en faveur de l'avifaune*. Nancy, AgroParisTech. 80 p.

Vesin A., 2006. *Arbres de décision* [en ligne]. Grenoble, Université Joseph Fourier. Disponible sur Internet, [http://www2.ujf-grenoble.fr/medecine/iab/clientzone/labo3/equipe37/fichiers/Arbres%20de%20decision.pdf], [consulté le 18/07].

Wolters M., Garbutt A., Bekker R. M., Bakker J. P. & Carey P. D., 2008. Restoration of salt marsh vegetation in relation to site suitability, species pool and dispersal traits. *Journal of Applied Ecology*, 45 (3), 904-912.

Yapp W. B., 1956. The theory of line transects. *Bird study*, 3 (2), 93-104.

CREDIT PHOTOGRAPHIQUE : Samuel Thévenet (sauf mention contraire).

Annexes

Annexe I : Numérotation des espèces botaniques échantillonnées

Nom vernaculaire	Nom Latin	Numéro
Sol nu		1
Salicorne buisson	*Sarcocornia fruticosa*	2
Salicorne glauque	*Arthrocnemum macrostachyum*	3
Salicorne vivace	*Sarcocornia perennis*	4
Végétation morte		5
Graminées	*Poaceae*	6
Chiendent	*Cynodon spp.*	7
Jonc maritime et jonc piquant	*Juncus maritimus* et *Juncus acutus*	8
Soude en buisson	*Suaeda vera*	9
Saladelle	*Limonium vulgare*	10
Tamaris	*Tamarix gallica*	11
Filaire	*Phillyrea angustifolia*	12
Obione	*Halimione portulacoides*	13
Chardon d'Espagne	*Scolymus hispanicus*	14
Germandrée des rochers	*Teucrium polium* subsp. *aureum*	15
Soude maritime	*Suaeda maritima*	16

Annexe II : Régression des distances maximales de détection des fauvettes à lunettes grâce aux valeurs de l'écart entre direction du vent et direction du transect

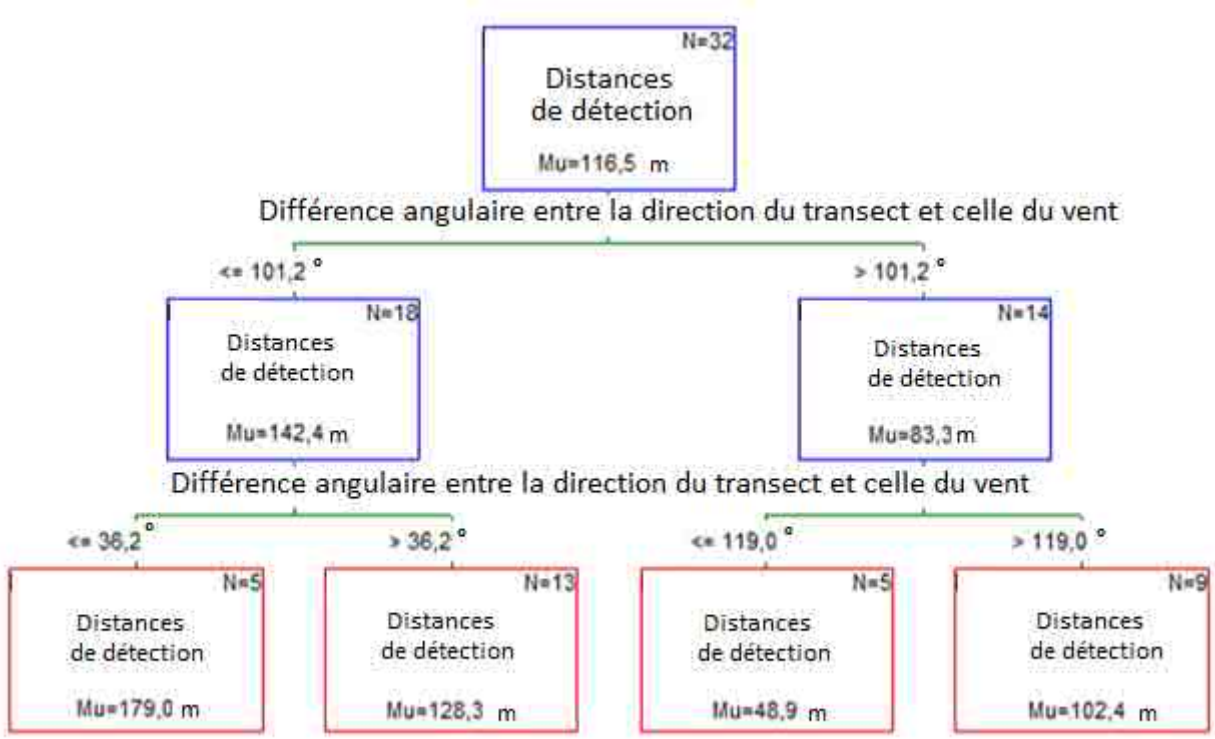


Diagramme de l'arbre réalisé par régression des distances maximales de détection des fauvettes par les variables météorologiques[4]

Rapport de la variance intra-classe à la variance totale (en pourcentage) après la régression réalisée par l'arbre de la variable dépendante « Max ».

	Variance intra-classe / Variance totale
Echantillon d'apprentissage	62,4 %
Echantillon de validation	97,93 %

[4] Mu est la moyenne des valeurs de distance de détection classées dans chacun des rectangles du diagramme.

Annexe III : Corrélation entre les variables botaniques

Afin de comprendre les éventuelles relations entre les variables, les questions auxquelles nous souhaitions répondre étaient les suivantes :

- D'après les observations de terrain, la soude en buisson était souvent retrouvée sur des zones de montilles où des graminées sont présentes, est-ce le cas ?
- Y a-t-il des variables botaniques corrélées à nos meilleurs prédicteurs, HP3, HP2 et D haie ?

L'analyse de ces liens de dépendance a été effectuée par l'utilisation de Modèles Linéaires Généraux sur les variables de recouvrement (R) et de hauteur pondérée (HP) des différentes espèces botaniques.

Corrélations entre certaines variables de végétation et les autres variables botaniques[5]

Existence d'une corrélation	R de soude en buisson	Distance à la haie	HP Salicorne glauque	HP Salicorne en buisson
R Sol nu	_ *			
HP Saladelle	+ ***	_ *		+ *
R Saladelle	+ *			
R Salicorne glauque		+ **		_ ***
R Salicorne vivace			+ *	
HP Salicorne vivace			+ **	
HP Salicorne en buisson		_ ***		
R Jonc			_ *	+ ***
HP Jonc		_ *	_ **	+ **
R Tamaris				+ *
HP Tamaris		_ *		+ *
R Graminées				_ *
HP Obione				+ **

[5] Le signe « + » ou « - » renseigne sur le sens de la corrélation. Le nombre d'astérisque renseigne sur le niveau de significativité (* = p < 0,05 ; ** = p < 0,01 ; *** = p < 0,001)