

RAPPORT DE STAGE

Conservation de la Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) en Camargue

IDENTIFICATION DE MESURES DE GESTION
FAVORABLES A SA REPRODUCTION

AVRIL - AOUT 2019

Xabi DARTHAYETTE

M1 IEGB

Encadré par

► Cécile MONCOURTOIS

Parc Naturel Régional de Camargue,
Mas du pont de Rousty, 13200 Arles

► Jocelyn CHAMPAGNON

Tour du Valat, Le Sambuc, 13200 Arles



REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier Cécile Moncourtois et Jocelyn Champagnon pour le temps qu'ils ont consacré à l'encadrement et au suivi de mon stage, ainsi qu'à la relecture de ce rapport. Merci pour votre aide, vos conseils et remarques.

Un grand merci à Karsten Schmale pour son soutien et ses conseils qui m'accompagnent depuis plusieurs années dans mon cursus.

Je remercie également Léo Bacon, Sébastien Puechmaille, Manon Hess et David Vallecillo pour avoir répondu à mes questions de statistiques. Je tiens aussi à remercier Philippe Isenmann, Christophe Germain et Yves Kayser pour leur aide dans le géoréférencement et la cartographie des données. Merci à Julien Birard pour le peu de terrain que j'ai fait avec lui, et pour son professionnalisme, sa bonne humeur, pour le partage de ses connaissances et son humilité.

Et surtout, merci David (grand futur prodige freestyler) pour ta joie de vivre, et ton enthousiasme, et Manon pour ton aide très cordiale. Merci à tous les stagiaires et résidents de la Tour du Valat pour avoir rendu ces 5 mois inoubliables : Benoit (L'avenir du kite français), Morgane, Pierre (grand futur thésard : Contacte moi pour un futur stage !), Mathilde (l'adversaire Belge), Ben (le bagarreur alpha qui n'a rien lâché), Louisiane (qui prendra soin du bagarreur alpha), Aésane (la cow-boy au volant de son pickup qui aimait les cistudes), Paul le Grand, David (le voisin de bureau), Mathilde ©, Flo, Nathan (bichette), Tamara, Carole, Katia, Mohammèd, Pelayo, le renard, Audrey, Ana, Thomas, Eleonora, Prudence, Tawhid, y Daniel.

Sommaire

REMERCIEMENTS	
PREAMBULE.....	1
I- INTRODUCTION	3
1) Du constat d'un déclin de la biodiversité à sa conservation.....	3
2) Pourquoi conserver la Glaréole à collier en Camargue?	4
a) La Glaréole à collier : Répartition mondiale et tendances des effectifs, vulnérabilité et aspect réglementaire	4
b) Les valeurs de la Glaréole, et les enjeux liés à son habitat en Camargue.....	5
3) Perspectives de conservation après 19 ans de suivi de la population reproductrice de Glaréole à collier en Camargue	6
a) Réalisation du suivi et caractéristiques de la reproduction de l'espèce	6
b) Identifier les besoins écologiques de l'espèce pour définir des mesures de gestion pour sa conservation.....	7
II- MATERIEL ET METHODE	8
1) Données de reproduction	8
2) Dynamique d'installation des colonies.....	9
a) Données d'occupation du sol	10
b) Covariables intrinsèques à l'espèce	11
c) Construction du modèle et méthode statistique	12
3) Succès de reproduction des colonies	13
a) Choix des variables et sources des données.....	13
b) Construction du modèle et méthode statistique	13
III- RESULTATS	14
1) Dynamique d'installation des colonies.....	14
2) Succès de reproduction des colonies	15
IV- Discussion	17
1) Sélection de l'habitat de nidification	17
2) Succès de reproduction des colonies	19
V- Conclusion :.....	20
Bibliographie.....	
Annexes.....	

PREAMBULE

Le suivi de reproduction de la population de Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) en Camargue et ses environs a été initié en 2000 par le Conservatoire d'Espaces Naturels de PACA (CEN PACA, anciennement Conservatoire-Etude des Ecosystèmes de PACA ou CEEP), en collaboration avec le Parc naturel régional de camargue (PNRC). Ce partenariat avait été formalisé par la signature de conventions annuelles entre le CEN PACA et le PNRC de 2006 à 2010. Ce suivi scientifique a été poursuivi en 2011 par la Tour du Valat, et financé en partie durant 3 années jusqu'en 2013 par la DREAL PACA dans le cadre du Plan Régional d'Action (PRA) de la Glaréole à collier. Le PNRC a également participé financièrement au suivi depuis 2012, et a permis de mener des actions de conservation, par la sensibilisation des acteurs et des propriétaires locaux sur la valeur patrimoniale de l'espèce.

Aujourd'hui, le suivi est réalisé par la Tour du Valat dans le cadre de l'animation du site Natura 2000 « Camargue », portée par le PNRC. C'est dans ce contexte qu'un stage pour la conservation de la Glaréole à collier en Camargue a été proposé par le PNRC en partenariat avec la Tour du Valat.

L'encadrement est donc assuré par :

- **Cécile Moncourtois**, chargée de mission Natura 2000 au sein du pôle « Biodiversité et patrimoine naturel » du **Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC)** ;
- **Jocelyn Champagnon**, chargé de recherche au sein de l'équipe « Conservation des espèces » à la **Tour du Valat**, institut de recherche pour la conservation des zones humides méditerranéennes.

Le **PNRC** est le 3^{ème} Parc Naturel Régional (PNR) créée en France, et voit officiellement le jour en septembre 1970. Un PNR est un établissement public administratif, géré par un syndicat mixte. Il s'organise autour d'un projet concerté de développement durable fondé sur la protection et la valorisation du patrimoine naturel, culturel et humain de son territoire. Ce projet est concrétisé pendant 12 ans au travers d'un document contractuel appelé charte du Parc. En Camargue, le territoire du PNRC est situé à l'intérieur du delta du Rhône, principalement entre les deux bras du fleuve ainsi que sur le Plan du Bourg, secteur à l'Est du Grand Rhône, s'étendant sur 100 000 ha et 3 communes (Arles, Les Saintes-Maries-de-la-Mer, Port-Saint-Louis-du-Rhône). Les nombreux inventaires et classements (Réserve de Biosphère, Site

Ramsar, Sites Natura 2000...) reconnaissent dans le PNRC, des patrimoines naturels et culturels remarquables et un territoire d'exception soumis à de fortes pressions.

L'équipe du PNRC d'une quarantaine de techniciens et de chargés de mission est structurée en 6 pôles, permettant la réalisation des projets de protection et de développement du territoire :

La **Tour du Valat** créée en 1954 par Luc Hoffman, est un institut privé de recherche situé au cœur de la Camargue. Juridiquement, la structure est une fondation à but non lucratif, reconnue d'utilité publique. La Tour du Valat est constituée d'environ 80 salariés, dont une équipe scientifique d'une quarantaine de spécialistes (chercheurs, ingénieurs, techniciens). Convaincue que les zones humides ne pourront être préservées que si les activités humaines sont intégrées à la protection de la nature, la Tour du Valat développe des programmes de recherche et de gestion intégrée au travers de 3 équipes scientifiques :

- le département Conservation des espèces ;
- le département Modélisation, gestion et restauration des écosystèmes ;
- le département Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes.

Ces équipes ont pour objectif de comprendre le fonctionnement des zones humides et de tester des modes de gestion adaptés aux enjeux et particularités de la Camargue.

Le domaine de la Tour du Valat s'étend sur un environnement naturel préservé, sur 2921 hectares dont 1845 hectares sont classés en Réserve Naturelle Régionale. Au-delà de son rôle de conservation de la biodiversité, c'est un site privilégié pour mener des recherches, tester et développer des activités agricoles ou cynégétiques compatibles avec le maintien de la biodiversité.

Je réalise ce stage pour la conservation de la Glaréole à collier en Camargue dans le cadre de ma première année de Master d'Ingénierie en Ecologie et en Gestion de la Biodiversité (IEGB), du 1^{er} Avril au 30 Août 2019. Basé en alternance entre la **Tour du Valat** et le **Parc Naturel Régional de Camargue**, le travail que je réalise durant ces 5 mois de stage se base sur le suivi scientifique assuré par le CEN PACA et la Tour du Valat depuis ces 20 dernières années, en collaboration avec le PNRC.

L'encadrement de ce stage par ces deux structures permet de faire un lien entre la connaissance scientifique d'une part, et la connaissance juridique et administrative des politiques de l'environnement d'autre part. Ce lien entre la Tour du Valat et le PNRC repose sur la nécessité de répondre aux enjeux de gestion et de conservation de la Glaréole à collier en Camargue.

I- INTRODUCTION

1) Du constat d'un déclin de la biodiversité à sa conservation

La biodiversité est définie dans la Convention sur la diversité biologique (1992) comme la variabilité des organismes vivant comprenant la diversité intra- et inter-spécifique, ainsi que celle des écosystèmes. La biodiversité est donc structurée en différents niveaux d'organisation considérant la diversité à l'échelle des gènes, des populations, des espèces, des communautés, des écosystèmes ou de la biosphère (Purvis, Hector, 2000 ; Schmeller et al., 2018).

Quels que soient les niveaux d'organisation considérés, un déclin de leur diversité est constaté, et les principales causes sont la fragmentation et la perte des habitats, notamment par un changement de l'utilisation des sols pour l'agriculture (Laurans, Rankovic, 2019 ; Godet, Devictor, 2018). Dès le début des années 1980, une part importante de la communauté scientifique prend conscience de ce déclin anormal de la biodiversité et c'est alors que la biologie ou l'écologie de la conservation a émergé (Soule, 1985). Cette discipline vise à apporter des concepts et des méthodes de différentes disciplines en écologie pour développer des outils de gestion et de conservation de la biodiversité (Godet, Devictor, 2018). Elle s'inspire aussi des principes des sciences économiques, sociales, et de la philosophie (Berry et al., 2018).

En effet, certaines questions de l'ordre éthique peuvent se poser. Pourquoi conserver ? Quelles valeurs doit-on donner à la biodiversité ? Quel niveau de la biodiversité doit-on conserver ? Quelles espèces, quels écosystèmes ? Pour qui ? Tout d'abord, il est nécessaire de préciser que la conservation est à considérer dans le sens anglo-saxon du terme, il s'agit donc de conserver la biodiversité sans exclure l'Homme de la nature, en l'intégrant aux processus naturels. Il semblerait qu'aujourd'hui différentes perceptions des valeurs de la biodiversité s'opposent et peuvent se compléter, impliquant de nombreux débats sur les stratégies et les enjeux de conservation (Berry et al., 2018). Par exemple, on peut considérer que la biodiversité a une valeur en tant que telle, une valeur intrinsèque. Cette valeur morale est indépendante des intérêts humains et dans ce cadre, toute la diversité de la vie sur terre doit être protégée. (Berry et al., 2018). Vient ensuite la perception d'une valeur patrimoniale. Cette valeur culturelle, identitaire ou historique de la biodiversité, fait de certaines espèces ou écosystèmes un patrimoine à conserver pour les générations futures (Born et al., 2018). Enfin, la valeur instrumentale ou utilitaire de la biodiversité est une perception plus anthropocentrée et s'attache aux services que l'Homme peut tirer du vivant. Elle est fondée sur la notion de services écosystémiques. Il s'agit alors de conserver ce qui est utile à l'Homme (García-Llorente, 2018).

2) Pourquoi conserver la Glaréole à collier en Camargue?

Pour conserver la biodiversité, une approche consiste à adopter une démarche centrée sur les espèces, bien qu'elle soit discutée et confrontée à une démarche « habitats » (Franklin, 1993). Malgré tout, les suivis de populations d'espèces sont souvent initiés dans des objectifs de conservation et, dans un contexte où les financements de tels projets sont restreints, il est important de se demander pourquoi conserver une espèce ou une population plutôt qu'une autre. Il s'agit alors d'évaluer l'état de conservation et la vulnérabilité de l'espèce au niveau mondial, ainsi que ses valeurs et les enjeux qui lui sont liés à plus petite échelle géographique.

- a) La Glaréole à collier : Répartition mondiale et tendances des effectifs, vulnérabilité et aspect réglementaire

La Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) fait partie des 7 espèces de Glaréoles (genre *Glareola*) qui composent la famille des *Glareolidae*, elle-même faisant partie de l'ordre des *Charadriiformes* (383 espèces). La Glaréole à collier est représentée par deux sous-espèces, *G. p. pratincola* et *G. p. fuelleborni* (Gill, Donsker, 2019). La première occupe une aire de reproduction morcelée entourant le bassin méditerranéen et s'étendant en Asie jusqu'au Kazakhstan et Pakistan, et la deuxième sous-espèce se reproduit en Afrique subsaharienne. La sous-espèce nominale de Glaréole à collier est migratrice et hiverne au sud du Sahara jusqu'à la côte de l'océan indien (cf. Figure 1). Les connaissances sur les effectifs de Glaréole à collier dans le monde sont insuffisantes. Ils sont grossièrement estimés entre 165 000 et 600 000 individus, depuis les années 1990 (Wetlands International, 2019). En Europe une estimation plus précise et récente du nombre de couples reproducteurs révèle une population reproductrice de 7 800 à 14 900 couples entre les années 2000 et 2012. Les principaux noyaux de reproduction connus en Europe sont situés en Espagne (2 692 couples), Portugal, (500-1 000 couples), Grèce (500-800 couples), Roumanie (500-800 couples), Turquie (1 500-3 000 couples), Azerbaïdjan (500-3 000 couples) et Russie (1 000-1 500 couples) (BirdLife International, 2015). En France, l'unique population reproductrice se situe en Camargue et ses effectifs sont compris entre 37 et 127 couples depuis les années 2000 (Kayser, 2018). Ces faibles effectifs nationaux sont le reflet de la position de la France en limite d'aire de répartition de l'espèce.

A l'échelle mondiale, les effectifs sont en diminution entre 1990 et 2000, bien que les populations d'Asie et du nord de l'Afrique soient considérées comme stables. Les tendances des populations subsaharienne sont inconnues (Wetlands International, 2019). Cette diminution des effectifs mondiaux est surtout due au déclin de certaines populations européennes entre 1980 et 2012 (BirdLife International, 2015). Selon les critères de l'UICN, l'aire de répartition

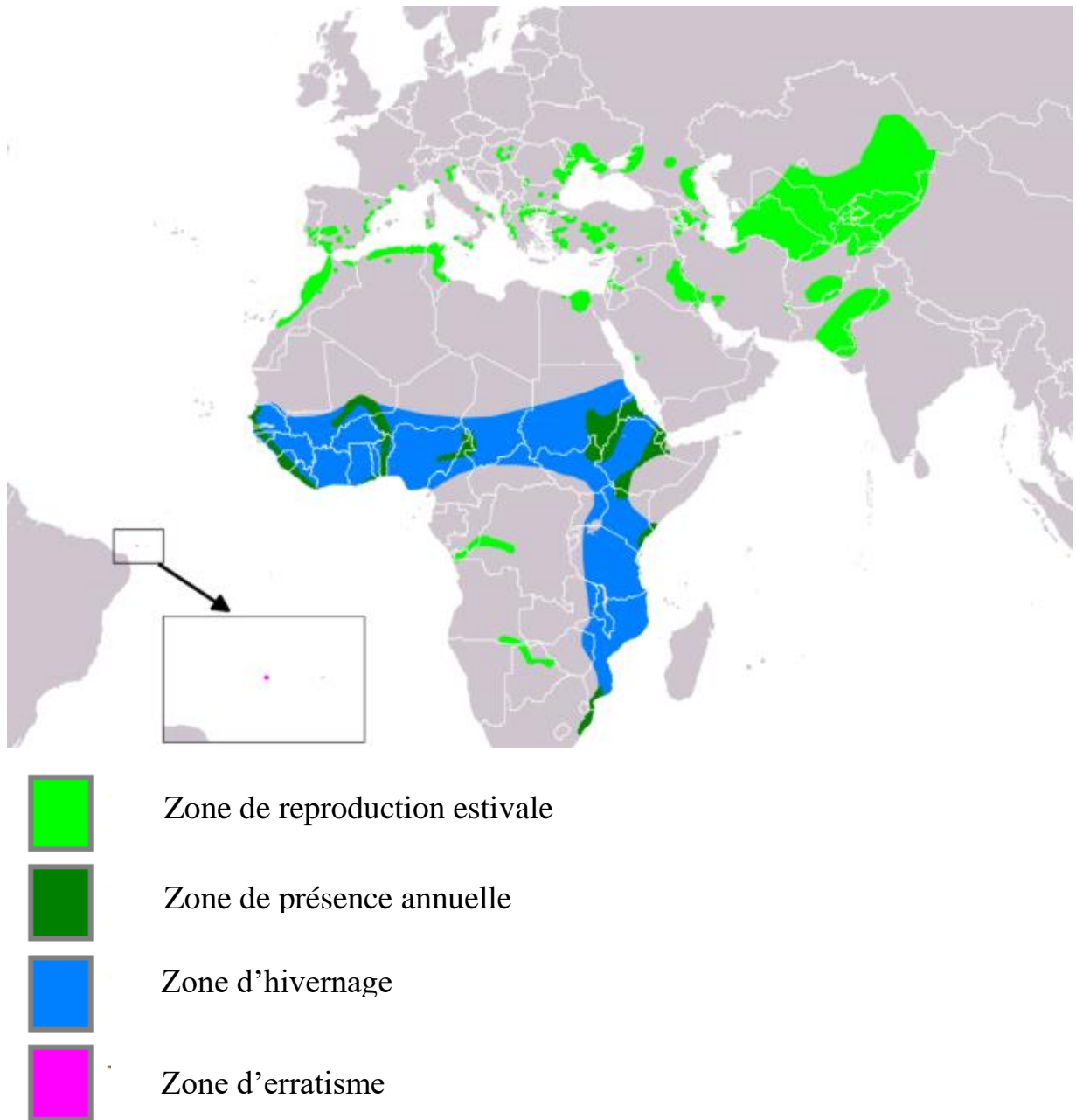


Figure 1. Carte de répartition mondiale de la Glaréole à collier (*Glaucopis pratincola*). (BirdLife International, 2016)

de la Glaréole à collier est trop vaste et le déclin des effectifs ne semble pas être suffisamment rapide pour considérer l'espèce comme vulnérable. Elle est donc classée dans la catégorie préoccupation mineure (LC) dans le monde et en Europe.

En France, l'unique population semble stable depuis les années 2000, oscillant entre 37 et 127 couples reproducteurs. Malgré cette stabilité apparente, la population française ne serait pas viable si elle était déconnectée des populations sources européennes. En effet, Vincent-Martin (2007) a estimé qu'un jeune par couple était nécessaire pour que la population se maintienne sans phénomène d'immigration, alors que le succès de reproduction observé est dans la plupart des cas inférieur (Kayser, 2018 ; Vincent-Martin, 2007). La population française de l'espèce est donc très fragile et de par sa petite taille, considérée en danger (EN) dans la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine (Muséum national d'Histoire naturelle (éd.), 2016).

D'un point de vue réglementaire, la Glaréole à collier est une espèce CITES et considérée d'intérêt communautaire, étant inscrite dans l'annexe I de la Directive oiseaux. Elle est aussi inscrite dans l'annexe II de la convention de Berne et dans la convention de Bonn, à l'échelle mondiale. Au niveau national, l'espèce est aussi protégée par l'arrêté ministériel du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. En plus de ce cadre réglementaire et de la vulnérabilité de l'espèce en France, il est nécessaire de prendre en compte ses valeurs et les enjeux locaux liés à cet oiseau, qui justifient les efforts de conservation de l'espèce en Camargue.

b) Les valeurs de la Glaréole, et les enjeux liés à son habitat en Camargue

Dans le monde, la Glaréole à collier se reproduit dans les zones deltaïques, de lagunes, de marais, ainsi que dans les steppes semi-désertiques. Plus précisément, l'espèce semble adaptée à des milieux instables tels que les zones humides méditerranéennes (BirdLife International, 2017 ; Cramp, Simmons, 1983 ; del Hoyo et al., 1996). En Camargue, delta du Rhône, la reproduction de la Glaréole a été documentée pour la première fois en 1937, et l'espèce était déjà connue en 1844 sur le littoral méditerranéen français (Vincent-Martin, 2007). On pourrait raisonnablement penser qu'une population était déjà présente avant le XIX^{ème} siècle en Camargue, en raison des habitats favorables rencontrés sur le delta. On perçoit ici une valeur patrimoniale de la Glaréole en Camargue, par sa présence historique et identitaire, elle fait donc partie d'un patrimoine à conserver.

Par ailleurs, de nombreux enjeux de conservation de la Glaréole peuvent être identifiés en Camargue, principalement liés à son habitat. Depuis l'endiguement du Rhône, une forte

artificialisation de cette zone humide par les pratiques humaines est constatée. La gestion de l'eau pour l'agriculture et la chasse ont perturbé sa dynamique naturelle (mises en eau artificielles souvent précoces), et l'exploitation déraisonnée des ressources (mises en cultures intensives, exploitation des roselières) entraîne une dégradation des habitats en général. Ces perturbations pourraient avoir un effet négatif sur l'abondance des ressources alimentaires (insectes) de la Glaréole, et constituer une menace pour de nombreuses autres espèces adaptées aux zones humides (Perennou, 2009 ; Galewski, Devictor, 2016).

Mais le principal enjeu pour la conservation de la Glaréole est lié à son habitat de nidification qui correspond à des milieux arides et ouverts à végétation rase (Calvo, Furness, 1995 ; Nankinov et al., 2002 ; Vincent-Martin, 2007). En effet, l'exigence de l'espèce pour ce type de parcelle de nidification, et le développement de l'agriculture au détriment des milieux naturels semble fidéliser la Glaréole à des parcelles agricoles telles que les labours (Kayser, 2018). Les colonies qui se forment dès fin avril, et les premières pontes qui sont déposées autour du 10 mai sur les labours sont alors particulièrement vulnérables face aux pratiques agricoles qui ont lieu au printemps (mise en eau des rizières, mise en culture, travaux agricoles...).

3) Perspectives de conservation après 19 ans de suivi de la population reproductrice de Glaréole à collier en Camargue

Le suivi à long terme de la population camarguaise a été initié en 2000, afin d'améliorer les connaissances sur la reproduction de l'espèce en Camargue (tendances des effectifs de la population, causes d'échecs de reproduction...), nécessaires à la mise en place de stratégies de conservation et de gestion efficaces.

a) Réalisation du suivi et caractéristiques de la reproduction de l'espèce

Le suivi de reproduction de la population est basé sur le protocole proposé par Nicolas Vincent-Martin en 2007, à la suite de son travail (diplôme EPHE) réalisé entre 2000 et 2003 sur la Glaréole à collier en Camargue (Vincent-Martin, 2007). Il propose une méthode de prospection des colonies et de recensement des effectifs reproducteurs, tenant compte de la phénologie l'espèce (Cf. Annexe 1).

Chaque année, la première phase du suivi consiste à détecter les colonies de Glaréoles par prospection sur le territoire de la Camargue et ses alentours. La Glaréole à collier est un oiseau migrateur qui hiverne en Afrique sub-saharienne et qui gagne les zones de reproduction à partir du printemps. En France, les individus reproducteurs arrivent de migration pré-nuptiale en avril et les couples se forment puis s'installent en colonies à partir du mois de mai sur les

sites de nidification. Un site de nidification (aussi appelé site de reproduction) correspond à une zone d'habitat homogène abritant une colonie, caractérisé par la présence d'œufs pondus, que l'on appellera aussi parcelle de nidification. Cette première phase de suivi consistant à rechercher des colonies par prospection s'avère importante, car les Glaréoles colonisent régulièrement de nouveaux sites de reproduction.

La deuxième phase du suivi consiste à évaluer le succès de reproduction des colonies. Après deux à trois œufs pondus à même le sol sur les sites de nidification, l'incubation est assurée par les deux parents pendant 18 jours jusqu'à l'éclosion de poussins nidifuges (Bertolero, Martinez Vilalta, 1998 ; Vincent-Martin, 2007). Lors de cette deuxième phase de suivi, il s'agit alors de dénombrer par recensement à distance, les couples en couvaision, les couples en élevage de poussins et le nombre de poussins.

- b) Identifier les besoins écologiques de l'espèce pour définir des mesures de gestion pour sa conservation

Après 19 ans de suivi, l'état de conservation de la population française de Glaréole ne semble pas s'être amélioré et les succès de reproduction estimés ne semblent pas augmenter (Kayser, 2018). Les principaux enjeux et menaces identifiés précédemment, concernent les habitats des Glaréoles, et en particulier ceux qui subissent de fortes pressions anthropiques. Il semblerait que depuis plusieurs années, les colonies s'installent davantage sur des parcelles agricoles dans lesquelles les interventions humaines peuvent compromettre la reproduction des Glaréoles. Face à ces enjeux, des outils ont déjà été mis en œuvre permettant la protection des colonies installées sur des zones agricoles. Une gestion conventionnée et financée a été proposée et un fond de compensation a été mis en place en 2013 pour la mise en défens de colonies installées sur des labours selon les modalités décrites dans la fiche action spécifique du Document d'objectifs du site Natura 2000. Une plaquette de sensibilisation a également été distribuée régulièrement depuis 2013 afin d'informer les différents propriétaires des enjeux de conservation de l'espèce.

D'autres mesures ont été proposées, comme la mise en place d'un réseau de sites gérés pour permettre l'installation et la reproduction des Glaréoles. Cependant, les connaissances actuelles sur sa reproduction ne permettent pas d'établir un plan de gestion efficace. Pour cela, il est nécessaire de définir les périodes de rotation de l'usage des sols sur les sites du réseau, et de préconiser une gestion des parcelles (travail du sol, périodes d'interventions...). L'objectif ici est de diagnostiquer les besoins écologiques de l'espèce, afin de rendre efficace les futures mesures de gestion. Nous nous intéressons en particulier à deux éléments :

(a) Sélection des sites de nidification :

Nous cherchons à comprendre comment les Glaréoles sélectionnent les parcelles de nidification, afin de créer une dynamique de gestion de l'espace favorable à l'installation de colonies. Nous nous intéressons à la fois à la présence des colonies sur les sites et à leur taille (en nombre de couple reproducteur). Cela amène à se poser plusieurs questions: Quels sont les types de sites dans lesquels les Glaréoles s'installent le plus ? Combien d'années les Glaréoles restent-elles fidèles à un secteur de reproduction (dynamique d'installation des colonies) ? Le choix du site de nidification est-il influencé par la présence de Glaréoles dans le secteur l'année précédente ? Observe-t-on une évolution des préférences de l'habitat au cours du temps ?

(b) Le succès de reproduction des colonies :

Nous souhaitons également identifier les modes de gestion qui optimisent le succès de reproduction des colonies sur les sites en répondant à certaines questions : Y a-t-il une importance de l'occupation du sol des parcelles de nidification sur le succès de reproduction ? Quels sont les effets des interventions humaines sur le succès de reproduction ? Quel usage du sol faut-il privilégier pour favoriser la reproduction des Glaréoles ? Observe-t-on une évolution du succès reproducteur au cours du temps ?

II- MATERIEL ET METHODE

Dans un premier temps, il est important de préciser la méthode de récolte des données de reproduction en expliquant comment sont estimés (a) les effectifs reproducteurs et (b) les succès reproducteurs. Puis nous expliquerons pour chacune des deux problématiques le choix des variables explicatives pour les analyses.

1) Données de reproduction

En Camargue, la Glaréole présente une faible synchronisation dans les dates de ponte inter- et intra-colonie. De plus les couples effectuent régulièrement des pontes de remplacement après un échec ou un abandon de reproduction, et peuvent à ce moment se déplacer d'une colonie à une autre (Vincent-Martin, 2007). La principale difficulté dans l'estimation des effectifs est donc de distinguer en l'absence d'individus marqués, les nouvelles pontes des pontes de remplacement. Pour cela, le protocole de suivi de reproduction prévoit un passage sur chaque colonie toutes les semaines, de fin avril à fin août pour permettre de détecter avec précision les abandons, les nouvelles pontes et les pontes de remplacement sur d'autres sites. (Cf. Annexe 1). Cette méthode fournit à posteriori des données de reproduction résumées à l'échelle d'une colonie (nombre de couples reproducteurs, succès reproducteur),

et non à l'échelle d'un couple. Nous nous intéresserons par la suite aux deux données suivantes :

- **(a) Nombre de couple reproducteur par colonie:** Le protocole de suivi permet de détecter chaque semaine entre mai et août, les nouvelles pontes sur les sites de reproduction, par observation directe d'individus couveurs sur nid. Ainsi il est possible d'estimer à posteriori le nombre annuel de couples reproducteurs sur un site, en additionnant le nombre de nouveaux couveurs constatés au cours de la saison.
- **(b) Nombre de poussin à l'envol par colonie:** Le protocole permet également d'estimer le nombre de poussins à l'envol sur une colonie mais il ne permet pas de connaître cette donnée à l'échelle d'un couple. Il est alors seulement possible de calculer un succès de reproduction par colonie, que l'on définit comme une productivité en poussin moyenne, par couple d'une même colonie. Ce succès de reproduction pour une colonie correspond donc au nombre de poussins à l'envol divisé par le nombre de couple reproducteur.

Ces données figurent sur les rapports annuels des suivis de reproduction de la Glaréole en Camargue (Vincent-Martin, 2000 ; Kayser, Vincent-Martin, 2011 ; Kayser, 2018). Ces rapports mentionnent chaque année les données de reproduction des colonies annuelles. Au total, 158 colonies ont été détectées et suivies entre 2000 et 2018, réparties sur 90 sites (parcelles) différents (cf. Figure 2) situés en Camargue ou en périphérie. Le nombre de couple et de poussin a pu être estimé pour 153 colonies installées sur 87 sites différents.

2) Dynamique d'installation des colonies

Dans un premier temps, nous nous intéressons aux facteurs influençant les Glaréoles dans la sélection des sites de reproduction. Afin de prendre en compte les mécanismes de sélection des parcelles par les colonies, nous nous intéressons à la présence/absence des colonies sur les sites. Nous cherchons également à expliquer la taille des colonies (nombre de couples), qui reflète davantage les mécanismes de sélection à l'échelle individuelle. Il est possible de combiner ces deux approches en s'intéressant au nombre annuel de couple par site ayant été occupé au moins une fois par les colonies. Le jeu de données comprend ainsi le nombre de couple annuel pour les 87 sites. Nous expliquons à l'aide d'un modèle linéaire généralisé (GLM), le **nombre de couples** annuel par site (variable dépendante quantitative appelée « nb de couples » dans la suite de cette analyse) en considérant les variables explicatives suivantes: **l'occupation du sol, l'année, la présence/absence des colonies sur le secteur à l'année t-1 et t-3, et le succès de reproduction à l'année t-1.**

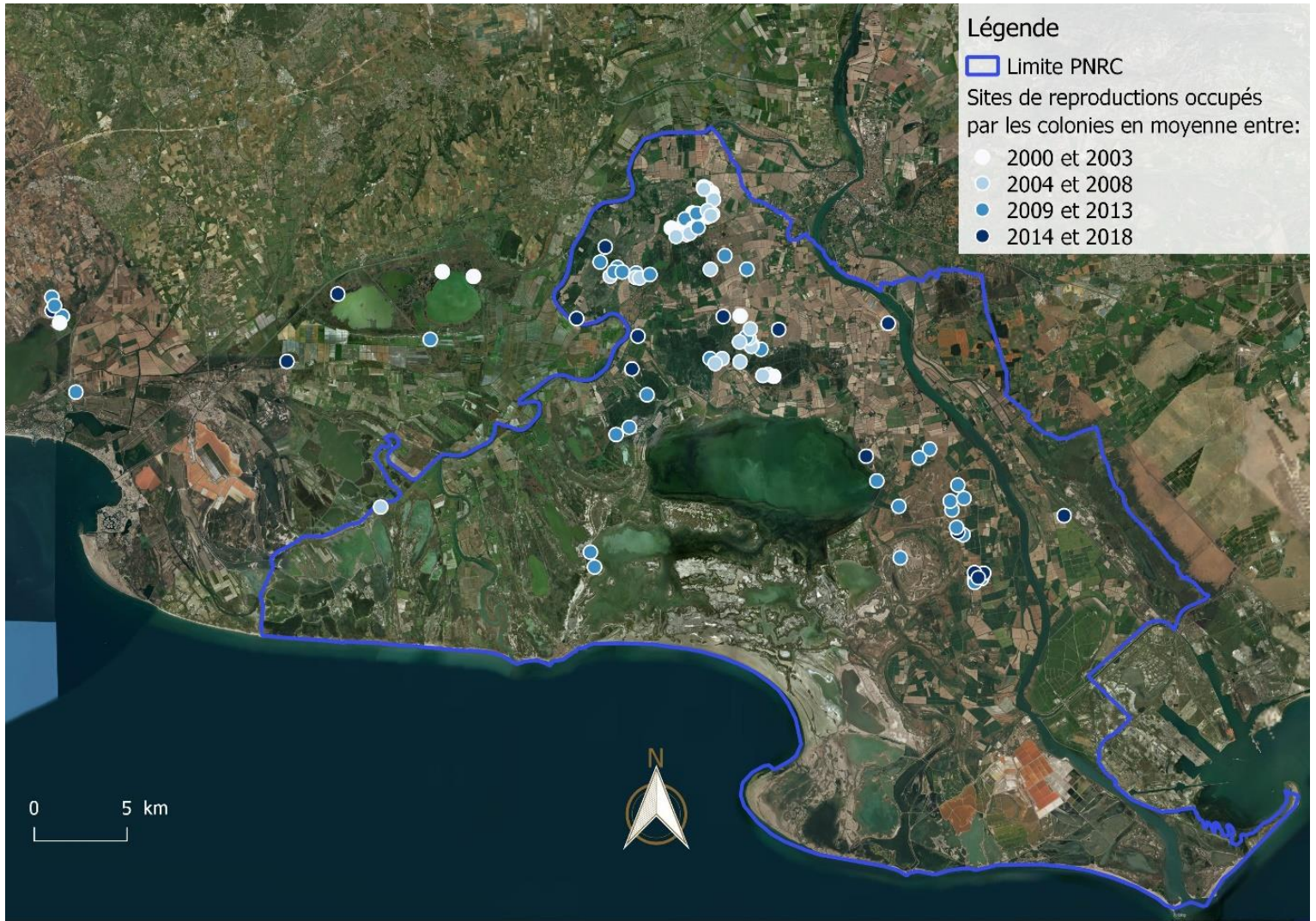


Figure 2. Cartographie des 90 sites de reproductions occupés par les colonies de Glaréoles entre 2000 et 2018. Certains sites ayant été sélectionnés plusieurs fois au cours de la période, la couleur des points correspond à l'année moyenne d'occupation.

a) Données d'occupation du sol

On veut tester l'effet d'une covariable environnementale sur la présence et la taille d'une colonie sur un site, grâce aux données d'occupation du sol (ODS) à l'échelle des parcelles (sites) sélectionnées par les Glaréoles. Ces données proviennent de deux sources :

- D'une part, pour 61% des colonies (n=94), ces données sont disponibles sur les rapports annuels du suivi. Cette source, bien que peu précise sur les différentes catégories d'habitat se révèle être très fiable car elle provient de l'expertise des personnes en charge du suivi, aux moments précis des installations des Glaréoles. Les données d'occupation du sol mentionnées sur les rapports sont ici regroupées en 4 catégories cohérentes d'un point de vue écologique comme détaillée sur le Tableau 1: « Labours » ; « Marais asséchés » ; « Prairies-Friches » et « Sansouires ».
- D'autre part, pour tester l'effet de l'ODS sur la probabilité de présence des colonies, il a aussi été nécessaire de connaître l'ODS des sites non occupés une année donnée, cette information ne figurant pas sur les rapports. Ces informations ont pu être obtenues sur une base de données en ligne et géoréférencée, sur l'ODS en Camargue, constituée par le PNRC, et réactualisée tous les 5 ans depuis 2001. Nous considérons qu'en moins de 5 ans, aucune évolution de l'ODS des parcelles n'a eu lieu. De ce fait, nous définissons les intervalles de temps de 2000-2003, 2004-2008, 2009-2013, 2014-2018, pour lesquels l'ODS est similaire respectivement aux données de 2001, 2006, 2011, et 2016. Les données d'ODS ont été produites par le bureau d'études « Alisé géomatique » pour le PNRC. Bien que la typologie utilisée sur ces données soit très précise il a été possible de la simplifier pour la faire correspondre aux quatre catégories d'ODS listées ci-dessus. La méthode d'association est détaillée en Annexe 2. Toutes les manipulations SIG (géoréférencement des sites de reproduction, intersections avec les couches d'ODS du PNRC) ont été réalisées avec le logiciel QGIS 2.18.14, et les données ont été extraites sur Microsoft® Office Excel.

Nous avons procédé à une vérification de l'erreur d'approximation des données d'ODS obtenues par cette méthode. Nous avons comparés celles-ci avec les données figurant sur les rapports annuels du suivi des Glaréoles pour s'assurer de leur fiabilité. Au total, les informations des deux sources de données ont pu être comparées pour 76 colonies. Parmi elles, seules 5 colonies (correspondant à 5 sites différents) présentaient une incohérence, probablement due à une imprécision lors de la géolocalisation des colonies, ou un changement rapide de l'ODS. Les données du PNRC pour ces sites ne sont donc pas prises en compte pour les analyses.

Catégories d'ODS	Critères des catégories
Labours	Parcelles agricoles labourées ou disquées, temporairement nues, souvent destinées à la culture ou à la production fourragère.
Marais asséchés	Milieus à sol nu situés sur des zones humides, issus d'un assèchement de vasières ou de marais.
Prairies-Friches	Milieus herbacés, présentant parfois du sol nu dû à des remontées de sel, regroupant les prairies naturelles, prairies temporaires, ainsi que les parcelles en friche.
Sansouires	Milieus à faible couvert végétal, composé de végétation basse halophile avec un sol affleurant sur de grandes surfaces, dû à une forte salinité.

Tableau 1. Critères d'appartenance aux différentes catégories d'ODS choisies.

b) Covariables intrinsèques à l'espèce

Afin d'étudier la dynamique d'installation des colonies, il est intéressant de comprendre si le choix d'une parcelle de nidification dépend de variables intrinsèques à l'espèce, tels que le déroulement de la reproduction les années antérieures sur le secteur. Pour cela, nous définissons des secteurs qui regroupent des sites relativement proches ayant accueilli des colonies, car il est très courant que la Glaréole sélectionne d'une année sur l'autre différentes parcelles avoisinantes. De ce fait, il est possible que le déroulement de la reproduction une année donnée ait un effet sur la sélection des sites du même secteur l'année suivante. Nous définissons ainsi un secteur comme un ensemble de sites de reproduction dont les zones tampons d'un rayon d'un kilomètre se recoupent entre elles (Cf. Figure 3). Cette distance tampon a été choisie car il a été estimé que les oiseaux se déplacent rarement à plus d'un kilomètre autour des sites de reproduction (Vincent-Martin, 2007). 22 secteurs ont été identifiés au total (secteur A à V).

Une fois les secteurs identifiés, nous avons considéré pour variable explicative du nombre de couples, l'occurrence d'une colonie sur le secteur associé au temps $t-1$ (PA_{t-1}) et $t-3$ (PA_{t-3}) afin de comprendre la dynamique d'installation des colonies. Il a été montré que la fidélité à un site de reproduction était souvent favorable à la reproduction de certaines espèces (Lebreton, Landry, 1979). Mais concernant la Glaréole qui est adaptée à des milieux instables, il est intéressant pour notre problématique de voir si en Camargue l'espèce reste fidèle aux sites de reproduction, d'une année sur l'autre, et après 3 années.

Nous choisissons également d'intégrer au modèle le succès de reproduction par secteur l'année précédente (SR_{t-1}). Comme il a déjà été montré pour d'autres espèces d'oiseaux (Cigogne blanche (Vergara et al., 2006), Manchot pygmée (Johannesen et al., 2002)), il est possible que la sélection d'un site de nidification dépende en partie du succès reproducteur de l'année antérieure. Il est en effet intéressant de savoir si les Glaréoles ont la capacité de sélectionner les sites de reproduction en fonction des conditions de reproduction qu'elles ont connues l'année précédente. Ce succès de reproduction correspond à une productivité moyenne en poussins, par couple d'un même secteur. Il est obtenu par la somme du nombre de poussins à l'envol sur un secteur, divisé par la somme du nombre de couples reproducteur sur le même secteur.

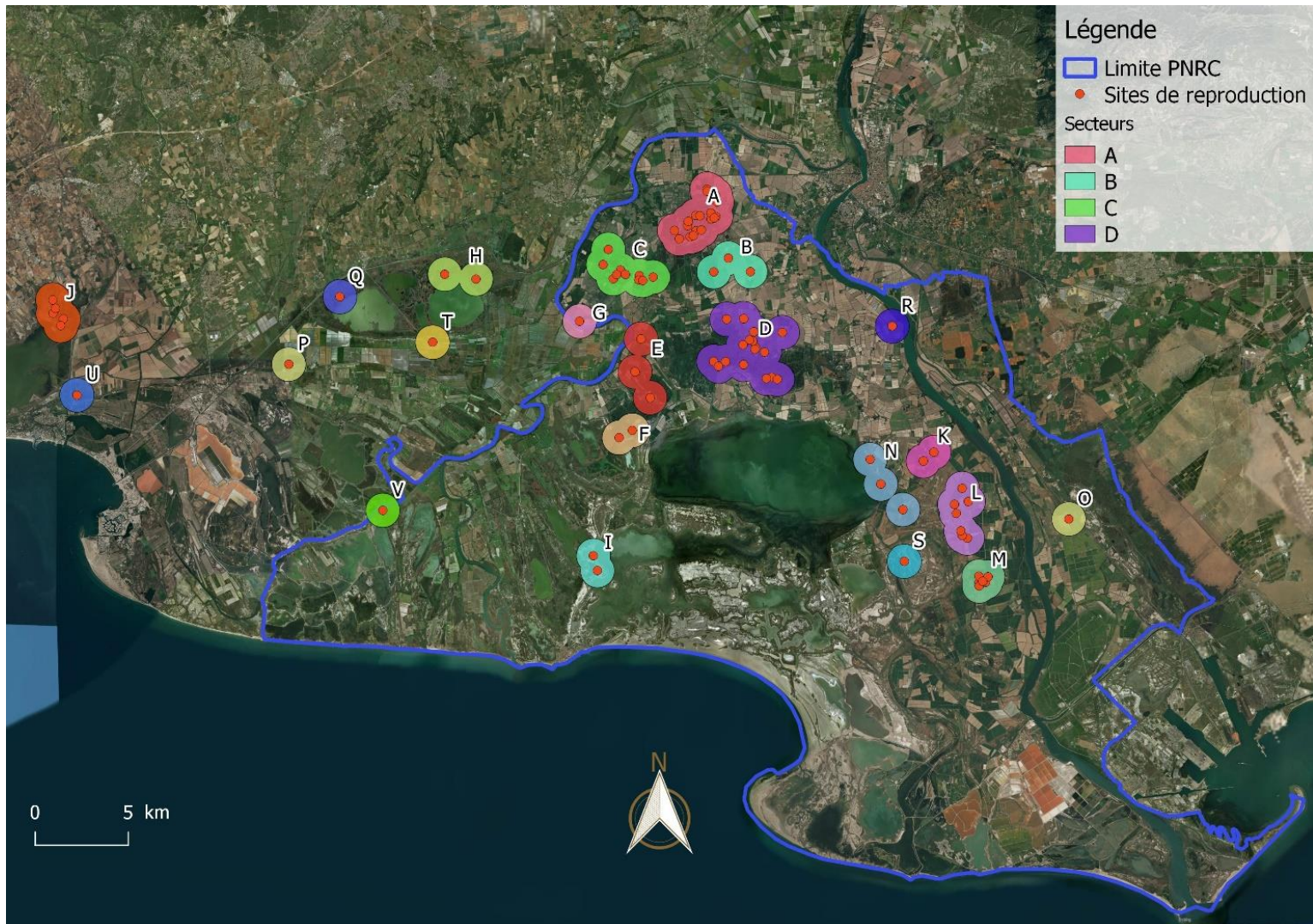


Figure 3. Cartographie des sites ayant été occupés par les colonies de Glaréoles entre 2000 et 2018, regroupé en 22 secteurs (de A à V). Un secteur correspond à l'ensemble des sites dont les zones tampons (1 km de diamètre) se recoupent entre elles.

c) Construction du modèle et méthode statistique

Afin de comprendre les mécanismes de sélection des sites une année donnée à l'échelle des colonies et des individus, nous modélisons le nombre annuel de couple sur tous les sites ayant été occupés pendant la période d'étude (N_{couples}). Le jeu de données comporte ainsi de nombreuses valeurs nulles pour le nombre annuel de couple (inflation en zéro). Il est nécessaire de modéliser d'un côté la probabilité de présence d'une colonie sur un site (données d'occurrence, en transformant les $N_{\text{couples}} > 0$ en 1), et d'un autre la taille des colonies (données de comptage ; $N_{\text{couples}} > 0$) (Zuur et al., 2009 ; Zeileis et al., 2008). Cette approche est appelée modélisation en deux parties ou modèle hurdle (Mullahy, 1986).

Pour la modélisation de la présence/absence, un modèle linéaire généralisé (GLM) avec une erreur de distribution binomiale et un lien Logit a été utilisé. Les données de comptage ($N_{\text{couples}} > 0$) sont modélisées avec un GLM binomial négatif. Ce GLM dit zéro-tronqué binomial négatif sera abrégé ZANB pour la suite (Zero-altered negative binomial). La modélisation des données de comptage n'a pas pu être faite avec une distribution de Poisson, les données présentant une variabilité plus forte qu'attendue (surdispersion) (Zuur et al., 2009).

Il a été choisi d'intégrer les mêmes covariables sur les deux parties du modèle ZANB général (occurrence et comptage), car il est probable qu'elles puissent avoir un effet similaire sur la taille et la présence des colonies. Toutes les variables sont résumées sur le Tableau 2 ci-dessous. Pour les deux parties du ZANB, il a été choisi de tester l'interaction entre l'occupation du sol et l'année, pour tester l'hypothèse d'une évolution des préférences du site au cours du temps (par exemple, fidélisation aux labours (Kayser, 2017)). L'année a été standardisée pour faciliter l'interprétation des modèles sélectionnés, comme suggéré par Grueber et al. (2011). Le modèle général s'écrit donc: **$N_{\text{couples}} \sim \text{ODS} \times \text{annee} + \text{PA}t-1 + \text{PA}t-3 + \text{SR}t-1$**

Les ZANB sont construits à l'aide de la fonction « hurdle » du package « pscl » sur R (R Core Team, 2015). Après avoir défini le modèle général, les meilleurs modèles sont sélectionnés en testant toutes les combinaisons de variables possibles avec la fonction « dredge » du package « MuMin ». La sélection des modèles est faite grâce au critère d'information d'Akaike corrigé (AICc) (Burnham, Anderson, 2002). Le modèle sélectionné est celui qui minimise le plus l'AICc. Un test post-hoc, ou test de comparaisons multiples de Tukey, est utilisé pour déterminer les différences significatives entre les moyennes des modalités d'ODS prédites par le modèle, dans une analyse de variance. Ce test est effectué à l'aide de la fonction « glht » du package « multcomp ».

Nom des variables	Précisions variables	Type de variable
ODS	Occupation du sol sur un site de reproduction une année donnée	Qualitative nominale: 4 modalités d'ODS
secteur	Secteur du site	Qualitative nominale: 22 modalités (87 sites regroupés en 22 secteurs)
annee	Année	Quantitative discrète (années 2000 à 2018 standardisées)
PA _t -1	Présence/Absence de colonies l'année précédente sur le secteur	Qualitative nominale: 2 modalités (0-1)
PA _t -3	Présence/Absence de colonies 3 années antérieures sur le même secteur	Qualitative nominale: 2 modalités (0-1)
SR _t -1	Succès de reproduction l'année précédente sur le secteur	Quantitative continue (excès de 0)

Tableau 2. Résumé des variables choisies pour le premier modèle.

3) Succès de reproduction des colonies

Dans l'objectif d'identifier les modes de gestion les plus favorables à la reproduction de la Glaréole, nous nous intéressons à l'effet des pratiques humaines et de l'ODS sur le succès de reproduction des colonies depuis l'an 2000.

a) Choix des variables et sources des données

La variable dépendante pour cette analyse est le succès reproducteur des colonies (nombre moyen de poussin à l'envol par couple et par colonie). Ce succès de reproduction est choisi comme variable dépendante, car il fournit une indication sur la qualité de reproduction.

Afin d'établir une stratégie de gestion efficace, il est important de savoir si l'ODS et les interventions humaines sur la parcelle ont un effet sur le succès de reproduction. Ces deux variables sont donc choisies comme variables prédictives, et nous avons également intégré au modèle l'effet du secteur et de l'année. Nous pensons en effet que le succès de reproduction sur certains secteurs est globalement plus élevé que sur d'autres, et qu'il y a eu une évolution du succès de reproduction au cours du temps. Le Tableau 3 résume ces variables.

L'acquisition des données est détaillée dans la partie II-1) et 2) pour le succès de reproduction, l'ODS et les secteurs. Les informations sur les interventions humaines ont été retrouvées sur 77% des colonies depuis 2000 (n=119) à partir des rapports annuels du suivi. Ces rapports indiquent si l'Homme est intervenu sur les parcelles pendant la reproduction. Les interventions ont été classées en 5 catégories comme expliqué sur le Tableau 4 ci-après : « Aucune » ; « Mise en culture », « Travaux agricoles » ; « Mise en pâture » ; « Mise en eau ».

b) Construction du modèle et méthode statistique

Nous choisissons d'utiliser un modèle linéaire généralisé avec une distribution d'erreur gaussienne. Nous admettons en effet que le succès de reproduction (SR) suit une loi normale. L'interaction entre l'ODS et les interventions a été testée de façon à savoir si l'ODS a un effet différent selon les interventions. Précisément, nous pensons que le succès de reproduction sur les labours pourrait être différent selon leur usage (exploitation agricole vs. aucune intervention). L'année a été standardisée pour les mêmes raisons que précédemment. Le modèle s'écrit ainsi : **SR ~ ODS x intervention + secteur + annee**

Le modèle est construit à l'aide de la fonction « glm » du package « stats ». Nous réalisons une sélection de modèle en testant toutes les combinaisons entre les variables prédictives avec la fonction « dredge » du package « MuMin ». Nous sélectionnons par la suite les meilleurs modèles grâce au critère d'information d'Akaike corrigé (AICc) (Burnham, Anderson, 2002).

Nom des variables	Précisions variables	Type de variable
ODS	Occupation du sol sur un site de reproduction une année donnée	Qualitative nominale: 4 modalités
intervention	Interventions humaines pendant la reproduction	Qualitative nominale: 5 modalités
secteur	Secteur du site	Qualitative nominale: 22 modalités (87 sites regroupés en 22 secteurs)
annee	Année	Quantitative discrète (années 2000 à 2018 standardisées)

Tableau 3. Résumé des variables choisies pour le deuxième modèle.

Catégories d'interventions	Précisions sur les types d'interventions
Aucune	Lorsqu'il est clairement mentionné que l'homme n'est pas intervenu directement sur la parcelle pendant la reproduction.
Culture	Correspond aux parcelles labourées qui ont été semées avant l'installation des Glaréoles, dans lesquelles la végétation est normalement amenée à se développer.
Travaux agricoles	Lorsque l'Homme intervient directement sur la parcelle pour des travaux agricoles pendant la reproduction: Circulation d'engins agricoles pour labourer, semer, mettre en place des systèmes d'arrosage...
Pâturage	Correspond aux sites sur lesquels des animaux d'élevage sont installés (chevaux, taureaux) pendant la période de reproduction et sur lesquels les manadiers effectuent de nombreux passages à pied ou à cheval.
Mise en eau	Lorsqu'un parcelle est volontairement inondée par l'Homme. Concerne le plus souvent les rizières et les marais asséchés.

Tableau 4. Catégorisation des interventions humaines, selon les informations présentes sur les rapports annuels du suivi.

III- RESULTATS

1) Dynamique d'installation des colonies

La distribution du nombre annuel de couple par site (87 sites) entre 2000 et 2018 est représentée sur la Figure 4.A. Cette distribution intègre les nombreux zéros qui correspondent aux sites inoccupés une année donnée. Le graphique de la Figure 4.B. représente la distribution du nombre de couple par colonie correspondant aux données de comptages sur les colonies (valeurs strictement positives).

A partir du modèle ZANB général, toutes les combinaisons des variables prédictives (1600 modèles) ont été testées, afin de sélectionner le meilleur modèle. Les 50 premiers modèles sélectionnés par AICc sont présentés en Annexe 3. Le Tableau 5 ci-dessous représente les 7 modèles dont l'AICc est inférieur à deux. Il est intéressant de remarquer que l'ODS semble bien expliquer la taille des colonies (comptage) et leur présence sur les sites (zéro) car ce terme est présent pour ces deux parties dans les 20 premiers modèles. Pour les données d'occurrence (zéro), on note que le succès de reproduction de l'année précédente (SRt-1) est représenté sur les 7 meilleurs modèles, et la présence/absence de colonies l'année précédente (PAAt-1) sur les 6 meilleurs. L'interaction ODS*annee compose aussi ces 7 premiers modèles. Pour la suite, le modèle qui minimise le plus l'AICc est sélectionné pour présenter les résultats. Les estimations de ce modèle sont présentées sur le Tableau 6 et 7.

D'une part, en s'intéressant au modèle « zéro » (modélisation de la probabilité présence) dont les estimations sont présentées sur le Tableau 6, on peut voir un effet significativement positif du succès de reproduction dans le secteur à t-1 (SRt-1), sur la probabilité de présence d'une colonie sur un site du même secteur (coefficient de régression= $1,17 \pm 0,3$; $p < 0,001$). On peut également remarquer l'effet significativement positif de la présence d'une colonie à l'année t-1 sur la probabilité d'installation d'une colonie sur un site du même secteur (coefficient de régression= $0,71 \pm 0,3$; $p = 0,02$). En revanche, il semblerait que la présence à t-3 (PAAt-3) ait un effet négatif bien que le coefficient de régression de cette covariable ne soit pas significatif (coefficient de régression= $-0,4 \pm 0,24$; $p = 0,09$). L'influence de l'ODS sur la probabilité d'installation d'une colonie évolue au cours du temps (Figure 5), et elle est significative pour les marais et les labours. On constate que la probabilité de présence des colonies sur les Prairies-friches et les Sansouires ont évolué parallèlement au cours des années. En revanche, on peut visualiser l'évolution particulière de la présence sur les marais qui ne cesse de baisser, et celle des labours qui ne cesse d'augmenter depuis l'an 2000.

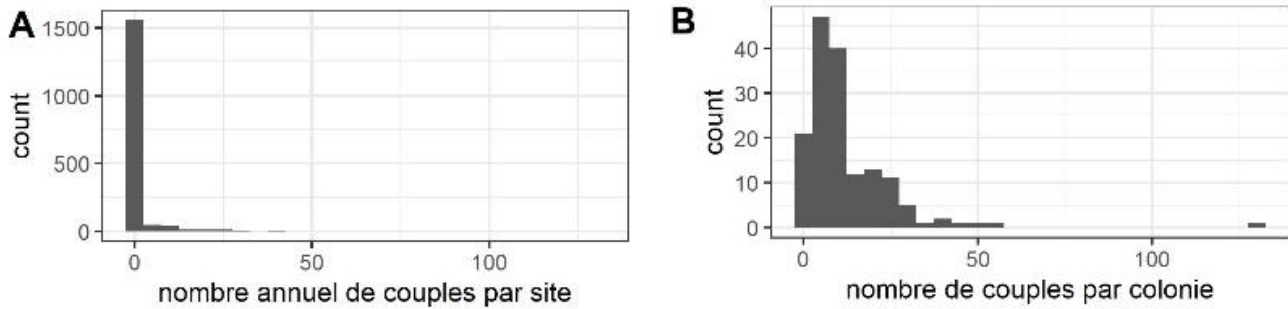


Figure 4.A) Distribution du nombre annuel de couples ($n=1653$) (2000 à 2018) par site ayant été occupé par des colonies (87 sites).
Figure 4.B) Distribution du nombre annuel de couples par colonie de 2000 à 2018 ($n=153$) après retrait des sites inoccupés. Les nombres de couples sont regroupés par classe de 5 couples.

Comptage	Zéro (occurrence)	df	logLik	AICc	delta	weight
ODS + PAT-1	ODS*annee + PAT-1 + PAT-3 + SRt-1	17	-779,854	1594,3	0	0,067
ODS	ODS*annee + PAT-1 + PAT-3 + SRt-1	16	-781,027	1594,6	0,28	0,058
ODS + PAT-1	ODS*annee + PAT-1 + SRt-1	16	-781,287	1595,1	0,8	0,045
ODS	ODS*annee + PAT-1 + SRt-1	15	-782,461	1595,4	1,08	0,039
ODS + PAT-1 + SRt-1	ODS*annee + PAT-1 + PAT-3 + SRt-1	18	-779,498	1595,7	1,36	0,034
ODS + PAT-1 + PAT-3	ODS*annee + PAT-1 + PAT-3 + SRt-1	18	-779,671	1596	1,71	0,028
ODS + PAT-1	ODS*annee + SRt-1	15	-782,911	1596,3	1,98	0,025

Tableau 5. Les 7 meilleurs modèles dont l'AICc est inférieur à 2. La partie « comptage » regroupe les variables sélectionnées pour la modélisation des données de comptage supérieures à 0. La partie « zéro » intègre les variables sélectionnées pour la modélisation des données d'occurrence (0-1). Les 4 dernières colonnes de ce tableau indiquent le degré de liberté df (en fonction du nombre de termes du modèle), le log de la vraisemblance (logLik), le score AICc, le delta AICc et le poids des AICc. Le delta AICc est la différence entre le score AICc d'un modèle et le score AICc du premier modèle. Le poids d'un modèle peut être interprété comme la probabilité que le modèle soit le meilleur modèle compte tenu de l'ensemble des combinaisons de modèles possibles.

Zéro	Estimate	Std.Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	-2.6359	0.2509	-10.506	< 2e-16	***
ODSMarais	-0.1635	0.2660	-0.615	0.53875	
ODSPrairie-Friche	0.8466	0.2591	3.267	0.00109	**
ODSSansouire	-0.4729	0.3596	-1.315	0.18858	
annee	0.5629	0.1930	2.917	0.00353	**
PAt-1	0.7116	0.3000	2.372	0.01771	*
PAt-3	-0.3986	0.2352	-1.695	0.09017	.
SRt-1	1.1725	0.2962	3.959	7.54e-05	***
ODSMarais:annee	-0.8213	0.2785	-2.949	0.00319	**
ODSPrairie-Friche:annee	-0.5051	0.2600	-1.943	0.05206	.
ODSSansouire:annee	-0.6980	0.3921	-1.780	0.07506	.

Tableau 6. Coefficients (estimate) issus du modèle des données d'occurrence (présence/absence) (modèle avec distribution binomiale des erreurs et fonction de lien logit).

Comptage	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	2.5579	0.2093	12.223	< 2e-16	***
ODSMarais	-0.1878	0.2174	-0.864	0.38747	
ODSPrairie-Friche	-0.6124	0.2061	-2.972	0.00296	**
ODSSansouire	-0.8586	0.3251	-2.641	0.00827	**
PAt-1	0.3058	0.1949	1.569	0.11655	
Log(theta)	0.2612	0.1838	1.421	0.15522	

Tableau 7. Coefficients (estimate) issus du modèle de comptage (modèle zéro tronqué, avec distribution des erreurs négative binomiale, et fonction de lien log)

On s'aperçoit aussi que la probabilité d'occupation des prairies-friches est en moyenne plus élevée que pour l'ODS des autres sites, et comme le montre le Tableau 6 cette différence est significative. La Figure 6 permet de mettre en relation l'évolution de la présence des colonies avec l'évolution de la fréquence d'ODS sur l'ensemble des parcelles occupées pendant la période d'étude. On remarque que la fréquence des marais et des sansouires est stable au cours du temps (en moyenne $0,31 \pm 0,02$ et $0,16 \pm 0,01$ respectivement). Les labours sont en moyenne les plus fréquents ($0,34 \pm 0,04$) mais on constate une baisse de leur fréquence entre 2011 et 2018. La part des prairies friches est en moyenne de $0,18 \pm 0,04$, et on observe une augmentation de leur fréquence entre 2011 et 2018.

D'autre part, concernant le modèle zéro tronqué (données supérieures à zéro correspondant aux nombres de couples par colonie), on peut voir sur le Tableau 7 que l'ODS a un effet significatif sur le nombre de couples. Les résultats du test de comparaisons multiples (test HSD de Tukey) sur les tailles moyennes des colonies entre les différentes modalités d'ODS prédites par le modèle de comptage, sont présentés sur la Figure 7. On peut voir que la taille moyenne des colonies, de la plus élevée à la plus faible correspond aux Labours (moyenne= $16,67 \pm 2,14$ couples ; n=42), aux Marais (moyenne= $13,93 \pm 1,78$ couples ; n=32), aux Prairies-Fiches (moyenne= $9,78 \pm 0,89$ couples ; n=40), puis aux Sansouires (moyenne= $7,15 \pm 0,99$ couples ; n=12) respectivement. Cependant, la différence de taille moyenne des colonies est seulement significative entre les Labours et les Prairies-Friches. Bien que la présence/absence d'une colonie à t-1 (PA_{t-1}) soit présent dans le modèle avec un effet qui semble être positif sur la taille des colonies, son effet n'est pas significatif.

2) Succès de reproduction des colonies

Au total, 20 modèles ont été testés (Cf. Annexe 4). Le tableau 8 représente les 5 meilleurs modèles sélectionnés. L'effet de l'intervention est présent sur chacun de ces modèles. En revanche, le facteur « secteur » ne semble pas avoir d'importance pour expliquer le succès de reproduction des colonies.

Le premier modèle est considéré comme le modèle expliquant le mieux les données, il est donc sélectionné pour la suite. Ce modèle prend en compte l'effet de l'ODS des sites occupés par les colonies et l'effet des interventions humaines sur ces sites. Les estimations de ce modèle sont présentées sur le tableau 9.

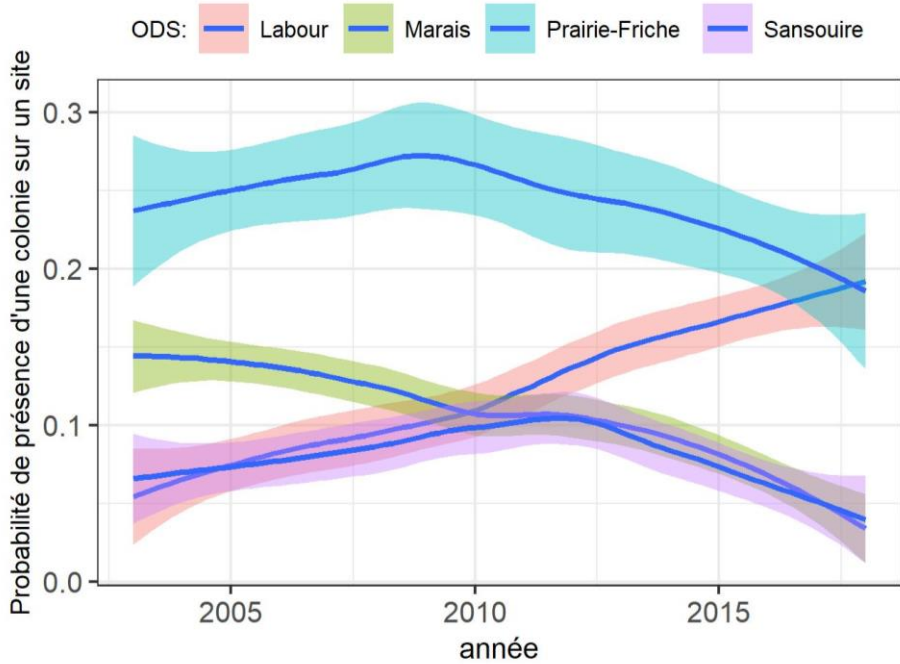


Figure 5. Probabilité de présence d'une colonie sur un site en fonction de l'année et de l'ODS, issu des prédictions du modèle d'occurrence (zéro). On remarque une augmentation de la probabilité de présence sur les labours durant toute la période. On remarque également la probabilité de présence sur les prairies-friches qui est en moyenne plus grande que pour les autres modalités.

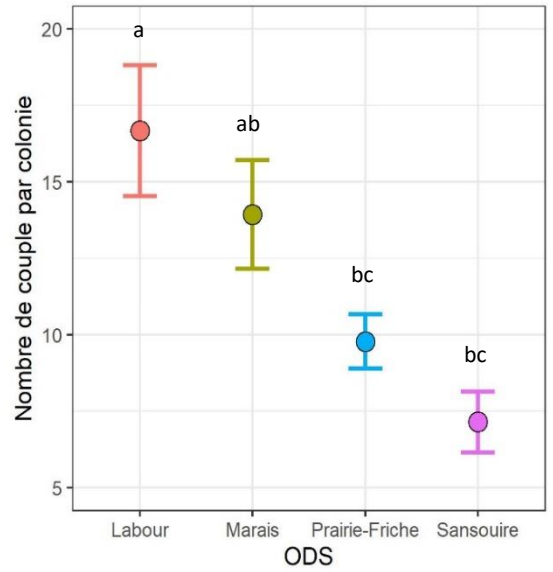


Figure 7. Taille moyenne des colonies (en nombre de couple) et écart type (barre d'erreur) prédit par le modèle de comptage (zéro tronqué comptages > 0), en fonction de l'ODS. Les lettres « a,b,c » représentent les résultats du test de comparaisons multiples de Tukey entre les prédictions des tailles moyennes des colonies par catégories d'ODS. Seules les modalités d'ODS comportant des lettres différentes ont un nombre de couple moyen significativement différent. La taille moyenne des colonies sur les labours est significativement plus grande que celle sur les prairies-friches et les sansouires.

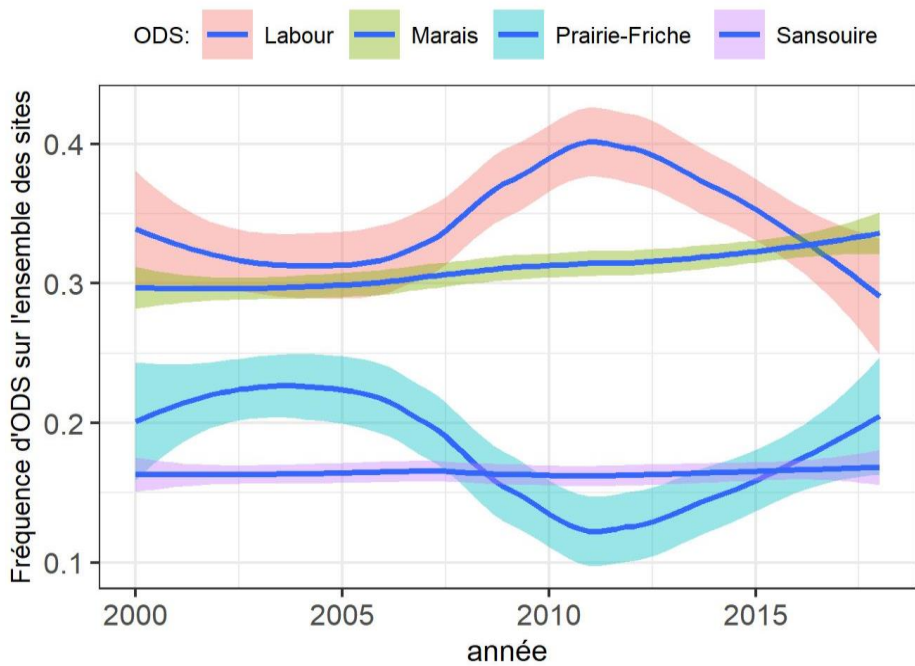


Figure 6. Fréquence annuelle d'ODS sur l'ensemble des 87 sites.

Concernant l'intervention, on remarque que pour les modalités « Travaux agricoles », « Pâturages » et « Mises en eau », le succès de reproduction est significativement inférieur à l'absence d'intervention (Intercept). Les mises en eau ont le plus fort effet négatif sur le succès de reproduction des colonies. Les différences des effets des modalités de ce facteur sur le succès de reproduction ont toutes été testées, en comparant les moyennes des succès de reproduction prédits par le modèle entre chaque catégorie d'intervention. Les moyennes et écarts-types prédits ainsi que les résultats de ce test de comparaisons multiples (test HSD de Tukey) sont représentés sur la figure 8. On peut voir que les prédictions du succès de reproduction moyen concernent, de la plus élevée à la plus faible, les sites mis en culture (moyenne=0,8 ± 0 ; n=8), les sites sans intervention (moyenne=0,68 ± 0,15 ; n=64), les sites en pâturage (moyenne=0,39 ± 0,17; n=22), les sites avec travaux agricoles (moyenne=0,14 ± 0,18 ; n=11) et les sites mis en eau (moyenne=0,09 ± 0 ; n=6). D'après le test de Tukey, le succès reproducteur moyen des sites n'ayant subi aucune intervention est significativement différent des succès sur les sites en pâture, mis en eau et ayant subi des travaux agricoles Enfin, la dernière différence significative concerne le succès de reproduction entre les sites mises en eau et en culture. On note qu'il n'y a pas de différence significative entre l'effet de l'absence d'intervention et la mise en culture.

L'ODS est le deuxième facteur qui compose le modèle. On remarque sur le tableau 9 que l'effet des labours (Intercept) sur le succès de reproduction est significativement différent de l'effet marais, prairies-friches et sansouires. De la même manière que précédemment, un test de Tukey a permis de comparer les moyennes des succès de reproductions prédits par le modèle en fonction de l'ODS et les résultats sont représentés sur la figure 9. Par ordre décroissant, les succès de reproductions moyens concernent les labours (moyenne=0,61 ± 0,34 ; n=37), les marais (moyenne=0,57 ± 0,08 ; n=36), les prairies-friches (moyenne=0,51 ± 0,25 ; n=28), et les sansouires (moyenne=0,31 ± 0,25 ; n=10). La seule différence significative concerne les marais et les labours. La différence entre les sansouires et les labours est marginalement significative. Enfin, on constate un effet de l'année qui ne semble pas significatif mais qu'il est intéressant de présenter en terme de gestion. Lorsque l'année est intégrée au modèle, on constate que le succès de reproduction a faiblement augmenté depuis ces 19 dernières années, mais cette tendance n'est pas significative (estimate=0.06 ± 0.05 ; p> 0.2).

	df	logLik	AICc	delta	weight
Intervention + ODS	9	-68.381	156.5	0.00	0.471
Intervention + ODS + annee	10	-67.495	157.2	0.65	0.341
Intervention + annee	7	-72.325	159.7	3.19	0.096
Intervention	6	-73.816	160.4	3.90	0.067
Intervention*ODS	14	-65.651	163.7	7.13	0.013

Tableau 8. Les 5 meilleurs modèles sélectionnés sur leur AICc.

	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.0033	0.1186	8.462	1.89e-13	***
intervCulture	-0.2076	0.2027	-1.024	0.30813	
intervMise en eau	-0.9100	0.2239	-4.065	9.41e-05	***
intervPaturage	-0.3543	0.1259	-2.815	0.00585	**
intervTravaux agricoles	-0.7363	0.1674	-4.399	2.66e-05	***
ODSMarais	-0.4059	0.1395	-2.911	0.00442	**
ODSPrairie-Friche	-0.3053	0.1347	-2.267	0.02546	*
ODSSansouire	-0.4463	0.1803	-2.475	0.01495	*

Tableau 9. Coefficients (estimate) issus du meilleur modèle (SR- Interv + Habitat) (modèle avec distribution gaussienne des erreurs et fonction de lien identité).

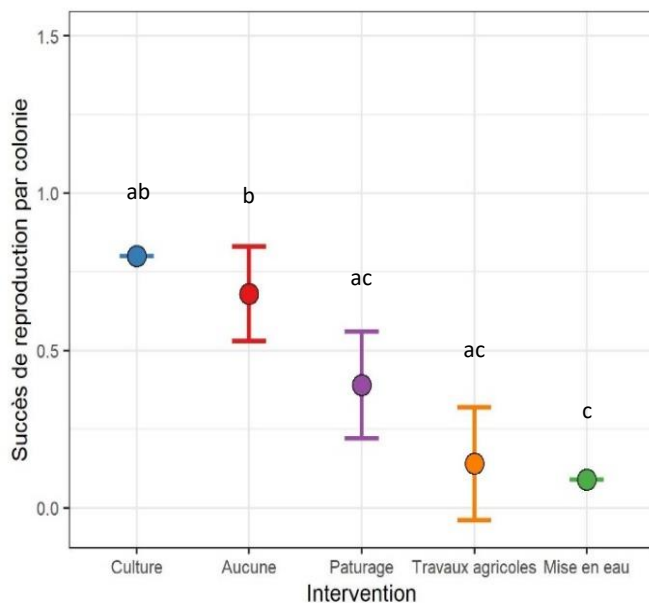


Figure 8. Succès reproducteur moyen par colonie prédits par le modèle, en fonction de l'intervention sur la parcelle. Les lettres « a,b,c » représentent les résultats du test de comparaisons multiples de Tukey entre les prédictions des succès reproducteurs moyens des colonies par catégories d'interventions. Seules les interventions comportant des lettres différentes ont un succès reproducteur moyen significativement différent. Le succès moyen en absence d'intervention est significativement supérieur aux parcelles labourées, travaillées et mises en eau.

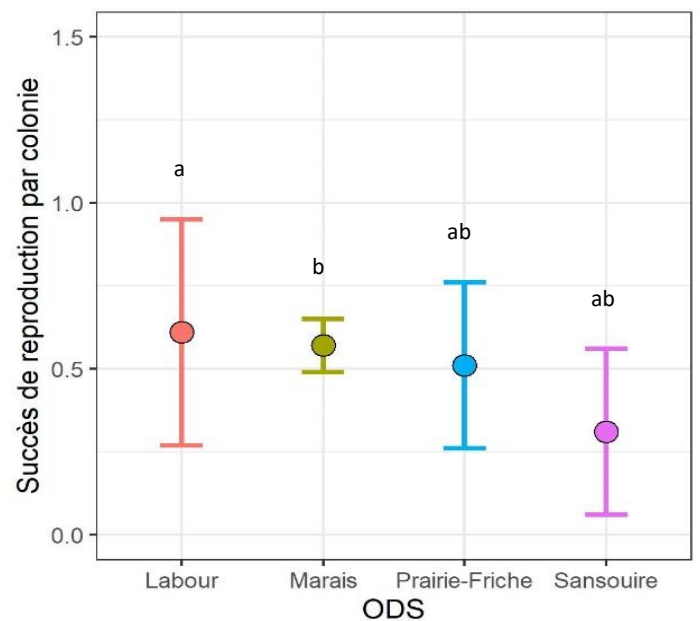


Figure 9. Succès reproducteur moyen par colonie prédits par le modèle, en fonction de l'ODS du site. Les lettres « a,b,c » représentent les résultats du test de comparaisons multiples de Tukey entre les prédictions des succès reproducteurs moyens des colonies en fonction de l'ODS du site. Seules les ODS comportant des lettres différentes ont un succès reproducteur moyen significativement différent. Le succès moyen sur les labours est significativement différent du succès sur les marais.

IV- Discussion

1) Sélection de l'habitat de nidification

Entre 2000 et 2018, les colonies se sont installées sur des sites que nous avons classés en 4 catégories d'ODS : labours, marais, prairies-friches, et sansouires. Les tendances d'installation semblent évoluer indépendamment des changements de fréquence d'ODS des parcelles (Cf. Figure 5 & 6). Parmi ces 4 types de sites, les prédictions du modèle indiquent que les colonies ont eu tendance à s'installer davantage sur les prairies-friches malgré le fait que la part annuelle moyenne des prairies-friches soit faible ($0,18 \pm 0,04$). Il semblerait que la fréquence de sélection de ce type de site ait diminué au cours du temps. Ce résultat est cohérent avec les exigences de l'espèce pour nicher sur des milieux arides et ouverts (Calvo, Furness, 1995 ; Nankinov et al., 2002). Vincent-Martin (2007) avait montré qu'entre 2000 et 2003, les Glaréoles s'installaient davantage sur des parcelles éloignées des haies et où la végétation était rase et clairsemée. Il avait ainsi identifié comme habitats de nidification préférentiels, les sansouires basses et les pelouses. Cette préférence aux pelouses (analogues aux prairies-friches de notre analyse) entre 2000 et 2003 est en accord avec nos résultats sur l'évolution de la probabilité de sélection des parcelles, mais nous n'avons pas mis en évidence une préférence pour les sansouires sur cette période. Cette différence est probablement due au fait que nous n'avons pas distingué les sansouires basses et les sansouires hautes dans les choix des catégories d'ODS. Par ailleurs, on remarque une tendance positive au cours du temps à la fréquence d'installation des colonies sur les labours selon les prédictions du modèle (alors que la part des labours baisse entre 2011 et 2018, cf. Figure 6). Ce résultat confirme notre hypothèse de départ, on observe un intérêt croissant des labours pour l'installation des colonies. Les sites labourés sont également ceux qui accueillent les plus grandes colonies en termes d'effectif reproducteur. Cela pourrait s'expliquer par la taille de ces parcelles, ou par une présence plus importante de micro-habitats pour la construction des nids. Cependant, ce résultat est à interpréter avec précaution car il est possible qu'il soit dû à un biais de détection. En effet, les labours sont les parcelles les plus ouvertes et lors des comptages, la probabilité de détection des individus y est probablement plus importante que sur les autres types de parcelles davantage végétalisées.

Pour conserver une espèce il est nécessaire de connaître son habitat afin de le protéger. La sélection de l'habitat est un thème qui met en évidence les relations entre les organismes vivants et leur milieu (Cody, 1985). Bien que la sélection de l'habitat puisse se décliner en

différentes échelles spatiales (Burger, 1985) nous nous sommes seulement intéressés à la sélection de l'habitat de nidification. Dans l'objectif de mettre en place des sites en gestion pour la reproduction de la Glaréole, il est nécessaire d'élargir la notion de sélection de l'habitat de nidification à plus large échelle. En effet, il convient de s'intéresser à la zone d'alimentation, car pour les Glaréoles le rayon de prospection alimentaire autour des colonies est très réduit (<2km ; Vincent-Martin, 2007). De ce fait, le choix d'un site de nidification est contraint par la présence d'habitats permettant l'alimentation à proximité des colonies, assurant la survie des adultes et des poussins. Vincent-Martin (2007) avait ainsi montré que la Glaréole sélectionnait de préférence des zones d'alimentation composés de zones humides variées, favorisant la diversité et la productivité en insectes tout au long de la période de reproduction. Nous suggérons qu'afin de gérer les meilleurs sites de reproduction et de comprendre les causes de l'augmentation de l'attractivité des labours, il pourrait être intéressant de tester dans le futur une variable caractérisant les zones d'alimentation autour des colonies.

Nous avons montré qu'une parcelle est plus souvent sélectionnée lorsque des colonies étaient présentes dans le secteur et lorsque leur succès reproducteur était élevé dans ce secteur l'année précédente. On pourrait ainsi penser que les Glaréoles adaptent leur choix en fonction des conditions de reproduction qu'elles ont connues sur un secteur l'année précédente. On note aussi l'effet négatif mais non significatif de la présence des colonies sur un secteur à t-3 sur la probabilité d'installation d'une colonie sur un site. Une analyse complémentaire du succès reproducteur en fonction de la présence l'année précédente met en avant un déclin significatif du succès reproducteur après une année d'occupation sur un même secteur (Annexe 6). Il se pourrait donc que les colonies soient peu fidèles aux secteurs de reproduction pendant de longues périodes à cause d'une baisse de la qualité de reproduction sur la même parcelle. Vincent-Martin (2010) a suggéré que le succès reproducteur sur un site diminue d'une année sur l'autre à cause de la spécialisation des prédateurs. Pourtant en Camargue, nous observons certains secteurs exceptionnels qui ont été occupés plus de 7 années consécutives (prairies de Jasses d'Albaron occupées de 2012 à 2018 ou encore secteur de Moncanard dont certaines parcelles sont gérées par la Tour du Valat, occupé de 2011 à 2018).

Ces résultats sont à prendre avec précaution car ils sont en grande partie liés à la détermination des secteurs de reproduction (cf. II-2).b.) et un choix méthodologique différent (i.e. un secteur aurait pu être défini par un ensemble de sites de reproduction dont les zones tampons d'un rayon de plusieurs kilomètres se recoupent entre elles) aurait pu produire d'autres résultats.

2) Succès de reproduction des colonies

Les résultats obtenus dans l'analyse du succès de reproduction suggèrent que l'ODS et les interventions ont un effet significatif sur la qualité de reproduction des colonies. Il semblerait que l'ODS importe peu dans la qualité de reproduction des colonies, car les différences de succès de reproduction entre chaque type de parcelles ne semblent pas significatives (sauf entre les labours et les marais). Nous n'avons pas mis en avant une diminution du succès de reproduction sur les habitats agricoles contrairement à Calvo (1994), sans doute à cause de la présence de zones humides de qualité à proximité. On peut noter la forte variabilité dans les labours qui est probablement due à l'effet très variable des interventions sur ces parcelles. En effet, certains labours sont gérés volontairement pour la reproduction des Glaréoles (Site de Moncanard géré par la Tour du Valat ; mis en défens de certains labours agricoles occupés par des colonies), et d'autres labours sont exploités en culture, ou mis en eau. De ce fait, on s'attendrait dans la sélection de modèle à un effet significatif de l'interaction entre l'ODS et les interventions, laissant paraître une différence dans la qualité de reproduction entre les labours exploités (mis en culture ou en eau pour le riz) et les labours inutilisés (aucune intervention).

En s'intéressant à l'effet des interventions, on peut comprendre pourquoi cette interaction n'a pas été retenue dans la sélection de modèle. On constate que l'absence d'intervention et la mise en culture des parcelles n'ont pas d'effets significativement différents sur la qualité de la reproduction. Ainsi, selon notre modèle, une parcelle labourée et mise en culture ne défavorise pas la reproduction par rapport aux labours gérés en faveur de l'espèce. Ce résultat paraît étonnant, car l'espèce semble adaptée à des parcelles de nidification avec une faible hauteur de végétation (Dolz Garcia, Dies Jambrino, 1989 ; Calvo, Furness, 1995 ; Nankinov et al., 2002) or la mise en culture des labours entraîne souvent un développement rapide de la végétation. Il est nécessaire d'interpréter avec prudence ce résultat, car la catégorie « culture » dans notre modèle ne distingue pas la date d'émergence et le développement des semis. Nous n'avons donc pas d'information sur l'impact réel de la mise en culture sur le succès de reproduction. Effectivement, on peut parfois constater en Camargue des échecs partiels de semis sur certaines parcelles dû à des remontées de sel. Ceci pourrait en partie expliquer le succès plus fort qu'attendu sur ce type d'habitat. En revanche, notre analyse montre que l'absence d'intervention favorise significativement la reproduction en comparaison au pâturage, aux travaux agricoles et aux mises en eau. Vincent-Martin (2007) avait également mis en évidence la part importante des mises en eau (pour la production agricole et la chasse principalement) comme cause d'échec de de la reproduction (20% des tentatives de reproduction).

Le pâturage est un sujet souvent débattu entre gestionnaires. Il permet d'un côté de maintenir la végétation rase et une abondance d'invertébrés associés aux excréments (Rankin, 1979) à priori idéale pour la Glaréole, mais d'un autre côté il augmente le risque de piétinement des nichées (Dolz Garcia, Dies Jambrino, 1989 ; Nankinov et al., 2002). Ainsi, Calvo (1994) recommande le pâturage à très faible densité ou son exclusion pendant la période de reproduction, mais l'encourage en dehors de cette période. Nos résultats montrent que le pâturage défavorise la reproduction, en comparaison aux sites sans intervention. La Glaréole est capable de détourner les trajectoires d'un animal pour qu'il évite le nid (Sterbetz, 1974) mais malgré cette adaptation, les oiseaux sont incapables d'éviter le piétinement par un troupeaux compact et affolé (Vincent-Martin, 2007). Quelques études montrent également un impact négatif du piétinement par des troupeaux de buffles (Chaiyarat, Eiam-Ampai, 2014) et du bétail (Hanane et al., 2010 ; Vincent-Martin, 2007). Il est à noter que nous n'avons pas pris en compte dans notre analyse la durée de présence et la densité des troupeaux. Notre modèle n'intègre pas tous les facteurs qui peuvent influencer le succès de reproduction tels que la météo, la présence de zones humides à proximité, la dynamique de l'eau, la date d'installation des colonies, (Vincent-Martin, 2007), ou encore la prédation. Il serait intéressant d'approfondir ce travail par une étude sur les facteurs limitant le succès de reproduction des colonies, afin d'obtenir des résultats plus complets.

V- Conclusion :

Actuellement en Camargue, la Glaréole semble se fidéliser aux labours pour la nidification. En termes de gestion, il semble intéressant de fournir à l'espèce ce type de parcelle en excluant toute intervention humaine pour maximiser son succès de reproduction. Dans un objectif de conservation à plus long terme, ce type de gestion interventionniste est critiquable car il est difficile à mettre en place à plus grande échelle et il existe un risque à ce que la Glaréole se fidélise aux milieux agricoles au détriment des milieux naturels. La déprise agricole est un phénomène continu en France ces 20 dernières années et les parcelles agricoles font l'objet d'une artificialisation croissante. L'intérêt croissant des Glaréoles à ce type d'habitat pourrait ainsi compromettre son futur, d'autant plus si les parcelles naturelles continuent de diminuer. Afin d'identifier une fréquence idéale de mise à disposition de parcelles gérées pour l'espèce, un travail plus complet serait nécessaire dans le futur, en se concentrant davantage sur la sélection de l'habitat à diverses échelles, et sur le lien entre la dynamique du paysage (dynamique de l'eau, usage du sol, etc.) et la dynamique d'installation des colonies.

Bibliographie

BERRY, P.M., FABOK, V., Blicharska, M., *et al.*, 2018. Why conserve biodiversity? A multi-national exploration of stakeholders' views on the arguments for biodiversity conservation. *Biodiversity and conservation*. Vol. 27, n° 7, p. 1741-1762. DOI 10.1007/s10531-016-1173-z.

BERTOLERO, A., MARTINEZ VILALTA, A., 1998. La Perdiu de Mar Glareola pratincola al Delta de l'Ebre : Seguiment de la poblacio i biologia reproductora. *Butlletí científic del parc natural delta de l'Ebre*. n° 10, p. 14-19.

BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2015. European Red List of Birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

BIRDLIFE INTERNATIONAL, 2017. Glareola pratincola. The IUCN red list of threatened species 2017. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T22694127A120026910.en>.

Van den BORN, R.J.G., ARTS, B., ADMIRAAL, J., *et al.*, 2018. The missing pillar: Eudemonic values in the justification of nature conservation. *Journal of environmental planning and management*. Vol. 61, n° 5-6, p. 841-856. DOI 10.1080/09640568.2017.1342612.

BURNHAM, K.P., ANDERSON, D.R., 2002. *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. 2^{ème} édition. New York : Springer-Verlag.

CALVO, B., 1994. Effects of agricultural land-use on the breeding of collared pratincole Glareola pratincola in south-west Spain. *Biological conservation*. Vol. 70. DOI 10.1016/0006-3207(94)90301-8.

CALVO, B., FURNESS, R.W., 1995. Colony and Nest-Site Selection by Collared Pratincoles (*Glareola pratincola*) in Southwest Spain. *Colonial waterbirds*. Vol. 18, n° 1, p. 1. DOI 10.2307/1521393.

CHAIYARAT, R., EIAM-AMPAI, K., 2014. Effects of grazing on nesting of the Oriental pratincole (*Glareola maldivarum*) in Bueng Boraphet Wetland, Thailand. *Zoological science*. Vol. 31, n° 2, p. 77-82. DOI 10.2108/zsj.31.77.

CODY, M.L., 1985. *Habitat Selection in Birds*. 558 p. Academic Press.

CRAMP, S., SIMMONS, K.E.L., 1983. *The birds of the Western Palearctic*. 1271p. Oxford University Press.

DEL HOYO, J., ELLIOTT, A., SARGATAL, J., 1996. *Handbook of the birds of the world*. Barcelona : Lynx Edicions.

DOLZ GARCIA, J.C., DIES JAMBRINO, I., 1989. Las colonias de Canastera (*Glareola pratincola*, Linné 1766) en la Comunidad Valenciana. *Medinatural*. n° 1, p. 69-80.

FRANKLIN, J.F., 1993. Preserving Biodiversity: Species, Ecosystems, or Landscapes? Ecological applications. Vol. 3, n° 2, p. 202-205. DOI 10.2307/1941820.

GALEWSKI, T., DEVICTOR, V., 2016. When Common Birds Became Rare: Historical Records Shed Light on Long-Term Responses of Bird Communities to Global Change in the Largest Wetland of France. *PLoS ONE*. n° 11. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0165542>.

GARCÍA-LLORENTE, M., HARRISON, P.A., BERRY, P.M., *et al.*, 2018. What can conservation strategies learn from the ecosystem services approach? Insights from ecosystem assessments in two Spanish protected areas. *Biodiversity and conservation*. Vol. 27, n° 7, p. 1575-1597. DOI 10.1007/s10531-016-1152-4.

GILL, F., et DONSKER, D., 2019. *International Ornithological Congress*. Vancouver, Canada. IOC World Bird List.

GODET, L., DEVICTOR, V., 2018. What Conservation Does. *Trends in ecology & evolution*. Vol. 33, n° 10, p. 720-730. DOI 10.1016/j.tree.2018.07.004.

HANANE, S., BOUKHRISS, J., SELMI, S., 2010. Breeding ecology of Collared Pratincoles *Glareola pratincola* in two coastal habitats in northwest Morocco. *Bird study*. Vol. 2, n° 57, p. 236-243. DOI 10.1080/00063651003610569.

JOHANNESSEN, E., PERRIMAN, L., STEEN, H., 2002. The effect of breeding success on nest and colony fidelity in the Little Penguin (*Eudyptula minor*) in Otago, New Zealand. *Emu Austral Ornithology*. Vol. 102, n° 3, p. 241-247. DOI 10.1071/MU01061.

KAYSER, Y., 2018. *Suivi de la reproduction de la Glaréole à collier Glareola pratincola en Camargue et ses environs et actions de conservation pour l'année 2018*. (Rapport). 17p. Tour du Valat, Arles.

KAYSER, Y., VINCENT-MARTIN, N., 2011. *Suivi de la reproduction de la Glaréole à collier Glareola pratincola en Camargue et ses environs et actions de conservation pour l'année 2011*. (Rapport). 15 p. Tour du Valat, Arles.

LAURANS, Y., RANKOVIC, A., 2019. Comment enrayer l'érosion continue de la biodiversité ? Observations issues d'une lecture de l'Évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de l'IPBES. *Iddri*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.iddri.org/fr/publications-et-evenements/decryptage/comment-enrayer-lerosion-continue-de-la-biodiversite>

LEBRETON, J.D et LANDRY, P., 1979. Fécondité de la Mouette rieuse, *Larus ridibundus*, dans une colonie importante de la plaine du Forez (Loire, France). *Le Gerfaut*. n° 69, p. 159-194.

MULLAHY, J., 1986. Specification and testing of some modified count data models. *Journal of econometrics*. Vol. 33, n° 3, p. 341-365. DOI 10.1016/0304-4076(86)90002-3.

NANKINOV, D., DALAKCHIEVA, S., POPOV, K., *et al.*, 2002. Die Geschichte der Rostflügel-Brachschwalbe *Glareola pratincola* in Bulgarien. *Ornithologische mitteilungen*. n° 54, p. 234-242.

PERENNOU, C., 2009. La Camargue au fil du temps. Evolutions récentes et perspectives. 27p. Tour du Valat, Arles.

R CORE TEAM, 2015. R: a language and environment for statistical computing. *R foudation for statistical computing*. Vienna, Austria

RANKIN, G.D., 1979. Aspects of the breeding biology of wading birds (*charadrii*) on a saltmarsh. Durham University. (Thèse). [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://etheses.dur.ac.uk/6324/>.

SCHMELLER, D.S., WEATHERDON, L.V., LOYAU, A., et al., 2018. A suite of essential biodiversity variables for detecting critical biodiversity change. *Biological Reviews*. Vol. 93, n° 1, p. 55-71. DOI 10.1111/brv.12332.

SOULE, M. E., 1985. What is conservation biology? A new synthetic discipline addresses the dynamics and problems of perturbed species, communities, and ecosystems. *BioScience - American Institute of Biological Sciences* [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8637184>.

STERBETZ, I., 1974. *Die Brachschwalbe, Glareola pratincola*. A. Ziemsen Verlag. Wittenberg, Lutherstadt : Die neue Brehm-Bucherei.

VERGARA, P., AGUIRRE, J., FARGALLO, J., et al., 2006. Nest-site fidelity and breeding success in White Stork *Ciconia ciconia*. *Ibis*. Vol. 148, p. 672-677. DOI 10.1111/j.1474-919X.2006.00565.x.

VINCENT-MARTIN, N., 2000. *Bilan du programme oiseaux macro-insectivores, Glaréole à collier et STOC-EPS pour l'année 2000*. (Rapport). 27p. CEEP, Saint Martin de Crau.

VINCENT-MARTIN, N., 2007. *Statut de conservation de la Glaréole à collier Glareola pratincola en Camargue: identification des facteurs limitant la reproduction*. (Mémoire). EPHE-CNRS, Montpellier.

WETLANDS INTERNATIONAL, 2019. *Waterbird Population Estimates*. [en ligne]. Disponible à l'adresse : wpe.wetlands.org.

ZEILEIS, A., KLEIBER, C., JACKMAN, S., 2008. Regression Models for Count Data in R. *Journal of Statistical Software*. Vol. 27, n° 8. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.jstatsoft.org/v27/i08/>. DOI 10.18637/jss.v027.i08.

ZUUR, A., IENO, E.N., WALKER, N., et al., 2009. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*. New York : Springer-Verlag. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.springer.com/gp/book/9780387874579>.

Annexes

	Phase de prospection des colonies	Phase de recensement des effectifs
Descripton méthode	<p><u>Objectif</u>: détecter toutes les colonies et de les localiser.</p> <p><u>Méthode utilisée</u>: observation directe par prospection, recherche d'oiseaux au comportement d'installation en colonie. Chaque session de prospection couvre l'ensemble de la Camargue, afin que la pression de prospection soit homogène sur toute la zone.</p>	<p><u>Objectif</u>: estimer les effectifs reproducteurs de chaque colonies, puis de l'ensemble de la Camargue.</p> <p><u>Méthode utilisée</u>: recensement à distance d'une colonie, d'un point fixe. Chaque session de recensement couvre l'ensemble des colonies localisées en Camargue.</p>
Période	Mai-Juin	Fin Avril à fin Août
Fréquence des sessions	min 1/mois en Mai et Juin	min 1comptage/13 jours
Nombre de session	min 2	min 6
Durée des sessions	4 jours (pour toute la Camargue)	2-3 jours (en fonction du nb de colonies)
Points d'obs	Routes et chemins, tous les 500 à 2000 mètres	Point fixe identique pour une même colonie au cours de la saison. A distance <50m, ou d'une cache (voiture, haie...)
Durée d'obs par point/colonie	5 à 15 min	min 1h (en fonction de la détectabilité)
Heures d'obs	8h-13h et 17h-21h	
Conditions météo	Vent faible à modéré, sans pluie, bonne visibilité	
Matériel	Jumelles et télescope	

Annexe 1. Protocole de suivi à long terme de la population de Glaréole à collier en Camargue.

Typologie d'occupation du sol du PNRC	Catégories associées	Explications
Maïs	Labour	Ces 4 types de culture sont systématiquement labourés au printemps, et sont donc disponibles en labours à l'installation des Glaréoles.
Riz	Labour	
Tournesol	Labour	
Terres cultivées sans récoltes	Labour	
Sansouire basse	Sansouire	Milieux très proches, avec des recouvrements assez similaires, et présentant des surfaces en sol affleurant.
Sansouire haute	Sansouire	
Jonchaie	Sansouire	
Prairie temporaire	Prairie-Friche	Milieux herbacés naturels ou issus de l'abandon temporaire de cultures.
Prairie naturelle	Prairie-Friche	
Friche ancienne	Prairie-Friche	
Friche récente	Prairie-Friche	
Marais ouverts	Marais	Milieux humides, qui présente régulièrement des zones assechées en été disponibles au Glaréoles.
Autre marais à végétation émergée	Marais	
Roselière	Marais	
Sol nu	Sansouire/ Prairie-Friche/ Marais	2 sites (Pointe de Cacharel et Cacharel de 2000 à 2018) sont considérés en Sansouire bien qu'ayant de très faibles recouvrements. 1 site (Grenouillet 4 de 2009 à 2018) considéré en Prairie-Friche, bien que présentant une surface en sol nu dû au surpaturage. 3 sites considérés en Marais (Mas de l'Ange, Mas de l'Ange 1 et 2) car sol entièrement nu à proximité de marais.
Culture maraichère	NA	Ces 4 types de culture ne sont pas toujours labourées pendant les dates d'installation des Glaréoles. Par précaution, aucune catégorie leur a été associée.
Culture fourragère	NA	
Blé	NA	
Luzerne	NA	

Annexe 2. Correspondance entre la typologie utilisée dans les données d'occupation du sol du PNRC et les 4 catégories choisies pour cette étude.

comptage						zéro						df	logLik	AICc	delta	weight		
(Intercept)	annee	ODS	PA1-1	PA1-3	SR1-1	ann:ODS	(Intercept)	annee	ODS	PA1-1	PA1-3						SR1-1	ann:ODS
2,558		+	0,306				-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	17	-779,854	1594,3	0	0,067
2,802		+					-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	16	-781,027	1594,6	0,28	0,058
2,558		+	0,306				-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	16	-781,287	1595,1	0,8	0,045
2,802		+					-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	15	-782,461	1595,4	1,08	0,039
2,575		+	0,402			-0,1791	-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	18	-779,498	1595,7	1,36	0,034
2,534		+	0,235	0,1232			-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	18	-779,671	1596	1,71	0,028
2,558		+	0,306				-2,551	0,524	+			1,57	+	15	-782,911	1596,3	1,98	0,025
2,545	0,01778	+	0,314				-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	18	-779,833	1596,3	2,03	0,024
2,575		+	0,402			-0,1791	-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	17	-780,932	1596,5	2,16	0,023
2,802		+					-2,551	0,524	+			1,57	+	14	-784,084	1596,6	2,27	0,021
2,806	-0,00997	+					-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	17	-781,021	1596,6	2,33	0,021
2,801		+				0,0018	-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	17	-781,027	1596,7	2,35	0,021
2,534		+	0,235	0,1232			-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	17	-781,104	1596,8	2,5	0,019
2,558		+	0,306				-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		13	-785,355	1597,1	2,76	0,017
2,657		+		0,2274		-0,0049	-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	18	-780,202	1597,1	2,77	0,017
2,545	0,01778	+	0,314				-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	17	-781,267	1597,1	2,83	0,016
2,802		+					-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		12	-786,529	1597,4	3,05	0,015
2,806	-0,00997	+					-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	16	-782,454	1597,4	3,13	0,014
2,801		+				0,0018	-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	16	-782,461	1597,5	3,15	0,014
2,55	0,03489	+	0,428			-0,1979	-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	19	-779,423	1597,6	3,29	0,013
2,575		+	0,402			-0,1791	-2,551	0,524	+			1,57	+	16	-782,555	1597,7	3,34	0,013
2,558		+	0,306				-2,459	0,506	+		-0,155	1,60	+	16	-782,639	1597,8	3,5	0,012
2,657		+		0,2274		-0,0049	-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	17	-781,635	1597,9	3,56	0,011
2,534		+	0,235	0,1232			-2,551	0,524	+			1,57	+	16	-782,728	1598	3,68	0,011
2,558		+	0,306				-2,518	0,109	+	0,636	-0,442	1,21		14	-784,79	1598	3,68	0,011
2,512	0,02732	+	0,242	0,1337			-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	19	-779,625	1598	3,69	0,011
2,802		+					-2,459	0,506	+		-0,155	1,60	+	15	-783,812	1598,1	3,79	0,01
2,802		+					-2,518	0,109	+	0,636	-0,442	1,21		13	-785,964	1598,3	3,97	0,009
2,545	0,01778	+	0,314				-2,551	0,524	+			1,57	+	16	-782,891	1598,3	4,01	0,009
2,55	0,03489	+	0,428			-0,1979	-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	18	-780,857	1598,4	4,08	0,009
2,575		+	0,402			-0,1791	-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		14	-785	1598,4	4,1	0,009
2,558		+	0,306				-2,485		+			1,51		11	-788,137	1598,5	4,22	0,008
2,806	-0,00997	+					-2,551	0,524	+			1,57	+	15	-784,078	1598,6	4,32	0,008
2,801		+				0,0018	-2,551	0,524	+			1,57	+	15	-784,084	1598,6	4,33	0,008
2,804	-0,0101	+				0,0035	-2,636	0,563	+	0,712	-0,399	1,17	+	18	-781,02	1598,7	4,41	0,007
2,534		+	0,235	0,1232			-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		14	-785,172	1598,8	4,45	0,007
2,512	0,02732	+	0,242	0,1337			-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	18	-781,058	1598,8	4,48	0,007
2,802		+					-2,485		+			1,51		10	-789,311	1598,8	4,52	0,007
2,558		+	0,306				-2,637		+	0,348		1,27		12	-787,288	1598,9	4,57	0,007
2,657		+		0,2274		-0,0049	-2,551	0,524	+			1,57	+	16	-783,259	1599,1	4,74	0,006
2,545	0,01778	+	0,314				-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		14	-785,335	1599,1	4,77	0,006
2,575		+	0,402			-0,1791	-2,459	0,506	+		-0,155	1,60	+	17	-782,283	1599,2	4,86	0,006
2,802		+					-2,637		+	0,348		1,27		11	-788,462	1599,2	4,87	0,006
2,558		+	0,306				-2,35		+		-0,236	1,56		12	-787,487	1599,3	4,97	0,006
2,575		+	0,402			-0,1791	-2,518	0,109	+	0,636	-0,442	1,21		15	-784,435	1599,3	5,03	0,005
2,806	-0,00997	+					-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		13	-786,523	1599,4	5,09	0,005
2,801		+				0,0018	-2,494		+	0,622	-0,461	1,19		13	-786,529	1599,4	5,1	0,005
2,804	-0,0101	+				0,0035	-2,771	0,587	+	0,490		1,25	+	17	-782,454	1599,5	5,2	0,005
2,534		+	0,235	0,1232			-2,459	0,506	+		-0,155	1,60	+	17	-782,456	1599,5	5,2	0,005
2,558		+	0,306				-2,663	0,120	+	0,386		1,29		13	-786,603	1599,6	5,25	0,005
2,55	0,03489	+	0,428			-0,1979	-2,551	0,524	+			1,57	+	17	-782,481	1599,6	5,25	0,005

Annexe 3. Tableau de sélection de modèle pour la modélisation du nombre de couple par site. Les colonnes sont les différentes variables prédictives. La partie « comptage » du tableau regroupe les variables explicatives pour la modélisation des données de comptage, et la partie « zéro » intègre les variables prédictives des données d'occurrence. Les valeurs pour la partie « zéro » et « comptage » correspondent aux estimations des covariables lorsqu'elles sont testées sur le modèle, et le « + » correspondent aux facteurs testés sur les différents modèles.

Intercept	annee	intervention	ODS	secteur	interv:ODS	df	logLik	AIC	delta	weight
1.0030		+	+			9	-68.381	156.5	0.00	0.471
0.9729	0.06128	+	+			10	-67.495	157.2	0.65	0.341
0.6734	0.07964	+				7	-72.325	159.7	3.19	0.096
0.6835		+				6	-73.816	160.4	3.90	0.067
1.1530		+	+		+	14	-65.651	163.7	7.13	0.013
1.1030	0.06871	+	+		+	15	-64.560	164.2	7.63	0.010
0.6042		+		+		20	-61.103	171.5	15.00	0.000
0.5339	0.07834					3	-83.432	173.1	16.54	0.000
0.5471						2	-84.631	173.4	16.83	0.000
0.5449	-0.06694	+		+		21	-60.589	173.6	17.02	0.000
0.8837		+	+	+		23	-57.448	173.6	17.04	0.000
0.8176	-0.08584	+	+	+		24	-56.631	175.2	18.67	0.000
0.5832	0.08883		+			6	-81.605	176.0	19.47	0.000
0.6141			+			5	-83.068	176.7	20.16	0.000
1.0440		+	+	+	+	28	-53.391	182.6	26.04	0.000
0.9963	-0.09528	+	+	+	+	29	-52.403	184.3	27.74	0.000
0.3661				+		16	-74.005	185.8	29.25	0.000
0.2945	-0.08869			+		17	-73.241	187.1	30.52	0.000
0.4378			+	+		19	-72.320	191.0	34.45	0.000
0.3788	-0.08397		+	+		20	-71.699	192.7	36.19	0.000

Annexe 4. Tableau de sélection de modèle pour la modélisation du succès reproducteur. Les valeurs pour la colonne Intercept et annee correspondent aux estimations de ces covariables lorsqu'elles sont testées sur le modèle, et le « + » correspondent aux facteurs testés sur les différents modèles.

Intercept	annee	intervention	ODS	PAt_1	secteur	int:ODS	df	logLik	AICc	delta	weight
1.3100		+	+	-0.3545			10	-60.448	143.2	0.00	0.484
1.2520	0.06681	+	+	-0.3337			11	-59.422	143.6	0.43	0.390
1.4920		+	+	-0.3769		+	15	-56.661	148.5	5.38	0.033
0.8660	0.10040	+		-0.2607			8	-65.558	148.6	5.41	0.032
1.4200	0.07254	+	+	-0.3554		+	16	-55.424	148.8	5.66	0.029
0.9018		+		-0.2817			7	-67.795	150.7	7.55	0.011
0.9369	0.08803	+	+				10	-64.468	151.2	8.04	0.009
0.9884		+	+				9	-66.113	152.1	8.90	0.006
0.6579	0.11120	+					7	-68.522	152.2	9.00	0.005
0.6792		+					6	-71.132	155.1	11.93	0.001
1.0840	0.09434	+	+			+	15	-61.302	157.8	14.66	0.000
1.1530		+	+			+	14	-63.202	158.9	15.76	0.000
0.7543	0.09825			-0.3067			4	-76.507	161.4	18.24	0.000
0.7939				-0.3290			3	-78.275	162.8	19.62	0.000
0.7372		+		-0.2042	+		21	-55.420	163.6	20.42	0.000
0.5347		+			+		20	-56.980	163.6	20.45	0.000
0.8285	0.09991		+	-0.3304			7	-74.337	163.8	20.63	0.000
0.8933			+	-0.3599			6	-76.096	165.0	21.86	0.000
1.0570		+	+	-0.2553	+		24	-51.537	165.5	22.37	0.000
0.5125	0.11250						3	-79.990	166.2	23.05	0.000
0.5106	-0.03516	+			+		21	-56.845	166.4	23.27	0.000
0.7197	-0.01888	+		-0.1997	+		22	-55.381	166.7	23.50	0.000
0.7793		+	+		+		23	-54.044	167.2	24.07	0.000
0.5379							2	-82.181	168.5	25.31	0.000
1.0240	-0.04427	+	+	-0.2476	+		25	-51.319	168.5	25.33	0.000
0.5538	0.12080		+				6	-78.358	169.5	26.39	0.000
0.7459	-0.05942	+	+		+		24	-53.664	169.8	26.62	0.000
0.6034			+				5	-80.776	172.1	28.98	0.000
1.2770		+	+	-0.2852	+	+	29	-46.249	172.8	29.64	0.000
0.9537		+	+		+	+	28	-49.556	175.7	32.51	0.000
1.2510	-0.05116	+	+	-0.2764	+	+	30	-45.956	176.1	32.90	0.000
0.4815				-0.2183	+		17	-68.623	178.0	34.88	0.000

Annexe 5. Tableau de sélection de modèle pour la modélisation du succès reproducteur. Le modèle général intègre en plus une variable représentant la présence/absence sur le secteur à l'année t-1 (PAt-1). On peut voir que le meilleur modèle est identique à celui traité précédemment mais intègre en plus la PAt-1. Les estimations de ce premier modèle sont présentées en Annexe 6.

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	1.3096	0.1498	8.744	5.95e-14	***
intervCulture	-0.3366	0.1984	-1.697	0.092857	.
intervMise en eau	-0.9208	0.2137	-4.308	3.88e-05	***
intervPaturage	-0.3848	0.1217	-3.163	0.002075	**
intervTravaux agricoles	-0.7143	0.1594	-4.480	2.01e-05	***
ODSMarais	-0.4626	0.1362	-3.397	0.000983	***
ODSPrairie-Friche	-0.3003	0.1302	-2.307	0.023165	*
ODSSansouire	-0.5268	0.1763	-2.988	0.003539	**
PAt_1	-0.3545	0.1071	-3.309	0.001306	**

Annexe 6. Coefficients (estimate) issus du nouveau modèle lorsque l'on teste la PAt-1. ($SR \sim Interv + Habitat + PAt-1$) (modèle avec distribution gaussienne des erreurs et fonction de lien identité). On peut voir que la présence/absence sur un secteur une année donnée va significativement diminuer le succès reproducteur sur les sites du même secteur l'année d'après (estimate=-0,35, $p < 0.002$).

Résumé

En France, la seule population reproductrice de Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) se situe en Camargue (delta du Rhône), et elle fait l'objet d'un suivi scientifique depuis 2000. Les enjeux de conservation que nous avons relevés justifient la nécessité d'identifier des mesures de gestion pour améliorer les conditions de reproduction de la population Camarguaise. Ainsi, avec les 19 années de données issues du suivi, nous avons pu étudier deux éléments caractéristiques de sa reproduction, en vue de mieux comprendre les exigences de l'espèce pour se reproduire et de diriger les actions de conservation. Nous avons d'abord étudié la sélection des parcelles de nidification (GLM binomial négatif zéro tronqué), puis nous avons analysé la qualité de reproduction des colonies en expliquant le succès reproducteur à l'aide d'un GLM gaussien. En termes de gestion, les principaux résultats nous ont permis de confirmer l'hypothèse d'une fidélisation des Glaréoles pour les labours, et ils ont montré un fort intérêt des colonies pour les prairies-friches pendant la période d'étude. Nous avons également mis en évidence l'effet positif de l'absence d'intervention, par rapport au pâturage, aux travaux agricoles et aux mises en eau, mais la mise en culture n'était pas significativement différente. Il semble essentiel de poursuivre les efforts de conservation de l'espèce (sensibilisation, mises en défens, gestion de parcelles), et d'approfondir l'étude sur la dynamique de colonisation de l'espèce en la mettant en lien avec la dynamique du paysage en Camargue, pour rendre efficaces les futures mesures de gestion.

In France, the only breeding population of Collared pratincole (*Glareole pratincola*) is located in Camargue (Rhône delta), and it has been scientifically monitored since 2000. The conservation issues that we have identified justify the need to find management strategies to improve the breeding conditions of the Camargue population. Thus, thanks to 19 years of monitoring data, we have been able to study two characteristic elements of its reproduction, in order to better understand the requirements of the species to breed and manage conservation actions. We first studied nesting site selection (binomial negative truncated zero GLM), then analyzed breeding quality by explaining reproductive success using a gaussian GLM. In terms of management, the main results allowed us to confirm the hypothesis of a loyalty of Pratincole for plowed land. The results also showed a strong interest of the colonies for the meadow and followed field during the period of study. We also highlighted the positive effect of the lack of intervention, compared to grazing, agricultural work and artificial flood, but the cultivation was not significantly different. It seems essential to continue the conservation efforts of the species (sensilization, protection, management of plots). It is also necessary to deepen the study on the dynamics of colonization of the species by relating it to the dynamics of the landscape in the Camargue, to make future management actions effective.

Mots clés : *Glareola pratincola*, habitat selection, breeding success, conservation, modelization.