MEMOIRE DU DESU Biodiversités, Villes et Territoires 2023

Biodiversité dans l'aménagement des villes et des territoires

Optimiser la plantation de haies en Camargue dans le cadre de la conservation de la Glaréole à collier (*Glareola Pratincola)*

Sébastien THOMAS

3 juin 2023

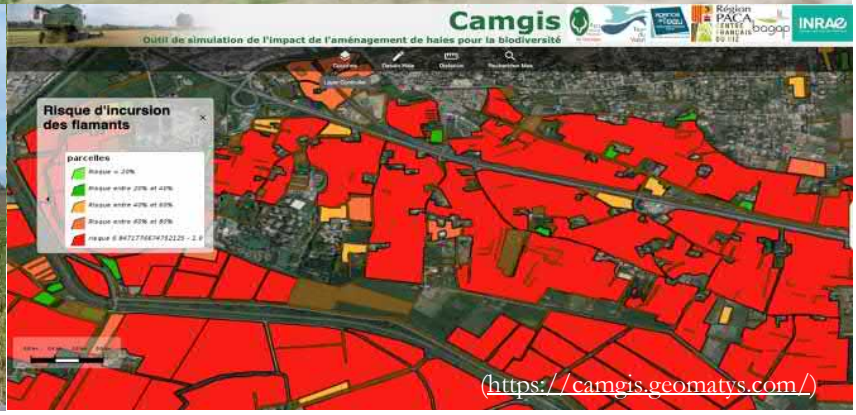
Co-Tuteurs : Stéphan ARNASSANT (Parc Naturel Régional de Camargue) et Arnaud BÉCHET (Tour du Valat)



Photo : Aurélien Lévy (https://cotheurs.fr/especes/espece.php?id=362&liste=102)



©Parc Naturel Régional de Camargue



(https://camgis.geomatys.com/)

Charte anti-plagiat

Je soussigné, Sébastien THOMAS, candidat au DESU Biodiversités, Villes et Territoires (CMVRH, Aix-Marseille Université),

Atteste sur l'honneur que la présente fiche de lecture a été écrite de mes mains, que ce travail est personnel et que toutes les sources d'informations externes et les citations d'auteurs ont été mentionnées conformément aux usages en vigueur (Nom de l'auteur, nom de l'article, éditeur, lieu d'édition, année, page).

Je certifie par ailleurs que je n'ai ni contrefait, ni falsifié, ni copié l'œuvre d'autrui afin de la faire passer pour mienne.

Fait à Vaudreuille, le 3 juin 2023

Signature : 

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Arnaud Béchet de la Tour du Valat et Stéphan Arnassant du Parc Naturel Régional de Camargue pour avoir accepté de m'encadrer pour ce mémoire. En m'immergeant grâce à eux dans l'univers camarguais, j'ai concrétisé un rêve de gosse.

Au sein de leurs organismes respectifs, je remercie chaudement tous ceux qui m'ont accueilli lors de ma semaine camarguaise et ont partagé avec moi leur passion et leurs connaissances.

De la Tour du Valat, un grand merci à Jocelyn Champagnon et Yves Kayser, les experts de la glaréole, pour leurs données et leurs conseils. Un grand merci à Roberta Fausti qui m'a ouvert en grand les portes de sa bibliothèque et m'a refilé des tuyaux en or pour Zotero. Un grand merci à Anthony Olivier pour m'avoir laissé me joindre à la sortie ornitho au marais de Saint Seren.

Au PNRC, je tiens à remercier tout particulièrement Philippe Isenmann pour les données qu'il a partagées avec moi et pour son accompagnement dans ma découverte de QGIS et du monde de la géomatique, ainsi qu'Anne Vadon pour l'entretien original qu'elle m'a accordé sur les haies en Camargue tout en livrant des plants à un agriculteur.

Et bien sûr, tout aurait été beaucoup plus compliqué sans le soutien de ma famille et de mes amis. Une mention toute spéciale à mon ami et néanmoins mathématicien Bertrand Michel, professeur à Centrale Nantes, dont la passion pour sa matière est au moins égale à celle que j'ai pour les oiseaux et sans qui je n'aurais ni osé ni pu me lancer dans les analyses statistiques de ce mémoire. Merci pour ton implication et ta pédagogie, Béber ! Merci aussi à Guillaume Lesecq pour avoir volé à mon secours quand je galérais avec QGIS.

Enfin, je souhaite remercier tous ceux que j'ai côtoyés dans le cadre de mon DESU Biodiversité, Villes et Territoires au sein de l'IMBE à Aix-Marseille Université. Cette année de retour sur les bancs de la fac m'a apporté tout ce que j'étais venu y chercher et plus encore. Merci donc à l'équipe pédagogique et aux intervenants. Et merci à mes camarades. Ça a été une vraie joie d'apprendre à vous connaître et de partager cette expérience avec vous. « Votre délégué » a été honoré de faire partie d'une promo aussi chouette et diverse. L'intérêt que nous portons à la conservation de l'environnement et de la biodiversité est une valeur qui rassemble de belles personnes et cela me conforte dans ma volonté de mener à bien ma reconversion.

Sommaire

REMERCIEMENTS 3

SOMMAIRE 4

LISTE DES TABLEAUX 5

LISTE DES FIGURES 5

LISTE DES ANNEXES 6

1. INTRODUCTION 7

2. MATÉRIELS ET MÉTHODE 9

2.1. ÉTAT DES LIEUX DU LINÉAIRE DE HAIES CAMARGUAIS 9

2.2. LA GLARÉOLE À COLLIER 11

2.2.1. Effectifs et statuts de conservation dans le monde et en Europe 11

2.2.2. La glaréole à collier en France : une conservation liée au maintien des habitats de nidification en Camargue 12

2.2.2.1. La Camargue, bastion d'une espèce patrimoniale en danger 12

2.2.2.2. Une espèce de milieux ouverts 12

2.3. CHOIX DES PARAMÈTRES, DONNÉES ET PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE 14

2.3.1. Paramètres de l'étude 14

2.3.2. Données et zone d'étude 14

2.3.2.1. Données du suivi de la Glaréole à collier 14

2.3.2.2. Données cartographiques des haies camarguaises 15

2.3.2.3. Données d'occupation du sol 16

2.3.2.4. Choix de la zone d'étude 16

2.4. CHOIX DES VARIABLES 17

2.5. CONSTRUCTION DES JEUX DE DONNÉES 18

2.6. MODÈLES STATISTIQUES 22

2.6.1. Modélisation de la présence/absence et de la taille des colonies 22

2.6.2. Modèle prédictif 23

3. RÉSULTATS 24

3.1. INSTALLATION ET TAILLE DES COLONIES 24

3.2. PRÉDICTION DE LA PRÉSENCE DE COLONIES 26

4. DISCUSSION 27

5. CONCLUSION 31

BIBLIOGRAPHIE 32

ANNEXES 35

RÉSUMÉ 41

Liste des Tableaux

Tableau 1. *Variables de l'étude. Pour les variables « Longueur totale de haies » et « Longueur de haies basses », les préfixes km, Dm et CCLm correspondent aux rayons des cercles étudiés.* 21

Tableau 2. *Taille des échantillons par jeu de données.* 22

Tableau 3. *Coefficients (estimate) issus du modèle des données de comptage (nombre de couples par colonie) et d'occurrence (présence/absence) (modèle avec distribution binomiale des erreurs et fonction de lien logit) pour le Jeu de données 1 (sans prise en compte des haies basses).* 25

Tableau 4. *Coefficients (estimate) issus du modèle des données de comptage (nombre de couples par colonie) et d'occurrence (présence/absence) (modèle avec distribution binomiale des erreurs et fonction de lien logit) pour le Jeu de données 2 (avec prise en compte des haies basses).* 26

Tableau 5. *Rejet de l'égalité des moyennes pour les variables « longueur totale de haies » et « longueur de haies basses » dans les trois cercles d'étude par rapport à la probabilité de présence de la Glaréole.* 26

Tableau 6. *Prédiction de la présence de colonies en fonction du type d'ODS, de la distance à la haie la plus proche (haie_dist) et de la longueur totale de haies dans les cercles de 1 km, 500 m et 250 m de rayon (km_haie_lg, Dm_haie_lg et CCLm_haie_lg). Les valeurs de haie_dist et de km_haie_lg, Dm_haie_lg et CCLm_haie_lg du tableau pour chaque ODS correspondent au quartile 1, à la médiane et au quartile 3.* 27

Liste des Figures

Figure 1. *CAMGIS : couche de risque d'incursion de flamants roses (gauche) ; CAMGIS : couche de la continuité pour le Grand Rhinolophe (Rhinolophus ferrunequinum) (droite).* 9

Figure 2. *Cartographie des haies et des zones tampons de 1 km de rayon autour des colonies de glaréoles recensées entre 2000 et 2022 dans la zone d'étude.* 17

Figure 3. *Résultats des tests d'autocorrélation spatiale en X et en Y pour l'échantillon total.* 24

Figure 4. *Résultat du test de corrélation entre les variables « distance à la haie la plus proche » et « longueur totale de haies » dans la zone d'un kilomètre de rayon.* 24

Figure 5. *Distribution des prédictions de probabilité (y) de présence (x=1) de la Glaréole par le modèle.* 27

Liste des Annexes

Annexe 1. *Protocole de suivi à long terme de la population camarguaise de la Glaréole à collier (Glareola pratincola) établi par Nicolas Vincent-Martin (Source : Darthayette, 2019).* 35

Annexe 2. *Description des 4 catégories d'ODS.* 36

Annexe 3. *Synthèse des décisions prises dans la construction des jeux de données.* 39

Annexe 4. *Cartographie des témoins avec une distance à la haie la plus proche supérieure à 1 km.* 40

1. Introduction

La nature décline globalement à un rythme sans précédent dans l'histoire humaine - et le taux d'extinction des espèces s'accélère, provoquant dès à présent des effets graves sur les populations humaines du monde entier (IPBES, 2019). Les causes de ces évolutions négatives sont d'abord l'utilisation des terres – pour l'agriculture, l'exploitation forestière ou l'urbanisation – et le prélèvement direct des ressources comme la pêche et la chasse ; il y a ensuite le changement climatique, les pollutions et les espèces invasives (Lavorel, 2019). Les zones humides paient un tribut particulièrement lourd puisque 87 % des zones humides ont disparu dans le monde entre le XVIIIème siècle et l'an 2000, et que ce déclin s'accélère depuis quelques années : - 35 % de 1970 à 2015, soit une perte trois fois plus rapide que pour les forêts (RAMSAR, 2018). Les enjeux liés aux zones humides apparaissent comme une priorité pour les années à venir, tant pour la biodiversité particulièrement riche qu'elles abritent que pour les services écosystémiques qu'elles rendent : protection du trait de côte, régulation des crues, atténuation du changement climatique, stockage et purification de l'eau (Gallet et al., 2017).

La Camargue, zone humide de 150 000 ha correspondant au delta du Rhône (Blondel et al. 2013), est une des plus vastes et plus diverse zones humides méditerranéennes (Fraixedas et al., 2019). Malgré son caractère sauvage et la perception qu'en ont les gens, elle a été façonnée au cours des siècles non seulement par les éléments naturels mais également par les activités humaines qui, aujourd'hui encore, continuent d'entretenir et d'installer des aménagements, et d'exploiter les ressources de ce territoire (Donadieu, 1996). Bien que 25 000 ha du delta, soit environ 20% de sa superficie, soient maintenant protégés (Parc Naturel Régional de Camargue) de multiples pressions continuent à s'exercer et à fragiliser les politiques de gestion favorables à la conservation de la nature.

En 2020, les milieux agricoles représentent 41 % des terres émergées en Europe (DataBank, 2020) et la biodiversité y décline encore plus vite que dans les autres écosystèmes terrestres. L'intensification des pratiques agricoles et l'homogénéisation des paysages agricoles sont les facteurs principaux à l'origine de ce déclin (Kleijn et al., 2011 ; Tscharntke et al., 2005). En Camargue, ce phénomène s'est déroulé pendant la deuxième moitié du XXe siècle, et notamment au début des années 1980 avec la modernisation de la culture du riz. L'évolution du paysage qui en a résulté se traduit notamment par l'agrandissement des parcelles et l'arrachage des haies (Mathevet et Béchet, 2020 ; Mallet, 2022). Les formations arborées, constituées principalement d'arbres isolés, de haies et de petits boisements sur les bourrelets alluviaux, n'ont ainsi fait que décroître depuis le

début des années 1940 et représentent de nos jours seulement 5,5% des terres émergées en Camargue (Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement des Bouches du Rhône, 2011).

Depuis une trentaine d'années plusieurs actions de replantation de haies ont vu le jour sur le territoire du Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC). Ces mesures visent principalement la limitation des dégâts générés par les incursions des flamants roses dans les rizières (Tourenq et al., 2001 ; Mathevet et Béchet, 2020), la création de corridors écologiques pour les de chiroptères (PNRC, 2014) et la restauration de la « trame turquoise[1] » (PNRC, 2018). Mais la replantation de haies est une mesure agroécologique qui peut générer de nombreux autres effets positifs tant pour la conservation de la biodiversité que pour les activités agricoles. En effet, les haies constituent des habitats favorables pour de nombreuses espèces d'oiseaux de lisière forestière mais aussi des insectes pollinisateurs (Hinsley and Bellamy, 2019 ; Morandin and Kremen, 2013). En outre, en favorisant la présence des chiroptères, elles peuvent contribuer à la lutte contre la pyrale du riz (Puig-Montserrat et al., 2015) ou les vers de la grappe en viticulture (Charbonnier et al., 2021). En fonction des essences plantées, elles peuvent même apporter une diversification des sources de revenus des agriculteurs par la vente des produits de la taille à la filière bois énergie (Chambre d'Agriculture Landes). Cependant, pour la biodiversité des plaines rizicoles, il n'est peut-être pas souhaitable de planter trop de haies contrairement à la plupart des contextes agricoles céréaliers (Mallet, 2022). En effet, en plus des contraintes agronomiques (les haies limitent le ressuyage des terres après la culture du riz ; Migairou-Leprince et al., 2021), les haies entrent en compétition avec d'autres types de bordures de parcelles importantes pour la conservation des espèces des zones humides, comme les linéaires de roseaux utilisées comme habitat de substitution par les oiseaux des roselières (Choi et al., 2021),

Afin d'optimiser les bénéfices environnementaux et agricoles des haies, CAMGIS, un outil d'accompagnement pour la planification territoriale, a été développé par le PNRC en collaboration avec la Tour du Valat et avec l'aide du bureau d'études Géomatys, et mis à jour en 2022 par Arnaud Béchet et Pierre Mallet. Accessible en ligne (https://camgis.geomatys.com/; Figure 1), il permet à l'utilisateur de dessiner une haie fictive et d'observer de façon interactive l'effet que celle-ci aurait sur la réduction des incursions de flamants roses et l'augmentation de la connectivité pour les chiroptères (Mallet, 2022). Cependant, il ne prend pas compte les exigences d'autres oiseaux d'eau

[1] La trame turquoise constitue un sous-ensemble opérationnel à l'interface des trames verte et bleue. Ce concept technique a été créé par l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée Corse pour définir l'espace fonctionnel nécessaire au développement de la biodiversité aquatique et humide.

ou steppiques qui ne causent pas de dommages directs aux cultures et pour qui une trop grande densité de haies limite l'attractivité des parcelles car elles réduisent la visibilité et donc la détection des prédateurs (Tourenq et al., 2001 ; Katayama et al., 2019 ; Mallet, 2022). C'est le cas notamment d'une espèce patrimoniale camarguaise en danger, la Glaréole à collier (*Glareola pratincola*), qui utilise les champs de cultures comme lieu de nidification (Vincent-Martin, 2007).

L'objet de ce mémoire est de préciser la corrélation négative qui semble exister entre la fermeture du paysage par les haies et l'installation de colonies de Glaréoles à collier (Vincent-Martin, 2007) en s'intéressant à deux éléments :

- la présence ou l'absence de colonies de Glaréoles à collier sur des sites identifiés comme potentiellement favorables à sa nidification ;
- la taille des colonies mesurée en nombre de couples nicheurs.

En fonction des résultats, nous discuterons de la pertinence d'intégrer à CAMGIS des critères permettant la prise en compte dans le choix des emplacements les plus propices à la plantation de haies des besoins écologiques des espèces, telle la Glaréole à collier, qui recherchent des habitats ouverts pour nicher.



Figure 1. *CAMGIS : couche de risque d'incursion de flamants roses (gauche) ; CAMGIS : couche de la continuité pour le Grand Rhinolophe (Rhinolophus ferrunequinum) (droite).*

2. Matériels et méthode

2.1. État des lieux du linéaire de haies camarguais

Bien que faiblement représentées en surface sur le territoire camarguais, les haies, artificielles et naturelles, jouent de nombreux rôles dans le fonctionnement des écosystèmes. Les enjeux liés au maintien de ces formations arborées sont multiples et liés principalement à leur rôle au sein des processus observables en Camargue, à leur richesse biologique, à leur identité paysagère, et enfin à

leur caractère patrimonial et culturel. Ainsi, leur pérennisation s'avère être actuellement un enjeu majeur sur le territoire camarguais (Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement des Bouches du Rhône, 2011). De fait, la réimplantation de haies est encouragée et soutenue depuis une trentaine d'années par plusieurs initiatives et mesures qui ont connu un succès mitigé :

- La distribution de plants d'essences locales par le PNRC aux habitants du territoire du Parc, qui avait pour objectif principal de recréer des haies en bordure de parcelles agricoles pour lutter contre les incursions de flamants roses, n'a pas fait l'unanimité chez les agriculteurs, certains arguant que le paysage classique de la Camargue est le pré ouvert (ce qui est historiquement à moitié exact) et d'autres s'en servant pour embellir les mas d'espèces arborées (Mathevet et Béchet, 2020).
- Le PNRC a en parallèle soutenu la mise en place de deux Mesures Agri-Environnementales (MAE[2]) portant sur l'entretien des haies autour des rizières. Mais en 2008 et 2009, le taux de contractualisation pour ces mesures n'a été que d'environ 5% sur les sept types de MAE proposées aux 200 riziculteurs recensés au Centre Français du riz (Ernoul et al., 2012).
- Le programme LIFE+ Chiro Med a permis la plantation de plus de 20 km de haies en 2013 mais le rapport final du programme ne fait pas état d'autre critère que l'amélioration de la connectivité des milieux pour les chiroptères dans le choix des emplacements de reboisement.
- Le Document d'Objectifs de 2011 pour les sites Natura 2000 « Camargue » propose le contrat CN05 intitulé « Entretien de haies et de bosquets » (PNRC, 2011). D'après les renseignements obtenus auprès du PNRC, aucun contrat CN05 n'a été souscrit.

Une comparaison de la longueur totale des linéaires de 2001 et 2017 illustre le travail qui reste à accomplir. En effet, malgré les actions sus-citées, la Camargue a perdu plus de 52 km de haies en 16 ans, soit 4,3% du linéaire actuel (calcul effectué sur QGIS, version 3.28.3). Les obstacles rencontrés sont de natures très variées : besoin d'irrigation supérieur aux attentes, sous-capacité d'animation au niveau du PNRC par rapport au besoin du territoire, difficultés pour trouver des entreprises acceptant de faire la plantation des haies et assurant l'arrosage (PNRC, 2021), existence du phénomène d'incursion de flamants roses sur des parcelles rizicoles situées hors du périmètre d'applicabilité de la MAE d'entretien des haies, pratiques culturales intensives et gestion de l'eau jugées incompatibles avec l'entretien et la plantation de haies par une partie de la profession

[2] Les MAE sont des mesures incitatives qui visent à encourager le changement des pratiques en compensant les pertes de revenus ou les surcoûts qui peuvent résulter de la mise en œuvre des nouvelles pratiques (EC Directorate General for Agriculture and Rural Development, 2005).

rizicole, image négative des haies qui sont perçues comme des réservoirs pour des ravageurs du riz (Ernoul et. al, 2012).

Cependant, certaines perspectives sont encourageantes. Un premier bilan de l'action portée par le PNRC depuis son renforcement en 2017 par le co-financement par la Région Sud et l'Agence de l'Eau dans le cadre la mise en œuvre opérationnelle de la loi du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages qui a élargi les missions confiées aux agences de l'eau, rapporte que 40 agriculteurs ont manifesté leur intérêt pour un accompagnement à la plantation de haies, au-delà de la capacité (notamment budgétaire) du programme (PNRC, 2021). 18 linéaires ont ainsi été plantés sur la base de ces financements, pour près de 6 km (PNRC, 2018 ; PNRC, 2023). Par ailleurs, depuis 2021, le plan de relance de l'agriculture mis en œuvre par le Ministère offre de nouvelles opportunités d'accompagnement à la plantation de haies. La Chambre d'agriculture des Bouches du Rhône s'est positionnée sur l'appel à projet « plantons des haies », en partenariat avec le PNR Camargue, et a pu ainsi accompagner 19 exploitations du département, dont 12 pratiquent la riziculture. Côté Gard, les riziculteurs bénéficient également d'un accompagnement à la plantation par le Syndicat Mixte pour la protection et la gestion de la Camargue Gardoise (SMGCG) (PNRC, 2022).

Si les espèces de milieux ouverts comme les oiseaux d'eau ont pu bénéficier de la disparition des haies (Katayama et al., 2019 ; Tourenq et al., 2001a), il est important que la dynamique actuelle des actions de plantation de haies les prenne en compte.

2.2. La glaréole à collier

2.2.1. Effectifs et statuts de conservation dans le monde et en Europe

La Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) est l'un des 7 représentants du genre *Glareola* qui appartient à l'ordre des Charadriiformes (383 espèces). Sa population totale est estimée à 140 000 couples (Wetlands International, 2018). Son aire de répartition est fragmentée et s'étend du sud de l'Afrique à une large bande subsaharienne, au Kazakhstan et au Pakistan à l'est et au pourtour du bassin méditerranéen (Cramp & Simmons 1983, Del Hoyo et al. 1996). En Europe où elle est représentée par la sous-espèce *Glareola pratincola pratincola*, exclusivement migratrice, on recense de 7 800 à 14 900 couples. L'espèce est jugée en régression à l'échelle mondiale et dans plusieurs de ses bastions européens (Turquie, Grèce) mais ne bénéficie que d'un statut « Least Concern » (« LC », i.e., peu

préoccupant) dans le monde et en Europe du fait de sa vaste aire de répartition et de l'imprécision des données sur l'ampleur de son déclin (Birdlife International, 2017).

2.2.2. La glaréole à collier en France : une conservation liée au maintien des habitats de nidification en Camargue

2.2.2.1. La Camargue, bastion d'une espèce patrimoniale en danger

L'essentiel de la population française se reproduit en Camargue et dans ses environs. Déjà observée au XIXème siècle par Crespon (1844) et Jaubert (1856) sur le littoral français, la Glaréole à collier y est observée de manière irrégulière jusqu'à la deuxième moitié du XXe siècle. C'est seulement à partir de 1956 que la découverte de colonies de reproduction devient régulière (Vincent-Martin, 2007). En 2000, le Conservatoire d'Espaces Naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur (CEN PACA) initie un suivi annuel en collaboration avec le Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC). Ce suivi est effectué et financé sur plus de deux décennies par différents partenariats impliquant les deux organismes sus-cités ainsi que la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) de la région PACA. La Tour du Valat, institut de recherche privé créé par Luc Hoffmann en 1954 au cœur de la Camargue, s'est associée au suivi en 2011 et c'est aujourd'hui elle qui le réalise dans le cadre de l'animation du site Natura 2000 « Camargue », porté par le PNRC (Darthayette, 2019).

De 2000 à 2022, à l'exception de 2021 où le suivi n'a pu être effectué, on totalise annuellement entre 37 et 137 couples reproducteurs installés sur 3 à 13 colonies lors du recensement régional qui a lieu pendant la dernière décade de juin ou la première semaine de juillet (sauf en 2014, le 13 juin) (Kayser, 2022). La faiblesse des effectifs français en comparaison aux populations d'Espagne (2700 couples) ou de Turquie (1500-3000 couples) (Topi, Vorpsi, Selgjekaj, Mladenov, 2022) peut s'expliquer par sa localisation en marge septentrionale de l'aire de répartition de l'espèce (Darthayette, 2019). La Glaréole à collier reste de fait classée comme espèce « En Danger » par l'UICN France (UICN France et al. 2016).

2.2.2.2. Une espèce de milieux ouverts

La sélection de l'habitat est l'un des thèmes majeurs des études en écologie et met en évidence les relations entre les organismes vivants et leur milieu (Cody, 1985). La capacité des individus à sélectionner parmi les ressources présentes celles qui sont en meilleure adéquation avec leurs exigences détermine en partie leur valeur sélective. Ces études partent du principe que les individus

sont capables d'identifier des facteurs environnementaux qui leur permettent d'apprécier la valeur d'un site (Vincent-Martin, 2007).

L'habitat de nidification de prédilection de la Glaréole à collier correspond à des milieux secs et ouverts à végétation rase et à l'abri de l'inondation (Calvo, Furness, 1995 ; Nankinov et al., 2002 ; Vincent-Martin, 2007). En Camargue, les sites de nidification sont la plupart du temps des labours ou des marais de chasse asséchés. On observe aussi sa reproduction dans des prairies et des sansouïres[3] ouvertes, voire quelquefois dans des cultures. Elle peut aussi nicher dans des friches ou des steppes (Tour du Valat, 2013). D'autre part, l'espèce recherche la proximité d'un habitat humide qui est nécessaire autour des colonies pour leur alimentation. (Vincent-Martin, 2007).

De 1937 à 2022, on observe une modification de la distribution des colonies en Camargue, sans que les causes en soient clairement établies. Sur certains secteurs les glaréoles restent fidèles plusieurs années consécutives à un site puis le désertent. À l'inverse, des cas de reproduction sont observés ponctuellement ça et là (Vincent-Martin, 2007). Ainsi, en 2022, 2 des 12 colonies recensées se sont établies sur de nouveaux sites, 3 sur des sites occupés en 2020 et une sur un site inoccupé depuis 2007 (*NB : il n'y a pas eu de recensement en 2021).* Il peut s'agir d'une illustration de la capacité des glaréoles à exploiter des zones ponctuellement favorables, reflet de l'adaptation de l'espèce à l'instabilité des zones humides méditerranéennes (Vincent-Martin, 2007). La plasticité dont fait preuve la Glaréole à collier dans le choix de ses sites de nidification ne doit cependant pas occulter la possibilité que la taille de la population camarguaise est limitée par le nombre de sites favorables à la reproduction. Selon Nicolas Vincent-Martin (2007), seul 15 % de la surface totale du delta du Rhône correspond aux exigences de l'espèce. Il émet une hypothèse déjà développée sur les petits charadriiformes coloniaux des salins de Camargue (Sadoul 1996) qui pourrait aussi s'appliquer à la Glaréole à collier : les glaréoles sélectionneraient leurs sites de reproduction parmi le choix limité de milieux disponibles aujourd'hui et n'utiliseraient non pas ce qui est le meilleur pour elles, mais ce qui est le moins mauvais. Un des principaux enjeux pour la conservation de la glaréole en France est donc lié à son habitat de nidification.

[3] Sansouïre : terme provençal désignant des écosystèmes argileux typiques de la Camargue, à végétation basse et tolérante à des taux élevés de salinité (salicorne notamment) (Tour du Valat, 2013).

2.3. Choix des paramètres, données et périmètre de l'étude

2.3.1. Paramètres de l'étude

L'objectif de cette étude est de mesurer l'effet des haies dans le paysage sur :

- l'installation de colonies de glaréoles ;
- la taille des colonies.

Dans la perspective d'intégrer à CAMGIS des critères de sélection d'emplacements de plantation de haies favorisant les espèces d'oiseaux d'eau pour lesquelles les haies ont un effet dissuasif seuls des paramètres environnementaux ont été retenus. Ainsi, les paramètres intrinsèques à l'espèce intervenant dans le choix des sites de nidification tels que, par exemple, la présence d'une autre colonie à proximité ou l'installation d'une colonie sur le même site l'année précédente et son succès reproducteur n'ont pas été intégrés.

Parmi les facteurs environnementaux influençant le choix de site de nidification par la glaréole, Nicolas Vincent-Martin (2007) identifie : (i) le type d'occupation du sol (ODS), (ii) la distance à la haie la plus proche, (iii) le pourcentage de recouvrement du sol par la végétation et la hauteur de celle-ci, (iv) une surface minimale de 55 % en habitat humide dans un rayon d'un kilomètre autour des colonies pour l'alimentation des oiseaux.

En raison de l'impossibilité d'obtenir les données sur le pourcentage de recouvrement et la hauteur de la végétation sur la période étudiée, de 2000 à 2022, ce facteur n'a pas été pris en compte dans l'étude. La présence d'une grande surface en habitat humide autour de la colonie, bien que primordiale dans le choix du site de nidification et *a priori* facile à paramétrer dans CAMGIS, n'a pas non plus pu être intégrée dans le temps imparti à la réalisation de ce travail. Ont donc été retenus les paramètres liés aux haies et à l'ODS.

2.3.2. Données et zone d'étude

2.3.2.1. Données du suivi de la Glaréole à collier

Le suivi de la population reproductrice de la Glaréole à collier en Camargue a été initié par le Conservatoire d'Espaces Naturels de PACA (CEN PACA, anciennement CEEP) en 2000. Il a été repris en 2011 par la Tour du Valat. Le suivi est actuellement réalisé en collaboration avec le Parc naturel régional de Camargue (PNRC) dans le cadre de l'animation du site Natura 2000 « Camargue » (Kayser, 2022). Les données sont administrées par Jocelyn Champagnon, chargé de recherche et

coordinateur du thème conservation des espèces à la Tour du Valat, qui m'y a donné accès pour ce mémoire.

Le suivi de reproduction de la population est basé sur le protocole proposé par Nicolas Vincent-Martin en 2007 (Annexe 1), 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 de l'espèce (Darthayette, 2019). Le protocole de suivi permet à partir de fin avril de localiser les colonies puis 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 *a posteriori* le nombre annuel de couples reproducteurs sur un site, en additionnant le nombre de nouveaux couveurs constatés au cours de la saison (Darthayette, 2019).

Entre 2000 et 2022, exception faite de 2021 où le suivi n'a pas pu être effectué, les données relatives à la nidification de la glaréole en Camargue ont été recueillies par 22 observateurs appartenant à la Tour du Valat, Les amis des Marais du Vigueirat, le CEN PACA, le CEN LR, l'Agglomération Pays de l'OR, l'Office Français de la Biodiversité (OFB), le Domaine de la Forêt, le SMGCG et par Thierry Thomas, un ornithologue bénévole de l'Hérault. Sur cette période, 191 colonies ont été recensées sur 105 sites différents répartis sur trois départements : les Bouches du Rhône, le Gard et l'Hérault. Chaque colonie a été géolocalisée en prenant pour référence le centre de la colonie, nommée et identifiée. Les données utilisées dans cette étude sont les données synthétiques qui font le bilan de chaque saison de comptage. On y trouve le nombre exact ou les nombres minimum et maximum de couples nicheurs pour chaque colonie. En l'absence du nombre exact, c'est le nombre maximum qui a été choisi pour compenser la sous-détection.

2.3.2.2. Données cartographiques des haies camarguaises

Les haies camarguaises ont fait l'objet de plusieurs cartographies récentes. Les analyses subséquentes de la corrélation entre les haies et la nidification des glaréoles se basent sur les données des recensements de haies de 2001 et de 2017 :

- en 2001, une cartographie de l'ensemble des haies et arbres isolés a été effectuée sur l'ensemble du territoire du PNRC dans le cadre d'une convention signée entre le PNRC et la Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN) / Réserve Nationale de Camargue. Les haies ont été numérisées sous la forme d'une couche SIG de type vecteur et de géométrie « Line (MultiLineString) ». Certaines haies ont été renseignées (sous-type « haie renseignée »), avec précision des trois espèces dominantes et du recouvrement global.

D'autres n'ont pu l'être (sous-type « haie non renseignée »), essentiellement pour des raisons d'accessibilité ;

- en 2017, une nouvelle cartographie a été réalisée par Philippe Isenmann, chargé de mission gestion des données géographiques au PNRC, en collaboration avec Alisé Géomatique dans le cadre de la mise à jour du Plan Local d'Urbanisme (PLU) d'Arles. Elle couvre ainsi toute la commune, dont l'intégralité de l'Île de Camargue. Il en résulte une couche SIG de type vecteur et de géométrie « Line (MultiLineString) ». Elle est accompagnée d'un « Dictionnaire des Haies » (2019) qui caractérise ainsi les haies recensées :
    - une largeur moyenne inférieure ou égale à 20/30 m (larguer du houppier),
    - une longueur minimale d'environ 50 m,
    - une hauteur minimale d'environ 1 m,
    - une distance minimale de discontinuité de 20 m entre deux haies

  Les haies sont classées en 10 types en fonction de l'essence dominante et de la hauteur estimées par photo-interprétation.

2.3.2.3. Données d'occupation du sol

Pour mieux connaître le territoire, le PNRC établit tous les 5 ans une carte précise et exhaustive de l'ODS en Camargue (PNRC, 2001). Depuis 2001 la méthodologie d'acquisition des données permet une numérisation à l'échelle 1/4000è. Elle repose sur des données orthophotographiques et cartographiques, et de la photo-interprétation de prises de vue issues de survol validée par des vérités terrain et des enquêtes (PNRC, 2001). Elle est détaillée dans le rapport du PNRC intitulé « Occupation du sol en Camargue. Cartographie du territoire du Parc naturel régional de Camargue en 2001 et évolution depuis 1991 » et est extraite du document de la Société Nationale de Protection de la Nature (S.N.P.N./Réserve Nationale de Camargue) intitulé « Cartographie numérisée de l'ODS 2001 sur le territoire du Parc de Camargue », (PNRC, 2001).

Les numérisations de 2001, 2006, 2011 et 2016 ont servi à la présente étude. Ces quatre couches ont été consolidées par Philippe Isenmann en une couche diachronique 2001-2016 où on retrouve les différentes ODS classées en 4 grands types et 54 sous-types.

2.3.2.4. Choix de la zone d'étude

Le choix de la zone d'étude a été fait en fonction des données à disposition, l'objectif étant d'optimiser la taille de l'échantillon de colonies de glaréoles par rapport aux données sur les haies et l'ODS. Ce sont les emprises de la couche SIG des haies de 2001 et des données relatives à l'ODS qui sont le facteur limitant puisqu'elles ne couvrent que l'Île de Camargue, c'est-à-dire la zone

comprise entre le Petit et le Rhône (Figure 2). Les colonies de glaréoles localisées dans la zone de Plan du Bourg, à l'est du Rhône, celles de la Camargue gardoise et de l'Étang de l'Or, à l'ouest du Petit Rhône, n'ont donc pas été prises en compte.

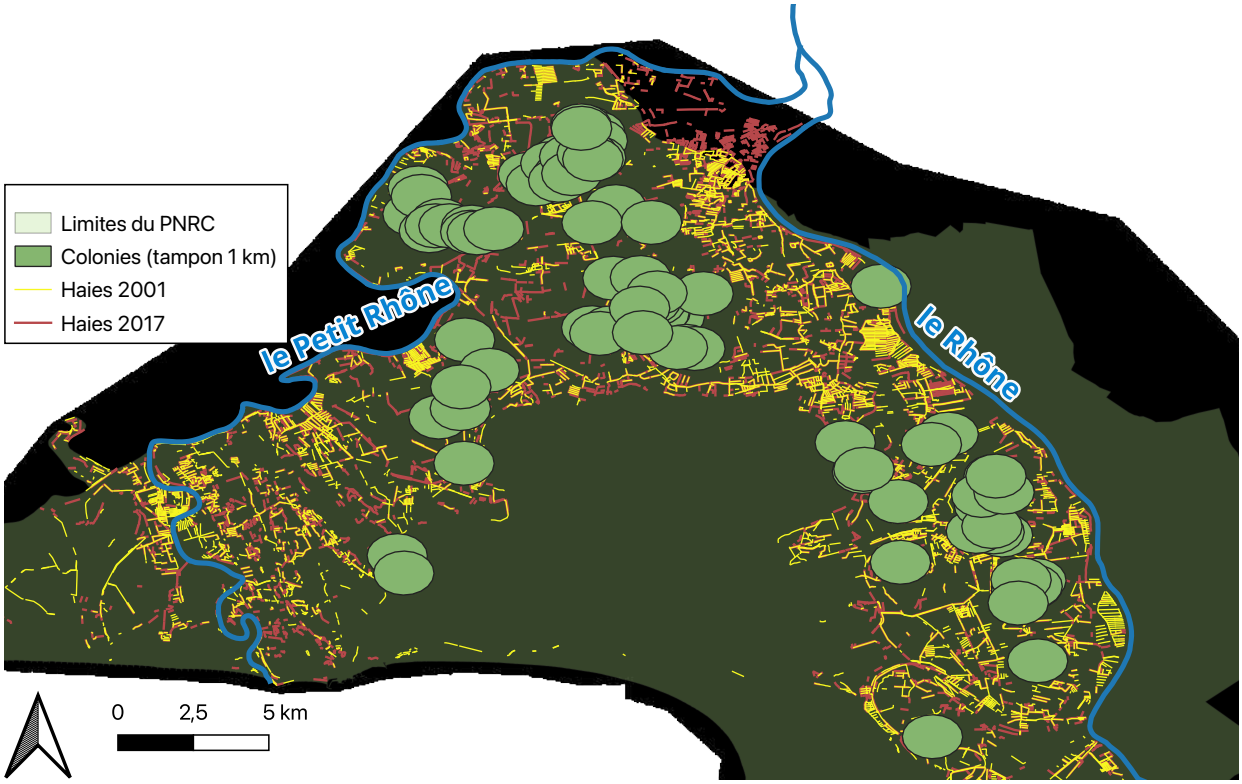


Figure 2. *Cartographie des haies et des zones tampons de 1 km de rayon autour des colonies de glaréoles recensées entre 2000 et 2022 dans la zone d'étude.*

2.4. Choix des variables

Afin d'expliquer d'une part la présence ou l'absence de colonies de glaréoles et d'autre part la taille des colonies en fonction variables liées aux haies et à l'ODS on a sélectionné les variables suivantes (synthèse dans le Tableau 1).

Pour le facteur « haies », trois variables ont été sélectionnées :

- la distance du centre de la colonie à la haie la plus proche : **haie_dist** ;
- la longueur totale du linéaire de haies dans un cercle de rayon un kilomètre autour du centre de la colonie. Cette distance a été choisie car il a été estimé que les oiseaux se déplacent rarement à plus d'un kilomètre autour des sites de reproduction pour s'alimenter (Vincent-Martin, 2007). La longueur totale de haies a aussi été mesurée dans des cercles de 500 m et 250 m autour du centre de la colonie pour observer l'effet de ce paramètre à proximité des

nids. Les variables sont abrégées : **km_haie_lg** (1 km), **Dm_haie_lg** (500 m) et **CCLm_haie_lg** (250 m) ;

- la longueur de « haies basses » à l'intérieur des mêmes cercles de 1 km, 500 m, et 250 m : **km_lg_HB** (1 km), **Dm_lg_HB** (500 m) et **CCLm_lg_HB** (250 m).

Si les deux premières variables peuvent fournir des indications sur l'optimisation de l'emplacement de nouvelles haies par rapport aux exigences écologiques de la glaréole, la troisième pourrait, s'il s'avère que les haies basses ont un effet moins dissuasif que les hautes sur l'espèce, aider les gestionnaires et les agriculteurs à sélectionner les essences les plus appropriées en fonction des haies déjà présentes dans le secteur.

Sur la base de la littérature décrivant les exigences écologiques de la glaréole à collier en ce qui concerne le type d'occupation du sol pour le choix des sites de reproduction (Calvo, Furness, 1995 ; Vincent-Martin, 2007 ; Darthayette, 2019), quatre types d'habitats ont été identifiés selon la méthodologie utilisée par Darthayette (2019) pour cette variable catégorielle et sont détaillés dans l'Annexe 2 :

- **ODS_1** = « Labours ». Y sont regroupés les libellés « Maïs », « Riz », « Tournesol » et « Terres cultivées sans récoltes » des données du PNRC ; on fait l'hypothèse que, pour ces cultures, la terre sera labourée au moment de l'arrivée des Glaréoles ;
- **ODS_2** = « Sansouïres ». Y sont regroupés les libellés « Sansouïre basse », « Sansouïre haute » et « Jonchaie » des données du PNRC ;
- **ODS_3** = « Prairies-friches ». Y sont regroupés les libellés « Prairie temporaire », « Prairie naturelle » et « Friche récente » des données du PNRC ;
- **ODS_4** = « Marais asséchés ». Y sont regroupés les libellés « Marais ouverts », « Autres marais à végétation émergée » et « Roselière » des données du PNRC.

2.5. Construction des jeux de données

La construction de jeux de données a été conditionnée par un certain nombre de contraintes. Des choix ont été faits principalement dans le but d'optimiser l'utilisation des données sur les glaréoles et les haies, de minimiser les biais et de s'adapter aux capacités des modèles statistiques. Ils sont présentés ici de manière synthétique. L'Annexe 3 détaille ces choix et les conséquences qu'ils ont eues sur la construction des jeux de données, notamment les données qui n'ont pas été retenues pour l'étude. Le Tableau 2 propose un aperçu synthétique des jeux de données créés.

La zone d'étude étant limitée à l'Île de Camargue par l'emprise de la cartographie des haies de 2001, il a fallu exclure les colonies de glaréoles hors de ce périmètre (voir 4.3.2.4). En outre, après avoir délimité les cercles d'étude d'un kilomètre autour des sites de reproduction, il a fallu éliminer deux sites de reproduction de la glaréole car les cercles empiétaient sur des zones extérieures à l'Île de Camargue où les données sur les haies sont indisponibles. Par ailleurs, les 129 couples enregistrés sur le site de Chassagne 1 (Gla) en 2008 représentent un événement extrême que les modèles statistiques peuvent difficilement expliquer. Ils ont donc été retirés du jeu de données.

Pour tous les sites de reproduction restants, un des quatre types d'ODS définis en 4.4 a été associé en fonction de l'année de l'installation des colonies sur les sites en faisant la même hypothèse que Darthayette (2019) à savoir que l'ODS reste inchangé sur la période de 5 ans entre les relevés du PNRC. On obtient les associations suivantes :

- Données ODS de 2001 pour les colonies de glaréoles de 2000 à 2005
- Données ODS de 2006 pour les colonies de glaréoles de 2006 à 2010
- Données ODS de 2011 pour les colonies de glaréoles de 2011 à 2015
- Données ODS de 2016 pour les colonies de glaréoles de 2016 à 2022 (*NB :* les données ODS de 2021 n'étaient pas disponibles au moment de la rédaction de cette étude).

Les données ODS ont été acquises grâce aux informations de la cartographie diachronique 2001-2016 (voir 4.3.2.3) à l'aide de QGIS (version 3.28.3). 6 des sites de colonies classés en « sol nu » et qui ne rentraient pas dans les quatre catégories définies en 4.4 ont été réassignés sur la base des observations de terrain de Darthayette (2019) : 2 sites en catégorie ODS_2 (sansouïre), 1 en catégorie ODS_3 (prairie-friche) et 3 en catégorie ODS_4 (marais asséchés) (Annexe 2). Par ailleurs, 7 colonies se sont établies sur des cultures maraîchères, du sorgho, du blé ou de la luzerne. Ces quatre types de culture ne sont pas toujours labourés pendant les dates d'installation des glaréoles. Par précaution, aucune catégorie leur a été associée (Darthayette, 2019). Il y a ainsi sur la période étudiée 36 colonies liées aux labours, ODS_1, 20 liées aux sansouïres, ODS_2, 37 liées aux prairies-friches, ODS_3, 51 liées aux marais asséchés et 7 associées à aucune ODS.

Pour la partie portant sur l'étude de la présence/absence des glaréoles, des témoins ont été choisis pour les quatre types d'ODS dans des parcelles qui n'ont pas changé d'ODS entre 2001 et 2016. Les proportions observées pour les colonies de glaréoles du suivi ont été respectées. Ainsi, 36 sites témoins ont été placés dans des parcelles d'ODS_1, 20 dans des parcelles d'ODS_2, 37 dans des parcelles d'ODS_3 et 51 dans des parcelles d'ODS_4. Parmi les 20 sites d'ODS_2 figure le site de la Bélugue qui a accueilli une colonie en 2022 mais trop tardivement pour que celle-ci soit

dénombrée au moment du recensement régional. Les témoins ont été positionnés de manière aléatoire en utilisant la fonction « Random points in layer bounds » de QGIS avec une distance minimale de 200 m entre deux témoins.

Pour le calcul des valeurs des variables liées aux haies, on a fait l'hypothèse de la stabilité du linéaire sur une période de 8 ans. On a pris les données du recensement des haies de 2001 pour les colonies comprises entre 2000 et 2008 et les données du recensement des haies de 2017 pour les colonies comprises entre 2009 et 2022. Pour les témoins, c'est la couche de 2017 qui a été utilisée.

Un sous-jeu de données a dû être créé pour l'étude du paramètre « longueur totale de haies basses » car le niveau de description des haies de 2001 ne permet pas d'identifier de classes de hauteur de haies. Ce paramètre est donc étudié uniquement pour les colonies de 2009 à 2022 et les témoins. Dans la catégorie « haies hautes » ont été regroupées les haies de types « Multi-strates feuillus », « Haies de peupliers », « Haies de résineux », « Haies de platanes » et « Ripisylve » du « Dictionnaire des Haies » (2019) qui décrit les haies de 2017. Les types « Haies arbustives diverses » et « Canne de Provence » ont été rangés dans la catégorie « haies basses ». Les types 8, 9 et 10 du « Dictionnaire des haies » ne permettant pas une détermination de la hauteur de la haie, ils n'ont pas été classés. Cela a conduit à une sélection supplémentaire parmi les sites retenus pour l'étude du paramètre « longueur totale de haies basses » (voir ci-après).

Les calculs des valeurs des variables quantitatives liées aux haies ont été effectués avec la version 3.28.3 de QGIS. Pour la « distance à la haie » la plus proche du centre de la colonie ou du témoin, on a utilisé la fonction « Shortest line between features ». Pour la variable, « longueur totale de haies » et « longueur de haies basses », les cercles de 1 km, 500 m et 250 m de rayon retenus pour l'étude ont été déterminés autour des colonies et des témoins à l'aide de la fonction « Buffer ». Puis on a utilisé la fonction « Sum line lengths » pour les couches de haies (géométrie « Line (MultiLineString) ») à l'intérieur des cercles (géométrie « Polygon »). Les sites pour lesquels la proportion de haies indéterminées (inclassables en termes de hauteur) dans les cercles était supérieur à 10% ont été écartés. Cela a conduit à l'élimination de 4 colonies et 10 témoins dans les zones d'un kilomètre de rayon, 5 colonies et 16 témoins dans les zones de 500 m de rayon et de 9 témoins dans les zones de 250 m de rayon.

Avant de faire la modélisation (voir 4.6), une analyse de statistiques descriptives des données de distance à la haie la plus proche a montré une forte dispersion des valeurs de cette variable dans le

groupe des témoins. 7 témoins présentent une distance à la haie la plus proche supérieure à 1000 m alors que la valeur la plus élevée pour une colonie est de 998 m. Un test de Student réalisé avec la fonction « t.test » du logiciel R (version 2012.12.0+353) a révélé que l'hypothèse d'égalité des moyennes de la distance à la haie la plus proche ne pouvait pas être rejetée pour expliquer la présence ou l'absence de colonie si on conserve ces valeurs extrêmes (moyenne des témoins = 353 m ; moyenne des colonies = 364 m ; p-value = 0,8754). Si on refait le test en les excluant, l'égalité des moyennes est rejetée de manière significative (moyenne des témoins = 201 m ; moyenne des colonies = 364 m ; p-value = 01,26e-11). On voit qu'il y a donc deux régimes, l'un pour les distances supérieures à 1000 m et l'autre pour les distances inférieures à 1000 m, que les modèles peuvent difficilement traiter simultanément (B. Michel : com. pers.). Cette étude vise notamment à tester l'hypothèse que les glaréoles tendent à s'installer dans des sites éloignés des haies en comparant les colonies recensées depuis 2000 et des sites témoins tirés au hasard. Les 7 témoins avec une distance extrême à la haie risquent de masquer ce qui se passe dans les gammes de valeur plus proches de celles observées pour les colonies recensées. Ces 7 témoins ont donc été écartés et le modèle a été construit pour les valeurs de distance à la haie la plus proche inférieures à 1000 m. Cela pose néanmoins la question des paramètres entrant dans la sélection des témoins. Celle-ci est abordée dans la discussion.

Tableau 1. *Variables de l'étude. Pour les variables « Longueur totale de haies » et « Longueur de haies basses », les préfixes km, Dm et CCLm correspondent aux rayons des cercles étudiés.*

	Description	Type	Libellé
Variables explicatives	Occupation du sol	Catégorielle	**ODS_1**, **ODS_2**, **ODS_3**, **ODS_4**
	Distance à la haie la plus proche	Continue	**haie_dist**
	Longueur totale de haies	Continue	**km_haie_lg**, **Dm_haie_lg**, **CCLm_haie_lg**
	Longueur de haies basses	Continue	**km_lg_HB**, **Dm_lg_HB**, **CCLm_lg_HB**
Variables-réponses	Présence ou absence de colonies	Binomiale	**Présence/absence**
	Nombre de couples par colonies	Continue	**Nombre de couples**

Tableau 2. *Taille des échantillons par jeu de données.*

Jeux de données n°1 sans la variable « haies basses » ; jeu de données 2 avec la variable « haies basses »
haie_dist = distance à la haie la plus proche
haie_lg = longueur totale du linéaire de haies dans les cercles
lg_HB = longueur de haies basses dans les cercles

Jeu de données n°1					
Nombre de colonies		**Nombre de témoins**	**Prise en compte des variables :**		
2000-08	2009-22		ODS	haie_fist	haie_lg
51	94	137	✓ sauf pour 7 colonies	✓	✓
La taille des échantillons est la même pour les trois rayons de cercles.					

Jeu de données n°2							
	Nombre de colonies		**Nombre de témoins**	**Prise en compte des variables :**			
	2000-08	2009-22		ODS	haie_dist	haie_lg	lg_HB
1 km	0	90	127	✓ sauf pour 4 colonies	✓	✓	✓
500 m	0	89	121	✓ sauf pour 3 colonies	✓	✓	✓
250 m	0	94	128	✓ sauf pour 5 colonies	✓	✓	✓

2.6. Modèles statistiques

2.6.1. Modélisation de la présence/absence et de la taille des colonies

Afin de modéliser d'une part la probabilité de présence d'une colonie sur un site et d'autre part la taille des colonies (nombre de couples par colonie) le modèle « hurdle » du package « pscl » du logiciel R (R Core Team, 2015) a été utilisé. Cette approche est appelée modélisation en deux parties (Mullahy, 1986). Pour l'étage présence/absence du modèle on affecte la valeur 1 aux sites ayant accueilli des colonies et 0 aux sites témoins.

Comme il n'existe pas de package dans R permettant pas de prendre en compte l'autocorrélation spatiale pour le modèle « hurdle », un modèle binomial a été préalablement utilisé pour modéliser la présence/absence des glaréoles sur les 145 colonies et les 137 sites témoins. L'autocorrélation spatiale a ensuite été testée sur les résidus. En outre, la corrélation entre la distance à la haie la plus

proche et la longueur totale de haies dans les cercles d'études a été testée au préalable. Enfin, avant de lancer le modèle « hurdle », une analyse des données de comptage (nombre de couples) avec la loi de Poisson a montré une surdispersion, les données présentant une variabilité plus forte qu'attendue (surdispersion) (Zuur et al., 2009).

Dans le modèle « hurdle », 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 (nombre de couples par colonie) sont modélisées avec un GLM binomial négatif inflation en zéro (zero-inflated negative binomial) pour tenir compte de la surdispersion.

Dans un premier temps, le modèle a été utilisé sur le jeu de données 1 sans la variable « haies basses » (HB) puis sur le jeu de données 2 avec toutes les variables explicatives (Tableau 2). Les modèles généraux s'écrivent donc ainsi et ont été utilisés aux trois échelles de 1 km, 500 m et 250 m :

- Jeu de données 1 :
  - Niveau 1 du « hurdle » **: Présence/absence ~ haie_dist + haie_lg + ODS**
  - Niveau 2 du « hurdle » **: Nombre de couples ~ haie_dist + haie_lg +ODS**
- Jeu de données 2 :
  - Niveau 1 du « hurdle » **: Présence/absence ~ haie_dist + haie_lg + lg_HB + OD**
  - Niveau 2 du « hurdle » **: Nombre de couples ~ haie_dist + haie_lg + lg_HB + ODS**

2.6.2. Modèle prédictif

La capacité prédictive du modèle a été testée dans le but de permettre une intégration des résultats à CAMGIS. La fonction « predict » de R a été utilisée sur le modèle binomial pour la variable cible « Présence/absence » et sur le modèle « hurdle » pour la variable cible « Nombre de couples ». La capacité de prédiction a été mesurée pour chaque type d'ODS et pour chaque rayon de cercle en faisant varier les valeurs de la distance à la haie la plus proche et la longueur totale de haies. L'erreur de prédiction du modèle a ensuite été évaluée avec la fonction « sample » sur 200 découpes aléatoires de l'échantillon. On a utilisé le ratio 9/10, 90% des données de chaque découpe étant utilisés pour construire le modèle et 10% servant à le tester.

3. Résultats

3.1. Installation et taille des colonies

Le test de d'autocorrélation spatiale des colonies et des témoins ne révèle pas de structure excessive (Figure 3). On ne peut exclure complètement une corrélation mais elle est faible et n'a donc pas été prise en compte dans la suite de l'analyse.

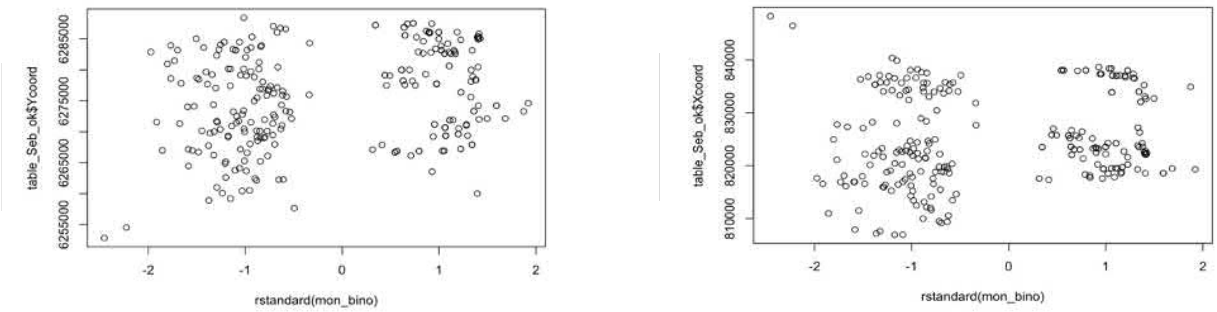


Figure 3. *Résultats des tests d'autocorrélation spatiale en X et en Y pour l'échantillon total.*

Le test de corrélation entre la distance à la haie la plus proche et la longueur totale de haies dans les cercles d'étude n'a pas non plus montré de forte structuration entre ces deux variables. On n'introduit donc pas de biais en les prenant en compte ensemble dans le modèle « hurdle » (Figure 4).

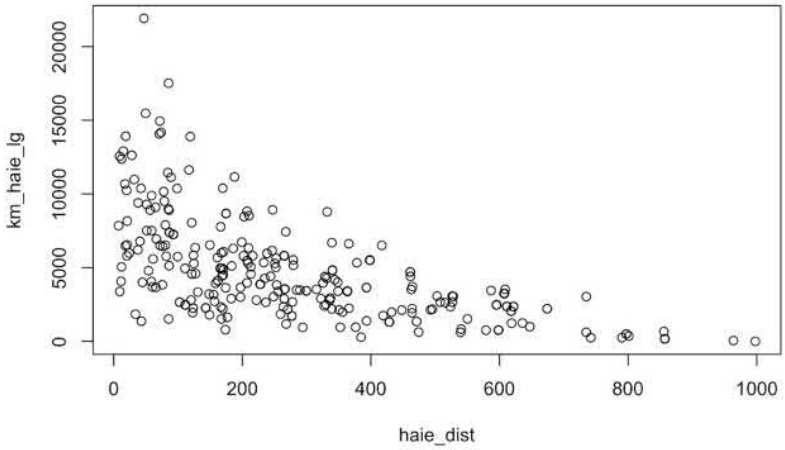


Figure 4. *Résultat du test de corrélation entre les variables « distance à la haie la plus proche » et « longueur totale de haies » dans la zone d'un kilomètre de rayon.*

Pour le Jeu de données 1 comprenant l'échantillon complet, l'étage « Zero » du modèle « hurdle » (modélisation de la probabilité de présence sans la variable « haies basses ») indique un effet très significativement positif (*** ou **) de la distance à la haie la plus proche et un effet négatif non

négligeable (*) de la longueur totale de haies quelle que soit la zone tampon considérée autour des colonies et des témoins, 1 km, 500 m ou 250 m de rayon. On note aussi un effet positif non négligeable de l'ODS_type3 (Prairie-friche) sur la probabilité de présence de glaréoles dans les trois cas de figure. Les autres types d'ODS ne paraissent pas avoir d'effet. À l'étage « Count » du modèle, à savoir le nombre de couples par colonie, il est intéressant de constater qu'aucune des variables explicatives retenues ne semble avoir d'effet sur la taille des colonies. Ces résultats sont présentés dans le Tableau 3.

Tableau 3. *Coefficients (estimate) issus du modèle des données de comptage (nombre de couples par colonie) et d'occurrence (présence/absence) (modèle avec distribution binomiale des erreurs et fonction de lien logit) pour le Jeu de données 1 (sans prise en compte des haies basses).*

1 km					500 m					250 m				
Pearson residuals:					Pearson residuals:					Pearson residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max	Min	1Q	Median	3Q	Max	Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.1019	-0.5747	-0.3769	0.2566	4.4181	-1.0555	-0.5733	-0.3597	0.3071	4.1704	-1.0667	-0.5883	-0.3523	0.2948	3.9951
Count model coefficients (truncated negbin with log link):					Count model coefficients (truncated negbin with log link):					Count model coefficients (truncated negbin with log link):				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)
(Intercept)	2.2125675	0.2335308	9.474	<2e-16 ***	(Intercept)	2.261e+00	3.058e-01	7.395	1.42e-13 ***	(Intercept)	2.2844266	0.2744867	8.323	<2e-16 ***
haie_dist	0.0005055	0.0004566	1.107	0.2682	haie_dist	5.311e-04	5.017e-04	1.059	0.2898	haie_dist	0.0004519	0.0004827	0.936	0.3492
km_haie_lg	-0.1063400	0.1540339	-0.690	0.4900	Dm_haie_lg	-5.964e-05	1.272e-04	-0.469	0.6391	CCLm_haie_lg	-0.0003743	0.0005018	-0.746	0.4557
ODS_type2	-0.4716582	0.2839374	-1.661	0.0967	ODS_type2	-4.170e-01	2.690e-01	-1.550	0.1210	ODS_type2	-0.4036303	0.2675311	-1.509	0.1314
ODS_type3	0.1398689	0.2157734	0.648	0.5168	ODS_type3	1.608e-01	2.131e-01	0.755	0.4505	ODS_type3	0.1905168	0.2156805	0.883	0.3771
ODS_type4	-0.0076405	0.2027891	-0.038	0.9699	ODS_type4	7.350e-03	2.028e-01	0.036	0.9711	ODS_type4	0.0133659	0.2029298	0.066	0.9475
Log(theta)	0.3391521	0.1748435	1.940	0.0524	Log(theta)	3.368e-01	1.766e-01	1.907	0.0565	Log(theta)	0.3398283	0.1750465	1.941	0.0522
Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):					Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):					Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)
(Intercept)	-1.1850026	0.3823437	-3.099	0.001940 **	(Intercept)	-0.5569273	0.5075474	-1.097	0.2725	(Intercept)	-0.8813782	0.4407063	-2.000	0.045509 *
haie_dist	0.0032947	0.0008929	3.690	0.000224 ***	haie_dist	0.0027175	0.0009986	2.721	0.0065 **	haie_dist	0.0031037	0.0009347	3.320	0.000899 ***
km_haie_lg	-0.5196293	0.1902945	-2.731	0.006321 **	Dm_haie_lg	-0.0004737	0.0001905	-2.487	0.0129 *	CCLm_haie_lg	-0.0013170	0.0005356	-2.459	0.013943 *
ODS_type2	0.0742891	0.4804259	0.155	0.877112	ODS_type2	0.2022084	0.4681905	0.432	0.6658	ODS_type2	0.2496467	0.4665639	0.535	0.592598
ODS_type3	0.7768041	0.3939596	1.972	0.048634 *	ODS_type3	0.8143387	0.3925847	2.074	0.0381 *	ODS_type3	0.8577694	0.3975850	2.157	0.030971 *
ODS_type4	0.3080213	0.3437875	0.896	0.370272	ODS_type4	0.3648445	0.3439118	1.061	0.2888	ODS_type4	0.3541200	0.3421782	1.035	0.300716
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Theta: count = 1.4038					Theta: count = 1.4004					Theta: count = 1.4047				
Number of iterations in BFGS optimization: 15					Number of iterations in BFGS optimization: 14					Number of iterations in BFGS optimization: 18				
Log-likelihood: -648 on 13 Df					Log-likelihood: -648.1 on 13 Df					Log-likelihood: -648.9 on 13 Df				

Pour le jeu de données 2 avec les échantillons réduits pour prendre en compte la variable « haies basses » (voir 4.5), on observe une absence d'effet significatif des variables explicatives pour la probabilité de présence dans les trois zones tampons (Tableau 4). La même absence d'effet est constatée pour la taille des colonies.

Au vu la similitude des résultats précédents entre les zones de différents rayons, il paraît intéressant de comparer les trois zones tampons pour déterminer à quelle échelle il est le plus pertinent de planifier la plantation de haies. Des tests de Student (fonction « t.test » de R) *post hoc* ont donc été réalisés pour, d'une part, la variable « longueur totale de haies » et, d'autre part, la variable « longueur de haies basses » entre les témoins et les colonies à l'intérieur des trois cercles. Pour les deux variables considérées, on peut rejeter l'hypothèse de l'égalité des moyennes dans tous les cas de

figure (Tableau 5). Pour la longueur totale de haies, c'est dans les cercles de 500 m de rayon qu'elle est rejetée le plus fortement ; pour la longueur de haies basses, c'est dans ceux de 1 km de rayon.

Tableau 4. *Coefficients (estimate) issus du modèle des données de comptage (nombre de couples par colonie) et d'occurrence (présence/absence) (modèle avec distribution binomiale des erreurs et fonction de lien logit) pour le Jeu de données 2 (avec prise en compte des haies basses).*

1 km					500 m					250 m				
Pearson residuals:					Pearson residuals:					Pearson residuals:				
Min	1Q	Median	3Q	Max	Min	1Q	Median	3Q	Max	Min	1Q	Median	3Q	Max
-1.2237	-0.5480	-0.4105	0.2439	4.4084	-1.1848	-0.6025	-0.4458	0.3136	4.2243	-1.2179	-0.5931	-0.4424	0.3130	3.9215
Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):					Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):					Zero hurdle model coefficients (binomial with logit link):				
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)		Estimate	Std. Error	z value	Pr(>|z|)
(Intercept)	-1.4451078	0.4063054	-3.557	0.000376 ***	(Intercept)	-1.462131	0.425030	-3.440	0.000582 ***	(Intercept)	-1.518715	0.411771	-3.688	0.000226 ***
haie_dist	0.0032377	0.0009612	3.368	0.000756 ***	haie_dist	0.003049	0.001047	2.912	0.003587 **	haie_dist	0.003338	0.001037	3.220	0.001282 **
km_lg_HB	-0.2558343	0.1824200	-1.402	0.160782	Dm_lg_HB	-0.080670	0.198898	-0.406	0.685048	CCLm_haie_lg	-0.081471	0.199721	-0.408	0.683328
ODS_type2	0.2706183	0.5240090	0.516	0.605548	ODS_type2	0.408806	0.516516	0.791	0.428671	ODS_type2	0.373277	0.507339	0.736	0.461880
ODS_type3	0.1008774	0.4523665	0.223	0.823536	ODS_type3	0.316326	0.453916	0.697	0.485876	ODS_type3	0.299320	0.442757	0.676	0.499017
ODS_type4	0.3967350	0.3911718	1.014	0.310477	ODS_type4	0.486531	0.395013	1.232	0.218067	ODS_type4	0.411510	0.374764	1.098	0.272182
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Theta: count = 2.2212					Theta: count = 2.3814					Theta: count = 2.4561				
Number of iterations in BFGS optimization: 26					Number of iterations in BFGS optimization: 17					Number of iterations in BFGS optimization: 27				
Log-likelihood: -411.8 on 13 Df					Log-likelihood: -407.7 on 13 Df					Log-likelihood: -423.4 on 13 Df				

Tableau 5. *Rejet de l'égalité des moyennes pour les variables « longueur totale de haies » et « longueur de haies basses » dans les trois cercles d'étude par rapport à la probabilité de présence de la Glaréole.*

	Longueur totale de haies			Longueur de haies basses		
	Moyenne_abs	Moyenne_pres	p-value	Moyenne_abs	Moyenne_pres	p-value
1 km	5894.703	3615.096	1.005e-08	3894.04	2885.85	0.0007412
500 m	1588.4367	667.4003	2.621e-10	1037.97	671.08	0.003684
250 m	389.4371	122.8830	2.131e-08	243.91	122.16	0.0009535

3.2. Prédiction de la présence de colonies

Au vu de l'absence d'effet significatif des variables sur la taille des colonies et de l'absence d'effet significatif de la variable « haies basses » sur les deux variables-réponses (Présence/absence et Nombre de couples), la capacité prédictive du modèle a seulement été testée pour évaluer la probabilité de présence d'une colonie de glaréoles en fonction de l'ODS, de la distance à la haie la plus proche et la longueur totale de haies dans chacun des trois cercles étudiés. Cette probabilité apparaît dans la colonne « Prédiction » du Tableau 6. Pour toutes les variations de variables testées, les prédictions sont comprises entre 0,412 et 0,726 (±0,074). La distribution des prédictions (Figure

5) est largement comprise entre 0,481 (quartile 1) et 0,556 (quartile 3). Les valeurs les plus élevées concernent l'ODS_2, à savoir les sansouïres, pour une distance à la haie la plus proche de 562 m (quartile 3 des distances à la haie la plus proche pour les colonies et les témoins d'ODS_2).

L'erreur a été mesurée pour chaque prédiction. Elle est comprise entre 0 et 1et exprime la fiabilité de cette prédiction. Plus elle est élevée, moins la prédiction est fiable. Les erreurs obtenues dans cette étude vont de 0,339 à 0,381, ce qui signifie que, pour chaque prédiction du modèle, la probabilité qu'elle soit fausse est supérieure à 1/3 (Tableau 6). Globalement, la capacité prédictive du modèle est donc faible.

4. Discussion

Les résultats obtenus pour la probabilité de nidification des glaréoles confirment les conclusions de Nicolas Vincent-Martin (2007), à savoir que celle-ci augmente avec la distance à la haie la plus proche et diminue avec la longueur totale du linéaire de haies contenue dans le rayon d'action de la glaréole d'un kilomètre autour de la colonie. Néanmoins, ces deux paramètres ne semblent pas

Tableau 6. *Prédiction de la présence de colonies en fonction du type d'ODS, de la distance à la haie la plus proche (haie_dist) et de la longueur totale de haies dans les cercles de 1 km, 500 m et 250 m de rayon (km_haie_lg, Dm_haie_lg et CCLm_haie_lg). Les valeurs de haie_dist et de km_haie_lg, Dm_haie_lg et CCLm_haie_lg du tableau pour chaque ODS correspondent au quartile 1, à la médiane et au quartile 3.*

		1 km			500 m			250 m		
	haie_dist (m)	km_haie_lg (m)	Prédictions	Erreur	Dm_haie_lg (m)	Prédictions	Erreur	CCLm_haie_lg (m)	Prédictions	Erreur
ODS_1	165	2356	0.4338103		23	0.4729191		0	0.4125894	
	328	3841	0.5075896	0.3460342	545	0.5189481	0.3557102	0	0.5342395	0.3754071
	474	5812	0.5492821		1106	0.5490890		271	0.5548867	
ODS_2	175	2356	0.5525061		0	0.5702409		0	0.5192810	
	303	3841	0.6098945	0.3400703	421	0.6040387	0.3780939	0	0.6135588	0.3806048
	562	5812	0.7264795		953	0.7015678		213	0.7234736	
ODS_3	71	2761	0.5323466		444	0.5607682		0	0.5513192	
	114	5121	0.4764782	0.3389561	1587	0.4553216	0.3659256	347	0.4699129	0.3744927
	173	9215	0.4475322		2653	0.4351353		653	0.4889772	
ODS_4	143	2655	0.4796550		197	0.5271565		0	0.4816151	
	251	3647	0.5284470	0.3475338	801	0.5273726	0.3714973	0	0.5625171	0.3704857
	363	5804	0.5357818		1567	0.5112305		299	0.5487347	

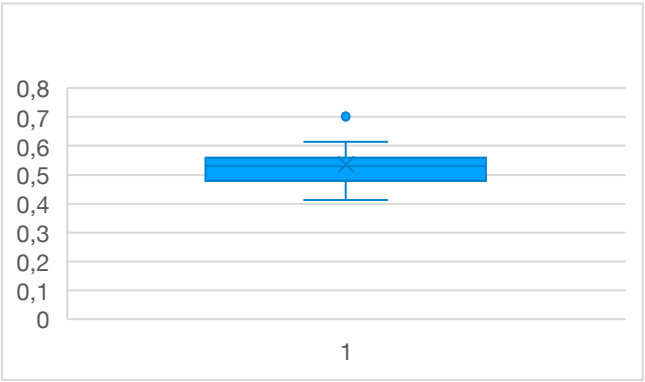


Figure 5. *Distribution des prédictions de probabilité (y) de présence (x=1) de la Glaréole par le modèle.*

permettre de prédire la taille de la colonie susceptible de s'installer. Afin de permettre à la population française de glaréoles à collier de se maintenir, voire de s'accroître, il paraît donc essentiel de maximiser le nombre de sites favorables à son installation en Camargue. Ceci est conforté par les tendances observées entre 2000 et 2022 d'un éclatement croissant des colonies (Champagnon, Kayser : com. pers.). Dans sa thèse, Nicolas Vincent-Martin (2007) a estimé que les habitats favorables à la glaréole ne représentent que 15% de la Camargue en se basant sur l'occupation du sol et la sélection des habitats d'alimentation. Par ailleurs, la glaréole semble se fidéliser aux labours au détriment des milieux naturels (Kayser, 2018 ; Darthayette, 2019) ce qui expose les colonies à des dérangements liés aux interventions agricoles. Une des causes de cette fidélisation aux labours peut être une tendance à la fermeture des milieux naturels, notamment dans les espaces protégés. Si les nouvelles haies, plantées principalement autour de parcelles rizicoles dans le cadre des programmes actuels, peuvent avoir un effet dissuasif pour l'installation de la glaréole, une forme de compensation pourrait s'opérer en ouvrant le paysage des lieux à vocation de conservation pour rendre ces espaces plus attractifs et ainsi favoriser l'installation de colonies de glaréoles à collier (Vincent-Martin, 2007). Cela permettrait de maintenir autour de 15%, voire d'accroître, les milieux favorables à la glaréole, tout en continuant les actions de plantation de haies en milieu agricole. Grâce à la plasticité dont fait preuve la glaréole dans la dynamique d'installation de ses colonies, on peut espérer que l'espèce adopterait ces nouveaux sites et limiterait ainsi sa fidélisation aux labours. Un regain d'attractivité des sites protégés aurait en outre l'avantage de faciliter les actions de conservation de la glaréole. En effet, l'installation d'une colonie sur une parcelle non protégée nécessite des concertations avec les propriétaires pour adapter les interventions qui pourraient avoir lieu sur ce site pendant la période de nidification (Darthayette, 2019, Kayser, 2018).

La variable « haies basses » ne semble pas avoir d'effet sur la probabilité de présence de la Glaréole. Peut-on en déduire que l'espèce ne différencie pas la hauteur de haies dans le choix de ses sites de reproduction ? Cela signifierait que la sélection des essences à planter pourrait se faire sur des critères indépendants des exigences de la Glaréole.

L'étude de ce qui se passe dans les cercles de rayon de 500 m et 250 m autour des colonies ou des témoins n'apporte pas d'informations supplémentaires sur les exigences écologiques de la glaréole par rapport à celles recueillies pour la zone d'un kilomètre de rayon. Il semble donc préférable de se concentrer sur cette dernière car elle correspond au rayon d'action réel de l'espèce pour son alimentation (Vincent-Martin, 2007). Cette échelle paraît également plus intéressante dans le cadre

de la planification de plantation de haies dans la mesure où elle permet de prendre en compte des haies se situant sur des parcelles, voire des exploitations, adjacentes au site de nidification.

Avant d'envisager d'éventuelles orientations dans les stratégies de plantation de haies en Camargue, il est nécessaire de revenir sur le mode de sélection des points témoins. Le seul critère environnemental retenu pour définir les zones potentiellement favorables à l'installation d'une colonie de glaréoles a été l'occupation du sol. La littérature montre néanmoins la nécessité de la présence d'une surface importante de zones humides dans le périmètre d'action d'un kilomètre de rayon de la glaréole, où elle trouve les insectes qui font la base de son alimentation (Vincent-Martin, 2007 ; Calvo et al., 1995). La prise en compte de ce paramètre dans la modélisation permettrait d'en affiner les résultats et un calibrage plus fin des études d'optimisation de la plantation de haies.

Elle n'aurait cependant pas permis de garder dans le jeu de données les 7 témoins écartés sur la base de leur trop grande distance à la haie la plus proche. Il se trouve en effet que ces points sont tous situés dans une zone comprise entre de grandes masses d'eau : l'étang du Vaccarès, l'étang de Malagroy, l'étang du Fournelet, l'étang de l'Impérial et la mer (Annexe 4). Il est intéressant de constater qu'aucune colonie de glaréoles n'a été recensée à moins de 3,27 km du plus proche de ces témoins. Bien que Kiss et al. (2017) aient montré une corrélation positive entre la taille des colonies de Glaréoles et la superficie du plan d'eau le plus proche, se peut-il qu'il y ait un seuil au-delà duquel une surface de zones humides trop importante aurait un effet dissuasif pour l'installation de l'espèce ?

Par ailleurs, l'échelle choisie pour la sélection des témoins, à savoir l'Île de Camargue, permet de générer un très grand nombre de sites favorables potentiels. Ces sites, dont la valeur pour la variable Présence/absence est 0, interpellent sur la granulosité du modèle et peuvent en expliquer la faiblesse de la capacité prédictive. En outre, pour une intégration d'une couche « Glaréoles » à CAMGIS, il serait intéressant de compléter cette étude par une analyse de ce qui se passe à l'échelle d'une parcelle ou d'une exploitation. On pourrait obtenir des prédictions plus fines et plus fiables. Néanmoins, on pourrait d'ores et déjà explorer la possibilité de créer sous QGIS une cartographie des parcelles avec un code couleur présentant la susceptibilité du site à accueillir une colonie en fonction de la probabilité de présence dérivée du modèle prédictif. C'est ce qui est fait dans CAMGIS avec une régression logistique pour les risques d'incursion de flamants roses (Béchet : com. pers.).

Le choix d'un emplacement pour la réimplantation de haies résulte de la prise en compte de nombreux facteurs. D'ordre agronomique, tout d'abord, car la haie joue un rôle de brise-vent, apporte ombrage et limite l'évaporation (Morin et al. 2019), réduit les risques d'incursions des flamants roses, abrite des auxiliaires des cultures mais peut aussi *a contrario* profiter à des ravageurs, favoriser la propagation de champignons parasites de par l'humidité qu'elle génère ou limiter le ressuyage des sols après la culture du riz (Mallet, 2022). D'ordre écologique car la haie participe à l'augmentation de la biodiversité en tant que lieu où s'accomplit tout ou partie du cycle de vie de nombreuses espèces et en contribuant aux continuités écologiques et à l'hétérogénéisation du paysage. D'ordre logistique et économique car la plantation, l'arrosage et l'entretien nécessitent des moyens humains et mécaniques et génèrent des coûts, *a fortiori* dans le contexte du réchauffement climatique et de l'augmentation de la salinité (Delmotte, 2011) qui accroissent les risques l'échec des tentatives de replantation. D'ordre stratégique enfin car le choix d'une MAE en faveur des haies peut représenter un manque à gagner pour un exploitant rapport à d'autres mesures plus rentables (Ernoul et al., 2012). L'outil CAMGIS semble à ce jour le plus adapté à la modélisation multicritère de cette problématique. Malgré la faiblesse des prédictions des modèles de cette étude, les résultats montrent qu'il serait pertinent d'y intégrer une couche permettant de visualiser la baisse d'attractivité d'une parcelle pour la glaréole, et par extension pour un cortège d'espèces d'oiseaux d'eau, dans une simulation de plantation de haies. Même si la modélisation dans CAMGIS peut se faire, il faut au préalable se questionner sur ses implications pour les porteurs de programmes de plantation de haies. En effet, dans le contexte camarguais où les riziculteurs expriment encore des réticences à planter des haies, bien que 80% d'entre eux reconnaissent l'importance des haies pour la Camargue (Ernoul et al., 2012), et malgré le récent succès de la promotion des haies dans le cadre de la campagne d"effarouchement des flamants roses (PNRC, 2023), il ne faudrait pas que le peu d'appétence des oiseaux d'eau et des oiseaux steppiques pour les haies soit pris comme argument pour ne pas en planter.

Contrairement à la réduction des risques d'incursion des flamants roses pour laquelle la plantation d'une haie a principalement un effet de proximité, la plantation de haies dans le cadre du maintien de l'attractivité pour la glaréole doit se planifier à deux niveaux : d'une part, à l'échelle proximale de la zone d'action de la glaréole d'un kilomètre de rayon autour du site de reproduction, et d'autre part à l'échelle de la Camargue où il s'agit de maintenir une proportion suffisamment importante d'habitats favorables à l'espèce. Cette planification à plus grande échelle bénéficierait d'un schéma directeur pour la plantation de haies en Camargue régulièrement mis à jour avec les destructions et plantations de haies. Il permettrait de donner les grandes orientations pour les programmes de

gestion des haies à l'échelle du territoire et de les intégrer à la prise de décision à l'échelle d'une parcelle ou d'une exploitation avec l'aide de CAMGIS. Cette gestion intégrée au niveau du territoire passe aussi par la systématisation de l'utilisation de CAMGIS dans toutes les actions de plantation de haies en Camargue *lato sensu* ce qui n'est pas le cas à l'heure actuelle (Vadon : com. pers.).

5. Conclusion

La présence de haies a un effet dissuasif pour l'installation de colonies de glaréoles à collier. Il paraît donc important que les politiques de replantation de haies en Camargue prennent en compte les exigences écologiques de cette espèce afin de ne pas compromettre le maintien de sa petite population française. Il pourrait être intéressant de mener des études similaires sur d'autres espèces d'oiseaux d'eau camarguais pour voir si la glaréole à collier est représentative d'un cortège d'espèces de milieux ouverts et ainsi mieux évaluer le poids à donner à ce critère dans le choix de l'emplacement de nouvelles haies. Cependant, dans un contexte de perte de biodiversité liée à l'homogénéisation du paysage et au réchauffement climatique, il semble pertinent de continuer à promouvoir la plantation de haies en Camargue en renforçant les politiques existantes ou en en créant de nouvelles et en sensibilisant les acteurs du territoire camarguais aux bénéfices apportés par les haies. La planification doit se faire à plusieurs échelles : d'une part, à l'échelle du territoire camarguais afin de garder une surface favorable à la glaréole suffisante pour le maintien de sa population ; d'autre part, à l'échelle des parcelles pour optimiser un maximum de paramètres dans le choix de l'emplacement de la nouvelle haie. CAMGIS, outil d'aide à la décision pour la plantation de haies, semble actuellement le meilleur dispositif pour prendre en compte la multiplicité des critères qui interviennent dans cette décision et impliquer tous les acteurs en leur présentant la problématique de manière visuelle et interactive. L'échelle choisie pour cette étude s'est révélée inadaptée pour dégager des prédictions fiables de l'effet de la plantation de haies à l'échelle d'une parcelle sur la probabilité d'installation de la glaréole. Il serait donc judicieux de compléter l'analyse en se concentrant sur les secteurs où la glaréole a déjà niché pour mieux comprendre sa dynamique d'installation au niveau d'une parcelle ou d'un groupe de parcelles. On peut espérer obtenir ainsi des prédictions intégrables à CAMGIS sous la forme d'une couche « Glaréole ». Mais ceci n'aura de sens que si l'utilisation de CAMGIS se généralise à tous les programmes de plantation de haies.

Bibliographie

1. **Alisé Géomatique (2019).** Dictionnaire des haies. De la production 2018 d'une B. D Haies et alignement d'arbres sur le ScoT d'Arles. Rapport de production 01/10/2019.
2. **Birdlife International (2017).** European birds of conservation concern: populations, trends and national responsabilities. Cambridge, UK. Birdlife International.
3. **Calvo B., L.J. Alberto (1990).** Nest-site selection of the Collared Pratincole (Glareola pratincola) in the province of Seville, Spain. Wader Study Group Bulletin 58: 13-15.
4. **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.
5. **Chambre d'Agriculture Landes. Bois Énergie.** https://landes.chambre-agriculture.fr/gestion-de-lentreprise/conforter-son-entreprise/produire-des-energies-renouvelables/bois-energie/. 27 05 2023
6. **Charbonnier Y., Papura D., Touzot O., Rhouy N., Sentenac G., Rusch A. (2021).** Pest Control Services Provided by Bats in Vineyard Landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 306 (février 2021): 107207. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107207.
7. **Choi G., Do M.S., Son S.J., Nam H.K. (2021).** Effect of different management techniques on bird taxonomic groups on rice fields in the Republic of Korea. Sci. Rep. 11, 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-021-01870-7
8. **Cody M.L. (1985).** Habitat Selection in Birds. 558 p. Academic Press.
9. **DataBank, 2020.** Terres agricoles (% du territoire) - European Union [WWW Document]. URL https://donnees.banquemondiale.org. 17 05 2023)
10. **Cramp S., Simmons K.E.L. (1983).** The Birds of the Western Palearctic. Vol. 3. Oxford University Press , Oxford, UK.
11. **Darthayette X. (2019).** Conservation de la Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) en Camargue. Identification de mesures de gestion favorable à sa reproduction. (Mémoire). Tour du Valat.
12. **Delmotte S. (2011).** Évaluation participative de scénarios : quelles perspectives pour les systèmes agricoles camarguais ? Agronomie. Montpellier SupAgro, 2011. Français. ffNNT : ff. fftel-00664304v2f
13. **Del Hoyo J., Elliott A. & Sargatal J. (1996).** Handbook of the Birds of the World. Vol. 3 : Hoatzin to Auks. Lynx Edition, Barcelona, Spain.
14. **Donadieu, P. (1996).** Paysages de marais, 1st edn. ed. Jean-Pierre de Monza.
15. **EC Directorate General for Agriculture and Rural Development (2005).** Agri-environment measures: Overview on general principles, types of measures and application. EC, Mars.
16. **Ernoul L., Mesléard F. et Béchet A. (2012).** Diagnostic de l'échec de la contractualisation des mesures agrienvironnementales pour réduire les incursions des Flamants dans les rizières de Camargue (France). VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement. Volume 12 Numéro 1.
17. **Fraixedas S, Galewski T, Ribeiro-Lopes S, Loh J, Blondel J, Fontès H, et al. (2019)**. Estimating biodiversity changes in the Camargue wetlands: An expert knowledge approach. PLoS ONE 14(10): e0224235. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0224235
18. **Gallet S., Hurugen A., Biteau B., Gaucherand S. (2017).** La restauration des zones humides, enjeu majeur du XXIe siècle. Sciences Eaux & Territoires 2017/3 (Numéro 24), pages 3 à 5
19. **Hinsley, S.A., Bellamy, P.E.(2019).** Birds of hedgerows and other field boundaries, in: The Ecology of Hedgerows and Field Margins. pp. 210–232. https://doi.org/10.4324/9781315121413
20. **IPBES (2019).** Rapport de la Plénière de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques sur les travaux de sa septième

session Additif Résumé à l'intention des décideurs du rapport sur l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de la Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques.
21. **Katayama N., Osada Y., Mashiko M., Baba Y.G., Tanaka K., Kusumoto Y., Okubo S., Ikeda H., Natuhara Y. (2019).** Organic farming and associated management practices benefit multiple wildlife taxa: A large-scale field study in rice paddy landscapes. J. Appl. Ecol. 56, 1970–1981. https://doi.org/10.1111/1365-2664.13446
22. **Kayser et al. (2008).** Compte-rendu ornithologique camarguais pour les années 2001-2006. Revue d'Écologie (La Terre et la Vie), 63-4.
23. **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.
24. **Kayser Y. (2022).** Suivi de la reproduction de la Glaréole à collier – année 2022. Tour du Valat.
25. **Kiss Á., Monoki Á. & Végvári Zs. (2017).** Nest-site selection and population trend of Collared Pratincoles (Glareola pratincola) breeding in agricultural habitats of the Nagykunság region (Hungary). Ornis Hungarica 2017. 25
26. **Kleijn D., Rundlöf M., Scheper J., Smith H., Tscharntke T., (2011).** Does conservation on farmland contribute to halting the biodiversity decline? Trends Ecol. Evol. 26, 474–481. https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.05.009
27. **Lavorel S. (2019)** Biodiversité mondiale : un rapport accablant. Propos recueillis par Maurice Mashaal. Pour la Science 2019/6 (N° 500 - juin), page 7.
28. **Mallet P. (2020).** Rôle des infrastructures et des pratiques agroécologiques pour la conservation de la biodiversité dans les systèmes de grandes cultures en Camargue. (Thèse). Avignon Université – ENGREF AgroParisTech.
29. **Mathevet R, Béchet A. (2020).** Politiques du flamant rose : vers une écologie du sauvage. Wildproject, collection « le monde qui vient ».
30. **Migairou-Leprince J., Cochet H., Galewski T., Mallet P., Béchet A. (2021).** Diversification des exploitations agricoles et conditions d'émergence de l'agroécologie en Camargue. Arles, AgroParisTech.
31. **Morandin L.A., Kremen C. (2013).** Hedgerow restoration promotes pollinator populations and exports native bees to adjacent fields. Ecol. Appl. 23, 829–839. https://doi.org/10.1890/12-1051.1
32. **Morin S., Commagnac L., Benest F. (2019).** Caractériser et suivre qualitativement et quantitativement les haies et le bocage en France. Sciences Eaux & Territoires 2019/4 (Numéro 30), pages 16 à 21
33. **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.
34. **Parc Naturel Régional de Camargue (2001).** Occupation du sol en Camargue. Cartographie du territoire du Parc naturel régional de Camargue en 2001 et évolution depuis 1991. Rapport.
35. **Parc Naturel Régional de Camargue (2011).** Document d'Objectifs, Sites Natura 2000 « Camargue » (sans prise en compte des extensions marines de 2008). Tome 2, volet opérationnel.
36. **Parc Naturel Régional de Camargue (2014).** LIFE+ Chiro Med, LIFE08NAT/F/000473, Conservation et gestion de deux espèces de chiroptères en région méditerranéenne française. Rapport Final.
37. **Parc Naturel Régional de Camargue (2018).** Sollicitation d'aide financière à l'Agence de l'Eau pour la réimplantation de haies en bordure de canaux des rizières de Camargue. Comité syndical du 12/06/2018.Délibération n°03.
38. **Parc Naturel Régional de Camargue (2021**). Plantation de haies pour protéger les rizières des flamants roses et maintenir les continuités écologiques. Fiche Natura 2000.

39. **Parc Naturel Régional de Camargue (2023).** Bilan de la campagne d'effarouchement des flamants roses dans les rizières 2022.
40. **Parc Naturel Régional de Camargue.** Un patrimoine menacé. http://www.parc-camargue.fr/index.php?pagendx=app_168. 27 05 2023)
41. **Puig-Montserrat X., Torre I., López-Baucells A., Guerrieri E., Monti M.M., Ràfols-García R., Ferrer X., Gisbert D., Flaquer C. (2015).** Pest control service provided by bats in Mediterranean rice paddies: Linking agroecosystems structure to ecological functions. Mamm. Biol. 80, 237–245. https://doi.org/10.1016/j.mambio.2015.03.008
42. **RAMSAR (2018).** Perspectives mondiales des zones humides. L'état mondial des zones humides et de leurs services à l'humanité. Rapport.
43. **R Core Team (2015).** R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria
44. **Sadoul N. (1996).** Dynamique spatiale et temporelle des colonies de charadriiformes dans les salins de Camargue : implications pour la conservation. Thèse, Université de Montpellier II, Station Biologique de la Tour du Valat.
45. **Topi, Vorpsi, Selgjekaj, Mladenov (2022).** Population status of the Collared Pratincole Glareola pratincola in Albania, Ornithologischer Beobachter 119.
46. **Tourenq C., Aulagnier S., Durieux L, Lek S., Mesleard F., Johnson A. et Martin J.L. (2001).** Identifying rice fields at risk from damage by the greater flamingo. Journal of Applied Ecology pp. 170–179.
47. **UICN France, MNHN, LPO, SEOF, ONCFS (2016).** La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine. Paris, France.
48. **Vincent-Martin N. (2007).** Statut de conservation de la Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) en Camargue : identification des facteurs limitant la reproduction. (Thèse). EPHE-CNRS, Montpellier.
49. **Wetlands International (2018).** Annex 1 to the 7th edition of the AEWA Conservation Status Report.
50. **Tour du Valat (2013).** La Glaréole à collier en Camargue. Brochure Sciences et Gestion.
51. **Tour du Valat (2023).** Oiseaux d'Eau en Région Méditerranée. https://www.medwaterbirds.net/. 20 05 2023.
52. **Tscharntke T., Klein A.M., Kruess A., Steffan-Dewenter I., Thies C. (2005).** Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity - Ecosystem service management. Ecol. Lett. 8, 857–874. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00782.x
53. **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	Objectif: détecter toutes les colonies et de les localiser. Méthode utilisée: 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.	Objectif: estimer les effectifs reproducteurs de chaque colonies, puis de l'ensemble de la Camargue. Méthode utilisée: recensement à distance d'une colonie, d'un point fixe. Chaque session de recensement couvre l'ensemble des colonies localisées en Camargue.
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 camarguaise de la Glaréole à collier (Glareola pratincola) établi par Nicolas Vincent-Martin (Source : Darthayette, 2019).*

Catégories d'ODS	Variable	Description
Labours	ODS_1	Parcelles agricoles labourées ou disquées, temporairement nues, souvent destinées à la culture ou à la production fourragère. Ils regroupent les libellés « Maïs », « Riz », « Tournesol » et « Terres cultivées sans récoltes » des données du PNRC (codes respectifs 2113, 2214, 2115, 2116)
Sansouïres	ODS_2	Milieux à faible couvert végétal composé de végétation basse halophile avec un sol affleurant sur de grandes surfaces dû à une forte salinité. Elles regroupent les libellés « Sansouïre basse », « Sansouïre haute » et « Jonchaie » des données du PNRC (codes respectifs 4131, 4132, 4113)
Prairies-friches	ODS_3	Milieux herbacés, présentant parfois du sol nu dû à des remontées de sel, regroupant les prairies naturelles, les prairies temporaires, ainsi que les parcelles en friche. Elles regroupent les libellés « Prairie temporaire », « Prairie naturelle » et « Friche récente » des données du PNRC (codes respectifs 2140, 3220, 2310)
Marais asséchés	ODS_4	Milieux à sol nu situés sur des zones humides, issus d'un assèchement de vasières ou de marais. Ils regroupent les libellés « Marais ouverts », « Autres marais à végétation émergée » et « Roselière » des données du PNRC (codes respectifs 4111, 4112, 4121).

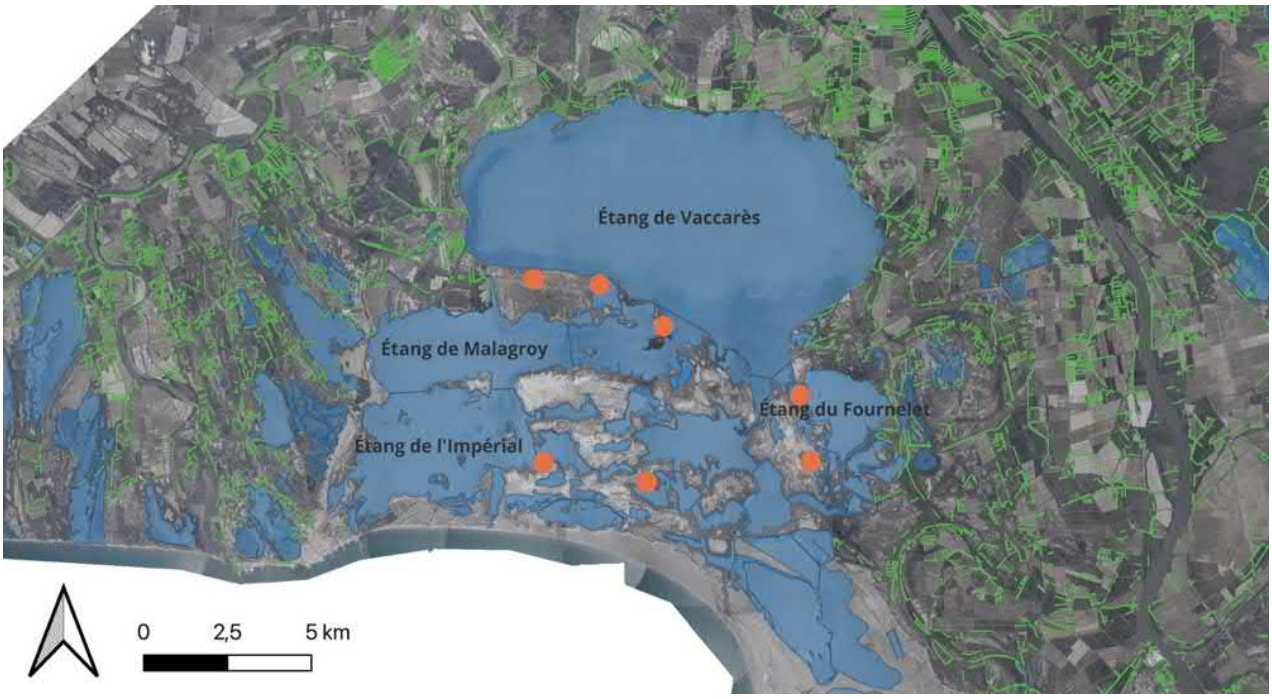
Annexe 2. *Description des 4 catégories d'ODS.*

Cas	Site	Année	Décision
Hors de la zone d'étude	Canavérier (Gla)	N/A	Non pris en compte dans l'étude
	Cayrel (Gla)	N/A	
	Cayrel NO (Gla)	N/A	
	Cayrel SE (Gla)	N/A	
	Cayrelles CO (Gla)	N/A	
	Clamador (Gla)	N/A	
	Domaine de la Forêt (Gla)	N/A	
	Grand Bastit (Gla)	N/A	
	Grand Chaumont (Gla)	N/A	
	Je-m'en-repens (Gla)	N/A	
	Mas Combet (Gla)	N/A	
	Mas de la Vigne (Gla)	N/A	
	Musette (Gla)	N/A	
	Nord Charnier (Gla)	N/A	
	Plagnol Est (Gla)	N/A	
	Scamandre 1 (Gla)	N/A	
	Scamandre 2 (Gla)	N/A	
	Silo des Tourelles (Gla)	N/A	
Nombre extrême de couples	Chassagne 1 (Gla)	2008	Non pris en compte dans l'étude
ODS hors catégorie	Pointe de Cacharel (Gla)	2010	Associés à ODS_2
	Cacharel (Gla)	2009	
	Grenouillet 4 (Gla)	De 2004 à 2008 et 2012	Associé à ODS_3
	Mas de l'Ange (Gla)	2007	Associés à ODS_4
	Mas de l'Ange 1 (Gla)	2002	
	Mas de l'Ange 2 (Gla)	2004	
	Sainte-Cécile (Rizière) (Gla)	2002	Pas d'ODS associé
	Chassagne 3 (Gla)	2006	
	Remoule (Gla)	2009	
	Mas Paulon 1 (Gla)	2012	
	Chassagne 4 (Gla)	2013	

	Grand Manusclat Nord (Gla)	2016	
	Mon Canard Nord (Gla)	2020	
Colonie non dénombrée	Bélugue (Gla)	2022	Intégré aux témoins d'ODS_2
Distance à la haie > 1000m	Témoin #209	N/A	Non pris en compte dans l'étude
	Témoin #203	N/A	
	Témoin #207	N/A	
	Témoin #211	N/A	
	Témoin #212	N/A	
	Témoin #216	N/A	
	Témoin #218	N/A	
Pourcentage de haies indéterminées > 10%	Témoin #101		Non pris en compte dans le jeu de données 2 pour les cercles de 1 km de rayon
	Témoin #103	N/A	
	Témoin #126	N/A	
	Témoin #128	N/A	
	Témoin #133	N/A	
	Témoin #136	N/A	
	Témoin #311	N/A	
	Témoin #330	N/A	
	Témoin #332	N/A	
	Témoin #420	N/A	
	Casebrune (Gla)	2020	
	La Galante (Prairie) (Gla)	2014	
	Mon Canard Sud (La Marine) (Gla)	2019	
	Remoule (Gla)	2009	
	Témoin #101	N/A	Non pris en compte dans le jeu de données 2 pour les cercles de 500 m de rayon
	Témoin #122	N/A	
	Témoin #123	N/A	
	Témoin #130	N/A	
	Témoin #131	N/A	
	Témoin #133	N/A	
	Témoin #301	N/A	

	Témoin #302	N/A	
	Témoin #311	N/A	
Pourcentage de haies indéterminées > 10%	Témoin #329	N/A	Non pris en compte dans le jeu de données 2 pour les cercles de 500 m de rayon
	Témoin #330	N/A	
	Témoin #332	N/A	
	Témoin #420	N/A	
	Témoin #425	N/A	
	Témoin #435	N/A	
	Témoin #438	N/A	
	Grand Manusclat (Gla)	2011	
	Grand Manusclat Nord (Gla)	2016	
	Mon Canard Grand Manusclat	2017	
	Mon Canard Grand Manusclat	2018	
	Remoule (Gla)	2009	
	Témoin #101	N/A	Non pris en compte dans le jeu de données 2 pour les cercles de 250 m de rayon
	Témoin #122	N/A	
	Témoin #302	N/A	
	Témoin #306	N/A	
	Témoin #311	N/A	
	Témoin #315	N/A	
	Témoin #330	N/A	
	Témoin #332	N/A	
	Témoin #425	N/A	

Annexe 3. *Synthèse des décisions prises dans la construction des jeux de données.*



Annexe 4. *Cartographie des témoins avec une distance à la haie la plus proche supérieure à 1 km.*

Résumé

Les actions de plantation de haies se multiplient depuis 30 ans pour enrayer l'érosion du linéaire camarguais. Un logiciel d'optimisation de l'emplacement de nouvelles haies, CAMGIS, a été développé pour servir d'aide à la décision avec comme principaux critères la réduction des incursions de flamants roses dans les parcelles rizicoles et l'augmentation de la connectivité pour les chiroptères. Mais il ne prend pas en compte les exigences d'espèces pour lesquelles les haies ont un effet dissuasif. La Glaréole à collier, oiseau de milieux ouverts, fait l'objet d'un suivi annuel depuis 2000. Les données de ce suivi ainsi que celles de deux recensements des haies camarguaises ont été utilisées pour observer les effets des haies sur la probabilité de présence de colonies de glaréoles et sur leur taille. L'analyse statistique a montré un effet négatif de la proximité et de la longueur totale de haies sur la probabilité d'installation de la glaréole. La capacité prédictive du modèle s'est révélée trop faible pour intégrer ce critère à CAMGIS sans étude complémentaire à l'échelle de la parcelle. Il semble judicieux d'ajouter ce critère supplémentaire à CAMGIS et de systématiser l'utilisation de CAMGIS à tous les programmes de plantation de haies en Camargue.

Mots-clés : Camargue, haies, glaréole à collier, CAMGIS