

# Les dénombrements et le baguage des oiseaux : pratiques de recherche et enjeux de conservation



<b>Note</b>	<b>4</b>
<b>Remerciements</b>	<b>6</b>
<b>Introduction</b>	<b>7</b>
1. Crise de la biodiversité	7
2. La conservation	7
3. Les sciences de la conservation	8
4. Les oiseaux, ambassadeurs de la crise de la biodiversité	9
5. Les dénombrements et le baguage des oiseaux pour la conservation	9
Les dénombrements	9
Le baguage	10
6. Le rôle de l'écologie en sciences de la conservation	11
7. Présentation du plan du mémoire	11
<b>Chapitre 1 - La pratique de la recherche : collecte et analyse de données</b>	<b>12</b>
1. Ethique de la collecte de données	12
Effet du dérangement lors des comptages de canards et foulques hivernants	13
Effet des captures et du baguage dans une colonie mixte d'ardéidés	15
Effet des écouvillons cloacaux et des marques nasales sur la survie des canards	18
Discussion	20
Perspectives	21
2. Développement de modèles statistiques permettant de prendre en compte les biais de détection lors des suivis de l'avifaune	22
Correction du biais d'échantillonnage spatial	23
Correction du biais d'estimation de la taille des groupes	24
Simulation d'un protocole en distance sampling pour prendre en compte la détection imparfaite	27
Perspectives	28
<b>Chapitre 2 - La portée de la recherche : identifications des menaces et réponses aux problématiques de conservation</b>	<b>29</b>
1. Description de l'état des populations	30
Evaluer les tendances des effectifs des oiseaux d'eau	30
Identifier les régions où la menace est la plus forte	32
2. Recherche sur les menaces	33
Comprendre le rôle des variables environnementales sur les populations	33
Identifier les interactions problématiques entre humains et faune sauvage	36
Caractériser une menace : les lâchers massifs de canards colverts	38
3. Recherche sur les solutions pour faire face aux menaces	39
Proposer une solution pour répondre à un déclin	39
Mettre en place un projet de restauration et tester son efficacité	40
Tester l'efficacité d'une mesure réglementaire	40
4. Discussion et perspectives	41
Identifier et conserver les zones humides en Afrique du Nord	42
Poursuivre les suivis à long terme, indicateurs de changements globaux	43
Concilier financement, recherche et actions de conservation	44
<b>Chapitre 3 - Engagement dans l'action : quel rôle du scientifique ?</b>	<b>45</b>
1. Rendre la connaissance accessible aux gestionnaires	45
2. Accompagner dans l'action	48
La Tour du Valat, une organisation à l'interface entre science et gestion	48
Des activités de recherche-action	49
Un modèle à développer ?	50
Un développement vers le plaidoyer	50
3. Accroître l'influence de la science	51

Faire entendre la voix rationnelle	51
Aider à la décision en présence d'incertitudes	52
Conseiller les décisionnaires avec des groupes d'experts	52
Plus de transparence sur les groupes de pression et la décision finale	54
Améliorer la confiance dans les scientifiques	55
S'engager	55
4. Perspectives	56
<b>Conclusion</b>	<b>58</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>59</b>

## Note

Les références des travaux dans lesquels j'ai été impliqué sont soulignées dans le texte. Pour une meilleure fluidité dans la lecture du mémoire, je n'ai pas indiqué, pour chaque étude, mon rôle d'encadrant. Aussi, la liste des étudiants encadrés, ma part dans leur encadrement, le nom des co-encadrants et le sujet de l'étude sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Pour plus de détails, voir le CV joint.

Niveau de formation	Année	Nom étudiant	Prénom	Période (Mois)	% Encadrement	Co-encadrants
Postdoc	2023	<b>López-Ricaurte</b>	Lina	24	100	
Non-breeding ecology of Mediterranean breeding birds						
Postdoc	2022	<b>Dufour</b>	Paul	24	40	O. Duriez (CEFE), F. Jiguet (MNHN)
Tracking birds to characterise their use of the Gulf of Lion in the context of renewable energy development						
Postdoc	2022	<b>Lauret</b>	Valentin	36	10	Aurélien Besnard (CEFE)
Analyse combinée des données obtenues dans le cadre du projet Migralion						
Postdoc	2021	<b>Roques</b>	Sébastien	12	50	Arnaud Béchet (TDV)
Coûts et bénéfices démographiques de stratégies migratoires contrastées chez une espèce d'oiseaux d'eau emblématique des zones humides méditerranéennes, le flamant rose						
Postdoc	2020	<b>Ducros</b>	Delphine	6	15	Pierre Defos du Rau (OFB), Clémence Deschamps (TDV), Jean-Yves Mondain-Monval (OFB)
Analyse et valorisation des données de dénombrements des oiseaux d'eau en Afrique dans le cadre du programme RESSOURCE						
Postdoc	2018	<b>Sánchez-Macouzet</b>	Oscar	24	60	Arnaud Béchet (TDV)
Dynamique des populations et adaptation au changement climatique chez l'Ibis falcinelle						
Thèse	2023	<b>Bouchri</b>	Haytem	36	50	Arnaud Béchet (TDV), Rhimou El Hamoumi (Univ. Casablanca), Raphaël Musseau (Biosphere Envir.)
Étude de l'écologie et des mouvements d'une espèce de canard nomade menacée						
Thèse	2020	<b>Ferreira</b>	Hugo	50	50	José Alves (Univ. Aveiro), Tamar Lok (NIOZ)
Demographic processes of a long-distant migratory waterbird facing global changes						
Thèse	2018	<b>Vallecillo</b>	David	36	50	Matthieu Guillemain (OFB)
Modélisation de la répartition spatio-temporelle des oiseaux d'eau en Camargue - un outil pour la gestion						
Thèse	2016	<b>Folliot</b>	Benjamin	36	25	Alain Caizergues (OFB), Matthieu Guillemain (OFB)
Dynamique des espèces exploitées : le cas du Fuligule milouin ( <i>Aythya ferina</i> ) dans le Paléarctique						
Master 2	2023	<b>El Majtni</b>	Meïssan	6	50	Hugo Ferreira (TDV/Univ. Aveiro)
Importance of the level of habitat protection in the use of a protected area by juvenile Eurasian Spoonbills ( <i>Platalea leucorodia</i> ) during the post-fledging period						

Niveau de formation	Année	Nom étudiant	Prénom	Période (Mois)	% Encadrement	Co-encadrants
Master 2	2021	<b>Gelin</b>	Marion	6	10	L. Bacon et M. Guillemain (OFB)
Modélisation du taux de renvoi des bagues par le biais de récompenses chez trois espèces d'anatidés : la Sarcelle d'hiver, le Canard colvert et le Fuligule milouin						
Master 2	2021	<b>Jacquemin</b>	Arthur	6	40	D. Vallecillo (TDV/OFB), M. Guillemain (OFB)
Évaluation de la technique d'échantillonnage à distance pour le suivi des espèces grégaires : un exercice de simulation						
Master 2	2020	<b>Malèvre</b>	Nicolas	6	40	David Vallecillo (TDV/OFB), Matthieu Guillemain (OFB)
Paramètres influençant la répartition des anatidés et de la foulque macroule hivernant sur la réserve naturelle nationale de Camargue						
Master 2	2018	<b>Guillaud</b>	Fanny	5	70	Philippe Vandewalle (RNNC)
Analyse spatio-temporelle des Anatidés et de la Foulque macroule hivernant en Camargue						
Master 2	2016	<b>Canonne</b>	Coline	6	80	Philippe Vandewalle (RNNC), Jean-Baptiste Mouronval (OFB)
Evolution des effectifs et de la répartition spatio-temporelle des anatidés et foulques hivernant en Camargue						
Master 2	2016	<b>Gili</b>	Lisa	6	100	
Influence du dérangement scientifique sur le succès reproducteur d'Ardéidés au sein de la principale colonie d'oiseaux d'eau en France						
Master 1	2022	<b>Bach</b>	Mathilde	6	70	Virginie Mauclert et Damien Cohez (TDV)
Restauration de roselière sur le domaine de la Tour du Valat: évaluation du potentiel d'accueil pour l'avifaune paludicole						
Master 1	2021	<b>Deyna</b>	Chloé	3	100	
Recensement des données existantes de l'avifaune migratrice terrestre et marine du golfe du Lion						
Master 1	2020	<b>Costa</b>	Justine	2	100	
Comparaison de deux méthodes d'estimation du succès reproducteur et évaluation des conditions météorologiques sur la reproduction d'Ibis falcinelle, de Hérons garde-bœufs et d'Aigrettes garzette en Camargue						
Master 1	2019	<b>Darthayette</b>	Xabi	6	80	Cécile Moncourtois (PNRC)
Conservation de la Glaréole à collier ( <i>Glareola pratincola</i> ) en Camargue - Identification de mesures de gestion favorables à sa reproduction						
Master 1	2018	<b>Garde</b>	Amélia	3	100	
Migration behaviour of Eurasian spoonbill ( <i>Platalea leucorodia</i> ) from a triaxial accelerometer						
Master 1	2018	<b>Mazza</b>	Audrey	3	100	
Accelerometer, machine learning, a method to determine behavioural time budget from Eurasian spoonbill ( <i>Platalea leucorodia</i> )						
Master 1	2015	<b>Carré</b>	Hugo	4	100	
Influence du dérangement scientifique sur le succès reproducteur d'ardéidés au sein d'une importante colonie d'oiseaux d'eau de Camargue						
Licence 3	2019	<b>Skinner</b>	Thomas	4	50	Antoine Arnaud (TDV)
Breeding of Glossy ibis in the Camargue						
Licence 3	2017	<b>Badone</b>	Irene	4	100	
Monitoraggio della riproduzione di <i>Plegadis falcinellus</i> in Camargue, Francia						
Licence 3	2016	<b>Chabaud</b>	Nathan	2	100	
La Spatule blanche <i>Platalea leucorodia</i> en Camargue : Reproduction et choix migratoire						

En ce qui concerne les principaux collaborateurs scientifiques, ils sont indiqués dans le tableau précédent car nous avons été amenés à co-encadrer des étudiants. Il s'agit en particulier de Matthieu Guillemain, Arnaud Béchet, Tamar Lok, José Alves, Philippe Vandewalle, Alain Caizergues, Pierre Defos du Rau, Jean-Yves Mondain-Monval, Frédéric Jiguet, Olivier Duriez, mais j'ai collaboré aussi avec d'autres chercheurs : Cédric Pradalier, Simone Santoro, Jelena Kralj, Matthieu Authier, Hugh Drummond, Pär Soderquist, Johan Elmberg, Nigel Taylor, David Anderson, Jean-Dominique Lebreton, Philippe Lambret, Jethro Gauld, Hugo Cayuela, Jean-Baptiste Mouronval, Marion Vittecoq parmi d'autres depuis l'obtention de ma thèse en 2012.

Par ailleurs, dans le cadre de mes fonctions j'encadre des ingénieurs et techniciens de recherche, experts en ornithologie qui ont rédigé certains travaux cités dans ce mémoire, j'évoquerai en particulier Yves Kayser, Thomas Blanchon et Antoine Arnaud.

J'ai également cité dans ce mémoire des dossiers, brèves et communications rédigées en collaboration avec l'équipe communication de la Tour du Valat, en particulier Gwen Wasse et Muriel Arcaute-Gevrey.

## Remerciements

Sans les nombreuses personnes évoquées ci-dessus, auxquelles s'ajoutent les autres collègues, bénévoles, services civiques et services volontaires européens, ce travail n'aurait pas été possible. Je souhaite très vivement les remercier tous ici.

Un grand merci à Aurélien Besnard qui m'a guidé dans ce travail, ses conseils avisés m'ont amené à approfondir ma réflexion sur le métier de chercheur en écologie.

Merci aux rapporteurs et membres du jury qui ont accepté de réviser mon mémoire d'HDR et/ou d'en discuter : Anne Loison, Christophe Barbraud, Pierre-Yves Henry, Alexandre Millon et Ana Rodrigues. Je suis véritablement honoré qu'elles et ils se penchent sur ce mémoire.

Je remercie également les directeurs de la Tour du Valat (Raphaël Billé, Jean Jalbert, Patrick Grillas) pour leur confiance et soutien dans cette démarche de rédaction de l'HDR.

Je souhaite remercier chaleureusement Marion Vittecoq, Matthieu Guillemain et Arnaud Béchet qui m'accompagnent de leurs pertinents et bienveillants avis depuis maintenant plus de 15 ans. Merci pour leurs excellents commentaires sur une première version de ce mémoire.

Merci à Lorena pour son soutien, sa patience et son amour.

# Introduction

## 1. Crise de la biodiversité

L'être humain altère son environnement depuis des centaines de milliers d'années (Sagan et al. 1979). De façon progressive au cours de son expansion sur la planète, en défrichant les forêts, collectant et dispersant les plantes et les animaux, favorisant le pâturage, le genre humain a entraîné des modifications des écosystèmes et une perte de biodiversité (Bowman et al. 2011). Ainsi ont disparu de nombreux représentants de la mégafaune au cours du quaternaire (Johnson 2009, Galetti et al. 2018) entraînant dans leur sillage des transformations du paysage, de la végétation et de la diversité des espèces. Ces extinctions anciennes, qui ont débuté entre 50 000 et 100 000 ans avant notre ère, ont été induites par les humains lorsqu'ils ont commencé à se disperser sur la planète, même si elles ont pu être amplifiées par une interaction avec des phénomènes climatiques (Smith et al. 2018).

Il est de plus en plus accepté que nous sommes entrés dans une nouvelle période géologique : l'Anthropocène qui succède à l'Holocène (Crutzen 2006). Cette période se caractérise par l'avènement des humains comme force de changement sur Terre. Un débat existe sur le début de cette nouvelle période, à savoir si elle a débuté il y a lieu plusieurs milliers d'années, au moment de la révolution industrielle ou au milieu du XX<sup>e</sup> siècle (Crutzen 2002, Walker et al. 2015, Zalasiewicz et al. 2015). Toujours est-il que du point de vue de la biodiversité, l'Anthropocène marque une crise globale avec une sixième extinction de masse qui s'est accélérée depuis l'ère industrielle (Avisé et al. 2008, Ceballos et al. 2010, Cowie et al. 2022). Actuellement, les menaces principales sur la biodiversité sont le changement d'utilisation des terres, l'exploitation directe des animaux et des plantes, le changement climatique, les pollutions, ainsi que les espèces exotiques envahissantes (IPBES 2019).

## 2. La conservation

Pour lutter contre la crise de biodiversité, la conservation est définie dans la « Stratégie mondiale de la conservation des ressources vivantes au service du développement durable » publié en 1980 comme « la gestion de l'utilisation humaine de la biosphère afin qu'elle puisse apporter le plus grand bénéfice durable aux générations actuelles tout en maintenant son potentiel pour répondre aux besoins et aux aspirations des générations futures : la conservation est donc positive, elle englobe la préservation, l'entretien, l'utilisation durable, la restauration et l'amélioration de l'environnement naturel » (FAO et al. 1980). Les stratégies de conservation sont diverses et peuvent porter sur les valeurs sociales, culturelles et économiques immédiates de la biodiversité comme c'est le cas la plupart du temps (Mace 2014). Cependant, les stratégies de conservation peuvent s'écarter sensiblement de la vision anthropocentrée présentée dans la définition de la conservation ci-dessus, en ce que les actions ne doivent pas nécessairement profiter aux humains mais également aux non-humains (Sarrazin and Lecomte 2016). L'utilisation présente ou future par les humains de la biosphère peut ne pas être le moteur de l'action de conservation, la conservation correspondant dans ce contexte aux actions qui visent à maintenir les processus évolutifs sans préjuger de leurs utilités pour l'être humain (Clarke 2014).

Des milliards d'euros sont dépensés annuellement pour la conservation de la biodiversité (Pearce 2007). L'accord de Kunming-Montréal prévoit ainsi la mobilisation de 200 milliards de dollars par an d'ici 2030 (CBD 2019). Au cours des dernières décennies, la conservation de la biodiversité est devenue un objectif porté par une grande diversité d'acteurs : organisations internationales, gouvernements nationaux, organismes d'État, organisations non gouvernementales, communautés locales, clubs scolaires, particuliers (Redford and Richter 1999, Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2001, Collen et al. 2013). La conservation peut prendre de multiples formes telles que la création de réserves en vue d'enrayer les menaces que constituent l'expansion urbaine ou l'exploitation des ressources (Agardy 1994, Saunders et al. 2002, Le Saout et al. 2013); le vote de lois pour contrôler le transport d'espèces vivantes en vue de limiter l'homogénéisation génétique (Oldfield 2003); ou encore la restauration pour compenser la destruction d'un habitat naturel suite à un « aménagement » (Hobbs et al. 2009). Face à l'éventail infini des actions de conservation possibles, il est important d'établir des priorités qui prennent en compte l'urgence face au risque d'extinction (dans le cas d'une espèce), mais aussi la faisabilité de l'action, son coût et son efficacité attendue compte tenu des limites des ressources disponibles (Wilson et al. 2009). Lorsque les actions portent sur la conservation d'espèces, le choix des espèces prioritaires peut être déterminé selon la classification de son statut telle que les listes annexées à la directive Oiseaux (par exemple l'annexe 1 des espèces faisant l'objet de mesures de conservation spéciale, contrairement à celles classées dans l'annexe 2 qui peuvent être chassées) puis ensuite, les actions prioritaires pour l'espèce en question peuvent être établies à travers des plans d'action ou de gestion (nationaux ou internationaux). Lorsque des actions visent la protection d'habitats, il existe par exemple une classification des écosystèmes prioritaires avec une liste des habitats caractéristiques à protéger tels que ceux de la directive habitats Natura 2000 (Portaccio et al. 2023).

Au-delà des habitats et espèces prioritaires, établir des objectifs de conservation est un processus sociétal, sous-tendu par des valeurs et des croyances (Pullin et al. 2013). L'état de référence souhaité concernant l'abondance et la distribution d'une communauté d'espèces, d'une espèce ou d'une population d'espèce peut-être celui existant il y a 10, 100, 1000, 10 000 ans ou plus (Sanderson 2006, Rodrigues et al. 2019). On peut citer à titre d'exemple l'objectif pour la Tourterelle des bois *Streptopelia turtur* d'un retour à son niveau d'abondance des années 2000 (Duncan et al. 2019a), ou la recréation (*de-extinction* en anglais) du Mammouth laineux *Mammuthus primigenius* disparu depuis 6400 ans (IUCN SSC 2016; Robert et al. 2017). Avec le changement climatique, et plus généralement les changements globaux irréversibles qui rendent parfois impossible le retour à un état antérieur, il devient alors évident que les choix de conservation sont des choix de sociétés (Duarte et al. 2009).

### 3. Les sciences de la conservation

La biologie de la conservation a émergé dans le contexte de la considération de plus en plus importante de l'érosion de la biodiversité durant les années 1980 (Meine et al. 2006). La biologie de la conservation est dorénavant plutôt appelée sciences de la conservation (« conservation science » en anglais) pour prendre en compte sa caractéristique interdisciplinaire (Williams et al. 2020a). Les sciences de la conservation se caractérisent donc comme un domaine de recherche scientifique visant à fournir les fondements nécessaires pour enrayer la perte de biodiversité, « un nouveau point de ralliement pour les biologistes qui souhaitent mettre en commun leurs connaissances et leurs

techniques pour résoudre des problèmes» (Soule and Wilcox 1980). Les sciences de la conservation visent à éclairer la pratique de la conservation, à fournir une analyse pertinente pour la conception et la gestion des zones protégées, la conservation des ressources vivantes sauvages, la protection des espèces menacées et en voie de disparition, ainsi que la conservation et la restauration des habitats et des écosystèmes (Robinson 2006). Les sciences de la conservation mobilisent différentes disciplines scientifiques pour atteindre cet objectif : par exemple écologie, statistique, génétique, physiologie ou sciences sociales (Gauthier-Clerc et al. 2014).

#### 4. Les oiseaux, ambassadeurs de la crise de la biodiversité

Les oiseaux sauvages ne sont qu'une composante infime de la biomasse sur terre (0,0004%, Bar-On et al. 2018). Avec près de 10 000 espèces et 50 milliards d'individus, les oiseaux représentent bien moins que la biomasse des espèces de termites réunies ou même que la biomasse d'une seule espèce de Krill antarctique *Euphausia superba* (Callaghan et al. 2021). Cependant, les oiseaux ont fasciné les humains depuis des millénaires et constituent une part importante des investissements et des études pour estimer l'importance d'un site et sa valeur patrimoniale (Paillisson et al. 2002). Les populations d'oiseaux font donc l'objet de suivis nombreux et intensifs, pour leur préservation ou la conservation de leurs habitats (Nichols and Williams 2006, Afán et al. 2018, Sauer et al. 2022). L'attrait que les citoyens ont pour ce groupe en fait aussi un taxon particulièrement intéressant pour sensibiliser le public aux questions de conservation (Neate-Clegg et al. 2020).

Les oiseaux sont des indicateurs de l'état de la biodiversité en ce qu'ils sont divers, répandus et mobiles ; ils sont présents dans tous les habitats, partout dans le monde et se situent souvent en haut de la chaîne alimentaire, ce qui les rend sensibles aux changements qui se produisent plus bas dans la chaîne. Ils sont utiles pour détecter des modifications d'habitat à grande échelle, des changements qui ne peuvent être observés en mesurant des paramètres physiques et chimiques, et à la surveillance des conséquences biologiques des changements environnementaux (Koskimies 1989, Klvaňová et al. 2009). Ainsi, le déclin des oiseaux est susceptible de nous alerter et nous informer sur la crise de la biodiversité (Carson 1962, Butchart et al. 2010).

#### 5. Les dénombrements et le baguage des oiseaux pour la conservation

La dynamique des populations est une sous-discipline de l'écologie qui s'intéresse à la fluctuation dans le temps du nombre d'individus au sein d'une population d'êtres vivants. Pour décrire l'état d'une population et l'évolution d'un système tel que la population d'une espèce d'oiseau, on fait appel à cette discipline, qui a également pour but de comprendre les influences environnementales sur les effectifs des populations (sensu Balmford et al., 2009). Les comptages des effectifs et le marquage des individus sont des pratiques largement utilisées dans le cadre de l'étude de la dynamique des populations, et notamment lorsqu'on s'intéresse aux oiseaux (Bibby et al. 2000).

##### *Les dénombrements*

Le suivi des oiseaux par des dénombrements est une pratique ancienne menée autant pour estimer l'évolution d'effectifs des populations dans le but de les protéger, que pour montrer l'importance des habitats qui les abritent. A titre d'exemple, l'histoire des comptages aériens des oiseaux d'eau en Camargue est emblématique. Constatant un manque de connaissance relatif au peuplement d'oiseaux d'eau hivernant en Camargue, Luc Hoffmann organise dès l'hiver 1954-1955 un premier

dénombrement des anatidés à l'échelle du delta. La prospection par avion des principales zones humides de Camargue permettra cette année-là de dénombrier de 121 000 à 131 000 canards. De ce premier résultat naît l'ambition d'un suivi à long terme : « *si nous pouvons continuer ce travail pendant les prochaines années, nous serons à même de savoir si les canards de Camargue sont en diminution ou s'ils savent maintenir leurs effectifs, voire même les augmenter* » (Hoffmann and Penot 1955). C'est ainsi que les dénombrements se poursuivront dans des conditions similaires jusqu'en 1959. À partir de 1964, Alain Tamisier, alors jeune doctorant, reprendra la mission, avec des comptages combinant des observations terrestres et aériennes, sur tous les sites de Camargue connus pour abriter des remises<sup>1</sup> d'anatidés. Alain Tamisier mettra en place en 1974 une méthode de comptage aérien qui est encore utilisée aujourd'hui (Tamisier and Dehorter 1999).

Tout comme en Camargue, les oiseaux d'eau sont comptés systématiquement par différentes méthodes partout dans le monde (Boere et al. 2006). En rassemblant les comptages réalisés dans le monde entier à la même date selon un protocole standardisé (Comptages *Wetlands* autour du 15 janvier), on dispose alors d'un indicateur permettant d'évaluer l'importance relative des zones humides pour les oiseaux d'eau à l'échelle de la population. C'est cet indice qui sert alors à la désignation des sites Ramsar ([https:// www.ramsar.org/](https://www.ramsar.org/)). En effet, la convention de Ramsar adoptée en 1971 porte le projet de protéger les oiseaux d'eau par la protection de tous les sites accueillant au moins 1% d'une population d'une espèce d'oiseau d'eau.

Plus globalement, pour toutes les espèces d'oiseaux, les comptages permettent d'évaluer les tendances des effectifs et selon l'intensité d'un éventuel déclin par an rapporté à la longévité de l'espèce (nombre de générations), ces chiffres permettent d'établir le statut de conservation de la population ou de l'espèce. Les listes rouges des espèces menacées ainsi établies permettent d'orienter les priorités de conservation (IUCN 2022).

Au-delà de suivre l'évolution des populations, des espèces, populations ou sites importants pour leur conservation, les comptages d'oiseaux permettent aussi de tester des questions scientifiques sur les causes de déclin lorsqu'ils sont mis en relation à des variables environnementales ou à évaluer l'efficacité de mesures de gestion (Nichols and Williams 2006). Ils participent aussi à éveiller l'intérêt à la conservation par la participation des citoyens (Silvertown 2009).

### *Le baguage*

Les scientifiques sont souvent capables d'identifier à vue la plupart des espèces d'oiseaux mais ils ne sont généralement pas capables de reconnaître les individus. Or cette identification individuelle est indispensable pour une meilleure compréhension du fonctionnement des populations car les comportements individuels peuvent varier. Pour pallier cette limite, des méthodes pour reconnaître les individus ont été mises en place en 254 av. J.-C. pour transmettre des messages à l'aide de pigeons puis à partir du XVI<sup>e</sup> siècle des hérons et faucons ont été bagués pour suivre leurs déplacements ou leur reproduction d'une année sur l'autre (Wood 1945). Le baguage systématique des oiseaux avec un code individuel est une technique qui a débuté en 1899 en Europe. Il s'agit d'une activité technique qui, aujourd'hui, fait l'objet d'une formation. Ainsi en France, il faut plusieurs années pour valider son diplôme de bagueur généraliste auprès du Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux (CRBPO), organisme national ayant délégation du ministère de l'environnement pour autoriser la capture légale des oiseaux qui sont pour la plupart des espèces

---

<sup>1</sup> Remise : surface en eau utilisée par les oiseaux d'eau en journée pour des activités de confort tels que repos, toilettage, parade et nage en opposition au gagnage utilisé la nuit pour l'alimentation.

protégées. Cette technique est utilisée dans le cadre des études de la dynamique des populations car elle permet, par l'analyse des données de capture et recapture, d'accéder à l'estimation de paramètres démographiques tels que la survie ou l'âge à la première reproduction. Beaucoup d'études scientifiques sur les oiseaux d'eau sont ainsi basées sur les données de baguage individuel d'oiseaux et de leur recapture, en partant du principe que les oiseaux bagués sont représentatifs de la population dans son ensemble (Lindberg 2012). Depuis sa création, le baguage des oiseaux a fourni des informations précieuses sur la biologie et l'écologie des oiseaux, en permettant aux chercheurs de recueillir des données importantes sur leur comportement, leurs voies de migration, leurs taux de survie et la dynamique de leurs populations (Baillie 1995, Anderson and Green 2009). En conséquence, il est largement utilisé dans les programmes de conservation et de protection des espèces d'oiseaux, en particulier pour comprendre les interactions complexes entre les oiseaux et leur environnement (Baillie, 2001 ; Anderson et Green, 2009).

## 6. Le rôle de l'écologie en sciences de la conservation

Dans le cadre des sciences de la conservation, le chercheur en écologie participe à l'acquisition des connaissances et à la compréhension des mécanismes en jeu pour définir de bonnes pratiques de conservation. Dans le cadre de ses études, il met en place les méthodes les plus pertinentes et développe de nouvelles méthodes afin de répondre aux questions émises la plupart du temps par le monde de l'action pour la conservation : gestionnaires, décideurs ou parties prenantes (Mermet 2020).

Les gestionnaires de l'environnement s'efforcent d'identifier et d'atténuer les menaces, d'inverser le déclin des espèces, de restaurer les écosystèmes dégradés et de gérer durablement les ressources naturelles (Sutherland 2008). Ils sont souvent guidés dans leur travail par les chercheurs en sciences de la conservation (Pullin et al. 2004). Les décideurs politiques sont parfois considérés comme les principaux opérateurs chargés d'agir sur les problèmes publics tels que la conservation et d'établir des priorités. Dans cette configuration, les chercheurs en sciences de la conservation sont alors sollicités pour jouer un rôle d'experts. Cependant, la conservation s'affranchit parfois d'une autorité hiérarchique, en particulier lorsque les parties prenantes négocient directement entre elles. Les écologues en sciences de la conservation peuvent alors jouer le rôle de médiateurs ou de soutien à une partie prenante pour une meilleure gestion de la biodiversité. Enfin, le public peut être directement impliqué dans la recherche par exemple au travers des sciences participatives mais il peut également solliciter l'écologue pour comprendre et être informé. Loin d'être isolé, le rôle de l'écologue en sciences de la conservation s'inscrit donc dans une société où des espaces d'interactions existent avec le public, les organisations militantes, les organisations politiques, la communauté de la conservation, etc... (Toomey et al. 2017). Comment s'articule le métier d'écologue en sciences de la conservation dans le monde actuel aux enjeux environnementaux de plus en plus importants? Quels sont les attentes des différents acteurs présentés ci-dessus et de quels moyens l'écologue dispose-t-il pour y répondre? Dans ce mémoire, je présenterai différentes facettes du travail de chercheur en sciences de la conservation des oiseaux au sein d'une société dans laquelle il s'insère pleinement.

## 7. Présentation du plan du mémoire

En référence aux parties qui structurent classiquement un article scientifique (introduction, méthodes, résultats et discussion), après cette **introduction**, je me focaliserai sur les aspects

**méthodologiques** du travail de recherche lui-même. Parce qu'en tant qu'écologue de la conservation, nous obtenons des autorisations pour travailler dans des espaces naturels sensibles au dérangement, sur des espèces parfois en déclin, et que nous mettons en place des pratiques parfois intrusives par le comptage ou le baguage pour répondre aux questions scientifiques, je présenterai dans un premier temps les travaux auxquels j'ai participé qui contribuent à une pratique éthique de la manipulation des oiseaux et les développements d'analyses statistiques qui prennent en compte les imperfections des techniques déployées sur le terrain (Chapitre 1).

Ensuite, puisque le cœur de notre métier consiste à répondre à des enjeux de conservation par la recherche, je présenterai les **résultats** des études auxquelles j'ai participé qui permettent soit d'identifier les menaces, soit de fournir des réponses aux problématiques de conservation (Chapitre 2). Je tenterai de montrer dans ce chapitre comment les méthodes mises en place répondent aux questions des gestionnaires, décideurs ou parties prenantes avec une analyse critique des travaux que j'ai pu réaliser ces dix dernières années, en particulier au regard de leurs impacts en termes de conservation.

Enfin, ma position de chercheur à la Tour du Valat depuis huit ans, une fondation privée s'insérant dans les domaines de la recherche, la gestion et le plaidoyer, à la fois institut de recherche et ONG environnementale, m'amène, peut-être plus qu'un chercheur académique, à m'interroger sur la place de la science et du chercheur pour mener à bien la recherche en conservation. Je **discuterai** de ma posture d'écologue de la conservation pour faire face aux enjeux globaux de conservation dans le monde actuel. Je m'interrogerai sur le rôle du chercheur dans la société, et les différentes formes d'engagement possible pour agir pour la biodiversité (Chapitre 3).

Tout au long du mémoire, j'illustrerai ces questions avec des exemples issus principalement de travaux auxquels j'ai participé, notamment en Camargue, en me focalisant particulièrement sur la problématique de conservation des oiseaux d'eau. A la fin de chaque chapitre ou sous-chapitre, je présenterai mes perspectives de recherche à moyen et long terme.

## Chapitre 1 - La pratique de la recherche : collecte et analyse de données

### 1. Ethique de la collecte de données

La conduite de la recherche en sciences de la conservation amène à des considérations éthiques en lien avec les responsabilités de l'écologue vis-à-vis de l'intégrité scientifique, du bien-être des individus sauvages, des espèces et des écosystèmes (Minteer and Collins 2005). Bien que dans le cadre de la médecine elle se soit développée au cours du XX<sup>e</sup> siècle, dans le champ de la faune sauvage, la prise en compte de l'éthique est relativement récente (Vucetich and Nelson 2007, Costello et al. 2016, Soulsbury et al. 2020). Pourtant, puisque toute manipulation des individus a un effet potentiel sur la population, la question du coût et du bénéfice de l'opération scientifique pour la population se pose (May 2004). Selon les évolutions réglementaires européennes, la contrainte ou souffrance imposée à l'animal doit être contrebalancée par le bénéfice scientifique attendu. Les comités d'éthiques mis en place évaluent ainsi la justification du point de vue scientifique, la justification de l'utilisation de l'animal et les conditions qui doivent être les plus respectueuses de

l'animal et de l'environnement, avec une démarche de réduction et de raffinement des pratiques (2010/63/UE).

La recherche en sciences de la conservation des oiseaux amène à compter, capturer, manipuler, intervenir en tant qu'être humain dans des sites qui sont souvent sauvegardés, protégés et où les gestionnaires tentent de limiter le dérangement anthropique au maximum. En plus de la considération individuelle du bien-être animal qui vise à limiter sa souffrance, pour plusieurs raisons il est important d'intégrer une approche d'éthique environnementale de la collecte de données car : i) la manipulation pourrait porter atteinte au modèle d'étude et contrecarrer les efforts de conservation menés par ailleurs sur l'espèce ou la population, le chercheur lui-même constituant alors une menace (Minteer et al. 2014), ii) la manipulation pourrait affecter la qualité des résultats produits, en biaisant les estimations de paramètres démographiques par exemple (Saraux et al. 2011) ou iii) affecter d'autres espèces qu'elles soient animales ou végétales, par exemple par le passage répété entraînant le piétinement d'une communauté végétale (Cole and Bayfield 1993, Pescott and Stewart 2014), iv) l'opinion publique pourrait se positionner par rapport à des pratiques qu'elle considère comme inacceptable. Au fur et à mesure du développement de nouvelles méthodes et de l'évolution de l'acceptabilité de pratiques par la société, un nombre important de travaux portent sur la question éthique du dérangement induit par le chercheur, et visent à tester l'existence potentielle d'effets néfastes de la collecte de données sur l'environnement.

#### *Effet du dérangement lors des comptages de canards et foulques hivernants*

Du fait d'un enjeu sociétal pour la chasse en tant que loisir et en tant qu'activité économique, ainsi que de l'attrait du public pour ces espèces plus généralement, les oiseaux d'eau constitue un enjeu de conservation fort, particulièrement au siècle dernier en Europe et en Amérique du Nord (Tamisier and Dehorter 1999, Mathevet 2000, Kuijken 2006, Anderson et al. 2018). Dans le cadre des comptages réalisés pour le suivi des populations de canards et foulques hivernant en Camargue, un dérangement est réalisé lors du passage mensuel sur les remises, sites diurnes de repos et toilettage. La méthode de comptage depuis le sol consiste, sur plusieurs espaces naturels protégés, à faire envoler les oiseaux afin de les rendre visibles, en particulier parce qu'ils peuvent se cacher dans les roselières ou les tamarisais. En ce qui concerne les comptages aériens, la méthode mise au point au début des années 1970 consiste également à faire envoler les canards en « enroulant » l'étang tout en descendant à une altitude située à 80m à une vitesse d'environ 180 km/h, afin de permettre à l'observateur de les détecter et les identifier. Le dérangement peut induire des coûts énergétiques pour les oiseaux qui s'envolent mais les oiseaux peuvent également être soumis à un risque accru de prédation humaine par la chasse ou par d'autres espèces s'ils changent de site.

Dans une étude menée en Camargue, nous avons évalué la probabilité de détection des individus, et constaté qu'elle variait en fonction de la méthode employée (Vallecillo et al. 2022). En ce qui concerne le comptage au sol, si le dérangement s'accompagne d'un envol des oiseaux, la détection augmente. Cela s'illustre sur le domaine de la Tour du Valat où la méthode de comptage a évolué en 2006, passant d'un passage par semaine réalisé depuis des observatoires (ligne 4 dans la figure ci-dessous) à un passage par mois avec envol des oiseaux (ligne 3 dans la figure ci-dessous). 2,1 fois plus d'oiseaux sont détectés depuis le sol en Camargue lorsque le protocole prévoit que les observateurs dérangent les oiseaux pour les compter (ces sites correspondent au Marais de la Palissade (ligne 5), au Marais du Vigueirat (ligne 1) et la Tour du Valat après le changement de méthode de comptage (ligne 3) dans la Figure 1) par rapport aux comptages au sol sans dérangement des oiseaux (Réserve

Naturelle Nationale de Camargue (ligne 2), Tour du Valat selon la méthode ancienne (ligne 3) dans la Figure 1).

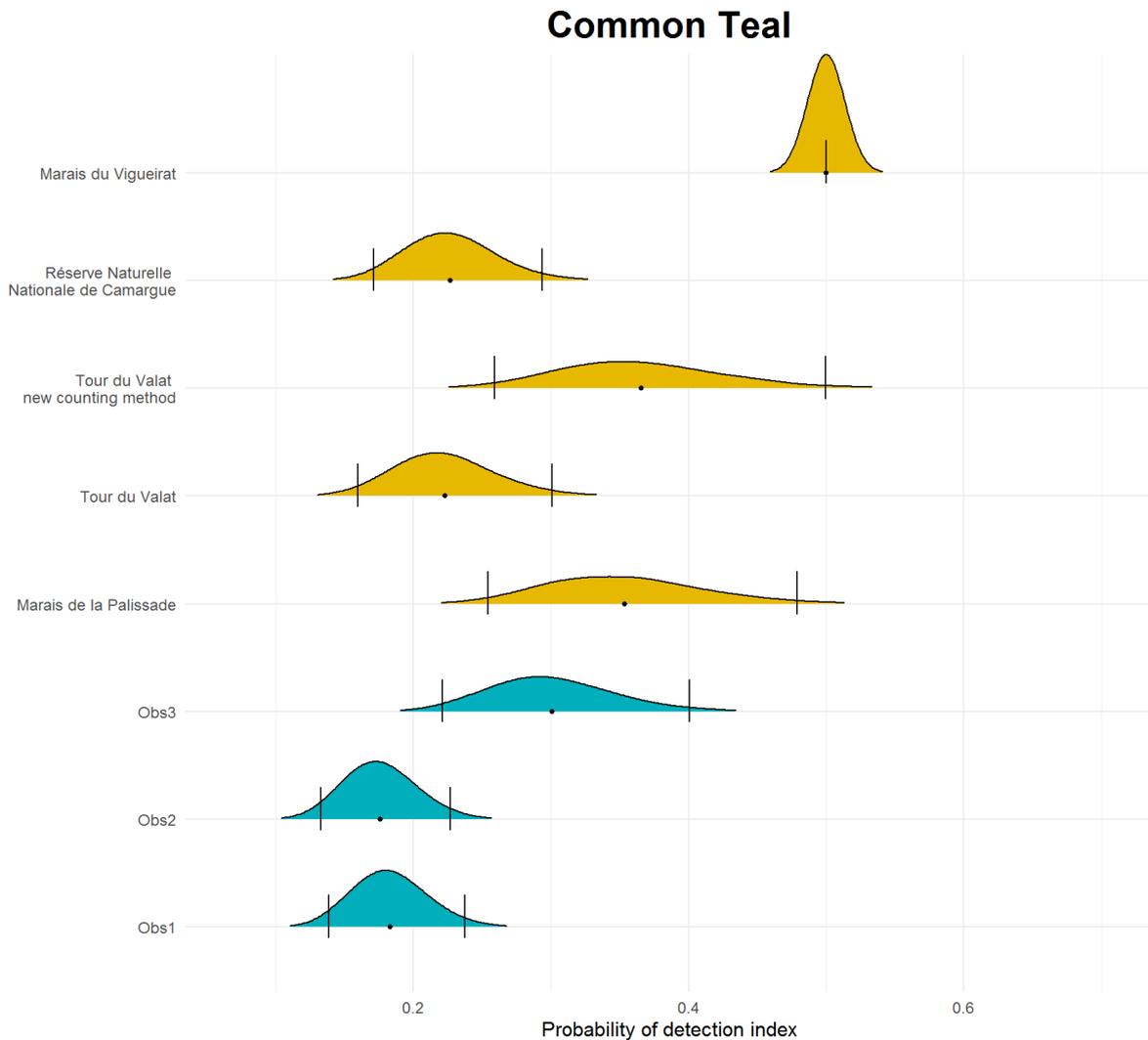


Figure 1. Graphique représentant les probabilités relatives de détection des sarcelles d’hiver pour chacun des trois observateurs aériens (Obs1, Obs2 et Obs 3, en bleu) et les zones protégées comptées depuis le sol (en jaune). D’après [Vallecillo et al. \(2022\)](#).

La détection par avion reste du même ordre que les comptages au sol sans dérangement, suggérant un dérangement plus faible de l’envol des oiseaux par avion que depuis le sol. Cela est corroboré par des observations directes qui nous ont permis de constater l’absence d’envol des sarcelles d’hiver dans les tamarisais malgré une approche de l’avion à quelques dizaines de mètres d’altitude. Malgré ces considérations, les gestionnaires considèrent comme acceptable le dérangement volontaire pour le comptage terrestre d’oiseaux sur la réserve naturelle régionale de la Tour du Valat, la réserve naturelle nationale des marais du Vigueirat et la Palissade. En effet, les gestionnaires considèrent qu’il est suffisamment bref pour que la majorité des oiseaux reviennent se poser rapidement sur le site dérangé sans conséquence pour leur survie ou sur leurs déplacements bien que cela n’ait pas été vérifié. Il faudrait par exemple disposer d’un grand nombre d’individus marqués sur le site avant dérangement pour le vérifier ce qui est difficile en termes de moyens.

Les résultats de Vallecillo et al. (2022) montrent que bien qu’elle augmente la probabilité de détection et rapproche le comptage de l’exhaustivité, cette méthode de dérangement par l’envol des

oiseaux, qu'elle soit au sol ou par avion, n'entraîne pas systématiquement une meilleure estimation des tendances. De fait, les graphiques de la figure 1 suggèrent même que la méthode de dérangement induit plus de variations sur l'estimation de la probabilité de détection (intervalle de confiance à 95% plus grand) et donc potentiellement plus d'incertitudes dans l'estimation des tendances.

Le bénéfice du dérangement ne semble donc pas important pour ce qui concerne la détection de tendances des effectifs sur un site donné. Un retour vers une technique sans envol des oiseaux (méthode avant 2006 sur la Tour du Valat par exemple) pourrait être privilégié mais celle-ci mériterait alors d'être calibré sur l'indice actuel des effectifs afin de ne pas perdre le bénéfice du suivi sur le long terme. En ce qui concerne le dérangement lors des comptages aériens plus spécifiquement, une méthode d'échantillonnage par transects avec évaluation de la distance des individus observés (*distance sampling*, Buckland et al. 2001) a été simulée (Jacquemin et al. 2022). Elle limiterait le dérangement induit car tous les étangs en eau ne seraient pas survolés et l'altitude de vol serait constante, plus élevée (90m) et entrainerait certainement moins d'envol des canards. Les résultats de la simulation suggèrent qu'une estimation de l'effectif de l'ensemble des canards en Camargue pourrait être obtenue avec de surcroît une estimation de l'incertitude autour de cette estimation. En revanche, déterminer si la méthode sera pertinente pour l'estimation des effectifs de chacune des espèces actuellement comptées en Camargue doit faire l'objet de tests réels dans les années à venir.

Après avoir vu brièvement les conséquences du dérangement induit par les observateurs lors des comptages de canards et foulque à distance, nous allons voir à présent le dérangement lorsque les animaux sont manipulés.

#### *Effet des captures et du baguage dans une colonie mixte d'ardéidés*

Les opérations de baguage des oiseaux ne peuvent être effectuées que par des ornithologues formés et autorisés afin de limiter autant que possible les conséquences négatives de la capture et de la manipulation des oiseaux. Le stress causé par la capture est néanmoins connu pour affecter les oiseaux, et des cas de blessures et de mortalités peuvent advenir (Romero and Romero 2002, Spotswood et al. 2012). Cet impact est parfois considéré comme acceptable comparé à l'amélioration des connaissances qui participent à la gestion et la conservation des populations d'oiseaux en question (Wilson and McMahon 2006). Il mérite cependant d'être évalué continuellement en fonction des différentes méthodes de capture utilisées et des espèces.

En prenant mon poste de chercheur à la Tour du Valat en 2015, il m'a été demandé d'évaluer la pertinence de poursuivre quatre programmes de marquage sur le long terme d'espèces d'oiseaux d'eau, dont trois sont en augmentation (Flamant rose *Phoenicopterus roseus*, Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus*, Spatule blanche *Platalea leucorodia*). En particulier, Michel Gauthier-Clerc, chercheur à la Tour du Valat auquel j'ai succédé, avait mis en place deux nouveaux suivis par le baguage de deux espèces récemment installées en Camargue, les ibis falcinelles (première reproduction en 2006 avec baguage) et les spatules blanches (première reproduction en 1998 avec début du baguage en 2008). J'ai vite compris que le suivi des ibis falcinelles par le baguage n'avait pas bonne presse dans le milieu des naturalistes. Cela ne tenait pas au fait d'un manque d'intérêt en termes de problématique de recherche sur la dynamique des populations, puisque ce suivi a permis entre autre de quantifier les échanges avec la population espagnole (Champagnon et al. 2019b, Santoro et al. 2019), d'estimer les taux de survie et d'étudier l'effet des variables environnementales associées au succès reproducteur

(Ferreira et al. 2018, 2019). En fait, des participants au baguage critiquaient la méthode de baguage qui induisait parfois que les poussins se jettent à l'eau. Les participants avaient pu en déduire qu'ils pourraient en mourir ou ne jamais revenir au nid (Figure 2).



Figure 2. Exemple de capture d'un poussin d'Ibis falcinelle dans son nid. Crédit photo : Jean-Emmanuel Roché.

J'ai donc voulu tester l'existence d'un effet des manipulations sur le succès reproducteur de l'ibis falcinelle, mais également des deux autres espèces les plus abondantes dans la colonie étudiée, le Héron Garde-bœuf *Bubulcus ibis* et l'Aigrette garzette *Egretta garzetta*. En effet, le baguage se déroule lors de plusieurs sessions annuelles, dans la réserve naturelle régionale du Scamandre qui constitue la plus grande colonie mixte d'ardéidés française et l'une des plus importantes d'Europe (Gauthier-Clerc et al. 2006), ayant dépassé les 9000 couples en 2015 (Champagnon et al. 2019b).

L'activité de baguage des ibis falcinelles était réalisée dans de strictes conditions contrôlées, validées par le CRBPO (programme personnel de baguage d'Yves Kayser numéro 447), avec l'entrée d'une trentaine de participants répartis en 5 à 7 équipes chacune autour d'un bagueur expérimenté. Tous les participants étaient informés de leur rôle et du déroulement de l'opération, et celle-ci était limitée à une durée d'une heure. Les adultes s'envolaient à l'approche des participants (Figure 3) mais ceux qui étaient à quelques dizaines de mètres restaient au nid lorsqu'ils étaient cachés des intervenants par la végétation. Afin d'évaluer l'effet du baguage, nous avons entrepris d'estimer le succès reproducteur des trois espèces principales dans la colonie, à savoir les hérons garde-bœufs, les aigrettes garzettes et les ibis falcinelles sur deux années en 2015 et 2016, en prenant en compte un site contrôle dans lequel les équipes de bagueurs n'entraient pas. Ainsi, 336 nids ont été suivis (Carré 2015, Gili 2016).



Figure 3. Envol des adultes à l'entrée de la colonie de hérons garde-bœufs *Bubulcus ibis*, aigrettes garzettes *Egretta garzetta*, hérons cendrés *Ardea cinerea* et ibis falcinelles *Plegadis falcinellus*. Crédit photo : Tour du Valat.

Nous n'avons pas mis en évidence d'effets négatifs des opérations de baguage d'ibis falcinelles sur le succès reproducteur des aigrettes garzettes et des hérons garde-bœufs (Figure 4). En revanche, nous avons constaté une diminution du succès reproducteur des ibis falcinelles dans la zone dérangée. Le mécanisme générant cette diminution n'est cependant pas évident. Puisque les effets négatifs sont limités à l'espèce baguée, nous pourrions penser qu'il est le résultat des opérations de baguage. Les perturbations provoquées par les opérations pourraient avoir directement ou indirectement affecté la survie des nids d'ibis soit (i) en augmentant les abandons de nids, soit (ii) en augmentant le risque de prédation des nids dans les jours qui suivent l'opération de baguage. i) L'absence d'abandons immédiats des nids a été testée par le suivi sur place, à partir d'un affût flottant, des adultes reproducteurs pendant les opérations de baguage. Il a montré que tous les parents retournaient à leurs nids, quelque soit l'espèce, dans les 20 minutes suivant le retrait de tous les participants au baguage de la colonie. Cependant, on ne peut pas exclure un effet à retardement avec la possibilité d'un désengagement quelques jours plus tard des adultes envers les jeunes. Par ailleurs, ii) la prédation des nids pourrait effectivement avoir augmenté avec les perturbations humaines et attirer des prédateurs aériens. Dans ce cas, cependant, nous nous serions attendus à ce que les trois espèces soient affectées de la même manière par la présence de ces prédateurs, et peut-être même à ce que le succès de la reproduction soit plus faible dans les nids les plus élevés dans les arbres ; le contraire de ce que nous avons trouvé dans cette étude (Champagnon et al. 2019a).

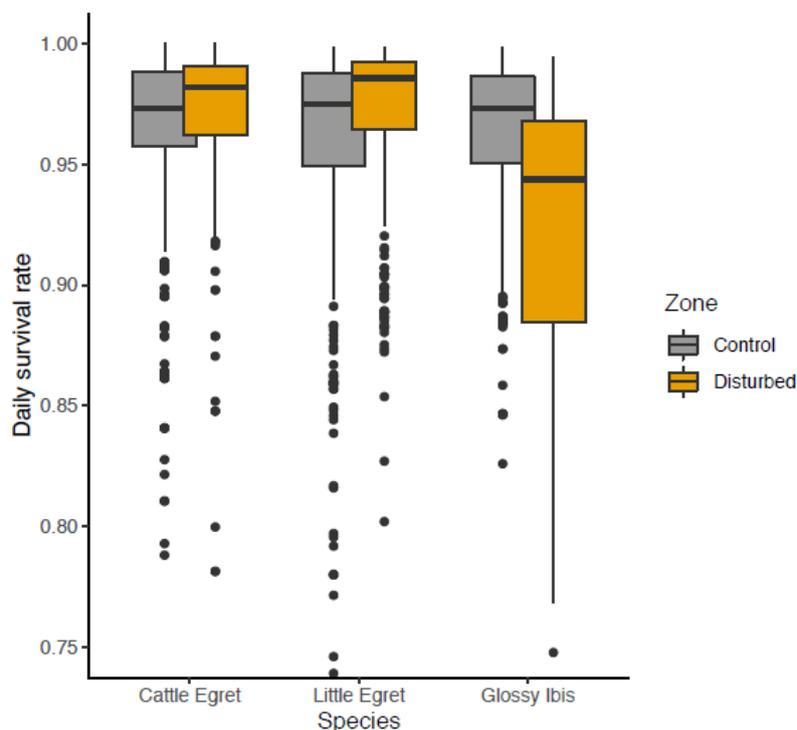


Figure 4. Effet de la perturbation par le baguage sur le taux de survie quotidien des nids de trois espèces d'oiseaux d'eau nichant dans les arbres dans une héronnière mixte. D'après Champagnon et al. (2019b)

Finalement, depuis 2020, nous avons interrompu le suivi à long terme des ibis falcinelles par le baguage pour une combinaison de raisons : i) Les moyens humains des ornithologues permanents de la Tour du Valat n'étaient pas suffisants et nous devons clore certains programmes menés sur le long terme ; ii) Le printemps 2020 ne nous a pas permis de réaliser de baguage à cause du COVID-19 ; iii) Les résultats de cette étude ont été obtenus et publiés en 2019. Malgré l'absence d'explication évidente sur le mécanisme par lequel le baguage pourrait affecter le succès de reproduction des ibis falcinelles, nous avons adopté le principe de précaution en arrêtant le baguage. Enfin, l'interruption du baguage n'interrompra pas la valorisation des données obtenues par le baguage de 4326 individus pendant 14 années et de plus de 8000 contrôles d'individus vivants qui continuent d'être observés. Cette base de données nous informe en particulier sur la dynamique d'une espèce en croissance forte dans le contexte des changements globaux, ainsi que sur les mécanismes de colonisation en lien avec les changements climatiques.

Les activités de baguage comportent des risques pour les espèces qu'il est important d'estimer sur le long terme, car ces effets peuvent ne pas être visibles par le manipulateur ou l'observateur sans outil statistique et recul de plusieurs années, afin d'évaluer le devenir de l'individu à la suite du traitement. Nous allons illustrer cela par plusieurs études dans la partie qui suit.

#### *Effet des écouvillons cloacaux et des marques nasales sur la survie des canards*

Les études testant l'effet de manipulations en plus du baguage sont déterminantes du point de vue éthique mais ne sont pas systématiques (Culik et al. 1993, Guillemain et al. 2007, Saraux et al. 2011, Spotswood et al. 2012, Schlicht and Kempnaers 2018, Jung et al. 2020) . J'ai été associé à deux études qui ont porté sur l'effet de l'utilisation d'écouvillons cloacaux et de la pose de marques

nasales sur différentes espèces de canards (Guillemain et al. 2015, Gelin 2021). La méthode utilisée a été de tester un effet de chacune de ces manipulations sur la survie des oiseaux par l'application de modèles de capture-recapture-reprise (Lebreton et al. 1992, Gauthier and Lebreton 2008) sur les Canards colverts *Anas platyrhynchos* et les Sarcelles d'hiver *Anas crecca*. Ces modèles prennent en compte les paramètres de détectabilité tels que les probabilités de recaptures physiques dans les pièges, de réobservations à distance dans le cas de marques nasales (observations visuelles), ou de reprise d'oiseaux morts à la chasse. Des lots d'individus similaires (même âge, sexe et site de capture) ont servi de témoins ou contrôles.

### Écouvillons

L'utilisation des écouvillons cloacaux est la méthode la plus utilisée dans le cadre de la surveillance de la grippe aviaire chez les oiseaux sauvages dans le monde entier (Munster et al. 2007). Cependant l'effet potentiel des écouvillonnages sur les taux de survie des oiseaux sauvages n'avait pas été évalué. Nous avons travaillé sur un échantillon de 2150 canards colverts, dont 782 avaient été uniquement écouvillonnés et 288 avaient été écouvillonnés en plus de faire l'objet d'un prélèvement sanguin au cours de la même manipulation. Nous n'avons pas trouvé d'effet des écouvillons et des prises de sang sur la survie des Canards colverts.

Pour les Sarcelles d'hiver, il n'y a pas eu de prise de sang mais 362 individus sur un total de 984 avaient été écouvillonnés. Nous n'avons pas décelé d'effet sur leur taux de survie non plus. Cependant, les oiseaux ayant fait l'objet d'un écouvillon ont été moins revus vivants avec leurs marques nasales, entraînant une réduction de 25% de la probabilité d'être réobservé chez les mâles, et 35% chez les femelles. Ces résultats suggèrent une modification de comportement de ces oiseaux qui évitent peut-être les sites d'échantillonnage en réponse au stress associé à la capture et à la manipulation, et qui deviennent donc moins susceptibles d'être ré-observés ou recapturés l'année suivante (Guillemain et al. 2015).

Ces résultats amènent à reconsidérer le coût du dérangement des écouvillons cloacaux, en particulier pour les plus petites espèces d'oiseaux. Par principe de précaution, nous préconisons donc d'utiliser des écouvillons de petites tailles afin de diminuer le stress sur l'individu.

### Marques nasales

Les marques nasales possèdent l'avantage de permettre des identifications individuelles à distance, sans recapture physique (Rodrigues et al. 2001). Avant de débiter son programme de baguage des Sarcelles d'hiver, Matthieu Guillemain et ses collaborateurs (2007) avaient entrepris plusieurs tests pour évaluer la gêne occasionnée par les marques nasales posées sur le bec de cette espèce de canard. Dans cette étude préliminaire, ils présentaient l'absence d'effet sur leurs masses et budgets temps. Les résultats ont permis de conclure que la méthode était appropriée pour l'identification à distance des individus, permettant de suivre à bas coût leurs mouvements et d'augmenter la probabilité de réobservations d'un individu. Le suivi par le baguage permet de tester l'effet sur le long terme de ces marques. Ce suivi mené depuis 2002 a permis d'évaluer l'effet potentiel des marques nasales sur la survie grâce à un échantillon de 12 226 sarcelles d'hiver, dont 56% étaient équipées de marques nasales. Les résultats encore préliminaires suggèrent un effet négatif des marques nasales sur la survie, plus accentué chez les femelles (Gelin 2021, Guillemain et al. 2022, Figure 5). De plus, contrairement à ce qui était attendu, la précision des estimations de probabilités

de survie n'est pas améliorée par la présence de marques nasales en comparaison de l'utilisation des captures à la nasse et reprises à la chasse uniquement. Ceci est sans doute dû à une forte hétérogénéité parmi les oiseaux équipés de marques nasales, avec certains qui sont peu revus et d'autres fréquemment. En conséquence, cette étude a conduit à ne plus utiliser les marques nasales sur les sarcelles d'hiver dès l'hiver 2022-2023, en particulier pour évaluer les taux de survie. Cependant, la méthode pourrait rester pertinente pour évaluer d'autres paramètres tels que le temps de résidence des migrateurs sur un site donné, une fois bien pesés le rapport coût-bénéfice en termes de connaissance et d'éthique.

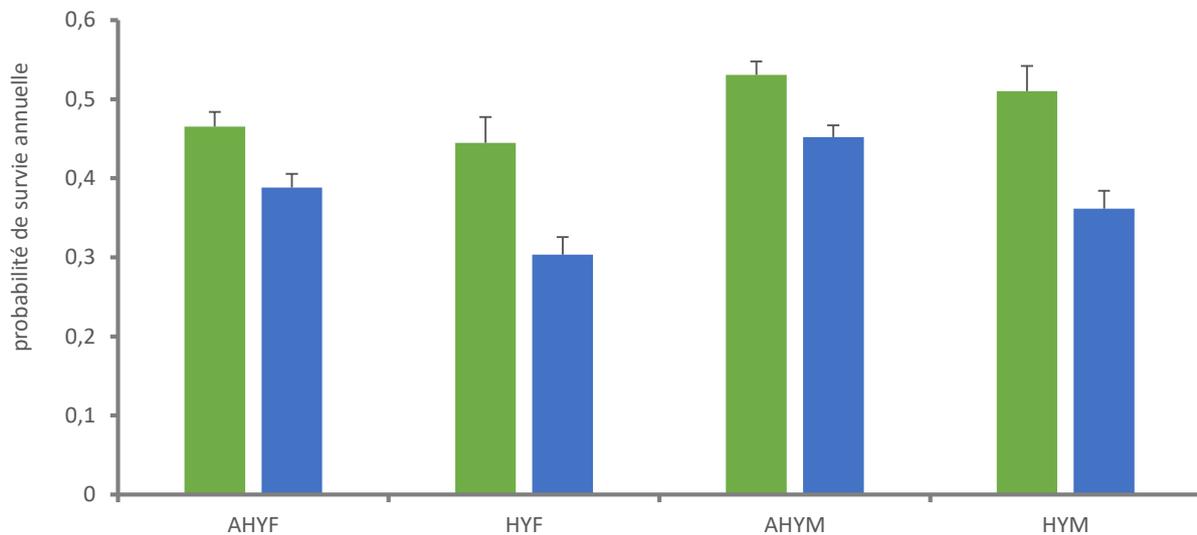


Figure 5. Estimations du taux de survie par sexe et par catégorie d'âge. Les colonnes de gauche à droite dans chaque catégorie indiquent les oiseaux sans marques nasales (vert) et avec marques nasales (bleu) en considérant uniquement les recaptures physiques et les reprises de bagues. Les barres verticales indiquent les erreurs standard. AHYF : femelles après leur première année; HYF : femelles dans leur première année; AHYM : mâles après leur première année; HYM : mâles dans leur première année.

### Discussion

Ces travaux se placent dans le cadre des questions d'éthique de la recherche sur les animaux sauvages. Bien que concernant des études sur un nombre limité de modèles biologiques et publiées dans des revues internationales à facteur d'impact modeste, elles témoignent d'une volonté d'adopter les meilleurs gestes et de pratiquer une science aussi irréprochable que possible.

J'ai été surpris à la lecture d'une publication récente qui mettait en évidence l'effet de disques nasaux sur la survie d'une espèce de canard que les auteurs n'y formulent pas de recommandations, à savoir d'envisager l'arrêt de la pratique (Deane et al. 2021). Au contraire, notre recherche s'appuie non seulement sur la publication de recommandations liées à d'éventuels impacts mais aussi sur la vulgarisation des résultats aussi largement que possible, en particulier auprès du réseau des bagueurs français ([Wasse and Champagnon 2019c](#), [Champagnon 2021](#)) ou des conférences regroupant des experts susceptibles d'adopter les mêmes pratiques comme par exemple lors du Pan-European Duck Symposium ([Guillemain et al. 2022](#)) ou au sein du groupe d'expert sur l'Ibis falcinelle ([Champagnon et al. 2017](#)).

Ces considérations d'ordre éthique sont d'autant plus importantes à diffuser que de nombreuses études réalisées à large échelle utilisent des données de baguage ou de comptages en accès libre, sans forcément connaître le détail des manipulations de terrain (voir par exemple Mills et al. 2015;

Amano et al. 2017). Il peut ainsi y avoir une perte de sensibilisation de l'écologue ou du biostatisticien aux impacts de la collecte de données. Il est pourtant du devoir du signataire de la publication de connaître précisément ces conditions de collecte, tant pour éviter d'éventuels biais des estimations ou d'interprétation, que parce qu'il est le garant des conditions éthiques de cette collecte.

### *Perspectives*

Dans le but de permettre des identifications individuelles à distance sans recapture physique nous avons vu que les marques nasales ont été utilisés sur les canards en pensant qu'elles pouvaient octroyer un bénéfice sur l'estimation de survie. En fait, la pose d'une bague métal à la patte et leurs reprises à la chasse offrent une aussi bonne estimation des valeurs de survie. En revanche pour les espèces non chassées, les reprises de bagues et recaptures sont rares. C'est pourquoi d'autres méthodes sont utilisées telles que les bagues colorées (Meissner and Bzoma 2011). Les combinaisons de bagues colorées ou bagues PVC avec un code unique posées sur une patte des échassiers permettent d'obtenir des estimations de survie et d'âge à la première reproduction impossible à obtenir pour des espèces pour lesquelles le taux de reprises d'oiseaux morts est très faibles telles que par exemple, les flamants roses ou les spatules blanches (Sanz-Aguilar et al. 2012, Lok et al. 2015, Roques 2022, Ferreira et al. 2022a). Ces méthodes de bagues PVC aux pattes sont utilisées depuis de nombreuses années (Coulson 1963), en particulier pour étudier les déplacements. Cependant, la miniaturisation de la télémétrie ces dernières années permet le suivi plus fin des déplacements de ces espèces que les observations de bagues PVC ne le permettent. Les équipements embarqués tels que balises GPS ou multi capteurs (lumière, pression, accéléromètre) type GLS sur les espèces plus petites (Liechti et al. 2018) sont performants pour obtenir des données précises sur les positions des individus, à une haute fréquence d'acquisition et accompagnés d'information sur leurs activités (Jetz et al. 2022). Il est devenu possible de répondre à de nombreuses questions de conservation en lien avec les conditions de déplacements des oiseaux (Kays et al. 2022, Flack et al. 2022, El Majtni 2024).

Dans le cadre de projets en cours ou futurs, j'envisage de développer des axes de recherche sur le déplacement des oiseaux, en particulier pour comprendre les conditions environnementales qui mènent aux décisions de déplacements de l'individu (Teitelbaum and Mueller 2019, Chapitre 2). Mais la prolifération et le développement rapide du matériel embarqué est un important sujet d'éthique. Il amène à revoir et améliorer continuellement les techniques de capture des oiseaux et les systèmes de fixation utilisés qui maintiennent les balises sur le dos des oiseaux. Les effets adverses de ces équipements concernent principalement un problème d'aérodynamisme (résistance à l'air de la balise) et de la masse de l'équipement avec des effets plus ou moins marqués selon l'espèce, le type de vol, le système de fixation ou la position sur l'oiseau (Bodey et al. 2018, Lameris et al. 2018, Geen et al. 2019, Mizrahy-Rewald et al. 2023). La miniaturisation des instruments est croissante au cours du temps ce qui permet de résoudre le problème de poids trop important pour une espèce donnée. Les conditions de capture et les améliorations du système de fixation (par exemple les harnais autour des ailes ou les baudriers autour des pattes) sont améliorés à la fois sur la base des publications qui mettent en avant des effets négatifs (par exemple, Barron et al. 2010, Fritz et al. 2020), des échanges avec les collègues et des règlements mis en place par exemple par le CRBPO en France.

Dans le cadre d'études en cours, nous équipons 21 espèces de balises GPS/GSM et 19 autres de multicapteurs de type GLS. En plus de repenser régulièrement les conditions de capture et de pose

des harnais, nous mettons déjà en œuvre des techniques pour que les attaches de la balise se rompent et libèrent l'oiseau. En particulier, sur les espèces longévives, nous adaptons la technique suggérée par Clewley et al. (2021) qui consiste à insérer des « points faibles » amenés à casser lorsque la balise ne fonctionne plus, si possible après quelques années.

Dans la suite logique de mes travaux sur l'impact du baguage, dans les prochaines années, je mènerai des analyses comparatives permettant d'évaluer l'effet potentiel que peut induire le matériel embarqué pour l'individu qui le porte. Je mènerai ainsi ces recherches sur les espèces que nous équipons actuellement grâce à des témoins qui ont été bagués dans les mêmes conditions mais sans matériel embarqué. Pour la plupart des espèces cependant, les échantillons restent faibles, souvent de l'ordre d'une vingtaine d'individus. Aussi, lorsque les données le permettent sur des espèces pour lesquelles nous disposons d'un suivi par baguage sur le long terme (Spatule blanche, Goéland railleur *Chroicocephalus genei*, Flamant rose, Ibis falcinelle), je mènerai des études comparatives plus précises de survie en testant aussi des interactions avec des variables environnementales. Par exemple, plusieurs auteurs (Drake et al. 2014, Lok et al. 2015, Loonstra et al. 2019) ont mis en évidence une mortalité plus grande à la migration de printemps. Les vents jouent un rôle particulièrement important sur les oiseaux migrateurs durant la traversée de barrières géographiques telles que le Sahara ou la mer méditerranée (Vidal-Mateo et al. 2016, Kentie et al. 2017). J'envisage donc d'étudier si la réponse aux vents des oiseaux migrateurs équipés diffère de celle des oiseaux non équipés et varie selon le système de fixation. Je prédis que les balises amplifient la mortalité lors de la migration, en particulier lors de la migration de printemps où les vents contraires sont plus importants.

## 2. Développement de modèles statistiques permettant de prendre en compte les biais de détection lors des suivis de l'avifaune

Les recensements et les données de baguage sont soumis à des biais de détection inhérents à la collecte de données biologiques. Les erreurs peuvent être de plusieurs types : surestimation du fait par exemple du double comptage d'individus, de problèmes d'identification de l'espèce ou du nombre d'individus comptés dans un groupe. A l'inverse, une sous-estimation est possible à cause d'une mauvaise estimation du nombre d'individus comptés dans un groupe ou de la non-disponibilité à l'observateur des oiseaux qui sont par exemple cachés dans la végétation (revue dans Elphick 2008). Des erreurs peuvent aussi apparaître à cause de problèmes d'échantillonnage qui ne couvrent pas toute la population d'intérêt (Newson et al. 2008). L'ensemble de ces erreurs peuvent conduire à des affirmations et des prises de décision erronées concernant le statut des populations, leur déclin, les variables qui les affectent ou les priorités de conservation (Wauchope et al. 2019). Afin de prendre en compte ces erreurs, des modèles statistiques sont développés et permettent d'accéder à un indice d'abondance corrigé, un effectif réel, une survie apparente ou une survie réelle (Thomson et al. 2009, Kéry and Schaub 2012). Dans cette partie, je vais aborder les modèles auxquels j'ai contribué afin de prendre en compte i) les erreurs liées à l'échantillonnage spatial dans le cadre des comptages d'oiseaux d'eau à l'échelle continentale, puis ii) les erreurs d'estimation de la taille de groupes par les observateurs sur le terrain. Dans ce deuxième cas, nous verrons d'abord les conséquences d'une telle erreur sur l'estimation des tendances, puis comment des modèles combinant des jeux de données aux sources différentes peuvent pallier aux erreurs d'estimation de taille des groupes. Ensuite, nous verrons iii) comment l'utilisation d'une nouvelle méthode, en

l'occurrence la méthode du distance sampling (Buckland et al. 2001), qui considère la distance de l'observateur à l'objet compté comme une source d'erreur (probabilité de détection qui diminue avec la distance), pourrait permettre d'obtenir des estimations moins biaisées.

#### *Correction du biais d'échantillonnage spatial*

Les comptages *Wetlands* sont des comptages transnationaux coordonnés par *Wetlands International* autour du 15 janvier de chaque année et appliqués depuis plus de 50 ans dans le monde entier pour identifier les menaces qui pèsent sur les espèces d'oiseaux d'eau, évaluer leurs tendances et identifier les zones humides d'importance internationales (Delany 2010). Ces comptages sur le long terme sont une source unique de données pour évaluer l'efficacité des politiques de conservation ou la réponse des oiseaux au changement climatique (Amano et al. 2017, 2020, Gaget et al. 2018, Pavón-Jordán et al. 2020). Toutefois, en raison de l'absence de stratégie d'échantillonnage et de standardisation du protocole (les méthodes d'observations sont multiples, l'effort est hétérogène, les compétences des observateurs sont inégales), ces comptages souffrent de biais. La prise en compte d'hétérogénéité spatiale des efforts de comptages dans l'analyse est importante pour corriger l'éventuel biais d'échantillonnage mais également pour identifier les zones de déclin plus important (Bled et al. 2013, Meehan et al. 2019). Benjamin Folliot (2018) a développé, avec l'aide de Clément Calenge, un modèle pour gérer les problèmes d'échantillonnage spatial et apporter une précision sur la variabilité spatiale de la tendance d'une espèce (Folliot et al. 2022).

Dans ce travail, les sites de comptage ont été regroupés au sein d'unités d'échantillonnage de 75km de côté afin de prendre en compte l'autocorrélation spatiale des comptages entre sites échantillonnés. Passer d'un ensemble de points échantillonnés avec une répartition géographique irrégulière à un processus standardisé est une stratégie qui permet de normaliser l'unité d'échantillonnage de la zone et leur donner le même poids dans l'analyse. Appliqué au Fuligule milouin *Aythya ferina*, cette méthode est efficace pour gérer l'autocorrélation spatiale. Le modèle a permis de réévaluer la tendance moyenne de la population du Nord-Ouest de l'Europe, et surtout d'identifier les régions les plus touchées par le déclin de l'espèce. Il a été mis en évidence un gradient Nord-Sud du déclin qui atteint 11,6% par an à 60° et seulement 0,5% par an à 46° de latitude (Folliot et al. 2022, Figure 6).

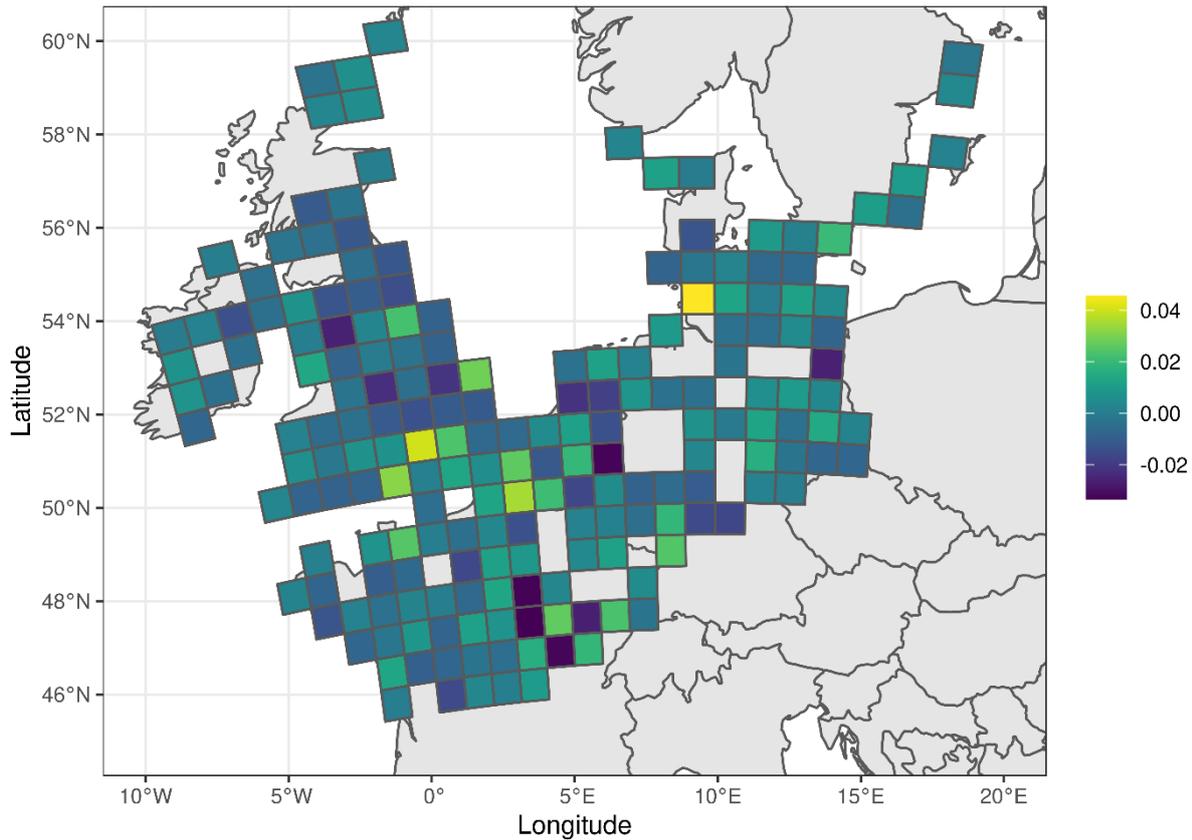


Figure 6. Distribution spatiale des tendances de la population de Fuligule milouin nord-ouest européenne (Folliot et al. 2022).

Ce type de modèle accessible sur [GitHub](#) constitue un outil applicable pour toute espèce d'oiseaux d'eau suivie dans le cadre des comptages *Wetlands*. Il présente une plus-value par rapport au programme informatique TRIM communément utilisé pour ces données (Van Strien et al. 2004, Lehtikoinen et al. 2013, Musilová et al. 2018). TRIM ne permet en effet pas de tenir compte du problème de l'autocorrélation spatiale dans les tendances de la population. Cependant, la plupart des utilisateurs de TRIM simplement ignore l'autocorrélation spatiale. En accord avec ce travail, je m'efforcerai dans le cadre de mes échanges avec de futurs collaborateurs d'inviter à ne pas utiliser de programmes simples tels que TRIM, de tester et de prendre en compte l'autocorrélation spatiale dans les analyses de tendances.

#### *Correction du biais d'estimation de la taille des groupes*

Comme nous l'avons vu dans le paragraphe précédent, l'estimation de la tendance des populations peut être biaisée par des problèmes d'échantillonnage si ceux-ci ne sont pas considérés durant la modélisation. Elle peut aussi l'être par des problèmes d'estimation de la taille des groupes. Durant son travail de thèse, David Vallecillo (2021) a travaillé sur cette problématique en évaluant tout d'abord les conséquences qu'un tel biais pouvait avoir sur la détection et l'estimation des tendances.

#### *Conséquences sur la détection de tendance*

Lors d'un travail de master, Elodie Sanchez en 2007, encadrée par Michel Gauthier-Clerc, mon prédécesseur à la Tour du Valat, et Philippe Vandewalle de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue / Société Nationale de Protection de la Nature, a simulé des groupes d'oiseaux sur ordinateur dont la taille a été estimée par 24 observateurs confirmés. Celle-ci a montré que la taille des groupes était sous-estimée par les observateurs en moyenne de  $13\% \pm 28$  (écart type) (Sanchez

et al. 2009). Ces données ont ensuite permis de simuler les observations annuelles de populations fictives en déclin, vulnérables et en danger d'extinction entachée de la variabilité intra et inter observateurs dans l'estimation de la taille des groupes. Les résultats ont mis en évidence qu'une tendance négative entre 1 et 8%/an était de fait détectée malgré la variabilité dans 94% des scénarios. Cependant, l'estimation correcte de la valeur du déclin n'est obtenue que dans moins de 2% des cas (Vallecillo et al. 2021). Ce travail a également permis de mettre en évidence l'influence de l'observateur et de la fréquence des changements d'observateur sur la capacité à détecter les tendances d'effectifs. Ces informations ont été prises en compte pour développer un modèle utilisant différentes sources de données dans le but d'obtenir des estimations de taille de populations non biaisées par les observateurs, et assorties d'un intervalle de confiance. Ces estimations sont particulièrement pertinentes pour identifier l'évolution des populations et donc les espèces prioritaires pour mettre en place des mesures de conservation comme nous le verrons dans le chapitre suivant.

### Combinaison de données aux sources diverses

Avec l'accumulation de jeux de données au cours du temps, le nombre de situations où les écologues disposent de plusieurs types d'observations décrivant un même système augmente. La combinaison et l'intégration de données aux sources diverses sont devenues un enjeu de recherche important pour répondre aux questions scientifiques sur de larges échelles de temps, en particulier sur les changements globaux (Zipkin and Saunders 2018). Quand j'ai pris mon poste à la Tour du Valat, et qu'on m'a invité à relancer le projet multi-partenarial de suivi des oiseaux d'eau hivernant en Camargue, j'y ai vu une formidable opportunité d'appliquer des modèles *N-mixture* (Royle 2004) que j'avais découverts quelques années plus tôt, sur un jeu de données à long terme, avec l'intention d'estimer la taille de la population réelle et son intervalle de confiance. Mais le protocole de recensements aériens de la Camargue mis en place en 1974 par Alain Tamisier, chercheur au CNRS, et les comptages réalisés par les organismes de protection de la nature en Camargue depuis le sol ne sont pas conformes à l'hypothèse de population fermée et d'un protocole identique entre deux réplicas que posent cette méthode statistique. Les travaux de [Coline Canonne \(2016\)](#) et [Fanny Guillaud \(2018\)](#) ont permis de décortiquer ces problèmes et de relâcher un certain nombre de ces hypothèses, en particulier de population fermée, avec l'écriture de modèles à espace-états dans un cadre bayésien (Dail and Madsen 2011, Hostetler and Chandler 2015). Des résultats encourageants ont été obtenus et présentés oralement à plusieurs conférences ([Champagnon 2016, 2018a, 2018b](#)). Cependant ces modèles font l'hypothèse d'une détection imparfaite et ne permettent pas de considérer des surestimations des effectifs. Ceci est problématique pour les espèces grégaires que sont les canards, car même si les sous-estimations sont plus courantes, les surestimations de la taille des groupes sont quand même relativement communes (Dervieux et al. 1980). Finalement, nous avons collaboré avec Matthieu Authier, écologue quantitatif au laboratoire PELAGIS/CNRS, pour prendre en compte à la fois la surestimation et plus globalement la sur-dispersion des données lors des comptages d'espèces grégaires ([Vallecillo et al. 2022](#)). Lors de l'analyse intégrée de données très différentes telles que des comptages au sol et des comptages par avion, comptages potentiellement conduits à quelques jours d'intervalle, certains problèmes d'identifiabilité des paramètres estimés ne peuvent pas être résolus sans fixer un des paramètres. En l'occurrence, nous avons fixé une probabilité de détection sur un site couvert à pied, de sorte qu'en termes de résultats, nous n'avons pas modélisé l'abondance réelle mais un indice d'abondance relative par rapport à cette référence.

Cela n'empêche pas d'obtenir une évolution de l'abondance au cours du temps avec son intervalle de confiance (Figure 7). Par contre, même si cet indice est valable pour comparer les tendances avec d'autres sites, il n'est pas un effectif réel et il ne permet donc pas de comparer les effectifs comptés sur d'autres sites en dehors de la Camargue qui utilisent d'autres méthodes.

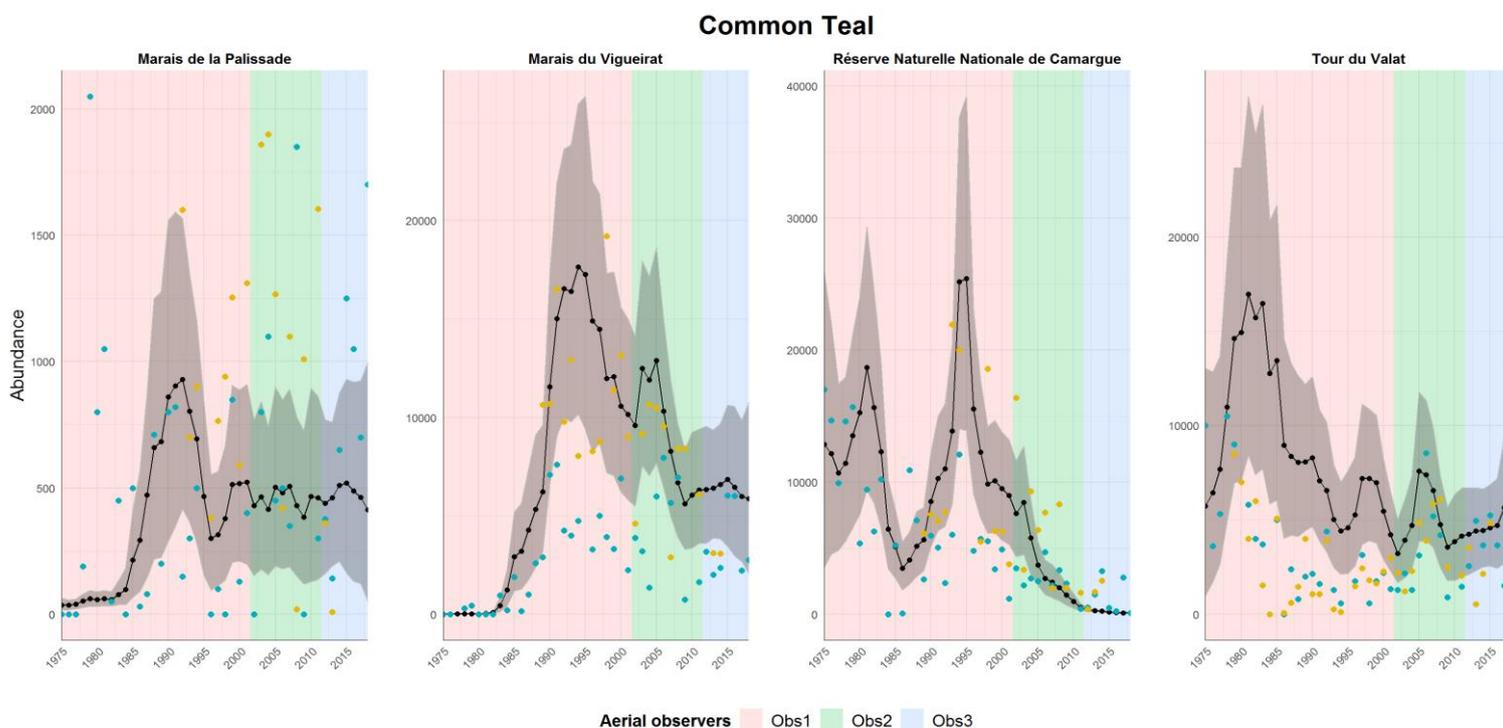


Figure 7. Indice d'abondance de la sarcelle d'hiver au mois de janvier en Camargue sur quatre sites. L'estimation est indiquée en noir avec son intervalle de crédibilité à 95%. Les dénombrements par avion sont indiqués en points bleus et ceux au sol en points jaunes. Les trois compteurs aériens qui se sont succédés depuis 1975 sont représentés par les périodes rose, verte et bleu. NB : l'échelle des ordonnées diffère selon les sites. D'après Vallecillo et al. (2022).

Aujourd'hui, il est courant de disposer de plusieurs jeux de données de nature différentes, par exemple des données de comptages et de données de suivi individuels par capture-recapture qui contiennent des informations sur la dynamique d'une espèce (Schaub and Abadi 2011). Intégrer formellement des données de plusieurs protocoles de suivi au sein d'une même analyse peut permettre d'améliorer les estimations de paramètres écologiques, par exemple en contrôlant les biais liés à un protocole donné et obtenir des estimations de paramètres non estimables à partir de l'analyse d'un seul protocole séparément. Par ailleurs, l'intégration de données est particulièrement pertinente pour étudier la dynamique des populations d'espèces menacées qui sont généralement déduite d'études incomplètes, indépendantes et/ou à l'échelle locale (Zipkin and Saunders 2018). Dans le cadre de futurs projets, je porterai un intérêt à développer des analyses intégrées en particulier en considérant des données issues de suivis de reproduction, taille de population et suivis individuels par marquage (Kéry and Schaub 2012) lorsque cela sera pertinent. Par exemple, cette méthode pourra être appliquée à l'étude de la dynamique source-puits de populations, la synchronie interannuelle entre sites de reproduction des paramètres démographiques ou encore la part relative de la reproduction et de la survie hivernale sur le déclin d'une espèce. Un projet de thèse qui utilise la Glaréole à collier *Glareola pratincola* pour modèle d'étude a été rédigé sur ces thèmes et pourrait être soumis pour financement en 2024.

### *Simulation d'un protocole en distance sampling pour prendre en compte la détection imparfaite*

Pour quantifier les changements dans la taille des populations, il est nécessaire de déterminer la précision des estimations d'abondance. Dans le cas des comptages historiques menés en Camargue décrits précédemment, intégrer les deux sources de données était la seule possibilité d'obtenir un intervalle de confiance des estimations d'abondance. A l'aide d'un seul protocole de comptage, il est cependant possible d'obtenir une incertitude sur l'effectif compté, par exemple par la méthode du *distance sampling*. Le *distance sampling* évalue la probabilité de détection des individus à partir de la distribution des distances entre l'observateur et les individus détectés (Buckland et al. 2001).

En vue d'évaluer la possibilité de changer la méthode des comptages des canards hivernaux menés en Camargue, pour justement obtenir une mesure de l'erreur autour de l'effectif estimé, nous avons utilisé des simulations afin de quantifier la précision attendue en fonction de différents scénarios de protocoles et du coût qu'entraînerait une approche de *distance sampling* (Jacquemin 2021). Les résultats obtenus suggèrent que si l'objectif des comptages est d'estimer l'abondance des 14 espèces d'oiseaux d'eau suivies actuellement toutes ensemble, passer des comptages exhaustifs à des comptages par *distance sampling* serait pertinent, tant sur le plan statistique que financier. Cependant, nous recommandons de procéder préalablement à des vols d'essais qui permettraient d'affiner les fonctions de détection des différentes espèces avant de changer de méthode, lesquelles ont été issues de résultats de *distance sampling* réalisés en Afrique dans un habitat différent pour nos simulations (Carenton 2022). De plus, si la méthode devait être changée, afin de ne pas perdre le bénéfice du suivi réalisé en Camargue depuis plus de 50 ans, il serait pertinent de conduire les deux méthodes en parallèle pendant probablement trois ans. Cette période de tuilage nous permettrait de tester si la méthode de *distance sampling* telle que simulée dans notre étude est fiable pour évaluer l'abondance de chaque espèce séparément, en particulier des espèces moins abondantes pour lesquelles des imprécisions de l'estimation de l'abondance à l'échelle de la Camargue pourraient être trop fortes. Des campagnes de terrain seront menées dès 2024 pour estimer la fonction de détection de ces espèces et la faisabilité de cette méthode (Jacquemin et al. 2022).

Dans plusieurs années, avec l'objectif de diminuer l'effet observateur mis en évidence par nos études, le protocole pourrait encore évoluer avec l'utilisation d'une caméra photographique digitale en haute définition prenant des photos à un intervalle régulier tel que réalisé régulièrement dans le cadre des suivis aériens en mer (Taylor et al. 2014). Cette méthode aurait l'avantage de diminuer le dérangement par une altitude de vol plus élevée. A plus long terme, l'utilisation de drones pourrait aussi être envisagée pour remplacer l'avion avec observateur et pilote tel que suggéré par Eikelboom et al. (2019). Cela pourrait permettre de réduire les coûts. L'analyse des images et des objets photographiés pourrait être réalisée par intelligence artificielle pour compter et identifier les espèces (Hodgson et al. 2018, Ferreira et al. 2020, Marchowski 2021). Dans leur étude au Kenya, Eikelboom et al. (2019) suggère une amélioration de l'exactitude des estimations de la taille de la population et une diminution de la variabilité de ces estimations à l'aide de ces méthodes. Cependant, l'autonomie des drones sur de longues distances et leurs coûts ne permettent pas à ce jour de telles transitions à l'échelle de la Camargue ou du littoral méditerranéen. Ces nouvelles méthodes continueront d'être évaluées dans le futur. Dans notre équipe, nous disposons d'un drone et d'un ingénieur pilote. Des tests avec caméra thermique pour identifier des nids de hérons paludicoles ont été réalisés en Camargue en 2022 (Bach 2022). Il est même envisageable dans le futur de pouvoir recenser directement les oiseaux d'eau grâce à des images satellites à très haute résolution, amenant alors le niveau de dérangement à zéro (Fretwell et al. 2017).

## Perspectives

L'utilisation de la technologie dans le domaine de l'écologie et de la conservation offre des possibilités sans précédent d'étudier et de surveiller la faune à distance. Les méthodes d'étude traditionnelles de suivies sont progressivement remplacées par des approches technologiques passives (Pimm et al. 2015). Un exemple est l'augmentation exponentielle de l'utilisation des pièges photographiques ou des drones pour étudier les animaux (Hodgson et al. 2018, Wearn and Glover-Kapfer 2019). Ces technologies ont un potentiel pour répondre aux problèmes de conservation des oiseaux, notamment aux questions de dérangement et d'éthique environnementale lors des suivis. Cependant, l'utilisation de la technologie, telle que les pièges photographiques, entraîne souvent d'énormes quantités de données qui doivent ensuite être organisées, stockées et analysées afin d'être utilisées dans des études écologiques. L'intelligence artificielle se développe rapidement pour traiter la grande quantité d'images engendrée par les nouvelles technologies (Pichler and Hartig 2022). L'intelligence artificielle peut permettre de faire le tri dans les données collectées, par exemple en identifiant des objets précis sur des images tels que des oiseaux des pièges photos ou des nids sur des images de drones (Santangeli et al. 2020). Dans le cadre de travaux futurs, je développerai des protocoles et des méthodes passives qui nécessiteront d'analyser automatiquement des objets précis sur de quantités importantes d'images ou d'enregistrements acoustiques, non seulement pour faire le tri, mais également pour en extraire directement l'information utile aux analyses. Je l'illustre avec deux exemples ci-dessous.

Le marquage des oiseaux permettant leur identification individuelle a été présenté ci-avant. Afin de collecter les données par la lecture de bagues sur le terrain, il est souvent nécessaire de se munir d'un télescope et de s'approcher à moins de 300m des groupes d'individus pour lire les codes. Ceci induit du dérangement et demande du temps. Depuis 2016, nous utilisons de nombreux pièges photos sur les colonies de spatules du littoral méditerranéen français pour obtenir des lectures de bagues en continu sans dérangement des colonies excepté lors de l'installation des caméras et de la récupération des cartes mémoire. Bien que positif pour les questions de dérangement, cette méthode génère des dizaines de milliers de photos à gérer et dépouiller. A la suite d'une présentation aux journées *ImaginEcology* de 2020 organisées par le groupe de recherche sur l'écologie statistique ([Champagnon 2020](#)), une collaboration est née avec Cédric Pradalier de l'université Georgiatech – Lorraine afin d'analyser ces informations et d'extraire automatiquement les codes des individus par intelligence artificielle. A ce jour, ce projet a impliqué pas moins de cinq étudiants dans le cadre de leur projet d'étude ([Ferreira et al. 2022b](#)). Un étudiant de Master 2 sera co-encadré en 2024 en vue d'une publication dans les prochaines années.

La question de la dépense énergétique chez les oiseaux est fondamentale pour les écologues de la conservation afin d'identifier les phases d'activités aux coûts métaboliques plus importants qui pourraient avoir un effet sur la survie ou la reproduction, d'autant plus dans un contexte de changements globaux (Grémillet et al. 2018). La mesure de la dépense énergétique chez les animaux sauvages est difficile mais le développement des technologies embarquées constituent une opportunité pour mesurer l'accélération dynamique du corps, laquelle est corrélée à la dépense énergétique (Wilson et al. 2020). Dans le cadre de mes futures activités de recherche, je forme le projet de corréliser les comportements des individus à leurs déplacements et à leur environnement en utilisant les données d'accélération triaxiale enregistrés par les balises GPS ou GLS présentées ci-avant. J'ai initié un travail préliminaire en parc zoologique en 2018 sur la Spatule blanche ([Garde 2018](#), [Mazza 2018](#)) et une récente publication montre qu'il est possible d'estimer le taux d'ingestion

de proies chez cette espèce (Lok et al. 2023). En couplant les positions géographiques obtenues par les GPS aux données d'accélérométrie, nous obtenons des indications comportementales cruciales pour comprendre l'utilisation fonctionnelle de leurs habitats par les oiseaux. Les enjeux méthodologiques sont importants car les données collectées sont massives, même pour un seul individu (Williams et al. 2020b). L'intelligence artificielle peut là-aussi jouer un rôle majeur afin de répondre aux grandes questions telles que les facteurs environnementaux qui affectent les déplacements ou la réponse des populations aux changements globaux. Je pense développer sur ce thème de futures collaborations avec des laboratoires d'expertise tels que celui de Cédric Pradalière de l'université Giorgia Tech – Lorraine par exemple.

## **Chapitre 2 - La portée de la recherche : identifications des menaces et réponses aux problématiques de conservation**

Traditionnellement, le contrat de la science envers la société représente un engagement de la part des scientifiques à consacrer leurs études aux problèmes de la société et à former les étudiants en échange d'un financement public (Lubchenco 1998). La recherche en sciences de la conservation correspond à une demande sociétale d'autant plus élevée qu'elle est orientée vers une mission, enrayer la perte de biodiversité, à laquelle la société est de plus en plus sensible (Meine et al. 2006). Les questions auxquelles les sciences de la conservation tentent de répondre peuvent prendre des formes extrêmement variées dans des domaines très divers. Dans le cadre du rôle des espaces protégés pour la conservation des oiseaux, les questions peuvent par exemple porter sur les priorités de désignation (Runge 2011, Popoff et al. 2021), la définition des limites (Ducros et al. 2023), l'effet du dérangement par le public (Guillemain et al. 2008), l'évaluation de leur efficacité et de leur statut dans les conventions internationales (Gaget et al. 2020, Cazalis et al. 2020).

Les sciences de la conservation ont pour objectif de guider les pratiques de conservation. Elles alimentent les connaissances nécessaires à la gestion et à la conservation des populations, des espèces et des écosystèmes. Les évidences d'un effet, ou de l'absence d'un effet, sont des preuves pertinentes et solides qui peuvent être la base de succès de la conservation de populations d'animaux sauvages et des écosystèmes (Sutherland et al. 2004, Rose et al. 2018). Selon le modèle de l'instruction publique où les scientifiques ont le monopole de la connaissance sur les profanes (modèle sur lequel nous reviendrons dans le Chapitre 3), les scientifiques fournissent aux décideurs les connaissances qui répondent le mieux à leurs besoins et le succès de la conservation dépend des décideurs et des gestionnaires (Callon 1999). Cependant, une étude sur l'efficacité des sciences de la conservation a montré que la plupart des recherches n'abordent pas les questions les plus importantes pour la mise en œuvre d'actions de conservation, telles que l'étude des facteurs sous-jacents ou l'identification de solutions aux menaces sur la faune (Sodhi and Ehrlich 2010, Williams et al. 2020a). Dans leur étude, Williams et al. (2020) proposent un diagramme simple pour suggérer comment la recherche peut donner des réponses pertinentes à des problèmes prioritaires (Figure 8).

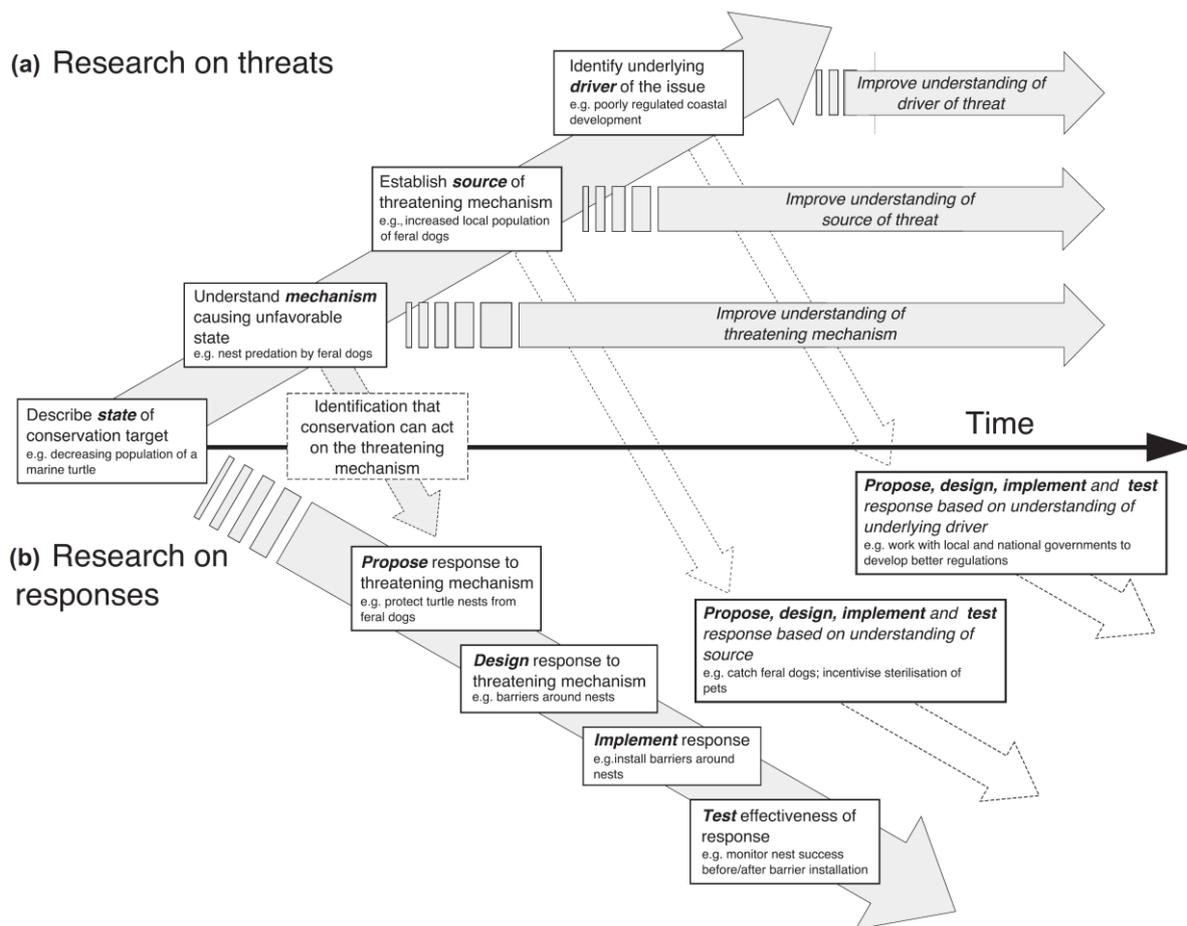


Figure 8. Diagramme présentant un cadre de recherche pour les sciences de la conservation. La caractérisation initiale de l'état d'une population, d'une communauté ou d'un écosystème doit être suivie de l'identification du mécanisme responsable (flèche ascendante). Cela permet ensuite à la recherche de proposer, de concevoir, de mettre en œuvre et de tester des réponses à ces menaces (flèche descendante), et d'améliorer notre compréhension de ce mécanisme (flèches horizontales). En fonction de la nature et de l'urgence de la menace, il peut être souhaitable d'établir la source de la menace puis de développer et tester rapidement des réponses à cette menace (flèches en pointillés). D'après Williams et al. (2020).

Au cours des études que j'ai menées ou auxquelles j'ai participé, tout comme le suggère ce diagramme, j'ai contribué à effectivement i) informer sur l'état des populations (tendances, point de départ à gauche du diagramme), ii) étudier les menaces qui portent sur ces populations (identifier et comprendre les mécanismes en jeu, voire les causes des menaces, partie supérieure du diagramme), et enfin iii) traiter des réponses aux menaces (recommandations, propositions, mise en œuvre et tests des réponses proposées, partie inférieure du diagramme). Je propose de l'illustrer dans ce chapitre par une sélection d'études. La discussion portera sur un bilan critique de mes recherches et les perspectives aborderont leurs réorientations vers des axes de recherche aux enjeux de conservation plus prioritaires.

## 1. Description de l'état des populations

### *Evaluer les tendances des effectifs des oiseaux d'eau*

Les programmes nationaux et internationaux tels que la liste rouge menée par l'UICN (IUCN 2022) ou la classification des zones humides par le Fish & Wildlife Service des États-Unis (Cowardin and Golet 1995) visent à identifier les espèces qui ont le plus besoin d'attention en matière de conservation et

de gestion en utilisant des critères tels que des déclinés quantifiés de la taille estimée des populations. La Tour du Valat, par son implantation dans le paysage de la recherche appliquée sur les oiseaux depuis plus de 70 ans, poursuit de nombreux suivis protocolés, souvent en collaboration avec d'autres structures de protection de la nature. En publiant régulièrement des estimations de tendances de populations, nous informons les gestionnaires, ornithologues et décideurs des tendances des populations d'oiseaux d'eau, en particulier le long du littoral méditerranéen français (Champagnon et al. 2019d, Comolet-Tirman et al. 2022, Kayser and Champagnon 2022). C'est le cas des grues cendrées *Grus grus* hivernant en Camargue (Kayser et al. 2018), des spatules blanches (Blanchon et al. 2018), des ibis falcinelles (Champagnon et al. 2019b) ou des glaréoles à collier (Darthayette 2019, Kayser 2022, Champagnon et al. 2019d). Ces données ne sont généralement pas corrigées par une méthode statistique parce que le protocole mis en place il y a de nombreuses années ne le permet pas. Aussi, le suivi strict d'un même protocole au cours du temps, et si possible par un même observateur, est important (Vallecillo et al. 2021).

Lorsque cela est possible, nous appliquons cependant des modèles tels que ceux présentés dans le chapitre précédent afin d'évaluer les tendances des effectifs avec leurs intervalles de confiance. C'est ce que nous avons fait sur plusieurs espèces de canards, comme l'illustre l'exemple de la Sarcelle d'hiver en Camargue (Figure 9).

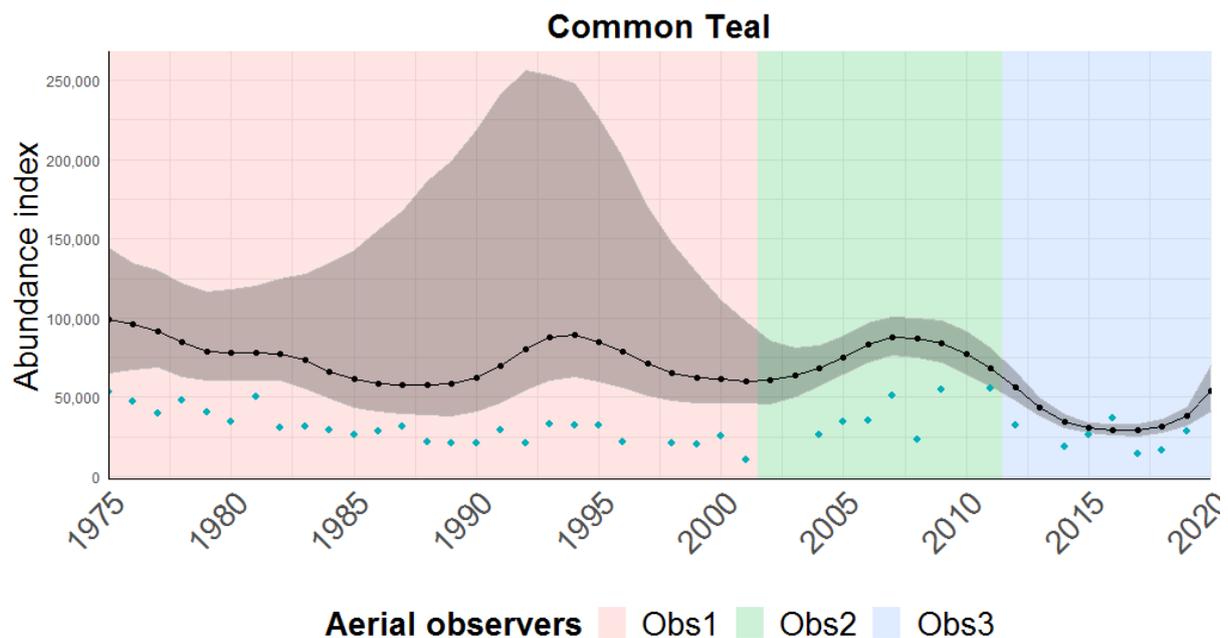


Figure 9. Estimation de l'indice d'abondance (courbe noire avec ses intervalles de crédibilité à 95%) sur l'ensemble de la période de suivi dans l'ensemble de la Camargue de sarcelles d'hiver. Les comptages aériens sont représentés par des points bleus. On voit ici l'intérêt du développement d'un tel modèle, qui suggère une détection des individus plus élevée par le troisième observateur (en bleu), et met en évidence un déclin de la Sarcelle au cours des 10 dernières années en Camargue. D'après Vallecillo et al. (in press).

Ces suivis contribuent aux méta-analyses telles que l'indice « Méditerranée vivante » développé à l'échelle du bassin méditerranéen, qui regroupe les suivis de plus de 80 000 populations appartenant à 775 espèces d'oiseaux, poissons, mammifères, reptiles et amphibiens sur l'ensemble de la région (Galewski et al. 2021). Cet indice « Méditerranée vivante » permet d'estimer le changement d'abondance moyen depuis 1993 toutes espèces confondues, par taxon ou par région. Cet indice est

diffusé par des communiqués de presse régulier pour alerter sur les causes de l'effondrement de la biodiversité méditerranéenne.

Plus globalement, le maintien de ces suivis initiés depuis plusieurs dizaines d'années est crucial pour documenter les effets de l'activité humaine et du changement climatique. A propos de ce dernier, compte tenu des prévisions d'élévation du niveau marin et de la diminution des précipitations, les espèces d'oiseaux d'eau nicheuses pourraient décliner rapidement sur la côte et ces suivis constitueront un outil pour alerter et informer les politiques publiques. En guise d'illustration, le suivi des hérons paludicoles le long du littoral méditerranéen initié en 1967 (Kayser et al. 1994, Hafner et al. 2004) met en évidence un déclin récent très prononcé des hérons pourprés *Ardea purpurea* et hérons cendrés *Ardea cinerea* en roselières. La rédaction d'une publication est en cours et nous permettra de communiquer et d'inviter les autorités régionales à agir davantage dans la conservation des roselières, par exemple en finançant des programmes de restauration favorables aux hérons (Champagnon et al. 2023a).

### *Identifier les régions où la menace est la plus forte*

Le Fuligule milouin est une espèce de canard qui décline rapidement. Elle est classée vulnérable depuis 2015 sur la liste rouge UICN. Les analyses de tendances présentées dans le chapitre précédent ont permis d'aller plus loin que la description de l'état de la population avec une évaluation spatiale de la tendance des effectifs (Figure 6; Folliot et al. 2022). L'hypothèse était une diminution plus faible au Nord du fait de la diminution de la distance de migration (les oiseaux restent plus proches de leurs lieux de reproduction) sous l'effet de température plus clémentes en hiver (Elmberg et al. 2014). Cette hypothèse n'a pas été vérifiée avec les données dont nous disposons car le déclin est en fait plus prononcé au Nord, ce qui est confirmé par une autre étude chez cette espèce (Lehikoinen et al. 2013). Cependant, on ne peut pas rejeter l'hypothèse initiale car la couverture des comptages *Wetlands* de la mi-janvier n'inclut pas la Russie en Europe de l'Est, là où les fuligules milouins seraient plus proches de leur sites de reproduction (Folliot et al. 2018, 2022). Toujours est-il qu'une approche spatiale porte l'intérêt de dépasser la simple analyse de tendance des effectifs de la population puisqu'elle permet de formaliser des hypothèses sur les causes de déclin qui dans le cas du milouin restent à tester.

En parallèle des suivis de comptages, les analyses de survie à partir des données de baguage permettent d'identifier les mécanismes responsables du déclin, en s'intéressant aux paramètres qui influencent le taux de croissance (Lebreton et al. 1992). Nous avons testé si l'augmentation des prédateurs ces dernières années était la cause du déclin du fuligule milouin, en impactant la survie des femelles lors de l'incubation (Fox et al. 2016). Pour cela nous avons évalué la survie des fuligules milouins dans trois pays à partir des données de capture-recapture-reprise (Folliot et al. 2020). Nous n'avons pas trouvé une tendance à la diminution de la survie des femelles. En revanche, nous avons mis en évidence une plus forte survie dans les pays où l'espèce est soumise à une pression de chasse moins importante : en Suisse, la survie annuelle des mâles est de  $0,81 \pm 0,01$  pour un tableau de chasse estimé à 91 milouins seulement; au Royaume-Uni, la survie est en moyenne de  $0,75 \pm 0,01$  pour environ 2500 milouins tués et en France, la survie moyenne des mâles adultes est de  $0,66 \pm 0,07$  pour environ 25000 individus tués chaque année (Guillemain et al. 2016). A noter que les effectifs comptés en janvier sont de 25000, 35000 et 65000 milouins dans chacun des trois pays respectivement. Ces résultats d'analyse spatiale suggèrent une plus faible survie en France associée à

une plus grande pression de chasse. Afin d'inverser la tendance au déclin de l'espèce, une mesure de gestion de la chasse en France pourrait améliorer la survie. Nous reviendrons sur le cas du Fuligule milouin dans la troisième section de ce chapitre dédiée aux propositions de solutions pour répondre au déclin.

Toujours dans le but d'identifier des zones prioritaires, où la survie des oiseaux migrateurs est plus faible, des travaux ont porté sur une autre espèce, la Spatule blanche, qui fait l'objet d'un plan d'action international. Les principales menaces identifiées pour cette espèce sont la perte d'habitats, la pollution et la chasse illégale (Triplet et al. 2008). Le groupe international d'experts sur la Spatule blanche a mis en évidence des différences de tendances des populations selon les voies de migration en Europe. En particulier, les effectifs de la voie de migration Ouest européenne est en forte augmentation alors que les effectifs de la voie de migration Centre européenne diminue (Champagnon et al. 2019c). Du fait de la dégradation des zones humides en Tunisie, nous avons voulu tester l'hypothèse d'une survie différenciée entre ces deux voies de migration qui expliquerait les tendances observées. Dans son premier article de thèse, Hugo Ferreira a utilisé les données de baguage collectées en Camargue, cette population se trouvant à l'intersection des deux voies de migration, c'est-à-dire que les oiseaux utilisent ces deux voies. Les modèles de capture-recapture appliqués à plus de 3000 poussins bagués au cours des 13 dernières années, et des centaines de relectures de bagues à distance sur les sites d'hivernage, n'ont pas mis en évidence de différence de survie selon la voie de migration empruntée par les individus. En revanche, un coût de la migration avec une survie inférieure des oiseaux migrant sur de plus longues distances (Ferreira et al. 2022a) confirme des études antérieures réalisées sur la population néerlandaise (Lok et al. 2011, 2015). La différence de tendance entre les voies de migration Ouest européenne et Centre européenne pourrait donc être due aux conditions de reproduction défavorables en Europe de l'Est. Dans l'objectif de tester cette hypothèse, nous analysons actuellement les données issues de plusieurs sites de reproduction en Europe afin de mettre en évidence d'éventuelles différences de survie selon les zones de reproduction et d'hivernage qui sont partagées, et ainsi d'identifier les zones où se situeraient les plus grandes menaces pour l'espèce et plus largement pour les oiseaux d'eau. Les résultats permettront d'actualiser le plan international d'action sur l'espèce.

## 2. Recherche sur les menaces

La section précédente présentait des études portant sur l'état des populations, grâce au suivi sur le long terme par le baguage ou les comptages, afin d'identifier un déclin qu'il soit populationnel ou régional. Cette étape est essentielle et je participe à de nombreuses instances telles que le comité d'experts français sur les populations d'oiseaux (CEPO) qui utilisent ces informations pour établir une évaluation des tendances des populations. A l'issue de ces analyses, des hypothèses sont généralement formulées sur les mécanismes potentiels de déclin. Dans cette section, la démarche que j'ai poursuivie en termes de conservation est plus proactive que dans la section précédente et consiste à tester des hypothèses formulées en amont. Cette section nous amènera à l'étape suivante (2.3) qui consiste à proposer des solutions, ou en d'autres termes, à formuler des actions.

### *Comprendre le rôle des variables environnementales sur les populations*

L'une des principales menaces envers la biodiversité est le dérèglement climatique (IPBES 2019). Un défi important est de comprendre comment le forçage anthropique affecte les oscillations naturelles du climat et comment les espèces réagissent à ces oscillations naturelles et forcées du climat (Jenouvrier 2013). Même si le changement climatique est globale, de multiples mesures locales

peuvent conduire à son atténuation (Azevedo and Leal 2017, 2021). Comprendre les variables climatiques qui déterminent la tendance des populations permet d'identifier les espèces les plus vulnérables et d'envisager des actions de gestion pour atténuer les effets du changement climatique. Dans cette partie, je prendrai trois exemples dans lesquels nous avons testé l'effet du climat sur la survie de deux espèces, et l'abondance d'une troisième. Ces informations nous permettent d'émettre des hypothèses sur la vulnérabilité de ces espèces au changement climatique.

De nombreuses populations migratrices afro-paléarctiques sont en déclin en Europe (Berthold et al. 1998, Sanderson et al. 2006, Zurell et al. 2018). Les conditions climatiques et en particulier les précipitations sur les zones d'hivernage en Afrique sont d'une grande importance pour ces populations migratrices du paléarctique occidental qui se nourrissent principalement d'insectes (Zwarts et al. 2010). Afin de tester si le déclin des espèces migratrices pouvait résulter d'une diminution en abondance d'insectes, nous avons étudié la survie de la Glaréole à collier face aux variations récentes du climat en Afrique de l'Ouest. Nicheuses en Europe et Afrique du Nord, les glaréoles passent l'hiver dans les savanes d'Afrique de l'Ouest, principalement dans le Sahel. Dans cette analyse que j'ai réalisée avec Sandra Hodić, une étudiante en service civique à la Tour du Valat, nous avons utilisé un jeu de données de capture-recapture collectées pendant 13 années sur le site de reproduction de L'Albufera en Espagne pour tester l'effet de variables environnementales sur la survie de la Glaréole à collier (Champagnon et al. 2023c). Nous avons utilisé l'indice NDVI (une mesure de la végétation par télédétection basée sur la production primaire) comme un proxy de l'abondance d'insectes (Trierweiler et al. 2013). Nous avons trouvé que la valeur de NDVI en décembre en Afrique de l'Ouest expliquait 62% de la variation annuelle de la survie, avec un effet positif de la densité de la végétation sur la survie. Quelques études ont montré que les variations des conditions climatiques au Sahel affectent la survie des migrateurs par exemple chez le rossignol philomèle *Luscinia megarhynchos* (Boano et al. 2004) ou la cigogne blanche *Ciconia ciconia* (Nevoux et al. 2008). En accord avec l'hypothèse du déclin des migrateurs à cause d'épisodes de sécheresse au Sahel (Vickery et al. 2014), notre étude suggère que le déclin de la population ouest-européenne de glaréoles à collier est dû à des hivers plus secs au Sahel au cours des dernières décennies, expliquant la diminution de survie constatée sur la période de notre étude.

Il est difficile de séparer la part relative des conditions de reproduction, migration et hivernage pour expliquer le déclin d'une espèce. Cependant, en combinant les données de capture-recapture associés à des données de reproduction dans des modèles, nous pouvons mieux comprendre la part relative de la survie et du succès reproducteur dans le déclin d'une espèce. Nous envisageons d'appliquer de tels modèles sur la Glaréole à collier. Par ailleurs, par modélisation, nous pourrions évaluer si l'action de protection des colonies qui s'installent dans les espaces agricoles (Chapitre 3) est suffisante pour compenser la baisse de survie liées aux conditions sur les zones d'hivernage et si oui, pour combien de temps compte tenu des prévisions de diminution de précipitations dans le Sahel du fait du changement climatique (Mitchell 2013)?

Dans un autre coin du globe, le cycle océanique de El Niño anime le Pacifique et a des répercussions climatiques sur l'ensemble du globe (intensité des pluies en Amérique du Sud, douceur des hivers au Canada, etc.). Toutefois, El Niño (oscillation périodique allant de 2 à 7 ans) n'est pas la seule variation naturelle et cyclique observée au niveau de l'océan Pacifique : l'oscillation décennale du Pacifique (ODP) est une variation de la température de surface de l'eau causant notamment d'importantes modifications dans l'abondance des sardines et des anchois au niveau des upwellings (remontées

d'eaux du fond des océans; Lluch-Cota 2013, Lindegren et al. 2013). Dans cette étude, que j'ai réalisée durant un postdoc au Mexique, nous avons évalué l'effet d'El Niño et de l'ODP sur la survie du Fou de Nazca, qui niche aux îles Galápagos ([Champagnon et al. 2018](#)). A partir du suivi à long terme par le baguage de cette espèce (1984-2012), nous avons mis en évidence que la survie des jeunes Fous de Nazca est très faible lors d'événements El Niño, car ces périodes sont marquées par une faible quantité de poissons disponible (en particulier les sardines, l'aliment de prédilection de ces oiseaux). La survie des adultes est, quant à elle, affectée par l'ODP ; la mortalité est plus importante lors des phases chaudes de ce cycle, qui sont pourtant propices à la prolifération de sardines et offrent donc un accès privilégié à la nourriture (Figure 10). Cette surprenante corrélation pourrait s'expliquer par un coût de reproduction plus important : les adultes perdraient plus d'énergie dans la reproduction (moins d'abandon du nid) au détriment de leur propre survie. À l'inverse, lors de phases froides telles que celle en place depuis 2008, la survie des adultes est meilleure car la mortalité des petits et l'abandon du nid leur permettent de récupérer plus rapidement. Ce travail constitue une avancée pour la compréhension des effets du climat sur les oiseaux marins. Il démontre pour la première fois l'impact d'une variation climatique à long cycle (ODP) sur la survie d'une espèce. La dynamique de l'espèce ne semble pas menacée par ces cycles longs, en revanche la fréquence d'événements extrêmes d'El Niño est amenée à augmenter du fait du réchauffement climatique (Cai et al. 2014). Une analyse future de modélisation pourrait permettre de prédire les effets du changement climatique sur cette espèce (Jenouvrier et al. 2009, Mouquet et al. 2015).

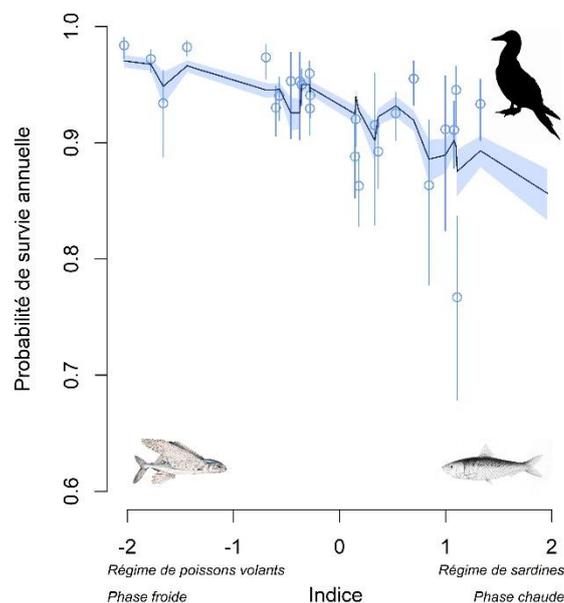


Figure 10. Estimations de la survie annuelle des fous de Nazca mâles adultes. La régression linéaire et son intervalle de confiance à 95 % sont issus du modèle avec tendance temporelle et régime alimentaire des poissons pélagiques en lien avec l'ODP. Les valeurs du modèle avant l'ajustement de la covariable climatique sont présentées par les cercles avec leur intervalle de confiance à 95 %. Un schéma similaire a été observé pour les fous de Nazca femelles avec une réduction moyenne de 0,7% de la survie par rapport aux fous de Nazca mâles.

Les fluctuations d'abondance des canards en Camargue ont été présentés dans des parties précédentes. Quels sont les facteurs qui expliquent ces fluctuations ? En particulier, la diminution des précipitations et l'augmentation du niveau marin du fait du changement climatique pourraient changer drastiquement le paysage en Camargue, limitant les habitats disponibles pour les canards dans le futur. Dans le travail issu de la thèse de David Vallecillo, nous avons testé l'influence des changements interannuels des paramètres physico-chimiques, trophiques et anthropiques sur la distribution des sites de remise diurnes des Sarcelles d'hiver en Camargue (Vallecillo et al. sous presse). L'analyse des données de comptage des Sarcelles d'hiver depuis plus de 35 ans nous a permis de montrer que leur effectif à l'échelle d'un plan d'eau croît si celui-ci présente une zone d'eau libre plus importante, une salinité moindre et des zones d'alimentation nocturne plus importantes. Ces résultats invitent à considérer la gestion au sein de l'unité fonctionnelle en visant une complémentarité de gestion entre les zones utilisées pour l'alimentation nocturne et les réserves naturelles utilisées pour les remises diurnes. Par ailleurs, cette étude alerte sur le déclin probable de l'hivernage des canards qui privilégient les sites en eau douce (Tamisier and Dehorter 1999, Mouronval et al. 2014). En effet, les scénarios futurs prédisent des élévations importantes du niveau de la mer à l'horizon 2100 (Wolff et al. 2018, Reimann et al. 2018) et une salinisation de la Camargue (Herbert et al. 2015, Lefebvre et al. 2019). Des mesures de gestion sont actuellement en cours avec des travaux hydrauliques afin de mieux alimenter le delta du Rhône en eau douce, tel que le projet [Colagang](#) porté par la Tour du Valat et l'OFB.

Les questions de gestion de l'eau en Camargue sont en général la source de tensions entre les différents acteurs en Camargue qui portent des intérêts divergents (pêcheurs, chasseurs, botanistes, ornithologues, professionnels du tourisme, agriculteurs). Aussi, je travaille par ailleurs avec plusieurs d'entre eux pour apaiser les tensions, communiquer et informer des menaces potentielles qui pèsent sur les espèces. Nous allons voir un exemple dans la partie qui suit.

### *Identifier les interactions problématiques entre humains et faune sauvage*

La co-existence entre les humains et la faune sauvage est un sujet important dans la recherche sur la conservation (Madden 2004). Les problèmes surviennent lorsque les animaux sauvages endommagent les cultures, blessent ou tuent des animaux domestiques, ou menacent ou tuent des personnes (König et al. 2020). Prévenir ces dommages et favoriser la co-existence est un sujet sur lequel je travaille de plus en plus dans le cadre de mes recherches, en particulier dans l'objectif de rationaliser l'information en communiquant des évidences scientifiques et de co-construire des solutions avec les parties prenantes.

Après un déclin massif jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle (Haase et al. 2019), la Grue cendrée bénéficie aujourd'hui d'une situation favorable en Europe ; sa dynamique est la conséquence probable à la fois de l'amélioration de son statut de protection (protégée en France en 1967 et à travers la convention de Bern en Europe à partir de 1982, Fleurke and Trouwborst 2014) et du changement climatique (Orellana-Macías et al. 2020). Les grues utilisent largement les zones agricoles pour leur sites d'hivernage, provoquant de potentiels dégâts sur les cultures (Austin et al. 2018). La population de grues cendrées hivernant en Camargue est en croissance exponentielle depuis le début du siècle (Kayser et al. 2018). La présence des grues dans les rizières après récolte pourrait avoir un impact agronomique positif, par la consommation possible de graines d'adventices (e.g. riz crodo) comme c'est le cas avec les canards (Pernollet et al. 2015). Cependant, la consommation des semis de blé,

qui, en raison de leur temporalité hivernale coïncident en partie avec le séjour des grues en Camargue, a conduit à l'installation de canons d'effarouchement par les agriculteurs pour tenter d'éloigner les grues de leurs parcelles (bien que le dérangement de l'espèce soit illégal et ne fasse pas l'objet d'une dérogation à ce jour). Le dérangement massif des grues par les agriculteurs pourrait entraîner une altération de la dynamique en limitant l'accès aux habitats favorables. Nous avons mené une étude afin de tester l'hypothèse que les dégâts des grues sur les semis de blé dépendent (1) de la disponibilité en résidus d'autres cultures quand les grues arrivent pour hiverner en Camargue, (2) de la temporalité des semis de blé qui peut varier énormément selon la pluviométrie hivernale et (3) du paysage agricole, et notamment de la présence de haies en bord de champ. A l'aide d'un échantillon de 254 parcelles, visitées 14 fois chacune durant l'hiver 2021-2022, nous avons mis en évidence une préférence des grues pour les parcelles de grande taille. Nos résultats montrent en outre une plus grande incursion des grues en hiver dans les parcelles ayant eu une récolte de riz l'été précédent. Moins de 2% des parcelles de blé ont été observées avec des grues, et la modélisation confirme l'attractivité beaucoup plus grande des chaumes de riz (Figure 11). Nous n'avons en revanche pas trouvé d'effet de la densité de haies sur la présence de grues.

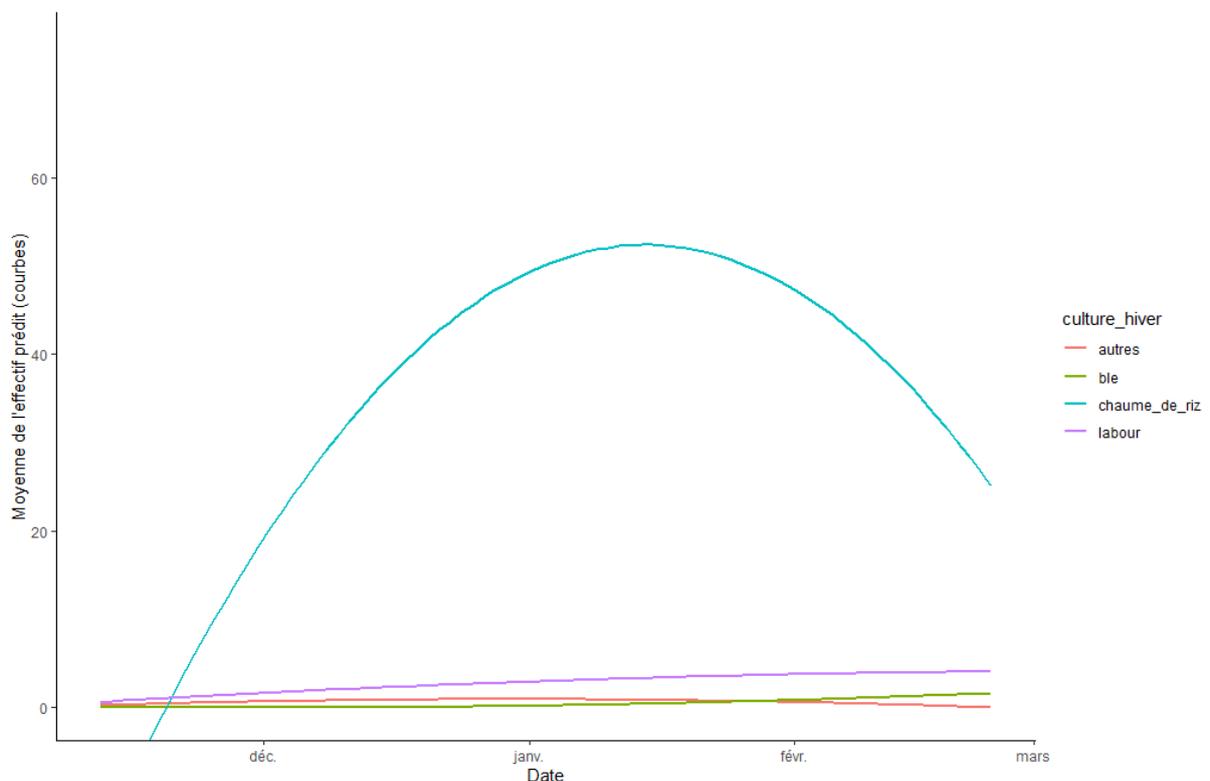


Figure 11. Effectif moyen prédit de grues cendrées par parcelle selon le type de culture et l'avancement de l'hiver en Camargue.

Le 27 mars 2023, une réunion d'information sur ces résultats s'est tenue au centre de découverte du Scamandre, réunissant une vingtaine d'acteurs et partenaires. Elle a d'abord permis de partager la connaissance des agriculteurs, gestionnaires d'espaces protégés et représentants des services de l'Etat et de l'OFB quant aux causes et aux conséquences de la présence des grues cendrées en Camargue. Ensuite, les résultats de l'étude des déterminants de la distribution des grues ont été présentés et discutés avec les agriculteurs afin d'élaborer des pistes de solutions pour faciliter la cohabitation entre grues et agriculteurs.

Ainsi, retarder le travail du sol des chaumes de riz permettrait de garder les grues sur ces terres attractives où leur présence est plutôt bénéfique pour les agriculteurs. Le surcoût ou le manque à gagner liés au retard de préparation du sol pour les cultures suivantes pourrait faire l'objet de mesures agro-environnementales. Dans le cas où les solutions proposées ne fonctionneraient pas, les méthodes d'effarouchement pourraient faire l'objet d'une dérogation après demande auprès des autorités administratives, comme c'est le cas depuis plusieurs années pour le flamant rose. Enfin, l'hivernage de la Grue cendrée en Camargue pourrait être valorisé touristiquement par des sorties ornithologiques (Champagnon et al. 2023b).

L'importance de la problématique de la co-existence entre les humains dans le contexte de la conservation est amené à s'intensifier, et je souhaite participer à apaiser les tensions, en favorisant des débats rationnels entre parties prenantes basées sur les preuves. Dans cette optique, j'ai suivi une formation en ligne dispensée par le groupe UICN spécialiste pour la planification de la conservation en 2019. J'ai ensuite joué le rôle de facilitateur au cours d'un atelier d'identification des menaces et besoins de conservation pour les rapaces au Maroc (Janv 2020). Afin de réunir les acteurs camarguais autour des questions sensibles de chasse, agriculture et biodiversité, j'envisage d'utiliser la visualisation des trajets GPS d'oiseaux équipés de balises aux côtés de Raphaël Mathevet. Je souhaite favoriser l'émergence de pistes de résolution des conflits par le dialogue afin d'établir des relations de confiance et des connaissances partagées avec les acteurs locaux pour parvenir à de meilleurs succès de conservation (Swanson and Ardoin 2021).

#### *Caractériser une menace : les lâchers massifs de canards colverts*

Une fois qu'une menace sur une espèce a été suggérée, comme par exemple dans le cas d'une espèce introduite, l'écologue de la conservation peut aider à identifier l'ampleur des effets négatifs. Par exemple, l'Erismature rousse *Oxyura jamaicensis* introduite en Grande Bretagne au milieu du XX<sup>e</sup> siècle constitue la principale menace pour l'Erismature à tête blanche *Oxyura leucocephala* classée vulnérable dans le paléarctique occidentale, à cause d'hybridation entre les deux espèces (Muñoz-Fuentes et al. 2007, Sheldon et al. 2018). Des mesures de gestion peuvent alors être mises en place, en l'occurrence des campagnes d'éradication de l'Erismature rousse à l'échelle européenne (Robertson et al. 2015).

Au cours de ma thèse, j'ai testé l'impact de la menace que constituent les lâchers massifs de canards colverts à des fins cynégétiques (Champagnon 2011). Très répandus en Europe depuis les années 1970s, les lâchers d'individus captifs peuvent constituer une menace pour l'espèce sauvage par hybridation entraînant un appauvrissement de la diversité génétique de l'espèce. En premier lieu, compte tenu du million de colverts lâchés chaque année en France, nous avons voulu savoir s'il restait encore du Canard colvert sauvage. Par nos études génétiques, nous avons bien mis en évidence la présence d'hybrides (Champagnon et al. 2013, Söderquist et al. 2017) et donc identifié une menace. Cependant, il reste du Canard sauvage et la contribution génétique des individus d'élevage à la population sauvage reste à ce jour contrôlée du fait de leur très faible taux de survie entre le lâcher et la période de reproduction (Champagnon et al. 2016b, 2016a). Nos résultats ont permis de proposer des recommandations telles que mieux encadrer les effectifs lâchés baguant les individus, mettre en place un suivi génétique de la population sauvage afin de vérifier l'ampleur de la menace que constitue les lâchers et de contrôler leurs conséquences. Ces recommandations n'ont malheureusement pas été suivies de manière généralisées. Cependant, d'après des communications

personnelles d'éleveurs de gibiers, nos études ont contribué à diminuer le nombre de lâchers au niveau national (par exemple en Alsace) et international (par exemple en Norvège, une procédure est en cours au Danemark). De plus, les épisodes réguliers de grippe aviaire durant la dernière décennie ont, semble-t-il, eu un fort impact, en imposant de fermer un grand nombre d'élevages à certaines périodes de crise limitant le nombre de lâchers. Ces événements ont permis de limiter les impacts négatifs trop importants des lâchers. Pour les prochaines années, la menace semble être sous contrôle car l'intérêt économique de produire des canards d'élevage pour la chasse semble avoir fortement diminué.

### 3. Recherche sur les solutions pour faire face aux menaces

Comme nous pouvons le constater à la lecture de ce mémoire, lorsque l'état d'une population est défavorable, nous émettons régulièrement des hypothèses sur les mécanismes qui régissent la dynamique de la population, et lorsqu'une menace est confirmée, il n'est pas rare de donner des recommandations pour y remédier. Ces recommandations sont importantes mais leur efficacité mérite souvent d'être testées dans un cadre scientifique. Dans cette section, je présente les solutions que nous avons proposées pour répondre à des problématiques de déclin d'une espèce et de protection d'un habitat ainsi que de l'évaluation scientifique et rigoureuse des actions mises en place.

#### *Proposer une solution pour répondre à un déclin*

Dans le cas du Fuligule milouin évoqué ci-dessus, en partant de la description de l'état de la population Nord européenne qui a décliné de 4,9% par an entre 2002 et 2012 et qui justifie son statut d'espèce vulnérable, divers mécanismes ont été testés pour expliquer la dynamique de la population. Ainsi, ce n'est ni la chasse (voir pourtant les résultats précédents qui le suggèrent ci-dessus), ni la diminution de la survie des femelles qui seraient la source de ce déclin (Folliot et al. 2020). En effet, un modèle matriciel présenté en discussion de l'article de Folliot et al. (2020) suggère que ce pourrait être la diminution du succès reproducteur qui explique ce déclin. A la suite de ce résultat, nous avons émis des préconisations afin d'inverser la tendance au déclin du Fuligule milouin. Ainsi, Benjamin Folliot (2018) suggère qu'une augmentation de 13% de la survie des femelles adultes en France (soit un niveau de survie comparable à celui observé dans les pays voisins où la chasse ne s'exerce pratiquement pas), serait de nature à enrayer le déclin et permettrait de retrouver une croissance de la population. Bien que la chasse ne soit vraisemblablement pas la cause du déclin du Fuligule milouin, l'arrêt du prélèvement sur cette espèce serait l'option la plus efficace pour retrouver rapidement une croissance de la population. En effet, il semble difficile d'agir sur le taux de reproduction qui doit augmenter de 45% pour retrouver une croissance positive de la population, d'autant plus que le taux de reproduction dépend fortement des conditions environnementales. En plus d'une limitation du prélèvement, nous suggérons de mettre en place des mesures de protection avec des îlots qui protègent les nids des prédateurs. Ces mesures de gestion pourraient faciliter l'atteinte des objectifs de conservation fixés malgré l'incertitude qui réside sur les meilleurs leviers à actionner pour l'espèce. Dans le cadre d'une gestion adaptative, une mise en place de mesures de gestion, un suivi de ces mesures et de la démographie de l'espèce contribueraient à améliorer notre connaissance des mécanismes qui régissent la dynamique de la population. Ces informations seront disponibles aux groupes d'experts tel que le comité d'expert

pour la gestion adaptative (CEGA) qui conseillait le ministre en charge de la chasse sur les prélèvements des espèces. Si le CEGA était amené à être de nouveau activé dans les prochaines années, je participerai activement à ce que ces conclusions alimentent les recommandations au ministre en charge de la chasse.

#### *Mettre en place un projet de restauration et tester son efficacité*

Les roselières constituent un des écosystèmes emblématiques des zones humides. Ces milieux ne sont pas considérés comme prioritaires au titre de la directive Habitat N2000. Cependant, ils présentent une végétation dense procurant un habitat favorable pour de nombreuses espèces animales (Bobbink et al. 2006), en particulier pour l'avifaune (Poulin et al. 2002). Pourtant, les roselières des zones humides méditerranéennes françaises se dégradent, entraînant une diminution des espèces de hérons paludicoles telles que le Butor étoilé *Botaurus stellaris* (Quaintenne et al. 2022, Trotignon 2022) ou le Héron pourpré évoqué ci-avant. Afin d'améliorer le fonctionnement des roselières et leur attractivité pour les espèces en déclin, quatre roselières ont bénéficié en 2021 d'aménagements de la gestion hydraulique sur une surface totale de 32ha de marais au sein du domaine de la Tour du Valat. Dans le cadre de ce projet d'aménagement, j'ai proposé un suivi précis des résultats de ces actions par l'établissement de protocoles avant et après les actions de restauration en vue de suivre la végétation, les oiseaux paludicoles et la quantité d'écrevisses de Louisiane *Procambarus clarkii* (la principal source d'alimentation du Butor étoilé, Poulin et al. 2007), avec la prise en compte de sites témoins n'ayant pas fait l'objet de travaux (Smokorowski and Randall 2017). Bien que mené sur uniquement deux ans, avec une seule année de recul après travaux, les résultats des analyses suggèrent que les aménagements ont eu des effets positifs sur la diversité en ressources alimentaires des ardéidés et ils ont également permis une augmentation de la richesse spécifique du cortège de passereaux paludicoles en 2022 (Bach 2022). Plus généralement, les travaux réalisés permettent une meilleure gestion des niveaux d'eau pour favoriser la nidification de l'avifaune. Ces résultats encourageants doivent cependant être consolidés par des études sur le long terme.

Un protocole bien conçu tel que celui avec une approche expérimentale avant-après travaux avec témoins (BACI en anglais pour Before-After Control Impact) reste l'une des meilleures approches pour évaluer l'effet d'une action. Cet exemple illustre l'approche que je souhaite poursuivre dans le cadre de ma stratégie de recherche future en me mettant à disposition du gestionnaire pour évaluer, l'impact d'une action de gestion. Dans l'exemple suivant, nous allons poursuivre avec cette approche en voyant comment nous avons évalué les résultats d'une action de gestion non plus cette fois à une échelle locale mise en place par des gestionnaires d'espaces naturels protégés, mais nationale induite par des mesures réglementaires.

#### *Tester l'efficacité d'une mesure réglementaire*

L'une des principales menaces sur la biodiversité est l'exploitation directe des animaux et des plantes (IPBES 2019). Pour promouvoir la protection et la gestion des populations d'espèces d'oiseaux sur le territoire européen, un des principaux règlements de la directive Oiseaux est que les oiseaux migrateurs ne doivent pas être « *chassés pendant leur période de reproduction et pendant leur trajet de retour vers leur lieu de nidification* » (Article 7; Journal officiel de l'Union européenne 2010).

L'interdiction de la chasse au début de la migration printanière vise à protéger les oiseaux contre la probabilité que la mortalité due à la chasse s'ajoute à la mortalité naturelle, à une période de l'année où la valeur reproductive des individus est maximale (Williams et al. 2002, Journal officiel de l'Union européenne 2010). La date de fermeture de la chasse aux oiseaux d'eau a été avancée depuis les années 1970s au fur et à mesure de l'implémentation de la directive Oiseaux et de l'amélioration des connaissances des cycles annuels des oiseaux (Figure 12). Dans une étude menée par [Matthieu Guillemain \(2021\)](#), nous avons testé l'efficacité de cette mesure sur la Sarcelle d'hiver en utilisant les données de dénombrements collectées en Camargue depuis 1964. Les résultats suggèrent que l'arrêt de la chasse en février est efficace, avec une augmentation de l'abondance relative de la sarcelle d'hiver en Camargue, correspondant à une utilisation accrue de la ressource en Camargue à ce moment crucial de l'année qu'est la migration printanière. L'effectif de Sarcelles d'hiver en février a augmenté de 50% à la suite de cette mesure en 2002.

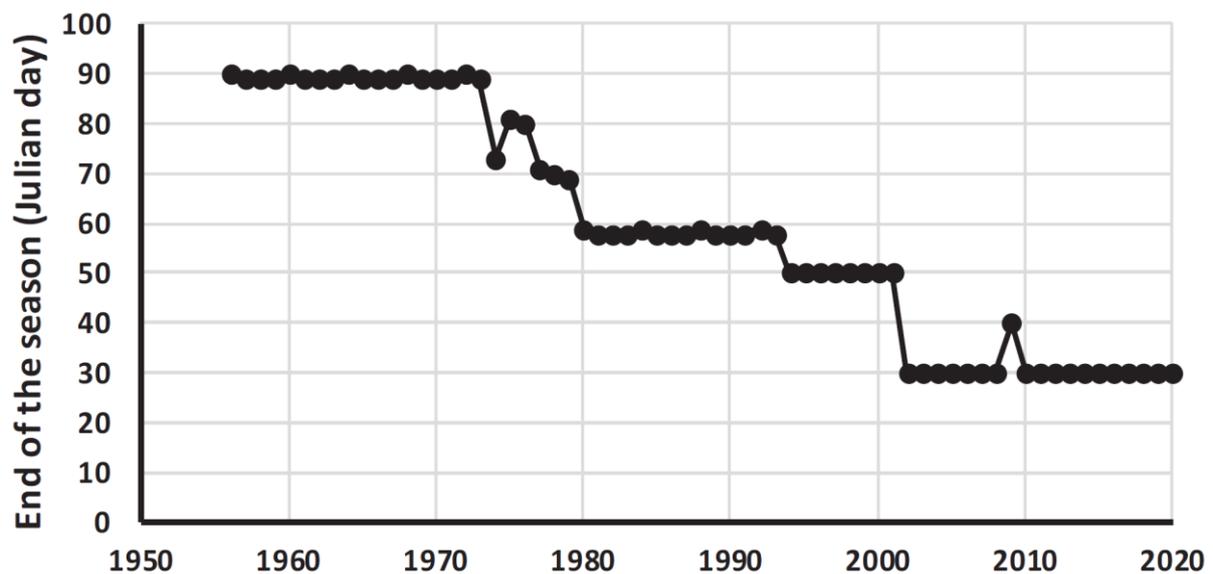


Figure 12. Evolution de la date de fermeture de la chasse à la Sarcelle d'hiver et Camargue. D'après [Guillemain et al. \(2021\)](#).

Il est raisonnable de penser que ce résultat reflète l'efficacité de la mesure réglementaire même si nous ne disposons pas de sites témoins qui le prouve. Néanmoins, ce résultat permet ensuite d'envisager de nouvelles actions pour atteindre l'objectif de conservation fixé. Pour augmenter les effectifs de la population de sarcelle d'hiver, du fait de leur utilisation accrue de la Camargue en fin d'hiver, nous invitons les gestionnaires de territoires à vocation cynégétiques ou d'espaces protégés à maintenir les marais en eau après la fin de la saison de chasse, c'est-à-dire durant les mois de février et mars (Madsen and Fox 1995).

#### 4. Discussion et perspectives

Dans le cadre de mes futurs travaux j'envisage de travailler sur trois des principales menaces identifiées par l'IPBES à savoir 1) le changement d'utilisation des terres, 2) l'exploitation directe des animaux et 3) le changement climatique (IPBES 2019).

1) Plusieurs types d'actions très différentes participent à atténuer l'effet négatif de la perte d'habitat des oiseaux. En premier lieu, a) la création d'espaces protégés comme évoqué en introduction de ce chapitre. Je souhaite développer des études qui permettront d'identifier les zones humides clés et de tester la pertinence du réseau de protection des zones humides existant en particulier en Afrique du Nord. Par ailleurs, b) la diminution de la superficie naturelle favorable aux espèces d'oiseaux d'eau (Wurtsbaugh et al. 2017) et l'augmentation des habitats influencés par l'être humain poussent de plus en plus d'espèces à utiliser des espaces anthropiques qu'ils soient agricoles ou urbains. Comme évoqué précédemment, j'envisage donc de développer des axes de recherche afin de faciliter la coexistence de notre espèce avec les autres et d'apaiser les tensions entre parties prenantes (Peterson et al. 2010).

2) Je continuerai à travailler sur les problématiques d'exploitation des canards en particulier en testant la durabilité du prélèvement légal par l'application de modèles démographiques (Lebreton 2005) tels que les analyses de survie ([Champagnon et al. 2016b](#)), les modèles matriciels (Caswell 2001, [Champagnon et al. 2016a](#)) ou prospectifs d'analyse de viabilité de populations (Beissinger and McCullough 2002). J'envisage également de travailler à quantifier et diminuer le prélèvement illégal des espèces menacées.

3) Je m'intéresserai particulièrement aux effets du changement climatique et en particulier des altérations des régimes de précipitations sur les populations d'oiseaux d'eau d'Afrique du Nord (voir ci-après).

L'examen critique de mes travaux ces dix dernières années dans le contexte du diagramme extrait de Williams et al. (2020), me permet de constater que les études que j'ai menées répondent à une stratégie de recherche en écologie appliquée qui concerne aussi bien l'identification des menaces subies que l'évaluation des réponses aux menaces. Du point de vue méthodologique, même si les études qui portent sur des populations en croissance font parties intégrantes des sciences de la conservation, j'envisage une orientation progressive vers les problématiques de recherche plus urgentes imposés par la crise de biodiversité. De plus, pour un impact plus grand pour la conservation, je vais faire évoluer mes questions de recherches de l'identification des menaces vers des solutions à apporter aux menaces.

#### *Identifier et conserver les zones humides en Afrique du Nord*

Les efforts déployés pour lutter contre la crise actuelle de la biodiversité doivent être aussi efficaces que possible, compte tenu des sources de financement limitées. Il est donc important d'identifier les biais et les lacunes de la recherche sur la conservation afin de prioriser le développement de nouveaux axes de recherche (Christie et al. 2021). L'identification et la protection efficaces des zones humides sont cruciales pour conserver les oiseaux d'eau migrateurs ou nomades. Durant la période non reproductrices, ces espèces exploitent des pics d'abondance de ressources avec une écologie adaptée aux fluctuations spatio-temporelles de ces ressources, mais leurs déplacements reste généralement mal connus (Cottee-Jones et al. 2016). De plus, la protection actuelle ne prend généralement pas en compte la connectivité des sites liés aux déplacements des oiseaux migrateurs ou nomades (Bellisario 2018, Popoff et al. 2021). Les stratégies habituelles de conservation basées sur la protection de sites qui maximise la biodiversité semblent inadaptées pour ces espèces du fait de l'intermittence des effectifs en un lieu donné (Woinarski et al. 1992, Runge and Tulloch 2018,

Nandintsetseg et al. 2019). C'est d'autant plus regrettable dans le contexte du changement climatique car on connaît peu les conséquences de la perte ou le gain de sites fonctionnels sur la dynamique des populations migratrices ou nomades (Iwamura et al. 2014). Je développe donc actuellement un axe de recherche sur l'importance des sites et les déplacements des oiseaux en Afrique du Nord afin de formuler des approches de conservation innovantes. L'objectif est de participer à la mise en place de plans de conservation des zones humides spatialement explicites, qui prennent en compte leurs connectivités et les prévisions du changement climatique (Bush et al. 2014, Bellisario 2018).

Je souhaite déployer plus de recherche vers l'Afrique du Nord, où le déficit en eau est susceptible d'être rapide du fait du changement climatique, lequel constitue une menace forte pour le maintien de la fonctionnalité des sites pour les oiseaux d'eau dans l'avenir (Lefebvre et al. 2019). Par ailleurs, au cours de deux ateliers internes à la Tour du Valat menés respectivement en 2015 et 2020, nous avons identifié les espèces d'oiseaux pour lesquelles les actions les plus urgentes sont nécessaires en Méditerranée en prenant en compte de multiples critères (statut de conservation, spécificité méditerranéenne, faisabilité, compétences internes de l'équipe). Ils ont permis d'identifier certaines espèces ayant des populations endémiques du bassin méditerranéen et dont l'état des populations est particulièrement préoccupant, par exemple l'Erismature à tête blanche, espèce en danger ou la Sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris* classée vulnérable jusqu'en 2022 puis récemment classée en quasi menacée. J'envisage donc, dans cet axe de recherche, de participer à la protection des espèces d'oiseaux d'eau menacées aux changements à venir dans la région nord-africaine. Je l'illustre ci-dessous par deux projets initiés récemment.

Avec l'objectif de quantifier l'importance d'un site sur la base de preuves directes des déplacements d'individus entre les sites, Lina Lopez-Ricourte a initié en 2023 un postdoc qui mettra à profit le foisonnement récent des données de télémétrie. Elle étudiera les zones humides clés pour les haltes migratoires, les zones d'hivernage des oiseaux d'eau et la connectivité entre l'ensemble des sites utilisées hors période de reproduction. Aux côtés des données de télémétrie, nous pourrions mobiliser les informations issues des comptages et pour les espèces dont nous bénéficions d'un suivi à long terme, les informations issues du baguage. Ce projet soutient la démarche que je porte de travailler avec un panel plus important d'espèces d'oiseaux, en développant l'approche multi-espèces quand cela est pertinent.

De plus, j'ai lancé en 2023 une thèse menée par Haytem Bouchri qui vise à étudier les sites d'importance pour les différentes phases du cycle annuel de la Sarcelle marbrée, une espèce nomade adaptée aux milieux humides temporaires. Par l'étude de ses déplacements, nous étudions la connectivité entre les zones humides d'Afrique du Nord. La thèse doit mener à des propositions de gestion d'espaces sur les secteurs où la connectivité pourrait être menacée par le changement climatique (Dickson et al. 2019). Nous étudierons également les variations du succès de reproduction de cette espèce et l'ensemble des résultats acquis sera mobilisé dans le cadre du renouvellement du plan international d'action pour l'espèce (Iñigo et al. 2008).

#### *Poursuivre les suivis à long terme, indicateurs de changements globaux*

Dans le cadre de la préparation du plan stratégique de la Tour du Valat 2021-2025, le constat a été fait que les études ornithologiques étaient fortement concentrées en Camargue et en Europe sur des

taxons en croissance démographique. Cela s'explique par le fait que les efforts portés au siècle dernier sur un certain nombre d'espèces ont porté leurs fruits comme par exemple pour le cas du Flamant rose ou du Pélican frisé *Pelecanus crispus* (Catsadorakis et al. 2015, Béchet 2017). En continuant à travailler sur des espèces en croissance ou au statut plus favorable, cela me permet d'aborder d'autres enjeux de conservation tels que celui de la coexistence entre les humains et la faune sauvage évoqué ci-avant et que je souhaite développer dans le futur.

Les longues séries temporelles sont essentielles pour mesurer de manière fiable les changements de la biodiversité au fil du temps. En particulier les suivis sur le long terme de baguage et comptages permettent d'atténuer l'amnésie écologique (Mihoub et al. 2017). Lorsque chaque génération considère comme le point de référence initial d'un écosystème celui qu'il a connu depuis sa naissance (Pauly 1995). Par ailleurs, comme évoqué ci-avant, en travaillant sur les espèces sur le long terme on s'assure de détecter rapidement les menaces qui portent sur leurs habitats. On peut donc alerter et agir pour leur conservation avant que ne soit constaté un trop fort déclin. Ces alertes bénéficient non seulement à l'espèce en question mais également aux autres espèces utilisant le même habitat, en l'occurrence les zones humides. Ces espèces, telles que hérons paludicoles, Spatule blanche, Flamant rose, Glaréole à collier ou canards, étudiées sur le long terme jouent le rôle d'espèces sentinelles, nous indiquant les menaces qui pèsent sur la guildes des oiseaux d'eaux, tout au long du cycle annuel, de la reproduction à la migration ou lors de l'hivernage. Cette approche est particulièrement judicieuse dans le cadre des changements rapides et globaux à venir. De plus, ces suivis sur le long terme sont la source de collaborations riches et diverses. Ainsi, les données issues des spatules blanches équipées de balises GPS en Camargue ont participé à déterminer les espèces et les sites les plus sensibles aux risques de collision avec des infrastructures énergétiques, lesquelles sont amenées à se développer dans les prochaines années (Gauld et al. 2022). Bien que les suivis sur le long terme soient coûteux et difficiles à financer (Tavecchia et al. 2017), j'envisage donc de maintenir ces programmes durant les prochaines décennies dans le cadre de notre équipe Conservation des espèces de la Tour du Valat.

### *Concilier financement, recherche et actions de conservation*

A la Tour du Valat, nous recherchons des sources de financement pour mener nos programmes et leurs sources sont multiples : fondations privées, dons privés à travers le parrainage des flamants roses, financement européen de projet LIFE, financements nationaux de l'OFB. Ma stratégie consiste donc à identifier des appels à projet qui puissent montrer un intérêt de recherche en accord avec les axes présentés dans ce mémoire et des enjeux de conservation cohérents avec l'objet de la Tour du Valat (lequel « conservation des zones humides méditerranéennes » est assez étroit). Ainsi, depuis 2019, je me suis engagé dans le projet Migralion dont l'objet est de comprendre comment les espèces d'oiseaux traversent le golfe du Lion et d'identifier si les éoliennes en mer constituent une menace pour les oiseaux migrateurs. En 2023, j'ai collaboré à la soumission d'un projet LIFE international sur la restauration des sites de migration du Phragmite aquatique *Acrocephalus paludicola*, l'espèce de passereau la plus menacée d'Europe, porté par Wetlands International avec divers instituts de recherche et de conservation dont Bretagne Vivante, l'animateur du plan national d'action. Enfin, je me place en appui auprès des gestionnaires pour répondre aux questions de recherche sur les plans d'action nationaux sur le Butor étoilé ou internationaux sur la Sarcelle marbrée, l'Erismature à tête blanche ou le Goéland d'Audouin *Ichthyaetus audouinii*. Dans l'idéal, si des financements peuvent être obtenus, je souhaite participer en proposant des protocoles éthiques adaptés pour répondre aux questions des gestionnaires (identification d'une menace, efficacité d'une

mesure, etc...), suggérer des analyses qui pourraient être menées par un doctorant ou postdoctorant et impliquer mes collègues de la Tour du Valat en charge du plaidoyer, de la communication ou du transfert de connaissances pour augmenter les impacts des actions qui sont menées.

## Chapitre 3 - Engagement dans l'action : quel rôle du scientifique ?

Grâce aux connaissances acquises par les sciences de la conservation, les projets dans ce domaine sont mieux définis dans leurs buts et objectifs et leurs impacts sont parfois évalués. Cependant, Robinson (2006) faisait déjà le constat que les sciences de la conservation n'ont pas fortement influencé les politiques internationales ou nationales. Même si elles ont guidé la pratique de la conservation avec des résultats notables (Stroud et al. 2017, Cazalis et al. 2020), elles n'ont pas réussi à atteindre les objectifs d'inverser la tendance au déclin de la biodiversité (Nichols 2017, Di Marco et al. 2017, Díaz et al. 2019, Leclère et al. 2020). Dans un effort pour contribuer à la conservation des oiseaux, les chapitres précédents ont illustré mes pratiques de recherche et la portée de ces pratiques pour délivrer des réponses pertinentes à des problèmes concrets. Cependant, même lorsqu'il existe une bonne adéquation entre les attentes des décideurs, les gestionnaires et les preuves mises en évidence par les chercheurs, des problèmes peuvent subsister pour la mise en action des résultats de la recherche (Knight et al. 2008, Arlettaz et al. 2010). Trois facteurs principaux, que nous allons développer ci-dessous, expliquent sans doute pourquoi, malgré l'accumulation de connaissances, il est si difficile d'inverser la tendance au déclin des espèces. En premier lieu, le gestionnaire ou le décisionnaire peuvent ne pas avoir accès aux informations pertinentes dont il a besoin pour prendre des mesures de conservation appropriées ; ensuite il peut y avoir une absence d'engagement de la part des chercheurs dans la mise en œuvre de la conservation ; enfin, et c'est sans doute le plus courant, un manque de soutien économique, social et politique compromettent la mise en œuvre même d'une action de conservation. Le travail du chercheur s'arrête-t-il à la mise en évidence des faits pertinents qui participent à la conservation des oiseaux ou bien doit-il contribuer davantage par son engagement dans l'accessibilité, la vulgarisation de la recherche, la mise en pratique ou encore l'activité militante ? Ces aspects me semblent cruciaux pour la pratique de ma recherche dans le futur, je vais aborder ces différentes questions dans ce chapitre.

### 1. Rendre la connaissance accessible aux gestionnaires

L'amélioration du flux d'informations entre les chercheurs, les gestionnaires et les décideurs en matière de conservation peut conduire à une amélioration de l'efficacité des pratiques de conservation (Cook et al. 2013). Toutefois, plusieurs obstacles peuvent entraver ce transfert, tel que le manque de temps, le manque de capacités des scientifiques à rendre leurs résultats accessibles, l'inaccessibilité des preuves et la diffusion de la désinformation pour des raisons politiques (Sutherland et al. 2019). Kadykalo et al. (2021), par exemple, appellent à la création d'un corps intermédiaire qui permettrait de synthétiser les évidences dont les gestionnaires ont besoin. Avec l'objectif de surmonter ces obstacles, Sutherland et ses collaborateurs ont créé la base de données *Conservation Evidence* (<https://www.conservationevidence.com>) qui propose des résumés des évidences scientifiques relatives à l'efficacité des interventions de conservation, accessible librement (Sutherland et al. 2019). Même si je ne contribue pas directement à ces initiatives, j'ai participé au

recrutement de Nigel Taylor qui a rédigé lors de son postdoctorat à la Tour du Valat des synthèses sur la conservation des tourbières ainsi que des marais pour *Conservation Evidence* (Taylor et al. 2018, 2021). Ces synthèses et la plateforme en ligne sont des relais utiles de la recherche avec une interface qui le rend accessible aux principaux intéressés. L'outil n'est sans doute pas assez connu des gestionnaires, en particulier dans les pays non-anglophones et j'ai donc régulièrement pu guider les gestionnaires francophones vers cet outil. Je n'envisage cependant pas de contribuer plus particulièrement à *Conservation evidence* dans les prochaines années.

Dans la mesure du possible, j'ai entrepris dans mon travail de transmettre mes connaissances directement ou sous la forme d'informations vulgarisées et accessibles pour faciliter la gestion et la décision. La première cible de ces actions sont les gestionnaires directement concernés par les résultats de nos travaux. Ainsi, le premier exercice de David Vallecillo au début de sa thèse a été de synthétiser les pratiques innovantes mises en place en Camargue pour la gestion des espèces et des territoires chassés, la cible étant les gestionnaires d'espaces naturels (Vallecillo et al. 2019). Entre autres initiatives, nous perpétons l'organisation annuelle d'une réunion des acteurs de la chasse, de la conservation et de la recherche en Camargue. Cette demi-journée initiée en 2005 par Michel Gauthier-Clerc de la Tour du Valat et Jean-Yves Mondain-Monval de l'OFB, réunit une soixantaine de participants qui ont l'occasion de s'informer sur les effectifs de canards de l'hiver précédent ainsi que diverses actions et recherches réalisées par l'OFB, la Tour du Valat ou d'autres organismes qui travaillent sur des problématiques de conservation en Camargue. Nous visons en particulier les gestionnaires d'espaces gérés pour la chasse afin de favoriser les échanges autour des questions de gestion cynégétique, et plus spécifiquement celles relatives à la gestion des populations d'oiseaux d'eau et de leurs habitats (Tour du Valat 2021). De plus, en matière de transfert d'informations et de connaissances, nous organisons chaque année une formation inscrite aux catalogues des agents de l'OFB et de la Fédération nationale des Chasseurs intitulée « Chasse et Gestion des milieux humides : enjeux et intégration des activités humaines pour améliorer leur préservation ». Cette formation d'une semaine à la Tour du Valat a été initiée par la Fondation François Sommer en 2017. Enfin, dans le but toujours de transférer nos connaissances aux gestionnaires, étudiants, universitaires, ornithologues et experts ayant une expérience préalable au comptage des oiseaux, nous avons créé en 2022 un cours en ligne en anglais de quatre semaines sur l'intérêt et les techniques de suivis des oiseaux d'eau coloniaux en milieu méditerranéen (Champagnon et al. 2022). Ce cours en ligne vise en particulier à renforcer les capacités des pays nord-africains à réaliser des suivis réguliers qui alimenteront les réseaux internationaux sur ces espèces tout en limitant au maximum le dérangement induit par les suivis.

Ces initiatives sont utiles voire indispensables dans le cadre de la gestion locale en Camargue, en particulier pour apaiser les tensions autour de la gestion de l'eau évoquées dans le chapitre précédent. Même si des échanges directs permettent d'établir des liens de confiance, ces moments restent limités et ne sont malheureusement pas suffisants pour créer un climat apaisé en Camargue. En effet, une partie des acteurs reste soit réticente à y participer, soit indisponible. J'aimerais établir plus d'échanges dans le futur mais les impératifs des autres projets ne me le permettent pas. Aussi, dans le cadre d'un projet actuel, nous recrutons un ingénieur pour six mois qui sera en charge de co-construire avec les acteurs locaux un guide de gestion des marais. Cette rédaction s'organisera à partir d'ateliers de partages d'expérience sur le terrain. Je pourrai dans le futur privilégier ce genre d'approche pour espérer de plus amples applications de nos préconisations sur la gestion des milieux. Reste qu'il faudrait mettre en place des méthodes de suivi des modes de gestion des marais

pour évaluer l'impact de nos préconisations, lesquelles n'existent pas pour l'instant mais j'aimerais les développer par des suivis réguliers des niveaux d'eau par images satellites.

La communication des travaux et leur diffusion à un public large est par ailleurs une activité facilitée à la Tour du Valat, où nous bénéficions d'un département dédié qui peut nous aider pour, par exemple, informer le public intéressé de l'état des populations ou transmettre les résultats de nos recherches à travers des brèves sur le site Internet ([Wasse and Champagnon 2018](#), [2019a](#), [2019c](#), [Arcaute-Gevrey and Champagnon 2020](#), [Tour du Valat 2023](#)). La Tour du Valat a également une visibilité auprès des journalistes qui nous sollicitent régulièrement pour nous exprimer auprès d'un public large et non ciblé (Azouvi 2017, France 24 2020, Vraiment Nature 2020). Le chercheur, lorsqu'il est sollicité par les médias, doit parfois s'exprimer sur des problématiques plus ou moins proches du domaine dans lequel il est expert. Par mes travaux de thèse, j'ai pu m'exprimer sur la pratique des lâchers de canards colverts en mettant en évidence les effets positifs éventuels et les effets négatifs. J'ai ainsi pu exprimer mon point de vue lors d'un reportage sur France 24 (2020) ou récemment pour un documentaire pour la chaîne de télévision *Seasons*, spécialisée sur les thématiques de chasse et de pêche ("Le canard colvert, un oiseau roi sans couronne" 2023). Bien que mes travaux aient porté sur la génétique et la démographie des populations des canards colverts, je peux aussi exprimer les questions éthiques liées à la pratique des lâchers, ou la valeur du gibier issu de captivité en citant les travaux dont je ne suis pas l'auteur et qui ont trait aux sciences sociales. Ainsi j'ai pu m'exprimer sur l'attachement des êtres humains à la conservation de l'intégrité génétique et phénotypique du canard colvert, ou sur la définition d'une chasse juste (De Vries 2006, Knox 2011). Cependant, la limite entre les questions sur lesquelles le chercheur est légitime pour s'exprimer et celles où il n'est plus compétent et où sa communication reflète une opinion, est floue. Nous y reviendrons dans la section dédiée au plaidoyer plus bas.

A noter que le rapport aux médias est compliqué car plus le reportage est court et largement diffusé (chaînes de télévision d'informations en continu par exemple), plus le message doit être simple et favorise le sensationnalisme. La conséquence est le dévoiement de la prudence scientifique, qui doit pouvoir s'exprimer sur les incertitudes inhérentes à toute étude scientifique. Lorsque le scientifique exprime un degré d'incertitude, il y a le risque de laisser penser que les connaissances sont erronées, incomplètes ou inutiles. Cependant, raisonner en termes de vrai ou faux, en abolissant les nuances, comme on le voit régulièrement dans les médias est tout autant une source de confusion, qui nous empêche de comprendre le travail scientifique (Farina and Pasquinelli 2020). Sensible à cette problématique, je vais suivre en 2023 une formation sur la prise de parole face aux médias. Cette formation est en lien avec mes responsabilités de coordinateur à la Tour du Valat qui vont probablement m'amener à m'exprimer plus régulièrement auprès des médias dans le futur. J'y suis favorable car cela peut permettre de viser un public large ou précis (par exemple les chasseurs sur la chaîne *Seasons*) pour augmenter l'impact de nos activités de recherche.

Parmi les obstacles à l'établissement d'un pont entre la connaissance et l'action, Cook et al. (2013) évoquent les mécanismes de récompense dans le domaine scientifique. Sur le plan professionnel, les scientifiques, et plus particulièrement les universitaires, sont essentiellement évalués sur leurs performances en matière de recherche, c'est-à-dire aujourd'hui largement sur la base de leur dossier de publications. L'extrême compétition dans l'obtention d'un poste académique laisse peu de place aux activités parallèles telles que la vulgarisation des recherches (Arlettaz et al. 2010). De fait, Soulé (1986) clamait que de nombreux chercheurs en conservation sont détournés de l'objectif des

sciences de conservation, à savoir augmenter la probabilité que les écosystèmes, les espèces et les populations survivent, par les publications scientifiques. Dans un institut comme celui de la Tour du Valat, dédié à la conservation et à l'interface entre la science et la gestion, les étudiants et chercheurs recrutés s'engagent généralement avec les parties prenantes, acceptent des efforts de communication et assument des responsabilités de gestion de projets qui ne relèvent souvent pas d'enjeux de connaissance. On peut dire qu'ils sont susceptibles de renoncer aux opportunités de carrière traditionnelle dans le monde académique par engagement pour l'environnement (Ruckelshaus et al. 2020). Du fait de mon implication fréquente dans ces responsabilités et dans la gestion d'équipe, bien que ces activités me semblent pertinentes, je reste souvent dans une frustration où j'aimerais pouvoir dédier du temps à la réflexion et l'élaboration d'une stratégie de recherche et de conservation qui soit plus pertinente. La rédaction de ce mémoire d'HDR a été une occasion rare de développer cette réflexion et de tracer une stratégie de recherche sur le long terme. Entre autres, cette réflexion m'a permis de mettre en évidence le besoin au sein de l'équipe « Conservation des espèces » que je coordonne, d'avoir une personne en charge de la gestion de projets pour qui les prérogatives de rédaction, encadrement et révision d'articles soient plus légères. En prenant en charge des projets tels que celui que je coordonne sur les comptages aériens de canards en Camargue, cette personne pourrait ainsi établir des relations plus solides avec les gestionnaires des marais en Camargue, pour obtenir de meilleurs résultats de conservation. Des discussions sont actuellement en cours pour créer un tel poste dans l'équipe.

## 2. Accompagner dans l'action

### *La Tour du Valat, une organisation à l'interface entre science et gestion*

Cook et al. (2013) ont identifié en particulier deux modèles pour faciliter la mise en œuvre des résultats des sciences de la conservation. Les auteurs évoquent en premier lieu les services de l'Etat ou les institutions financières qui intègrent des chercheurs au sein de leur structure. C'est le cas en France par exemple de l'Office Français de la Biodiversité, avec qui je collabore étroitement dans mes recherches, ou encore du Ministère de la Transition Ecologique. Une autre approche pertinente qui est évoquée concerne les organisations d'interface à la frontière entre la science et la gestion (Osmond et al. 2010). La Tour du Valat est une institution de ce genre, qui travaille à la jonction entre la science, la politique et la pratique. La Tour du Valat est un institut de recherche privé sous la forme juridique d'une fondation à but non lucratif. Créée en 1954, sur un domaine qui s'est agrandi au cours du temps pour aujourd'hui s'étendre sur 2600ha, la Tour du Valat a beaucoup contribué à la conservation des oiseaux, en particulier par l'acquisition de connaissances sur les oiseaux migrateurs par la technique du baguage, puis a développé au fur et à mesure une activité de recherche plus diversifiée pour la conservation des zones humides méditerranéennes (Isenmann 2004). La Tour du Valat intègre dans son équipe de 80 personnes des gestionnaires, techniciens, chargés de projets et chercheurs. Cette organisation permet un échange facilité des connaissances entre gestionnaires et chercheurs. C'est d'autant plus vrai que l'implantation géographique et historique de la Tour du Valat en Camargue permet des liens étroits avec les nombreux autres organismes de protection de la Nature (SNPN/RNN Camargue, Marais du Vigueirat, Parc naturel régional de Camargue, Syndicat Mixte de Camargue gardoise, Office Français de la Biodiversité, Conseil départemental des Bouches du Rhône, Conservatoire du littoral, Fédérations départementales de chasseurs, Compagnie des Salins). Le bénéfice est l'identification des questions prioritaires de recherche que nous allons aborder dans le paragraphe suivant.

### *Des activités de recherche-action*

Mes travaux en lien direct avec des mesures de gestion sur le terrain restent rares, mais je voudrais présenter trois exemples. En 2021 nous avons mené le projet de restauration de roselières évoqué ci-dessus, en collaboration étroite avec les gestionnaires du domaine de la Tour du Valat et des marais du Verdier (propriété de la Tour du Valat mais avec une gestion collaborative par une association de riverains). Mon action en tant que chercheur n'a cependant pas tant porté sur l'implémentation, à savoir le choix et les suivis des travaux de restauration, mais plus sur le suivi scientifique avant et après les opérations d'aménagements pour identifier les résultats des actions. Cela me semble correspondre tout à fait au rôle de l'écologue de la conservation qui vient en soutien à une question précise et qui est libéré du suivi et de la gestion administrative des opérations techniques. Comme évoqué dans le Chapitre 2.3, ce type de collaboration fructueuse pourra être renouvelé pour co-construire des projets de recherche avec les gestionnaires.

Un autre type de recherche-action dans lequel je m'implique consiste à engager un dialogue entre scientifiques et acteurs locaux de sorte que les postures des différents acteurs soient susceptibles d'être modifiées (Mathevet and Marty 2015). Je collabore avec Raphaël Mathevet du CEFÉ-CNRS pour expérimenter la mise en situation à travers des jeux sérieux et engager un processus de dialogue constructif entre parties prenantes (Redpath et al. 2018). Ces ateliers prennent la forme de jeux à la représentation simplifiée de la réalité, qui peut être modifiée par des scénarios définis par les parties-prenantes elles-mêmes tels que des changements de réglementation de la chasse. Ces ateliers stimulent la participation des acteurs et favorisent l'apprentissage collectif du système socio-écologique. Nous abordons au cours de ces ateliers les problématiques d'incertitude des comptages de canards hivernants, de dynamique d'une population exploitée et les processus de décision dans le cadre de la gestion adaptative. A ce jour, ces ateliers ne m'ont pas semblé avoir transformé les participants et je m'interroge sur la portée d'un dialogue ponctuel. A mon avis, des interactions fréquentes au cours d'atelier de ce type ou d'autres permettront de comprendre les positionnements de chaque partie prenante. C'est pourquoi nous organisons annuellement les réunions d'échanges avec les chasseurs décrites ci-dessus ou que je prends part aussi fréquemment que possible aux réunions ou comités qui réunissent les parties prenantes, type comité N2000.

Une fois établi un climat apaisé avec des échanges fréquents avec les parties prenantes, nous pourrions mettre en place une gestion adaptative en Camargue. Cela n'a pas été possible à ce jour sans doute car les moyens humains et financiers importants nécessaires n'ont pas été déployés. Nous pourrions mettre en place un processus d'identification d'objectifs et de mise en œuvre d'actions avec les acteurs de Camargue autour des populations d'oiseaux d'eau hivernantes afin de mieux comprendre le rôle du prélèvement et de la gestion des habitats sur les populations de canards. Je pourrais œuvrer pour cela avec mes collègues afin que la gestion adaptative voit le jour dans les prochaines années.

Un autre exemple de recherche-action concerne le suivi de la reproduction des glaréoles à collier en France. Afin de prémunir le dérangement, l'inondation ou la destruction des nids qui pèsent sur l'espèce lors de sa reproduction, nous mettons en place une communication directe avec les agriculteurs gestionnaires des sites où s'installent des glaréoles (Kayser 2022). Ainsi, dans le cadre du réseau Natura 2000, des parcelles agricoles occupées par les glaréoles ont fait l'objet d'indemnités financières pour retarder l'inondation et les travaux de labour avec succès en 2018,

2019 et 2020 (La Provence 2019). Ces indemnités pour services écosystémiques (Kinzig et al. 2011) sont un levier qui me semble efficace lorsqu'il est mis en place localement pour compenser un manque à gagner par l'agriculteur. Dans le cadre de projets de conservation en Afrique du Nord, j'aimerais développer un tel système de paiement pour la protection des nids de canards d'espèces menacées, les œufs étant régulièrement prélevés pour la revente ou consommation personnelle (Green et al. 2002). Par un suivi des nichées tel que celui que nous réalisons dans le cadre de la thèse d'Haytem Bouchri, nous pourrions tester l'efficacité de ces indemnités, ce qui me semble tout à fait compatible avec mon rôle d'écologue de la conservation.

### *Un modèle à développer ?*

La Tour du Valat reste une organisation unique dans le paysage de la conservation et nous pourrions imaginer que la réunion au sein d'un même organisme de chercheurs et gestionnaires soit un modèle à développer. Je pense qu'effectivement ce modèle est intéressant et répond bien aux besoins de conservation mais 1) qu'il est difficile de créer un organisme de droit privé qui puisse financer des activités de recherche en conservation sans un important revenu d'argent. La Tour du Valat finance environ 50% de son programme à partir de fonds propres. Je pense également 2) que ce rôle d'interface entre science et gestion est rempli par d'autres organismes. En France, au-delà du pôle recherche de l'OFB qui joue ce rôle pleinement, les universitaires académiques se tournent régulièrement vers des espaces protégés pour conduire leurs recherches en écologie. Par exemple le suivi par le baguage des fous à pieds bleus *Sula nebouxi* auquel j'ai contribué lors de mon postdoc se fait depuis 1984 dans le parc national de l'île Isabel au Mexique, ou encore les suivis que j'ai pu réaliser sur la Gorgebleue à miroir de Nantes *Luscinia svecica namnetum* avant d'initier mon doctorat sont organisés par des universitaires de Rennes puis Nantes en collaboration avec le Parc naturel régional de Brière (Marquet et al. 2014). Ces initiatives qui sont plutôt d'ordre personnelle de la part des chercheurs auraient tout intérêt à se développer pour que les actions de conservation soient le plus efficaces possibles. Enfin, je pense 3) des liens bilatéraux équilibrés entre gestionnaire et chercheur est particulièrement efficace si on est proche géographiquement. Ils conduisent à des résultats probants pour l'élaboration de recherche-action (Besnard 2013). En plus des interactions plus nombreuses que j'aimerais développer avec les gestionnaires de Camargue sur les questions cynégétiques, comme évoqué dans le chapitre précédent, j'aimerais développer des problématiques de conservation sur la rive sud de la Méditerranée. En effet, les problématiques de conservation des oiseaux d'eau m'y semblent plus prioritaires que sur la rive Nord avec des espèces plus gravement menacées et des enjeux liés aux changements climatiques plus rapides. L'approche y sera sans doute non plus à une échelle locale mais régionale ou nationale. Le portage devra se faire par des associations, universitaires et organismes gouvernementaux locaux. Mon encadrement actuel de la thèse menée par Haytem Bouchri s'inscrit dans cette démarche de formation de ces futurs universitaires.

### *Un développement vers le plaidoyer*

Pendant plusieurs décennies, il était attendu que les évidences produites par les chercheurs de la Tour du Valat seraient prises en compte par les décideurs afin de prendre les mesures adéquates pour la conservation. Néanmoins, il apparaît clairement que si la production scientifique est précieuse, les décisions prises ne sont généralement pas en accord avec les connaissances

permettant la conservation des zones humides méditerranéennes, lesquelles continuent de diminuer et de se dégrader (Tour du Valat 2018). La Tour du Valat a fourni des efforts pour établir des liens avec les décideurs : elle a toujours participé à des conseils scientifiques et d'experts où elle peut faire valoir son expertise, elle siège auprès d'instances nationales telles que le comité national de la biodiversité, et elle a joué un rôle diplomatique, en particulier par l'investissement de son fondateur Luc Hoffmann, pour la création de la convention Ramsar en 1971 ou l'initiative Medwet en 1992. En 2007, avec cet optique d'augmenter son impact sur la conservation des zones humides méditerranéennes, la Tour du Valat a créé l'observatoire des zones humides méditerranéennes, à destination des décideurs et des gestionnaires. Actuellement, elle souhaite s'engager davantage dans le plaidoyer pour la préservation des zones humides afin d'influencer les décisions politiques qui menacent celles-ci. Pour cela, les connaissances scientifiques sont mobilisées pour produire des actions de communication stratégiques. Ces messages sont diffusés auprès de cibles tels que les décideurs politiques. Cela peut prendre la forme de lettres, pétitions, présentations, rapports, synthèses ou motions qui peuvent être diffusés au cours d'événement tels que les rencontres internationales (COP ou MOP<sup>2</sup> par exemple) et nationales. Les activités de communication décrites plus tôt dans ce chapitre (3.1) sont sensiblement les mêmes mais le plaidoyer invite à mettre en œuvre une stratégie de communication avec une volonté d'influence. Par exemple, pour empêcher un projet destructeur de zone humide tel qu'un aéroport ou une autoroute, lors d'une campagne « alerte rouge », la Tour du Valat agit en partenariat avec des organisations de la société civile (OSC) pour convenir d'un plan d'actions. Ces actions qui peuvent prendre la forme par exemple d'une lettre ciblée à un décideur, sont coordonnées dans un objectif convenu. Ces activités ne relèvent souvent plus du chercheur même si elles synthétisent les connaissances issues des sciences de la conservation. Mais alors comment peut se placer le chercheur dans ces actions d'organisations gouvernementales et non gouvernementales? Dans la partie qui suit, nous allons évoquer les différents positionnements que peut adopter le chercheur de la conservation pour œuvrer davantage à la protection de la biodiversité.

### 3. Accroître l'influence de la science

#### *Faire entendre la voix rationnelle*

La prise de décisions efficaces en matière de conservation devrait dans l'idéal toujours être éclairée par la science. Les données montrent cependant que de nombreuses mesures de conservation (par exemple, les adoptions de lois, règlements, politiques ou mesures de gestion qui concernent la gestion d'une ressource) sont prises sur la base d'hypothèses non étayées ou de suppositions fondées sur l'expérience plutôt que sur des connaissances scientifiques (Pullin et al. 2004, Mermet 2020, LeFlore et al. 2022). Les connaissances scientifiques ne sont qu'un facteur parmi d'autres dans l'élaboration des politiques (Marshall et al. 2017, Rose et al. 2018). Pourtant, les scientifiques sont formés à tester leurs intuitions de façon rigoureuse et rationnelle par une méthode robuste. Pour rappel, la science se base sur quatre piliers : un doute au sujet d'une question initiale, une explication du monde indépendante des opinions, des travaux concrets et reproductibles et une démarche rationnelle qui utilise la logique. La science cherche à produire des connaissances objectives, c'est-à-

---

<sup>2</sup> COP : "Conference of the Parties" telle que les conférences des Nations-unies sur les changements climatiques ; MOP : "Meeting of the Parties" est le principal organe décisionnel de l'Accord sur la conservation des oiseaux d'eau migrateurs d'Afrique-Eurasie (AEWA).

dire vérifiables par des observateurs indépendants, pour comprendre le monde, en s'affranchissant des biais inhérents à l'observation et à notre qualité d'être humain, qui a tendance à confirmer un avis plutôt que de le soumettre à l'esprit critique (Farina and Pasquinelli 2020). Les scientifiques ont des intuitions, comme tous mais en s'appuyant sur des connaissances et des outils (modèles), les intuitions qu'ils forgent sont plus fondées et mènent progressivement à une connaissance fiable (Farina and Pasquinelli 2020). Le scientifique n'est donc pas un acteur comme les autres pour informer la décision. Mais alors comment favoriser les décisions politiques fondées sur les preuves ?

#### *Aider à la décision en présence d'incertitudes*

Plusieurs obstacles existent à l'utilisation de la science par les décideurs : le manque de ressources financières pour mettre en œuvre les résultats, ou le fait que les résultats ne soient pas suffisamment prévisibles ou interprétables; le manque d'alignement entre la recherche scientifique menée et les informations nécessaires (vu dans le chapitre 2) ; la perception que les scientifiques sont motivés par un agenda personnel ou qu'il n'y a pas de consensus entre eux sur la décision à prendre ; les restrictions bureaucratiques au sein des services de l'Etat ; l'absence d'intérêt pour les évidences scientifique lors de la mise en œuvre de stratégies de gestion du fait de la diversité des enjeux, en particulier politiques ou économiques (abordé dans la partie suivante, Young and Van Aarde 2011, Cook et al. 2013) ; et l'incertitude inhérente à l'étude scientifique est aussi un obstacle à la décision (Nichols et al. 1995, Johnson et al. 2018, Nichols 2019). A propos de l'incertitude, comme évoqué précédemment, le doute est un pilier de la démarche scientifique et les résultats scientifiques s'expriment dans des limites temporelles et géographiques, des incertitudes existent quant à l'effet de la mesure. Le décisionnaire quant à lui souhaite un avis tranché et accepte mal l'incertitude. Pour lui, il est difficile d'agir politiquement en présence d'incertitude et les décideurs doivent trouver un équilibre entre le besoin de diminuer l'incertitude en améliorant la connaissance du système et la nécessité d'agir (Soulé 1986). A contrario, exiger plus de preuves (ou moins d'incertitude) de la part du décisionnaire peut être une façon de ne pas prendre de décision, et s'inscrire dans une « stratégie du doute ». C'est pourquoi il est important de fixer des seuils d'erreurs acceptables pour les parties prenantes. De plus, il est important de ne pas répondre à des projets financés qui pourraient être alléchants mais qui remettent en cause des connaissances bien établies sous prétexte qu'une incertitude règne.

Une approche existe pour prendre des décisions en présence d'incertitudes, il s'agit de la gestion adaptative évoquée rapidement ci-dessus. Elle est conduite de manière à améliorer la connaissance du système tout en répondant à des objectifs de gestion de ressources naturelles (Holling and Walters 1978). La gestion adaptative implique l'itération de plusieurs étapes que sont l'identification des problèmes et des objectifs, des hypothèses et des actions de gestion, d'implémentation de suivis et d'évaluation des résultats avant une nouvelle phase (Bacon and Guillemain 2018). Dans la partie suivante nous allons voir comment, en théorie, les groupes d'experts scientifiques peuvent aider les décisionnaires, et en particulier le rôle qu'ils ont eu dans la mise en place récente de la gestion adaptative en France.

#### *Conseiller les décisionnaires avec des groupes d'experts*

Le lien entre la science et les décisionnaires sont favorisés par des services de l'Etat intermédiaires (Cook et al. 2013), la formation des scientifiques et des décideurs à comprendre leur travail mutuel (Bainbridge 2014), la recherche collaborative interdisciplinaire (Young et al. 2014) ou en racontant des histoires pertinentes pour les politiques (Cook et al. 2013). Quand ils souhaitent être guidés par les scientifiques, les décisionnaires sollicitent des groupes d'experts pour les conseiller (Bainbridge 2014). Les groupes scientifiques d'experts peuvent transmettre des informations fiables et

« digérées » aux décisionnaires. Ruckelshaus et al. (2020) suggèrent qu'un engagement sans précédent de la part des scientifiques dans les communautés de politiques et de gestion est nécessaire. Le respect du contrat social de la science avec la société et avec la nature nécessitera cependant un soutien institutionnel fort pour la participation des scientifiques à des activités qui transcendent la recherche et la publication conventionnelles.

Je suis membre de plusieurs groupes d'experts sur différentes espèces et en particulier je suis le président du groupe international sur la Spatule blanche, qui bénéficie d'un plan d'action international pour sa protection (Triplet et al. 2008). Même si des rapports et des positionnements réguliers sont transmis à des instances gouvernementales telles que l'Accord sur la conservation des oiseaux d'eau migrateurs d'Afrique-Eurasie (AEWA), ces groupes d'experts sont rarement sollicités par les institutions. Aussi nous avons décidé d'agir de notre propre initiative récemment.

Doñana est une zone humide majeure pour les oiseaux d'eau qui est menacée par l'absence de précipitation et le dévoiement de l'eau pour la culture des fruits rouges dans le sud de l'Espagne. Fortement utilisée par la Spatule blanche et de nombreuses autres espèces d'oiseaux d'eau, nous avons récemment mobilisé 38 organisations scientifiques mondiales dans une lettre ouverte qui a été diffusée à l'occasion de la journée mondiale des oiseaux migrateurs en mai 2023. Quelques articles ont été diffusés dans la presse en Espagne, au Portugal, en France ou au Royaume-Uni ainsi que les réseaux sociaux en Europe. Au final, cette lettre a permis de montrer au gouvernement espagnol andalou que les scientifiques du monde se mobilisent contre leur proposition de loi d'attribuer plus d'eau aux cultures. Il s'agit d'une modeste contribution qui n'a pas infléchi la position du gouvernement mais elle pourra contribuer dans le futur pour mobiliser la Commission européenne et s'inscrit dans le cadre du plaidoyer du *WWF Espagne* pour que de l'eau soit réservée pour Doñana. Ce genre d'initiative telle que celle que nous avons portée est nécessaire mais elle ne résoudra le problème que si elle s'inscrit dans une stratégie d'initiatives coordonnées sur le temps long.

Un autre exemple de mobilisation scientifique concerne le comité d'expert pour la gestion adaptative (CEGA). Constitué en janvier 2019 par le ministère de la transition écologique et solidaire avec pour mission de conseiller les ministres, durant la première année nous avons travaillé pour fournir des avis scientifiques dans le but d'améliorer la gestion de trois espèces chassées : la Barge à queue noire, le Courlis cendré *Numenius arquata* et la Tourterelle des bois. Malheureusement, deux des trois avis rendus par le CEGA (Duncan et al. 2019a; Duncan et al. 2019b; Duncan et al. 2019c) n'ont pas été suivis par l'Etat qui a, dans un premier temps, proposé des arrêtés avec des quotas en droite ligne avec les recommandations des chasseurs, lesquelles avaient été exprimées sous forme « d'opinions personnelles » (Wasse and Champagnon 2019b). Le Conseil d'Etat les a finalement annulés suite à une attaque en justice par les associations environnementales qui défendaient les avis donnés par le CEGA (Jublin 2021). Dans cette séquence, on voit que même quand l'Etat sollicite des experts scientifiques, il ne tient pas compte leurs avis. La perte d'énergie et de temps dédié par les différents acteurs me semble considérable. Dans notre cas de figure, alors que l'Etat aurait pu prendre une décision basée sur les évidences scientifiques, il a préféré le faire sous la contrainte légale plusieurs mois après. Les évidences d'absence de volonté de l'Etat de prendre une décision basée sur la science sont présentes dès la création du CEGA. En effet, le comité d'experts a été parasité par des membres constitués sous forme d'un groupe de pression pour défendre la chasse. En conséquence, le processus de rédaction des avis aura nécessité de la part des scientifiques de nombreuses discussions pendant plusieurs mois pour obtenir un consensus du groupe, pour que

finalement ces avis ne soient pas suivis par l'Etat. Bien que ce processus soit énergivore et qu'on ne puisse que déplorer le comportement de l'Etat, il faut continuer à participer à ces comités d'expert et participer à ce jeu d'acteur. L'urgence de la crise de biodiversité ne peut pas attendre que les décideurs élus soient plus engagés. A mon sens, le rôle du scientifique est d'accepter ce jeu afin d'alimenter les associations environnementales qui vont ester en justice. Cela a un coût en terme d'énergie et de temps dédié et sera plutôt porté par le chercheur senior plutôt que le jeune chercheur qui a besoin de publier pour être reconnu, obtenir un poste, etc..

Les gouvernements et la communauté internationale ont pris des engagements internationaux pour enrayer l'érosion de la biodiversité. Cependant, le déclin continue. Le défi ne consiste donc plus à identifier le problème et à comprendre ses causes mais il porte sur la nécessité de réorienter clairement les secteurs d'activité qui aujourd'hui dégradent le plus la biodiversité. Ces réorientations nécessaires sont profondes et elles ont été formulées sous le terme de « tournant environnemental » par Mermet et Leménager (2015). En France, le rapport Sainteny (2011) participe à agir pour le tournant environnemental en identifiant et listant les principales aides publiques néfastes à la biodiversité et en proposant des pistes de réforme de ces subventions. Même si la participation aux comités d'experts ou scientifiques est assez ingrate, l'écologue de la conservation engagé peut être fier de contribuer à sa petite échelle vers une orientation des mesures réglementaires bénéfiques à la biodiversité.

#### *Plus de transparence sur les groupes de pression et la décision finale*

Quand un choix doit être pris, par exemple sur l'emplacement d'un aménagement énergétique ou un quota de chasse, il existe toujours plusieurs enjeux : économiques, environnementaux ou stratégiques. Parmi les différents enjeux, quels sont ceux qui doivent être priorités ? Dans le cadre du lieu d'implantation de deux centrales éoliennes en méditerranée, le décisionnaire (l'Etat en l'occurrence) n'indique pas les critères qui influenceront sa décision, à savoir le poids relatif dans sa décision des activités économiques telles que la pêche ou le transport de marchandises, des enjeux militaires ou encore environnementaux (qui résument eux-mêmes des enjeux divers comme les enjeux de mammifères marins, oiseaux terrestres migrateurs et oiseaux marins, poissons, benthos, etc..). Pourtant des méthodologies existent pour un processus transparent et le plus objectif possible sur la priorisation des enjeux (Sodhi and Ehrlich 2010). Ainsi, lors des études d'impact environnemental, les bureaux d'étude sont guidés afin de déterminer quelles espèces et quels habitats doivent faire l'objet de mesures de protection particulières (DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur 2018). De tels processus objectifs permettraient de révéler clairement l'importance que les décisionnaires donnent à des engagements contradictoires comme par exemple le développement de hangars logistiques, autoroutes et industries face aux objectifs de zéro artificialisation nette.

L'article de Cusack et al. (2022) sur la mise en place de quotas pour les tirs de Lynx boréal *Lynx lynx* en Norvège est très instructif sur le rôle des parties prenantes. La prise de décision est collective et met en jeu des scientifiques, administratifs et politiques ce qui permet *in fine* d'accroître la légitimité de la gestion et de garantir que les objectifs de maintien de la population soient atteints. L'article montre comment les entités administratives viennent compenser les acteurs politiques (souvent plus enclins à augmenter les quotas) et ainsi s'approcher du quota optimal pour atteindre les objectifs de taille de population définis. Nous sommes bien loin d'un tel processus transparent de décision en France ou ailleurs dans le monde, où les institutions sont souvent influencées par des groupes

particuliers. Par conséquent, on assiste à une défiance des citoyens de plus en plus forte face aux décisions politiques, en particulier car elles sont sous l'emprise de groupes de pression. Pour rétablir la confiance des citoyens dans les avis scientifiques et les prises de décision politiques, il faut absolument que le processus de décisions soit mieux documenté et transparent (Cusack et al. 2022).

### *Améliorer la confiance dans les scientifiques*

Sans doute du fait de la présence de groupes de pression, d'informations nombreuses et contradictoires, la méfiance des citoyens à l'égard des gouvernements peut aussi alimenter une méfiance croissante à l'égard des scientifiques, comme cela a été le cas au cours de la crise de COVID-19 (Algan et al. 2021). Il est donc crucial de garantir la confiance dans les scientifiques en préservant leur indépendance, en particulier dans les pays où la confiance dans le gouvernement est faible. Pour combattre la méfiance, Callon (1999) suggère d'amplifier les actions de formation et d'information selon le modèle d'instruction publique. En Occident, traditionnellement, le contrat entre la science et la société consiste à financer le métier de chercheur en échange d'une formation académique dans les universités pour former les étudiants à entrer dans le monde du travail (Lubchenco 1998). Cependant, le modèle de l'instruction publique a montré ses limites en matière de conservation et d'autres modèles dits de « débat public » et de « co-production des savoirs » sont recommandés (Callon 1999). C'est dans ces modèles que s'inscrivent plusieurs activités de concertation, prise de décisions concertées et collectives présentées ci-dessus et que je souhaiterais développer dans le futur. Cependant au vu de la limite de compétences et de temps du scientifique, les organisations environnementales jouent un rôle crucial en particulier pour porter la parole scientifique auprès des décisionnaires ou au niveau juridique.

### *S'engager*

La démarche scientifique est portée par les chercheurs et leur engagement dépend du rôle qu'ils donnent à leur profession. Ainsi lors de la COP26 sur le climat, certains chercheurs étaient des conseillers à la réunion, d'autres faisaient partie des délégations qui tentaient de négocier un accord final et enfin d'autres chercheurs participaient à des manifestations dans les rues de Glasgow au côté des associations environnementales pour exiger une action plus forte (Thompson 2021).

Des positions marquées sont parfois prises par des scientifiques illustres tel que Einstein qui militait pour un désarmement nucléaire (Russell 2018). Daniel Pauly est un chercheur spécialiste des ressources marines qui a révélé à la communauté scientifique et au monde l'ampleur de la surexploitation des milieux marins. Malgré ses nombreuses publications scientifiques reconnues, il décide dans les années 1990s de travailler avec les ONGs environnementales. En effet, il constate dès les années 1970s que le modèle où la recherche guide la gestion des pêches ne fonctionne pas à cause des groupes de pression qui empêchent les solutions d'intérêt général d'être mises en œuvre. Pour lui les associations écologistes sont « capables de reprendre le discours scientifique, de l'expliquer et de forcer les politiques à en tenir compte ». Il se rapproche donc de celles-ci explicitement afin qu'elles se mobilisent sur la nécessité d'une gestion durable des stocks de poissons. En parallèle, il publie des travaux qui ont été utilisés par les associations (Grémillet 2019). Ce modèle est intéressant car il reste dans une déontologie scientifique irréprochable.

La Tour du Valat souhaite jouer un rôle d'institut de recherche tout en développant une activité de plaidoyer au même titre qu'une association environnementale. Cette double fonction entraîne des positions qui peuvent être inconfortables pour moi. J'ai ainsi participé à l'élaboration de l'avis pour l'enquête publique Provence Grand Large (trois éoliennes en mer) pour la Tour du Valat. Dans ces avis publics, je cherche à étayer mes propos d'une rigueur scientifique irréprochable mais ils restent engagés pour la préservation de la biodiversité. De l'autre côté, je participe au programme scientifique Migralion aux côtés de chercheurs académiques reconnus, par la collecte, l'analyse des données et la publication des résultats sur le risque que pourraient présenter des éoliennes dans le Golfe du Lion pour les oiseaux marins et migrateurs. Cette position est inconfortable car ma prise de position pourrait laisser présager d'un conflit d'intérêt alors qu'en réalité c'est le propre du scientifique que de mettre à l'épreuve de la rigueur scientifique ses convictions ou ressentis. Le scientifique peut s'exprimer en tant que citoyen sur des sujets de société, mais garder sa casquette de scientifique lorsqu'il s'agit de défendre la connaissance acquise par ses pairs, la démarche scientifique, l'accumulation d'évidences.

Un engagement fort des scientifiques dans des causes environnementales est cependant susceptible d'augmenter la défiance des citoyens. Dans nos prises de parole engagées, il est important de préciser si on s'exprime en tant que scientifique (où nos assertions sont étayées de faits éprouvés) ou si on s'exprime en tant que citoyen engagé dans quel cas on peut exprimer nos opinions personnelles (COMETS 2015). Sortir de la retenue traditionnelle du chercheur ne me semble pas problématique tant que mes assertions sont étayées par des évidences scientifiques et ne nuit donc pas à la crédibilité de la science.

#### 4. Perspectives

Le rôle des chercheurs dans la société peut être d'utiliser leur approche scientifique pour communiquer leur regard sur le monde avec le recul, c'est à dire en donnant confiance envers les hypothèses qui ont été testées. Ainsi, un collectif de scientifiques en rébellion s'engage dans des actions de désobéissance civile. Leur positionnement sur le changement climatique peut être considéré comme légitime car l'absence de mesures met à mal les évidences scientifiques réunies par leur communauté. Sortir de la retenue scientifique et interpeller les médias est-elle une attitude justifiée quand la décision politique ne suit pas les recommandations scientifiques ?

La position du chercheur reste en général modeste car elle privilégie la réflexion et la patience avant d'affirmer un fait. Plus que tout autre, nous sommes conscients que des erreurs nous guettent, en particulier lorsque nous prenons des décisions trop rapides. Les études scientifiques éclairent nos intuitions, et favorisent notre esprit critique en tant que citoyen. Mais cela ne veut pas dire que les scientifiques ne se trompent pas lorsqu'ils s'expriment. Soit qu'ils n'ont pas pris le temps de mettre en place la méthode et leur esprit critique de façon suffisamment approfondie, soit qu'ils ne se sont pas exprimés de façon correcte ou que leur message n'a pas été entendu conformément à leur intention.

J'envisage durant le développement de ma carrière d'utiliser les moyens d'action qui seront le plus à même de protéger la biodiversité. Dans un contexte où les tensions augmentent entre un système d'exploitation et de consommation importante des ressources et le déclin de la biodiversité qui peine à s'inverser, je serais susceptible d'avoir un positionnement plus engagé dans l'action, en

m'exprimant auprès des médias et en agissant aux côtés des citoyens, des associations et des organisations de la société civile en général. Il est fort à parier que la posture du scientifique sera de moins en moins dans la retenue et le scientifique sera davantage sollicité par une partie des citoyens pour se faire leur avis, comprendre les enjeux et se positionner en faveur de la conservation ou en faveur de la croissance économique.

Dans mes communications, la cible du décisionnaire pourra être privilégiée si je peux appartenir à des comités nationaux ou internationaux. Mais d'autres cibles seront développées. Je continuerai de former des étudiants méditerranéens et leur transmettre mes compétences afin qu'ils agissent dans leurs régions, avec une démarche scientifique solide et une reconnaissance locale qui leur permettent d'avoir des responsabilités.

Enfin, le parrainage des flamants roses proposé par la Tour du Valat crée de l'émotion et peut participer à engager le public, au-delà des revenus qu'ils présentent (Wilkinson 2023). Puisque ce n'est pas la raison qui guide le monde, mais les émotions, je n'exclue pas d'utiliser de la vidéo, la musique et/ou le théâtre pour sensibiliser des cibles bien définies, afin d'alimenter la prise de conscience des enjeux par l'émotion qui amènera ensuite à la réflexion, là où le scientifique sera sollicité et sans doute plus écouté.

## Conclusion

L'ensemble des oiseaux sauvages ne pèsent pas lourds en biomasse sur cette planète mais ils ont toujours éveillé beaucoup d'intérêt de la part des humains. Ils sont donc l'objet d'importantes actions pour la préservation de leur diversité et effectifs. Dans ce mémoire, j'ai voulu mettre en avant ma démarche de chercheur en toute sincérité. Je suis conscient de la portée limitée de mes activités de recherche et des actions qui y sont associées. Cependant j'ai voulu développer ce qui me semblait important dans ma démarche de scientifique, en particulier les aspects de déontologie aussi dans le cadre de l'étude expérimentale d'oiseaux sauvages que dans le cadre de l'engagement pour la conservation.

Au cours des trois chapitres de ce mémoire, j'ai proposé le développement de plusieurs axes de recherche afin d'améliorer mon impact pour enrayer le déclin des oiseaux. Tout d'abord, je souhaite travailler sur quelques-unes des menaces les plus fortes qui s'exercent sur la biodiversité, à savoir: le changement d'utilisation du sol, l'exploitation directe des animaux et le changement climatique. Pour cela, j'ai proposé en particulier un axe de recherche sur le déplacement des oiseaux pour à la fois comprendre les conditions environnementales qui mènent aux décisions de déplacements, et identifier les sites clés pour lesquels nous devons nous mobiliser en cas de menace.

J'envisage en terme de méthodologie de développer des techniques de suivis qui diminuent le dérangement, des analyses intégrées qui prennent en compte les biais d'observation, ainsi que des méthodes analytiques récentes pouvant faire appel à l'intelligence artificielle (mais seulement si le coût énergétique est raisonnable). J'envisage un déploiement déjà amorcé vers le bassin méditerranéen et en particulier vers l'Afrique du nord, sur des espèces au statut de conservation défavorables, tout en maintenant les excellents suivis à long terme dont j'ai la responsabilité.

Mon engagement futur passera par la co-production de savoirs avec les gestionnaires et acteurs locaux, la formation d'étudiants en Afrique du Nord, la communication stratégique par les médias pour entrer dans le débat public et les échanges avec les associations environnementales. Je souhaite m'engager pour que les chercheurs de la conservation soient audibles dans un monde où les tensions sont susceptibles de croître, et de contribuer à les apaiser.

## Bibliographie

- Afán, I., M. Máñez, and R. Díaz-Delgado. 2018. Drone Monitoring of Breeding Waterbird Populations: The Case of the Glossy Ibis. *Drones* 2:42.
- Agardy, M. T. 1994. Advances in marine conservation: the role of marine protected areas. *Trends in Ecology & Evolution* 9:267–270.
- Algan, Y., D. Cohen, E. Davoine, M. Foucault, and S. Stantcheva. 2021. Trust in scientists in times of pandemic: Panel evidence from 12 countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118:e2108576118.
- Amano, T., T. Székely, B. Sandel, S. Nagy, T. Mundkur, T. Langendoen, D. Blanco, C. U. Soykan, and W. J. Sutherland. 2017. Successful conservation of global waterbird populations depends on effective governance. *Nature* 553:199–202.
- Amano, T., T. Székely, H. S. Wauchope, B. Sandel, S. Nagy, T. Mundkur, T. Langendoen, D. Blanco, N. L. Michel, and W. J. Sutherland. 2020. Responses of global waterbird populations to climate change vary with latitude. *Nature Climate Change*:1–6.
- Anderson, G. Q. A., and R. E. Green. 2009. The value of ringing for bird conservation. *Ringling & Migration* 24:205–212.
- Anderson, M. G., R. T. Alisauskas, B. D. J. Batt, R. J. Blohm, K. F. Higgins, M. C. Perry, J. K. Ringelman, J. S. Sedinger, J. R. Serie, D. E. Sharp, D. L. Trauger, and C. K. Williams. 2018. The migratory bird treaty and a century of waterfowl conservation. *The Journal of Wildlife Management* 82:247–259.
- Arcaute-Gevrey, M., and J. Champagnon. 2020, September 20. Migration des spatules blanches : nous avons besoin de vous !
- Arlettaz, R., M. Schaub, J. Fournier, T. S. Reichlin, A. Sierro, J. E. M. Watson, and V. Braunisch. 2010. From publications to public actions: when conservation biologists bridge the gap between research and implementation. *BioScience* 60:835–842.

- Austin, J. E., K. Morrison, and J. T. Harris. 2018. Cranes and agriculture: a global guide for sharing the landscape. International Crane Foundation. Baraboo, Wisconsin, USA.
- Avise, J. C., S. P. Hubbell, and F. J. Ayala. 2008. In the light of evolution II: Biodiversity and extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105:11453–11457.
- Azevedo, I., and V. Leal. 2021. A new model for ex-post quantification of the effects of local actions for climate change mitigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 143:110890.
- Azevedo, I., and V. M. S. Leal. 2017. Methodologies for the evaluation of local climate change mitigation actions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79:681–690.
- Azouvi, C. 2017, November. En Camargue, les défis des gardiens du marais. *ça m'intéresse*:26–30.
- Bach, M. 2022. Restauration de roselière sur le domaine de la Tour du Valat: évaluation du potentiel d'accueil pour l'avifaune paludicole. Mémoire Master 1, Université Clermont Auvergne, Clermont-Ferrand (FRA).
- Bacon, L., and M. Guillemain. 2018. La gestion adaptative des prélèvements cynégétiques. *Faune Sauvage*:6.
- Baillie, S. R. 1995. Uses of ringing data for the conservation and management of bird populations: A ringing scheme perspective. *Journal of Applied Statistics* 22:967–988.
- Bainbridge, I. 2014. How can ecologists make conservation policy more evidence based? Ideas and examples from a devolved perspective. *Journal of Applied Ecology* 51:1153–1158.
- Bar-On, Y. M., R. Phillips, and R. Milo. 2018. The biomass distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 115:6506–6511.
- Barron, D. G., J. D. Brawn, and P. J. Weatherhead. 2010. Meta-analysis of transmitter effects on avian behaviour and ecology: Meta-analysis of avian transmitter effects. *Methods in Ecology and Evolution* 1:180–187.
- Béchet, A. 2017. Les espèces emblématiques au service de la conservation : le cas de l'étude à long terme des Flamants roses en Camargue. Mémoire d'HDR.

- Beissinger, S. R., and D. R. McCullough. 2002. Population Viability Analysis. University of Chicago Press.
- Bellisario, B. 2018. Conserving migration in a changing climate, a case study: The Eurasian spoonbill, *Platalea leucorodia leucorodia*. *Biological Conservation* 217:222–231.
- Berthold, P., W. Fiedler, R. Schlenker, and U. Querner. 1998. 25-Year Study of the Population Development of Central European Songbirds: A General Decline, Most Evident in Long-Distance Migrants. *Naturwissenschaften* 85:350–353.
- Besnard, A. 2013, September 4. D'une nécessaire interface entre biostatistiques et conservation de la nature. Mémoire d'HDR.
- Bibby, C. J., N. D. Burgess, D. A. Hill, and S. Mustoe. 2000. *Bird Census Techniques*. Elsevier.
- Blanchon, T., M. Gauthier-Clerc, A. Arnaud, Y. Kayser, and J. Champagnon. 2018, November 15. Eurasian spoonbill in Camargue: history, trend and first results. Poster, Djerba, Tunisie.
- Bled, F., J. Sauer, K. Pardieck, P. Doherty, and J. A. Royle. 2013. Modeling Trends from North American Breeding Bird Survey Data: A Spatially Explicit Approach. *PLOS ONE* 8:e81867.
- Bobbink, R., D. F. Whigham, B. Beltman, and J. T. Verhoeven. 2006. *Wetland functioning in relation to biodiversity conservation and restoration*. Springer.
- Bodey, T. W., I. R. Cleasby, F. Bell, N. Parr, A. Schultz, S. C. Votier, and S. Bearhop. 2018. A phylogenetically controlled meta-analysis of biologging device effects on birds: Deleterious effects and a call for more standardized reporting of study data. *Methods in Ecology and Evolution* 9:946–955.
- Boere, G., C. A. Galbraith, D. A. Stroud, and Scottish Natural Heritage (Agency), editors. 2006. *Waterbirds around the world: a global overview of the conservation, management and research of the world's waterbird flyways*. The Stationery Office, Edinburgh.
- Bowman, D. M. J. S., J. Balch, P. Artaxo, W. J. Bond, M. A. Cochrane, C. M. D'Antonio, R. DeFries, F. H. Johnston, J. E. Keeley, M. A. Krawchuk, C. A. Kull, M. Mack, M. A. Moritz, S. Pyne, C. I. Roos,

- A. C. Scott, N. S. Sodhi, and T. W. Swetnam. 2011. The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography* 38:2223–2236.
- Buckland, S. T., D. R. Anderson, K. P. Burnham, J. L. Laake, D. L. Borchers, and L. Thomas. 2001. Introduction to distance sampling: estimating abundance of biological populations.
- Bush, A., V. Hermoso, S. Linke, D. Nipperess, E. Turak, and L. Hughes. 2014. Freshwater conservation planning under climate change: demonstrating proactive approaches for Australian Odonata. *Journal of Applied Ecology* 51:1273–1281.
- Butchart, S. H. M., M. Walpole, B. Collen, A. van Strien, J. P. W. Scharlemann, R. E. A. Almond, J. E. M. Baillie, B. Bomhard, C. Brown, J. Bruno, K. E. Carpenter, G. M. Carr, J. Chanson, A. M. Chenery, J. Csirke, N. C. Davidson, F. Dentener, M. Foster, A. Galli, J. N. Galloway, P. Genovesi, R. D. Gregory, M. Hockings, V. Kapos, J.-F. Lamarque, F. Leverington, J. Loh, M. A. McGeoch, L. McRae, A. Minasyan, M. H. Morcillo, T. E. E. Oldfield, D. Pauly, S. Quader, C. Revenga, J. R. Sauer, B. Skolnik, D. Spear, D. Stanwell-Smith, S. N. Stuart, A. Symes, M. Tierney, T. D. Tyrrell, J.-C. Vié, and R. Watson. 2010. Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* 328:1164–1168.
- Cai, W., S. Borlace, M. Lengaigne, P. van Rensch, M. Collins, G. Vecchi, A. Timmermann, A. Santoso, M. J. McPhaden, L. Wu, M. H. England, G. Wang, E. Guilyardi, and F.-F. Jin. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature Climate Change* 4:111–116.
- Callaghan, C. T., S. Nakagawa, and W. K. Cornwell. 2021. Global abundance estimates for 9,700 bird species. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118.
- Callon, M. 1999. Des différentes formes de démocratie technique. *Les Cahiers de la Sécurité Interieure*, 38, 4e trimestre:37–54.
- Canonne, C. 2016. Evolution des effectifs et de la répartition spatio-temporelle des anatidés et foulques hivernant en Camargue. Master 2, Ecole Pratique des Hautes Etudes, Montpellier.

- Carenton, N. 2022, November 22. Strong increase in fishing intensity on Lake Fitri (Chad) may put additional pressure on waterbird future. Victoria Falls.
- Carré, H. 2015. Influence du dérangement scientifique sur le succès reproducteur d'ardéidés au sein d'une importante colonie d'oiseaux d'eau de Camargue. Rapport de Master, Master 3E, Spécialité GEMAREC. Université de Lorraine, Nancy.
- Carson, R. 1962. Silent spring. Penguin Books.
- Caswell, H. 2001. Matrix Population Models: Construction, Analysis and Interpretation, 2nd Edition. Sinauer Associates.
- Catsadorakis, G., O. Onmus, S. Bugariu, O. Gül, D. Hatzilacou, O. Hatzofe, M. Malakou, T. Michev, T. Naziridis, H. Nikolaou, A. Rudenko, D. Saveljic, S. Shumka, M. Siki, and A. Crivelli. 2015. Current status of the Dalmatian pelican and the great white pelican populations of the Black Sea/Mediterranean flyway. *Endangered Species Research* 27:119–130.
- Cazalis, V., K. Princé, J.-B. Mihoub, J. Kelly, S. H. M. Butchart, and A. S. L. Rodrigues. 2020. Effectiveness of protected areas in conserving tropical forest birds. *Nature Communications* 11:4461.
- CBD. 2019. The Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework.
- Ceballos, G., A. García, and P. R. Ehrlich. 2010. The sixth extinction crisis: loss of animal populations and species. *Journal of Cosmology* 8:31.
- Champagnon, J. 2011. Conséquences des introductions d'individus dans les populations d'oiseaux d'eau exploitées : l'exemple du canard colvert *Anas platyrhynchos*. Doctorat, Montpellier 2, Montpellier, France.
- Champagnon, J. 2016, September 9. Spatio-temporal Distribution of Waterfowl Wintering in Camargue, Southern France. Halle (Saale).
- Champagnon, J. 2018a, April 17. Spatio-temporal Distribution of Waterfowl Wintering in Camargue, Southern France. Oral presentation, Millport, Scotland.

- Champagnon, J. 2018b, October 5. Modéliser les comptages d'oiseaux au sol et par avion, quelle meilleure approche? Oral presentation, Grenoble, France.
- Champagnon, J. 2020, November 17. Lectures de bagues d'oiseaux à partir de pièges photographiques. Présentation orale, Visioconférence.
- Champagnon, J. 2021, March 13. Effet des opérations de baguage dans une colonie mixte d'oiseaux d'eau. Oral presentation, Videoconference.
- Champagnon, J., M. Bach., D. Cohez, M. Lourenço, S. Hilaire, A. Arnaud, J.-J. Bravais, and V. Mauclert. 2023a. REstauration de roselières et Suivi Innovant d'une eSpèce parapluie en déclin, le butor étoilé. Rapport final. Page 31. Tour du Valat.
- Champagnon, J., A. Béchet, C. Perennou, M. Suet, A. Arnaud, and T. Blanchon. 2022, February 21. Monitoring breeding waterbirds in Mediterranean wetlands. Online Course.
- Champagnon, J., H. Carré, and L. Gili. 2019a. Effects of research disturbance on nest survival in a mixed colony of waterbirds. *PeerJ* 7:e7844.
- Champagnon, J., P.-A. Crochet, J. Kreisinger, D. Čížková, M. Gauthier-Clerc, G. Massez, P. Söderquist, T. Albrecht, and M. Guillemain. 2013. Assessing the genetic impact of massive restocking on wild mallard. *Animal Conservation* 16:295–305.
- Champagnon, J., N. Georget, P. Mallet, Y. Kayser, T. Galewski, and T. Bechet. 2023b. Atténuation et prévention des dégâts causés par les grues cendrées sur les cultures en Camargue. Rapport final pour la Fondation Prince Albert 2 de Monaco. Page 11. Tour du Valat, Arles (FRA).
- Champagnon, J., M. Guillemain, J.-Y. Mondain-Monval, G. Souchay, P. Legagneux, V. Bretagnolle, L. Van Ingen, F. Bourguemestre, and J.-D. Lebreton. 2016a. Contribution of released captive-bred Mallards to the dynamics of the natural population. *Ornis Fennica* 93:3–11.
- Champagnon, J., S. Hodic, P. Marin Prado, and P. Vera. 2023c, August. Survival of a long-distance migratory bird is affected by wintering climate in africa. Poster, Lund, Sweden.

- Champagnon, J., Y. Kayser, T. Blanchon, L. Gili, H. Carré, I. Badone, J. Petit, and R. Tiné. 2017, November 27. Monitoring Glossy ibis breeding in Camargue: Preliminary results and assessing research disturbance. Présentation, Doñana, Sevilla, Spain.
- Champagnon, J., Y. Kayser, J. Petit, L. Marion, S. Reeber, T. Blanchon, S. Hilaire, I. Badone, P. Crouzier, R. Purenne, and M. Gauthier-Clerc. 2019b. The Settlement of Glossy Ibis in France. *SIS Conservation*:50–55.
- Champagnon, J., J.-D. Lebreton, H. Drummond, and D. J. Anderson. 2018. Pacific Decadal and El Niño oscillations shape survival of a seabird. *Ecology* 99:1063–1072.
- Champagnon, J., P. Legagneux, G. Souchay, P. Inchausti, V. Bretagnolle, F. Bourguemestre, L. Van Ingen, and M. Guillemain. 2016b. Robust estimation of survival and contribution of captive-bred Mallards *Anas platyrhynchos* to a wild population in a large-scale release programme. *Ibis* 158:343–352.
- Champagnon, J., C. Pigniczki, and J. Kralj. 2019c. An overview of Eurasian Spoonbill trends. Pages 9–12 *in* Champagnon, Jocelyn, J. Kralj, L. S. Cano-Alonso, and K. S. G. Sundar, editors. Proceedings of the IX Workshop of the AEWA Eurasian Spoonbill International Expert Group.
- Champagnon, J., J.-P. Trouillas, and J.-B. Mouronval. 2019d. Canard pilet (*Anas acuta*). Page 49 Atlas des oiseaux du Gard. COGard, Saint-Chaptes.
- Chasseurs : ennemis ou alliés de la biodiversité ? 2020, October 9. .
- Christie, A. P., T. Amano, P. A. Martin, S. O. Petrovan, G. E. Shackelford, B. I. Simmons, R. K. Smith, D. R. Williams, C. F. R. Wordley, and W. J. Sutherland. 2021. The challenge of biased evidence in conservation. *Conservation Biology* 35:249–262.
- Clarke, E. 2014. Origins of evolutionary transitions. *Journal of Biosciences* 39:303–317.
- Clewley, G. D., N. A. Clark, C. B. Thaxter, R. M. Green, E. S. Scragg, and N. H. K. Burton. 2021. Development of a weak-link wing harness for use on large gulls (*Laridae*): methodology, evaluation and recommendations. *Seabird* 33:18–34.

- Cole, D. N., and N. G. Bayfield. 1993. Recreational trampling of vegetation: standard experimental procedures. *Biological Conservation* 63:209–215.
- Collen, B., N. Pettorelli, J. E. M. Baillie, and S. M. Durant. 2013. Biodiversity Monitoring and Conservation: Bridging the Gaps Between Global Commitment and Local Action. Pages 1–16 *Biodiversity Monitoring and Conservation*. John Wiley & Sons, Ltd.
- COMETS. 2015. Charte française de déontologie des métiers de la recherche.
- Comolet-Tirman, J., G. Quaintenne, J.-P. Sibley, S. Wroza, G. Bal, J. Champagnon, L. Couzi, M.-A. Czajkowski, P. Denis, B. Frochot, and Y. Muller. 2022. Estimation des populations d’oiseaux nicheurs de France métropolitaine. *Alauda* 90:130–150.
- Cook, C. N., M. B. Mascia, M. W. Schwartz, H. P. Possingham, and R. A. Fuller. 2013. Achieving conservation science that bridges the knowledge–action boundary. *Conservation Biology* 27:669–678.
- Costello, M. J., K. H. Beard, R. T. Corlett, G. S. Cumming, V. Devictor, R. Loyola, B. Maas, A. J. Miller-Rushing, R. Pakeman, and R. B. Primack. 2016. Field work ethics in biological research. *Biological Conservation* 203:268–271.
- Cottee-Jones, H. E. W., T. J. Matthews, and R. J. Whittaker. 2016. The movement shortfall in bird conservation: accounting for nomadic, dispersive and irruptive species. *Animal Conservation* 19:227–234.
- Coulson, J. C. 1963. Improved coloured-rings. *Bird Study* 10:109–111.
- Cowardin, L. M., and F. C. Golet. 1995. US Fish and Wildlife Service 1979 wetland classification: A review. *Vegetatio* 118:139–152.
- Cowie, R. H., P. Bouchet, and B. Fontaine. 2022. The Sixth Mass Extinction: fact, fiction or speculation? *Biological Reviews* 97:640–663.
- Crutzen, P. J. 2002. Geology of mankind. *Nature* 415:23–23.
- Crutzen, P. J. 2006. The “Anthropocene.” Pages 13–18 *in* E. Ehlers and T. Krafft, editors. *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer, Berlin, Heidelberg.

- Culik, B., R. Wilson, and R. Bannasch. 1993. Flipper-bands on penguins: what is the cost of a life-long commitment? *Marine Ecology Progress Series* 98:209–214.
- Cusack, J. J., E. B. Nilsen, M. F. Israelsen, H. Andrén, M. Grainger, J. D. C. Linnell, J. Odden, and N. Bunnefeld. 2022. Quantifying the checks and balances of collaborative governance systems for adaptive carnivore management. *Journal of Applied Ecology* 59:1038–1049.
- Dail, D., and L. Madsen. 2011. Models for Estimating Abundance from Repeated Counts of an Open Metapopulation. *Biometrics* 67:577–587.
- Darthayette, X. 2019, August. Conservation de la Glaréole à collier (*Glareola pratincola*) en camargue - Identification de mesures de gestion favorables à sa reproduction. Master 1, Master 1 IEGB, Montpellier, France.
- De Vries, R. 2006. Genetic Engineering and the Integrity of Animals. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 19:469–493.
- Deane, C. E., J. J. Rotella, J. M. Warren, R. A. Garrott, and D. N. Koons. 2021. Nasal Discs and the Vital Rates of Lesser Scaup. *The Journal of Wildlife Management*:jwmg.22025.
- Delany, S. 2010. Guidance on waterbird monitoring methodology: field protocol for waterbird counting. *Wetlands international* 25.
- Dervieux, A., J.-D. Lebreton, and A. Tamisier. 1980. Technique et fiabilité des dénombrements aériens de canards et de foulques hivernant en Camargue. *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)* 34:69–99.
- Di Marco, M., S. Chapman, G. Althor, S. Kearney, C. Besancon, N. Butt, J. M. Maina, H. P. Possingham, K. Rogalla von Bieberstein, O. Venter, and J. E. M. Watson. 2017. Changing trends and persisting biases in three decades of conservation science. *Global Ecology and Conservation* 10:32–42.
- Díaz, S., J. Settele, E. S. Brondízio, H. T. Ngo, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. Butchart, and K. M. Chan. 2019. Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change. *Science* 366:eaax3100.

- Dickson, B. G., C. M. Albano, R. Anantharaman, P. Beier, J. Fargione, T. A. Graves, M. E. Gray, K. R. Hall, J. J. Lawler, P. B. Leonard, C. E. Littlefield, M. L. McClure, J. Novembre, C. A. Schloss, N. H. Schumaker, V. B. Shah, and D. M. Theobald. 2019. Circuit-theory applications to connectivity science and conservation. *Conservation Biology* 33:239–249.
- Drake, A., C. A. Rock, S. P. Quinlan, M. Martin, and D. J. Green. 2014. Wind Speed during Migration Influences the Survival, Timing of Breeding, and Productivity of a Neotropical Migrant, *Setophaga petechia*. *PLOS ONE* 9:e97152.
- DREAL Provence-Alpes-Côte d’Azur. 2018. Guide cadre Eval\_Impact. Impacts des projets d’activités et d’aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 2 - Etapes clés de l’évaluation environnementale et analyse des impacts sur les espèces et habitats marins.
- Duarte, C. M., D. J. Conley, J. Carstensen, and M. Sánchez-Camacho. 2009. Return to Neverland: Shifting Baselines Affect Eutrophication Restoration Targets. *Estuaries and Coasts* 32:29–36.
- Ducros, D., J. Champagnon, P. Defos Du Rau, and C. Deschamps. 2023. Planning from scratch: A new modelling approach for designing protected areas in remote, data-poor regions. *Journal of Applied Ecology*.
- Duncan, P., B. Aurélien, E. Bro, J. Champagnon, F. Jiguet, A. Mårell, A. Millon, G. Quaintenne, and F. Robin. 2019a. Avis synthétique du Conseil d’Experts Gestion Adaptative (CEGA) relatif à la chasse à la Tourterelle des bois. Page 10 p. report, Comité d’experts sur la gestion adaptative des espèces chassables.
- Duncan, P., B. Aurélien, E. Bro, J. Champagnon, F. Jiguet, A. Mårell, A. Millon, G. Quaintenne, and F. Robin. 2019b. Avis du Conseil d’Experts sur la Gestion Adaptative (CEGA) sur la Barge à queue noire *Limosa limosa*. Page 6 p. report, Comité d’Experts sur la Gestion Adaptative des espèces chassables.
- Duncan, P., A. Besnard, E. Bro, J. Champagnon, F. Jiguet, A. Mårell, A. Millon, G. Quaintenne, and F. Robin. 2019c. Avis délibéré du Comité d’Experts sur la Gestion Adaptative (CEGA) relatif à

- l'espèce Courlis cendré *Numenius arquata*. Page 7 p. report, Comité d'Experts sur la Gestion Adaptative des espèces chassables.
- Eikelboom, J. A. J., J. Wind, E. van de Ven, L. M. Kenana, B. Schroder, H. J. de Knegt, F. van Langevelde, and H. H. T. Prins. 2019. Improving the precision and accuracy of animal population estimates with aerial image object detection. *Methods in Ecology and Evolution* 10:1875–1887.
- El Majtni, M. 2023. Importance of the level of habitat protection in the use of a protected area by juvenile Eurasian Spoonbills (*Platalea leucorodia*) during the post-fledging period. Mémoire Master 2 Biodiversity Ecology and Evolution, Université Rennes, Rennes.
- Elmberg, J., R. Hessel, A. D. Fox, and L. Dalby. 2014. Interpreting seasonal range shifts in migratory birds: a critical assessment of 'short-stopping' and a suggested terminology. *Journal of Ornithology* 155:571–579.
- Elphick, C. S. 2008. How you count counts: the importance of methods research in applied ecology. *Journal of Applied Ecology* 45:1313–1320.
- FAO, IUCN, UNEP, UNESCO, and WWF International. 1980. Stratégie mondiale de la conservation : la conservation des ressources vivantes au service du développement durable. IUCN, Gland, Switzerland.
- Farina, M., and E. Pasquinelli. 2020. L'art de faire confiance: pour un nouveau contrat entre la science et les citoyens. Odile Jacob.
- Ferreira, A. C., L. R. Silva, F. Renna, H. B. Brandl, J. P. Renoult, D. R. Farine, R. Covas, and C. Doutrelant. 2020. Deep learning-based methods for individual recognition in small birds. *Methods in Ecology and Evolution* 11:1072–1085.
- Ferreira, H., I. Badone, A. Béchet, and J. Champagnon. 2018, May 16. Estimating Breeding Success in the Growing Population of Glossy ibis in the Camargue (Southern France). Poster, Tour du Valat, Arles, France.

- Ferreira, H., J. Champagnon, J. A. Alves, and T. Lok. 2022a, October 6. Exploring the relationship between winter location and survival in a migratory waterbird using different migration routes. Oral, Zadar, Croatia.
- Ferreira, H., J. Champagnon, I. Badone, A. Béchet, and O. Sanchez Macouzet. 2019, September. Interacting environmental effects influence early body condition of a colonial waterbird living in complex coastal environments. Poster presentation, University of Minho, Braga, Portugal.
- Ferreira, H., S. Hodic, C. Hadden, C. Pradalier, and J. Champagnon. 2022b, October 4. Citizen Science and Machine Learning: presenting two methods for processing time-consuming camera traps data. Oral, Zadar, Croatia.
- Flack, A., E. O. Aikens, A. Kölzsch, E. Nourani, K. R. S. Snell, W. Fiedler, N. Linek, H.-G. Bauer, K. Thorup, J. Partecke, M. Wikelski, and H. J. Williams. 2022. New frontiers in bird migration research. *Current Biology* 32:R1187–R1199.
- Fleurke, F., and A. Trouwborst. 2014. 7 European Regional Approaches to the Transboundary Conservation of Biodiversity: The Bern Convention and the EU Birds and Habitats Directives. Pages 128–162 in L. J. Kotzé and T. Marauhn, editors. *Transboundary Governance of Biodiversity*. Brill | Nijhoff.
- Folliot, B. 2018, December 17. Dynamique des espèces exploitées : le cas du Fuligule milouin (*Aythya ferina*) dans le Paléarctique. PhD thesis, Université de Montpellier, Montpellier.
- Folliot, B., A. Caizergues, A. Tableau, G. Souchay, M. Guillemain, J. Champagnon, and C. Calenge. 2022. Assessing spatiotemporal variation in abundance: A flexible framework accounting for sampling bias with an application to common pochard (*Aythya ferina*). *Ecology and Evolution* 12:e8835.
- Folliot, B., M. Guillemain, J. Champagnon, and A. Caizergues. 2018. Patterns of spatial distribution and migration phenology of common pochards *Aythya ferina* in the Western Palearctic: a ring-recoveries analysis. *Wildlife Biology* 2018:wlb.00427.

- Folliot, B., G. Souchay, J. Champagnon, M. Guillemain, M. Durham, R. Hearn, J. Hofer, J. Laesser, C. Sorin, and A. Caizergues. 2020. When survival matters: is decreasing survival underlying the decline of common pochard in western Europe? *Wildlife Biology* 2020.
- Fox, A. D., A. Caizergues, M. V. Banik, K. Devos, M. Dvorak, M. Ellermaa, B. Folliot, A. J. Green, C. Grüneberg, M. Guillemain, A. Håland, M. Hornman, V. Keller, A. I. Koshelev, V. A. Kostiusyn, A. Kozulin, Ł. Ławicki, L. Luiguijõe, C. Müller, P. Musil, Z. Musilová, L. Nilsson, A. Mischenko, H. Pöysä, M. Ščiban, J. Sjeničić, A. Stipniece, S. Švažas, and J. Wahl. 2016. Recent changes in the abundance of Common Pochard *Aythya ferina* breeding in Europe. *Wildfowl* 66:22–40.
- Fretwell, P. T., P. Scofield, and R. A. Phillips. 2017. Using super-high resolution satellite imagery to census threatened albatrosses. *Ibis* 159:481–490.
- Fritz, J., B. Eberhard, C. Esterer, B. Goenner, D. Trobe, M. Unsoeld, B. Voelkl, H. Wehner, and A. Scope. 2020. Biologging is suspect to cause corneal opacity in two populations of wild living Northern Bald Ibises (*Geronticus eremita*). *Avian Research* 11:1–9.
- Gaget, E., T. Galewski, F. Jiguet, and I. Le Viol. 2018. Waterbird communities adjust to climate warming according to conservation policy and species protection status. *Biological conservation* 227:205–212.
- Gaget, E., I. Le Viol, D. Pavón-Jordán, V. Cazalis, C. Kerbiriou, F. Jiguet, N. Popoff, L. Dami, J.-Y. Mondain-Monval, P. Defos du Rau, W. A. I. Abdou, L. Bozic, M. Dakki, V. M. F. Encarnação, K. Erciyas-Yavuz, K. S. Etayeb, B. Molina, N. Petkov, D. Uzunova, M. Zenatello, and T. Galewski. 2020. Assessing the effectiveness of the Ramsar Convention in preserving wintering waterbirds in the Mediterranean. *Biological Conservation* 243:108485.
- Galetti, M., M. Moleón, P. Jordano, M. M. Pires, P. R. Guimarães Jr., T. Pape, E. Nichols, D. Hansen, J. M. Olesen, M. Munk, J. S. de Mattos, A. H. Schweiger, N. Owen-Smith, C. N. Johnson, R. J. Marquis, and J.-C. Svenning. 2018. Ecological and evolutionary legacy of megafauna extinctions. *Biological Reviews* 93:845–862.

- Galewski, T., L. Segura, J. Biquet, E. Saccon, and N. Boutry. 2021. Living Mediterranean Report – Monitoring species trends to secure one of the major biodiversity hotspots. Page 20. Tour du Valat, Arles (FRA).
- Garde, A. 2018, June. Migration behaviour of Eurasian spoonbill (*Platalea leucorodia*) from a triaxial accelerometer. Master 1, University of Burgundy Franche-Comté – Master STS – ETEC - Behavioural Ecology and Wildlife Management.
- Gauld, J. G., J. P. Silva, P. W. Atkinson, P. Record, M. Acácio, V. Arkumarev, J. Blas, W. Bouten, N. Burton, I. Catry, J. Champagnon, G. D. Clewley, M. Dagys, O. Duriez, K.-M. Exo, W. Fiedler, A. Flack, G. Friedemann, J. Fritz, C. Garcia-Ripolles, S. Garthe, D. Giunchi, A. Grozdanov, R. Harel, E. M. Humphreys, R. Janssen, A. Kölzsch, O. Kulikova, T. K. Lameris, P. López-López, E. A. Masden, F. Monti, R. Nathan, S. Nikolov, S. Oppel, H. Peshev, L. Phipps, I. Pokrovsky, V. H. Ross-Smith, V. Saravia, E. S. Scragg, A. Sforzi, E. Stoynev, C. Thaxter, W. Van Steelant, M. van Toor, B. Vorneweg, J. Waldenström, M. Wikelski, R. Žydelis, and A. M. A. Franco. 2022. Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa. *Journal of Applied Ecology* n/a.
- Gauthier, G., and J.-D. Lebreton. 2008. Analysis of band-recovery data in a multistate capture-recapture framework. *Canadian Journal of Statistics* 36:59–73.
- Gauthier-Clerc, M., Y. Kayser, and J. Petit. 2006. Une colonie exceptionnelle de hérons arboricoles en Camargue gardoise. *Ornithos* 13:320–322.
- Gauthier-Clerc, M., F. Mesléard, and J. Blondel. 2014. *Sciences de la conservation. de boeck.*
- Geen, G. R., R. A. Robinson, and S. R. Baillie. 2019. Effects of tracking devices on individual birds – a review of the evidence. *Journal of Avian Biology* 50.
- Gelin, M. 2021. Modélisation du taux de renvoi des bagues par le biais de récompenses chez trois espèces d’anatidés : la Sarcelle d’hiver, le Canard colvert et le Fuligule milouin. Master 2, Parcours BEE, Master MODE, Rennes.

- Gili, L. 2016. Influence du dérangement scientifique sur le succès reproducteur d'Ardéidés au sein de la principale colonie d'oiseaux d'eau en France. Rapport de Master, Master 2 Pro - Expertise Ecologique et Gestion de la Biodiversité, Université Aix-Marseille.
- Green, A. J., M. E. Hamzaoui, M. A. El Agbani, and J. Franchimont. 2002. The conservation status of Moroccan wetlands with particular reference to waterbirds and to changes since 1978. *Biological Conservation* 104:71–82.
- Grémillet, D. 2019. Daniel Pauly – Un océan de combats.
- Grémillet, D., A. Lescroël, G. Ballard, K. M. Dugger, M. Massaro, E. L. Porzig, and D. G. Ainley. 2018. Energetic fitness: Field metabolic rates assessed via 3D accelerometry complement conventional fitness metrics. *Functional Ecology* 32:1203–1213.
- Guillaud, F. 2018. Analyse spatio-temporelle des Anatidés et de la Foulque macroule hivernant en Camargue. Université Paul Sabatier, Toulouse, France.
- Guillemain, M., P. Aubry, B. Folliott, and A. Caizergues. 2016. Duck hunting bag estimates for the 2013/14 season in France. *Wildfowl* 66:126–141.
- Guillemain, M., R. Blanc, C. Lucas, and M. Lepley. 2008. Ecotourism disturbance to wildfowl in protected areas: historical, empirical and experimental approaches in the Camargue, Southern France. Pages 391–409 *Biodiversity and Conservation in Europe*. Springer.
- Guillemain, M., J. Champagnon, M.-L. Gourlay-Larour, F. Cavallo, A.-L. Brochet, J. Hars, G. Massez, T. George, P.-Y. Perroi, V. Jestin, and A. Caizergues. 2015. Blood and cloacal swab sampling for avian influenza monitoring has no effect on survival rates of free-ranging ducks. *Ibis* 157:743–753.
- Guillemain, M., M. Gelin, B. Plaquin, E. Grzegorzczuk, A. Caizergues, J. Champagnon, and L. Bacon. 2022, 23/09. Costs and benefits of using nasal saddles in Teal (*Anas crecca*). Poster, Coimbra, Portugal.
- Guillemain, M., M. Poisbleau, L. Denonfoux, M. Lepley, C. Moreau, G. Massez, G. Leray, A. Caizergues, C. Arzel, D. Rodrigues, and others. 2007. Multiple tests of the effect of nasal saddles on

dabbling ducks: combining field and aviary approaches: Capsule Nasal saddles have no negative consequences apart from, under some circumstances, a potential bias in social relationships. *Bird study* 54:35–45.

Guillemain, M., D. Vallecillo, E. Grzegorzczak, J.-B. Mouronval, M. Gauthier-Clerc, A. Tamisier, and J. Champagnon. 2021. Consequences of shortened hunting seasons by the Birds Directive on late winter teal *Anas crecca* abundance in France. *Wildlife Biology* 2021:wlb.00845.

Haase, M., H. Hóltje, B. Blahy, D. Bridge, E. Henne, U. S. Johansson, K. Kaldma, E. A. Khudyakova, A. King, A. Leito, W. Mewes, E. A. Mudrik, I. Ojaste, D. V. Politov, R. Popken, J. Rinne, A. Stanbury, J. Tofft, Ü. Väli, and A. Schmitz Ornés. 2019. Shallow genetic population structure in an expanding migratory bird with high breeding site fidelity, the Western Eurasian Crane *Grus grus grus*. *Journal of Ornithology* 160:965–972.

Hafner, H., O. Pineau, Y. Kayser, B. Poulin, G. Lefebvre, and P. Isenmann. 2004. Les Ardéidés, hérons, aigrettes et butors, en Camargue. Pages 57–120 *Les oiseaux de Camargue et leurs habitats. Une histoire de cinquante ans 1954-2004*. Buchet /Chastel, Paris.

Herbert, E. R., P. Boon, A. J. Burgin, S. C. Neubauer, R. B. Franklin, M. Ardón, K. N. Hopfensperger, L. P. M. Lamers, and P. Gell. 2015. A global perspective on wetland salinization: ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere* 6:art206.

Hobbs, R. J., E. Higgs, and J. A. Harris. 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology & Evolution* 24:599–605.

Hodgson, J. C., R. Mott, S. M. Baylis, T. T. Pham, S. Wotherspoon, A. D. Kilpatrick, R. R. Segaran, I. Reid, A. Terauds, and L. P. Koh. 2018. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution* 9:1160–1167.

Hoffmann, L., and J. Penot. 1955. Premier recensement des canards hivernant en Camargue. *Revue d'Ecologie (La Terre et la Vie)* 9:315–320.

Holling, C. S., and C. Walters. 1978. Adaptive environmental assessment and management.

- Hostetler, J. A., and R. B. Chandler. 2015. Improved state-space models for inference about spatial and temporal variation in abundance from count data. *Ecology* 96:1713–1723.
- Iñigo, A., B. Barov, C. Orhun, and U. Gallo-Orsi. 2008. Species action plan for the Marbled Teal. *Marmaronetta angustirostris*:12.
- IPBES. 2019. Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Zenodo.
- Isenmann, P. 2004. Les oiseaux de Camargue et leurs habitats. Une histoire de cinquante ans 1954-2004. Buchet/Chastel, Paris.
- IUCN. 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. <https://www.iucnredlist.org/en>.
- IUCN SSC. 2016. IUCN SSC Guiding principles on Creating Proxies of Extinct Species for Conservation Benefit. Version 1.0. IUCN Species Survival Commission. Gland, Switzerland.
- Iwamura, T., R. A. Fuller, and H. P. Possingham. 2014. Optimal Management of a Multispecies Shorebird Flyway under Sea-Level Rise. *Conservation Biology* 28:1710–1720.
- Jacquemin, A. 2021. Évaluation de la technique d'échantillonnage à distance pour le suivi des espèces grégaires : un exercice de simulation. Master 2, Mention Biologie Ecologie Evolution (BEE) , Parcours Ecologie Eco-Ingénierie des Zones-Humides, Université d'Anger.
- Jacquemin, A., D. Vallecillo, M. Guillemain, P. Defos Du Rau, and J. Champagnon. 2022. Evaluation of the distance sampling technique to monitor gregarious species: A simulation exercise. *Wildlife Society Bulletin Online*:19.
- Jacquemin, A., D. Vallecillo, M. Guillemain, P. Defos Du Rau, and J. Champagnon. (n.d.). Evaluation of the distance sampling technique to monitor gregarious species: A simulation exercise. *Wildlife Society Bulletin* n/a:e1393.
- Jenouvrier, S. 2013. Impacts of climate change on avian populations. *Global Change Biology* 19:2036–2057.

Jenouvrier, S., H. Caswell, C. Barbraud, M. Holland, J. Strø eve, and H. Weimerskirch. 2009.

Demographic models and IPCC climate projections predict the decline of an emperor penguin population. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106:1844–1847.

Jetz, W., G. Tertitski, R. Kays, U. Mueller, M. Wikelski, S. Åkesson, Y. Anisimov, A. Antonov, W. Arnold, F. Bairlein, O. Baltà, D. Baum, M. Beck, O. Belonovich, M. Belyaev, M. Berger, P. Berthold, S. Bittner, S. Blake, B. Block, D. Bloche, K. Boehning-Gaese, G. Bohrer, J. Bojarinova, G. Bommas, O. Bourski, A. Bragin, A. Bragin, R. Bristol, V. Brlík, V. Bulyuk, F. Cagnacci, B. Carlson, T. K. Chapple, K. F. Chefira, Y. Cheng, N. Chernetsov, G. Cierlik, S. S. Christiansen, O. Clarabuch, W. Cochran, J. M. Cornelius, I. Couzin, M. C. Crofoot, S. Cruz, A. Davydov, S. Davidson, S. Dech, D. Dechmann, E. Demidova, J. Dettmann, S. Dittmar, D. Dorofeev, D. Drenckhahn, V. Dubyanskiy, N. Egorov, S. Ehnbohm, D. Ellis-Soto, R. Ewald, C. Feare, I. Fefelov, P. Fehérvári, W. Fiedler, A. Flack, M. Froböse, I. Fufachev, P. Futoran, V. Gabyshev, A. Gagliardo, S. Garthe, S. Gashkov, L. Gibson, W. Goymann, G. Gruppe, C. Guglielmo, P. Hartl, A. Hedenström, A. Hegemann, G. Heine, M. H. Ruiz, H. Hofer, F. Huber, F. Iannarilli, M. Illa, A. Isaev, B. Jakobsen, L. Jenni, S. Jenni-Eiermann, B. Jesmer, F. Jiguet, T. Karimova, N. J. Kasdin, F. Kazansky, R. Kirillin, T. Klinner, A. Knopp, A. Kölzsch, A. Kondratyev, M. Krondorf, P. Ktitorov, O. Kulikova, R. S. Kumar, C. Künzer, A. Larionov, C. Larose, F. Liechti, N. Linek, A. Lohr, A. Lushchekina, K. Mansfield, M. Matantseva, M. Markovets, P. Marra, J. F. Masello, J. Melzheimer, M. H. M. Menz, S. Menzie, S. Meshcheryagina, D. Miquelle, V. Morozov, A. Mukhin, I. Müller, T. Mueller, J. G. Navedo, R. Nathan, L. Nelson, Z. Németh, S. Newman, R. Norris, I. Okhlopkov, W. Oleś, R. Oliver, T. O'Mara, P. Palatitz, J. Partecke, R. Pavlick, A. Pedenko, J. Pham, D. Piechowski, A. Pierce, T. Piersma, W. Pitz, D. Plettemeier, I. Pokrovskaya, L. Pokrovskaya, I. Pokrovsky, M. Pot, P. Procházka, P. Quillfeldt, E. Rakhimberdiev, M. Ramenofsky, A. Ranipeta, J. Rapczyński, M. Remisiewicz, V. Rozhnov, F. Rienks, V. Rozhnov, C. Rutz, V. Sakhvon, N. Sapir, K. Safi, F. Schäuffelhut, D. Schimel, A. Schmidt, J. Shamoun-Baranes, A. Sharikov, L. Shearer, E. Shemyakin, S. Sherub, R. Shipley, Y. Sica, T. B. Smith, S. Simonov, K. Snell, A.

- Sokolov, V. Sokolov, O. Solomina, M. Soloviev, F. Spina, K. Spoelstra, M. Storhas, T. Sviridova, G. Swenson, P. Taylor, K. Thorup, A. Tsvey, M. Tucker, W. Turner, H. van der Jeugd, L. van Schalkwyk, M. van Toor, P. Viljoen, M. E. Visser, T. Volkmer, A. Volkov, S. Volkov, O. Volkov, J. A. C. von Rönn, B. Vorneweg, B. Wachter, J. Waldenström, M. Wegmann, A. Wehr, R. Weinzierl, J. Wepler, D. Wilcove, T. Wild, H. J. Williams, J. Wilshire, J. Wingfield, M. Wunder, A. Yachmennikova, S. Yanco, E. Yohannes, A. Zeller, C. Ziegler, A. Zięcik, and C. Zook. 2022. Biological Earth observation with animal sensors. *Trends in Ecology & Evolution* 37:293–298.
- Johnson, C. n. 2009. Ecological consequences of Late Quaternary extinctions of megafauna. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 276:2509–2519.
- Johnson, F. A., M. Alhainen, A. D. Fox, J. Madsen, and M. Guillemain. 2018. Making do with less: must sparse data preclude informed harvest strategies for European waterbirds? *Ecological Applications* 28:427–441.
- Journal officiel de l'Union européenne. 2010. Directive 2009/147/CE du Parlement européen et du Conseil du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages.
- Jublin, M. 2021, February 18. Les chasseurs à l'offensive : lobby or not lobby ? *Alternatives Economiques*.
- Jung, T. S., R. Boonstra, and C. J. Krebs. 2020. Mark my words: experts' choice of marking methods used in capture-mark-recapture studies of small mammals. *Journal of Mammalogy* 101:307–317.
- Kadykalo, A. N., R. T. Buxton, P. Morrison, C. M. Anderson, H. Bickerton, C. M. Francis, A. C. Smith, and L. Fahrig. 2021. Bridging research and practice in conservation. *Conservation Biology* 35:1725–1737.
- Kays, R., S. C. Davidson, M. Berger, G. Bohrer, W. Fiedler, A. Flack, J. Hirt, C. Hahn, D. Gauggel, B. Russell, A. Kölzsch, A. Lohr, J. Partecke, M. Quetting, K. Safi, A. Scharf, G. Schneider, I. Lang, F. Schaeuffelhut, M. Landwehr, M. Storhas, L. van Schalkwyk, C. Vinciguerra, R. Weinzierl, and

- M. Wikelski. 2022. The Movebank system for studying global animal movement and demography. *Methods in Ecology and Evolution* 13:419–431.
- Kayser, Y. 2022. Suivi de la reproduction de la Glaréole à collier - année 2022. Page 24. Tour du Valat, Arles.
- Kayser, Y., and J. Champagnon. 2022. Glaréole à collier. Pages 386-387. Atlas des oiseaux migrateurs de France. Biotope, Mèze.
- Kayser, Y., M. Gauthier-Clerc, T. Blanchon, P. Vandewalle, S. Belfeld, J. Petit, R. Tiné, A. Flitti, and J. Champagnon. 2018. L'hivernage de la Grue cendrée *Grus grus* en Camargue: historique et statut récent. *Ornithos* 25:4–13.
- Kayser, Y., J. Walmsley, O. Pineau, and H. Hafner. 1994. Evolution récente des effectifs de Hérons cendrés (*Ardea cinerea*) et de Hérons pourprés (*Ardea purpurea*) nicheurs sur le littoral méditerranéen français. *Nos Oiseaux* 42:341–355.
- Kentie, R., R. Marquez-Ferrando, J. Figuerola, L. Gangoso, J. C. E. W. Hooijmeijer, A. H. J. Loonstra, F. Robin, M. Sarasa, N. Senner, H. Valkema, M. A. Verhoeven, and T. Piersma. 2017. Does wintering north or south of the Sahara correlate with timing and breeding performance in black-tailed godwits? *Ecology and Evolution* 7:2812–2820.
- Kéry, M., and M. Schaub. 2012. Bayesian population analysis using WinBUGS: a hierarchical perspective. 1st ed. Academic Press, Boston.
- Kinzig, A. P., C. Perrings, F. S. Chapin, S. Polasky, V. K. Smith, D. Tilman, and B. L. Turner. 2011. Paying for Ecosystem Services—Promise and Peril. *Science* 334:603–604.
- Klvaňová, A., P. Voříšek, R. D. Gregory, A. van Strien, and A. W. Gmelig Meyling. 2009. Wild birds as indicators in Europe: latest results from the Pan-European Common Bird Monitoring Scheme (PECBMS). *Avocetta* 33:7–12.
- Knight, A. T., R. M. Cowling, M. Rouget, A. Balmford, A. T. Lombard, and B. M. Campbell. 2008. Knowing But Not Doing: Selecting Priority Conservation Areas and the Research–Implementation Gap. *Conservation Biology* 22:610–617.

- Knox, W. M. 2011. The Antler Religion. *Wildlife Society Bulletin* 35:45–48.
- König, H. J., C. Kiffner, S. Kramer-Schadt, C. Fürst, O. Keuling, and A. T. Ford. 2020. Human–wildlife coexistence in a changing world. *Conservation Biology* 34:786–794.
- Koskimies, P. 1989. Birds as a tool in environmental monitoring. *Annales Zoologici Fennici* 26:153–166.
- Kuijken, E. 2006. A short history of waterbird conservation. Pages 52–59 in G. Boere, C. A. Galbraith, D. A. Stroud, and Scottish Natural Heritage (Agency), editors. *Waterbirds around the world: a global overview of the conservation, management and research of the world’s waterbird flyways*. The Stationery Office, Edinburgh.
- La Provence. 2019, July 31. Une convention pour protéger la glaréole à collier. La Provence. Mas Thibert.
- Lameris, T. K., G. J. D. M. Müskens, A. Kölzsch, A. M. Dokter, H. P. Van der Jeugd, and B. A. Nolet. 2018. Effects of harness-attached tracking devices on survival, migration, and reproduction in three species of migratory waterfowl. *Animal Biotelemetry* 6:7.
- Le canard colvert, un oiseau roi sans couronne. 2023, May 15. . Seasons.
- Le Saout, S., M. Hoffmann, Y. Shi, A. Hughes, C. Bernard, T. M. Brooks, B. Bertzky, S. H. M. Butchart, S. N. Stuart, T. Badman, and A. S. L. Rodrigues. 2013. Protected Areas and Effective Biodiversity Conservation. *Science* 342:803–805.
- Lebreton, J.-D. 2005. Dynamical and statistical models for exploited populations. *Australian & New Zealand Journal of Statistics* 47:49–63.
- Lebreton, J.-D., K. P. Burnham, J. Clobert, and D. R. Anderson. 1992. Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecol Monogr* 62:67–118.
- Leclère, D., M. Obersteiner, M. Barrett, S. H. M. Butchart, A. Chaudhary, A. De Palma, F. A. J. DeClerck, M. Di Marco, J. C. Doelman, M. Dürauer, R. Freeman, M. Harfoot, T. Hasegawa, S. Hellweg, J. P. Hilbers, S. L. L. Hill, F. Humpenöder, N. Jennings, T. Krisztin, G. M. Mace, H.

- Ohashi, A. Popp, A. Purvis, A. M. Schipper, A. Tabeau, H. Valin, H. van Meijl, W.-J. van Zeist, P. Visconti, R. Alkemade, R. Almond, G. Bunting, N. D. Burgess, S. E. Cornell, F. Di Fulvio, S. Ferrier, S. Fritz, S. Fujimori, M. Grooten, T. Harwood, P. Havlík, M. Herrero, A. J. Hoskins, M. Jung, T. Kram, H. Lotze-Campen, T. Matsui, C. Meyer, D. Nel, T. Newbold, G. Schmidt-Traub, E. Stehfest, B. B. N. Strassburg, D. P. van Vuuren, C. Ware, J. E. M. Watson, W. Wu, and L. Young. 2020. Bending the curve of terrestrial biodiversity needs an integrated strategy. *Nature*.
- Lefebvre, G., L. Redmond, C. Germain, E. Palazzi, S. Terzago, L. Willm, and B. Poulin. 2019. Predicting the vulnerability of seasonally-flooded wetlands to climate change across the Mediterranean Basin. *Science of The Total Environment* 692:546–555.
- LeFlore, M., D. Bunn, P. Sebastian, and J. K. Gaydos. 2022. Improving the probability that small-scale science will benefit conservation. *Conservation Science and Practice* 4:e571.
- Lehikoinen, A., K. Jaatinen, A. V. Vähätalo, P. Clausen, O. Crowe, B. Deceuninck, R. Hearn, C. A. Holt, M. Hornman, and V. Keller. 2013. Rapid climate driven shifts in wintering distributions of three common waterbird species. *Global change biology* 19:2071–2081.
- Liechti, F., S. Bauer, K. L. Dhanjal-Adams, T. Emmenegger, P. Zehtindjiev, and S. Hahn. 2018. Miniaturized multi-sensor loggers provide new insight into year-round flight behaviour of small trans-Saharan avian migrants. *Movement Ecology* 6:19.
- Lindberg, M. S. 2012. A review of designs for capture–mark–recapture studies in discrete time. *Journal of Ornithology* 152:355–370.
- Lindgren, M., D. M. Checkley, T. Rouyer, A. D. MacCall, and N. C. Stenseth. 2013. Climate, fishing, and fluctuations of sardine and anchovy in the California Current. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:13672–13677.
- Lluch-Cota, S. E. 2013. Modeling sardine and anchovy low-frequency variability. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110:13240–13241.

- Lok, T., M. van der Geest, R. A. Bom, P. de Goeij, T. Piersma, and W. Bouten. 2023. Prey ingestion rates revealed by back-mounted accelerometers in Eurasian spoonbills. *Animal Biotelemetry* 11:5.
- Lok, T., O. Overdijk, and T. Piersma. 2015. The cost of migration: spoonbills suffer higher mortality during trans-Saharan spring migrations only. *Biology Letters* 11:20140944.
- Lok, T., O. Overdijk, J. M. Tinbergen, and T. Piersma. 2011. The paradox of spoonbill migration: most birds travel to where survival rates are lowest. *Animal Behaviour* 82:837–844.
- Loonstra, A. H. J., M. A. Verhoeven, N. R. Senner, C. Both, and T. Piersma. 2019. Adverse wind conditions during northward Sahara crossings increase the in-flight mortality of Black-tailed Godwits. *Ecology Letters* 22:2060–2066.
- Lubchenco, J. 1998. Entering the century of the environment: a new social contract for science. *Science* 279:491–497.
- Mace, G. M. 2014. Whose conservation? *Science* 345:1558–1560.
- Madden, F. 2004. Creating Coexistence between Humans and Wildlife: Global Perspectives on Local Efforts to Address Human–Wildlife Conflict. *Human Dimensions of Wildlife* 9:247–257.
- Madsen, J., and A. D. Fox. 1995. Impacts of hunting disturbance on waterbirds— a review. *Wildlife Biology* 1:193–207.
- Marchowski, D. 2021. Drones, automatic counting tools, and artificial neural networks in wildlife population censusing. *Ecology and Evolution* 11:16214–16227.
- Marquet, M., H. Masclaux, J. Champagnon, and M.-C. Eybert. 2014. Sélection de l’habitat, biologie de la reproduction et estimation de la population chez la Gorgebleue à miroir blanc de Nantes *Luscinia svecica namnetum* dans les marais briérons. *Alauda* 82:177–192.
- Marshall, N., N. Adger, S. Attwood, K. Brown, C. Crissman, C. Cvitanovic, C. D. Young, M. Gooch, C. James, S. Jessen, D. Johnson, P. Marshall, S. Park, D. Wachenfeld, and D. Wrigley. 2017. Empirically derived guidance for social scientists to influence environmental policy. *PLOS ONE* 12:e0171950.

- Mathevet, R. 2000. Usages des zones humides camarguaises: enjeux et dynamique des interactions environnement-usagers-territoire. Université Lyon 3.
- Mathevet, R., and P. Marty. 2015. La géographie de la conservation: entrevoir, voir et porter attention à la biodiversité. Pour une géographie de la conservation. Biodiversités, natures et sociétés, Paris, L'Harmattan:35–62.
- May, R. M. 2004. Ethics and amphibians. *Nature* 431:403–403.
- Mazza, A. 2018, June. Accelerometer, machine learning, a method to determine behavioural time budget from Eurasian spoonbill (*Platalea leucorodia*). Master 1, University of Burgundy Franche-Comté – Master STS – ETEC - Behavioural Ecology and Wildlife Management.
- Meehan, T. D., N. L. Michel, and H. Rue. 2019. Spatial modeling of Audubon Christmas Bird Counts reveals fine-scale patterns and drivers of relative abundance trends. *Ecosphere* 10:e02707.
- Meine, C., M. Soulé, and R. F. Noss. 2006. “A mission-driven discipline”: the growth of conservation biology. *Conservation Biology* 20:631–651.
- Meissner, W., and S. Bzoma. 2011. Colour rings with individual numbers increase the number of ringing recoveries of small waders. *Wader Study Group Bulletin* 118:114–117.
- Mermet, L. 2020. Knowledge that is actionable by whom? Underlying models of organized action for conservation. *Environmental Science & Policy* 113:39–46.
- Mermet, L., and T. Leménager. 2015. Développement et biodiversité : comment négocier le tournant environnemental? AFD (Agence française de développement).
- Mihoub, J.-B., K. Henle, N. Titeux, L. Brotons, N. A. Brummitt, and D. S. Schmeller. 2017. Setting temporal baselines for biodiversity: the limits of available monitoring data for capturing the full impact of anthropogenic pressures. *Scientific Reports* 7:41591.
- Mills, J. A., C. Teplitsky, B. Arroyo, A. Charmantier, P. H. Becker, T. R. Birkhead, P. Bize, D. T. Blumstein, C. Bonenfant, S. Boutin, A. Bushuev, E. Cam, A. Cockburn, S. D. Côté, J. C. Coulson, F. Daunt, N. J. Dingemanse, B. Doligez, H. Drummond, R. H. M. Espie, M. Festa-Bianchet, F. Frentiu, J. W. Fitzpatrick, R. W. Furness, D. Garant, G. Gauthier, P. R. Grant, M. Griesser, L.

- Gustafsson, B. Hansson, M. P. Harris, F. Jiguet, P. Kjellander, E. Korpimäki, C. J. Krebs, L. Lens, J. D. C. Linnell, M. Low, A. McAdam, A. Margalida, J. Merilä, A. P. Møller, S. Nakagawa, J.-Å. Nilsson, I. C. T. Nisbet, A. J. van Noordwijk, D. Oro, T. Pärt, F. Pelletier, J. Potti, B. Pujol, D. Réale, R. F. Rockwell, Y. Ropert-Coudert, A. Roulin, J. S. Sedinger, J. E. Swenson, C. Thébaud, M. E. Visser, S. Wanless, D. F. Westneat, A. J. Wilson, and A. Zedrosser. 2015. Archiving Primary Data: Solutions for Long-Term Studies. *Trends in Ecology & Evolution* 30:581–589.
- Minteer, B. A., and J. P. Collins. 2005. Ecological Ethics: Building a New Tool Kit for Ecologists and Biodiversity Managers. *Conservation Biology* 19:1803–1812.
- Minteer, B. A., J. P. Collins, K. E. Love, and R. Puschendorf. 2014. Avoiding (Re)extinction. *Science* 344:260–261.
- Mitchell, S. A. 2013. The status of wetlands, threats and the predicted effect of global climate change: the situation in Sub-Saharan Africa. *Aquatic Sciences* 75:95–112.
- Mizrahy-Rewald, O., N. Winkler, F. Amann, K. Neugebauer, B. Voelkl, H. A. Grogger, T. Ruf, and J. Fritz. 2023. The impact of shape and attachment position of biologging devices in Northern Bald Ibises. *Animal Biotelemetry* 11:8.
- Mouquet, N., Y. Lagadeuc, V. Devictor, L. Doyen, A. Duputié, D. Eveillard, D. Faure, E. Garnier, O. Gimenez, P. Huneman, F. Jabot, P. Jarne, D. Joly, R. Julliard, S. Kéfi, G. J. Kergoat, S. Lavorel, L. Le Gall, L. Meslin, S. Morand, X. Morin, H. Morlon, G. Pinay, R. Pradel, F. M. Schurr, W. Thuiller, and M. Loreau. 2015. Predictive ecology in a changing world. *Journal of Applied Ecology* 52:1293–1310.
- Mouronval, J.-B., A.-L. Brochet, P. Aubry, and M. Guillemain. 2014. Les anatidés hivernant en Camargue se nourrissent-ils dans les marais aménagés pour la chasse ? *Faune Sauvage* 303:14–21.
- Muñoz-Fuentes, V., C. Vilà, A. J. Green, J. J. Negro, and M. D. Sorenson. 2007. Hybridization between white-headed ducks and introduced ruddy ducks in Spain. *Mol Ecol* 16:629–638.

- Munster, V. J., C. Baas, P. Lexmond, J. Waldenström, A. Wallensten, T. Fransson, G. F. Rimmelzwaan, W. E. P. Beyer, M. Schutten, B. Olsen, A. D. M. E. Osterhaus, and R. A. M. Fouchier. 2007. Spatial, Temporal, and Species Variation in Prevalence of Influenza A Viruses in Wild Migratory Birds. *PLoS Pathogens* 3:e61.
- Musilová, Z., P. Musil, J. Zouhar, M. Adam, and V. Bejček. 2018. Importance of Natura 2000 sites for wintering waterbirds: Low preference, species' distribution changes and carrying capacity of Natura 2000 could fail to protect the species. *Biological Conservation* 228:79–88.
- Nandintsetseg, D., C. Bracis, K. A. Olson, K. Böhning-Gaese, J. M. Calabrese, B. Chimeddorj, W. F. Fagan, C. H. Fleming, M. Heiner, P. Kaczensky, P. Leimgruber, D. Munkhnast, T. Stratmann, and T. Mueller. 2019. Challenges in the conservation of wide-ranging nomadic species. *Journal of Applied Ecology* 56:1916–1926.
- Neate-Clegg, M. H. C., J. J. Horns, F. R. Adler, M. Ç. Kemahlı Aytekin, and Ç. H. Şekercioğlu. 2020. Monitoring the world's bird populations with community science data. *Biological Conservation* 248:108653.
- Nevoux, M., J.-C. Barbraud, and C. Barbraud. 2008. Nonlinear impact of climate on survival in a migratory white stork population. *Journal of Animal Ecology* 77:1143–1152.
- Newson, S. E., K. L. Evans, D. G. Noble, J. J. D. Greenwood, and K. J. Gaston. 2008. Use of distance sampling to improve estimates of national population sizes for common and widespread breeding birds in the UK. *Journal of Applied Ecology* 45:1330–1338.
- Nichols, J. D. 2017. The evolution of the wildlife profession. What would Leopold think? *The Wildlife Professional*:55–58.
- Nichols, J. D. 2019. Confronting uncertainty: Contributions of the wildlife profession to the broader scientific community. *The Journal of Wildlife Management* 83:519–533.
- Nichols, J. D., F. A. Johnson, and B. K. Williams. 1995. Managing North American Waterfowl in the Face of Uncertainty. *Annual Review of Ecology and Systematics* 26:177–199.

- Nichols, J. D., and B. K. Williams. 2006. Monitoring for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 21:668–673.
- Oldfield, S. 2003. *The trade in wildlife: regulation for conservation*. Routledge.
- Orellana-Macías, J., L. Bautista, D. Merchán, J. Causapé, and J. C. Alonso. 2020. Shifts in crane migration phenology associated with climate change in southwestern Europe. *Avian Conservation and Ecology* 15.
- Osmond, D. L., N. M. Nadkarni, C. T. Driscoll, E. Andrews, A. J. Gold, S. R. B. Allred, A. R. Berkowitz, M. W. Klemens, T. L. Loecke, M. A. McGarry, K. Schwarz, M. L. Washington, and P. M. Groffman. 2010. The role of interface organizations in science communication and understanding. *Frontiers in Ecology and the Environment* 8:306–313.
- Paillisson, J.-M., S. Reeber, and L. Marion. 2002. Bird assemblages as bio-indicators of water regime management and hunting disturbance in natural wet grasslands. *Biological Conservation* 106:115–127.
- Pauly, D. 1995. Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends in Ecology & Evolution* 10:430.
- Pavón-Jordán, D., W. Abdou, H. Azafzaf, M. Balaž, T. Bino, J. J. Borg, L. Božič, S. H. M. Butchart, P. Clausen, L. Sniuksta, M. Dakki, K. Devos, C. Domsa, V. Encarnaçao, K. Etayeb, S. Faragó, A. D. Fox, T. Frost, C. Gaudard, V. Georgiev, I. Goratze, M. Hornman, V. Keller, V. Kostiusyn, T. Langendoen, Ł. Ławicki, C. Ieronymidou, L. J. Lewis, S.-H. Lorentsen, L. Luigujoe, W. Meissner, T. Mikuska, B. Molina, P. Musil, Z. Musilova, S. Nagy, V. Natykanets, L. Nilsson, J.-Y. Paquet, D. Portolou, J. Ridzon, A. Santangeli, S. Sayoud, M. Šćiban, A. Stipniece, N. Teufelbauer, G. Topić, D. Uzunova, A. Vizi, J. Wahl, K. E. Yavuz, M. Zenatello, and A. Lehikoinen. 2020. Positive impacts of important bird and biodiversity areas on wintering waterbirds under changing temperatures throughout Europe and North Africa. *Biological Conservation* 246:108549.
- Pavón-Jordán, D., P. Clausen, M. Dagys, K. Devos, V. Encarnaçao, A. D. Fox, T. Frost, C. Gaudard, M. Hornman, V. Keller, T. Langendoen, Ł. Ławicki, L. J. Lewis, S.-H. Lorentsen, L. Luigujoe, W.

- Meissner, B. Molina, P. Musil, Z. Musilova, L. Nilsson, J.-Y. Paquet, J. Ridzon, A. Stipniece, N. Teufelbauer, J. Wahl, M. Zenatello, and A. Lehikoinen. 2019. Habitat- and species-mediated short- and long-term distributional changes in waterbird abundance linked to variation in European winter weather. *Diversity and Distributions* 25:225–239.
- Pearce, D. 2007. Do we really care about Biodiversity? *Environmental and Resource Economics* 37:313–333.
- Pernollet, C. A., D. Simpson, M. Gauthier-Clerc, and M. Guillemain. 2015. Rice and duck, a good combination? Identifying the incentives and triggers for joint rice farming and wild duck conservation. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 214:118–132.
- Pescott, O. L., and G. B. Stewart. 2014. Assessing the impact of human trampling on vegetation: a systematic review and meta-analysis of experimental evidence. *PeerJ* 2:e360.
- Peterson, M. N., J. L. Birckhead, K. Leong, M. J. Peterson, and T. R. Peterson. 2010. Rearticulating the myth of human–wildlife conflict. *Conservation Letters* 3:74–82.
- Pichler, M., and F. Hartig. 2022. Machine learning and deep learning—A review for ecologists. *Methods in Ecology and Evolution* n/a.
- Pimm, S. L., S. Alibhai, R. Bergl, A. Dehgan, C. Giri, Z. Jewell, L. Joppa, R. Kays, and S. Loarie. 2015. Emerging technologies to conserve biodiversity. *Trends in ecology & evolution* 30:685–696.
- Popoff, N., E. Gaget, A. Béchet, L. Dami, P. D. du Rau, I. Geijzendorffer, A. Guelmami, J.-Y. Mondain-Monval, C. Perennou, M. Suet, F. Verniest, C. Deschamps, N. G. Taylor, H. Azafaf, N. Bendjedda, T. Bino, J. J. Borg, L. Božič, M. Dakki, V. Encarnaçãõ, K. Erciyas-Yavuz, K. Etayeb, C. Gaudard, O. Hatzofe, T. Langendoen, C. Ieronymidou, T. Mikuska, B. Molina, N. Petkov, D. Portolou, T. Qaneer, S. Sayoud, M. Šćiban, G. Topić, D. Uzunova, G. Vine, A. Vizi, M. Zenatello, W. Abdou, and T. Galewski. 2021. Gap analysis of the Ramsar site network at 50: over 150 important Mediterranean sites for wintering waterbirds omitted. *Biodiversity and Conservation*.

- Portaccio, A., T. Campagnaro, and T. Sitzia. 2023. Birds and Natura 2000: a review of the scientific literature. *Bird Conservation International* 33:e20.
- Poulin, B., G. Lefebvre, and A. J. Crivelli. 2007. The invasive red swamp crayfish as a predictor of Eurasian bittern density in the Camargue, France. *Journal of Zoology* 273:98–105.
- Poulin, B., G. Lefebvre, and A. Mauchamp. 2002. Habitat requirements of passerines and reedbed management in southern France. *Biological Conservation* 107:315–325.
- Pullin, A. S., T. M. Knight, D. A. Stone, and K. Charman. 2004. Do conservation managers use scientific evidence to support their decision-making? *Biological Conservation* 119:245–252.
- Quaintenne, G., A. Béchet, M. Benmergui, H. Bergère, J.-J. Boutteaux, B. Cadiou, P. Camberlein, J. Champagnon, F. Chapalain, V. Couanon, F. Croset, E. Csabai, G. Debout, P. J. Dubois, S. Duchateau, G. Faggio, A. Flitti, F. Gallien, N. Gendre, S. Havet, S. Henriquet, Y. Jacob, Y. Kayser, E. Kobierzycki, S. Laplaca, A. Le Nevé, L. Marion, E. Marlé, D. Michelat, R. Nadal, P. Pilard, C. Pin, C. Poirel, C. Ponchon, P. Provost, R. Purenne, M. Rabourdin, B. Recorbet, D. Rey, J.-G. Robin, O. Scher, J.-F. Seguin, A. Tableau, C. Tessier, P. Triplet, J. Trotignon, and N. Vissyrias. 2022. Les oiseaux nicheurs rares et menacés en France en 2020. *Ornithos* 25:73–111.
- Redford, K. H., and B. D. Richter. 1999. Conservation of biodiversity in a world of use. *Conservation Biology* 13:1246–1256.
- Redpath, S. M., A. Keane, H. Andrén, Z. Baynham-Herd, N. Bunnefeld, A. B. Duthie, J. Frank, C. A. Garcia, J. Månsson, L. Nilsson, C. R. J. Pollard, O. S. Rakotonarivo, C. F. Salk, and H. Travers. 2018. Games as tools to address conservation conflicts. *Trends in Ecology & Evolution* 33:415–426.
- Reimann, L., A. T. Vafeidis, S. Brown, J. Hinkel, and R. S. J. Tol. 2018. Mediterranean UNESCO World Heritage at risk from coastal flooding and erosion due to sea-level rise. *Nature Communications* 9:4161.

- Robert, A., C. Thévenin, K. Princé, F. Sarrazin, and J. Clavel. 2017. De-extinction and evolution. *Functional Ecology* 31:1021–1031.
- Robertson, P. A., T. Adriaens, A. Caizergues, P. A. Cranswick, K. Devos, C. Gutiérrez-Expósito, I. Henderson, B. Hughes, A. C. Mill, and G. C. Smith. 2015. Towards the European eradication of the North American ruddy duck. *Biological Invasions* 17:9–12.
- Robinson, J. G. 2006. Conservation biology and real-world conservation. *Conservation Biology* 20:658–669.
- Rodrigues, A. S. L., S. Monsarrat, A. Charpentier, T. M. Brooks, M. Hoffmann, R. Reeves, M. L. D. Palomares, and S. T. Turvey. 2019. Unshifting the baseline: a framework for documenting historical population changes and assessing long-term anthropogenic impacts. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374:20190220.
- Rodrigues, D. J. C., A. M. D. Fabião, and M. E. M. A. Figueiredo. 2001. The use of nasal markers for monitoring Mallard populations. Pages 316–318 *in* R. Field, R. J. Waren, H. Okarma, and P. R. Sievet, editors. *Wildlife, Land, and People: Priorities for the 21st Century*. Proceedings of the Second International Wildlife Management Congress, The Wildlife Society.
- Romero, L. M., and R. C. Romero. 2002. Corticosterone Responses in Wild Birds: The Importance of Rapid Initial Sampling. *The Condor* 104:129–135.
- Roques, S. 2022, April 5. Des modèles de capture-recapture « multi-stratégies », le cas des différentes stratégies migratoires du Flamant rose en Camargue. Oral, Montpellier.
- Rose, D. C., W. J. Sutherland, T. Amano, J. P. González-Varo, R. J. Robertson, B. I. Simmons, H. S. Wauchope, E. Kovacs, A. P. Durán, and A. B. Vadrot. 2018. The major barriers to evidence-informed conservation policy and possible solutions. *Conservation Letters* 11:e12564.
- Royle, J. A. 2004. N-mixture models for estimating population size from spatially replicated counts. *Biometrics* 60:108–115.
- Ruckelshaus, M. H., S. T. Jackson, H. A. Mooney, K. L. Jacobs, K.-A. S. Kassam, M. T. K. Arroyo, A. Báldi, A. M. Bartuska, J. Boyd, L. N. Joppa, A. Kovács-Hostyánszki, J. P. Parsons, R. J. Scholes, J. F.

- Shogren, and Z. Ouyang. 2020. The IPBES Global Assessment: Pathways to Action. *Trends in Ecology & Evolution* 35:407–414.
- Runge, C., and A. I. T. Tulloch. 2018. Solving problems of conservation inadequacy for nomadic birds. *Australian Zoologist* 39:280–295.
- Runge, M. C. 2011. An Introduction to Adaptive Management for Threatened and Endangered Species. *Journal of Fish and Wildlife Management* 2:220–233.
- Russell, B. 2018. Manifest Russell-Einstein. *Eines per a l'esquerra nacional*:116–119.
- Sagan, C., O. B. Toon, and J. B. Pollack. 1979. Anthropogenic Albedo Changes and the Earth's Climate. *Science* 206:1363–1368.
- Sainteny, G., J.-M. Salles, P. Duboucher, G. Ducos, V. Marcus, E. Paul, D. Auverlot, and J. L. Pujaol. 2011. Les aides publiques dommageables à la biodiversité. Centre d'analyse stratégique, Paris.
- Sanchez, E., M. Gauthier-Clerc, and P. Vandewalle. 2009. Un compteur averti en vaut deux: Se fier aux comptages pour établir des stratégies conservatoires? *Espaces naturels*:24–25.
- Sanderson, E. W. 2006. How many animals do we want to save? The many ways of setting population target levels for conservation. *BioScience* 56:911–922.
- Sanderson, F. J., P. F. Donald, D. J. Pain, I. J. Burfield, and F. P. J. van Bommel. 2006. Long-term population declines in Afro-Palearctic migrant birds. *Biological Conservation* 131:93–105.
- Santangeli, A., Y. Chen, E. Klun, R. Chirumamilla, J. Tiainen, and J. Loehr. 2020. Integrating drone-borne thermal imaging with artificial intelligence to locate bird nests on agricultural land. *Scientific Reports* 10:10993.
- Santoro, S., J. Champagnon, S. P. Kharitonov, L. Zwarts, H. Dieter, M. Mañez, B. Samraoui, R. Nedjah, S. Volponi, and S. Cano-Alonso. 2019. Long-distance Dispersal of the Afro-Eurasian Glossy Ibis From Ring Recoveries. *SIS Conservation* 1:139–146.

- Sanz-Aguilar, A., A. Béchet, C. Germain, A. R. Johnson, and R. Pradel. 2012. To leave or not to leave: survival trade-offs between different migratory strategies in the greater flamingo. *Journal of Animal Ecology* 81:1171–1182.
- Saraux, C., C. Le Bohec, J. M. Durant, V. A. Viblanc, M. Gauthier-Clerc, D. Beaune, Y.-H. Park, N. G. Yoccoz, N. C. Stenseth, and Y. Le Maho. 2011. Reliability of flipper-banded penguins as indicators of climate change. *Nature* 469:203–206.
- Sarrazin, F., and J. Lecomte. 2016. Evolution in the Anthropocene. *Science* 351:922–923.
- Sauer, J. R., W. A. Link, and J. E. Hines. 2022. The North American Breeding Bird Survey, Analysis Results 1966 - 2021. U.S. Geological Survey.
- Saunders, D. L., J. J. Meeuwig, and A. C. J. Vincent. 2002. Freshwater Protected Areas: Strategies for Conservation. *Conservation Biology* 16:30–41.
- Schaub, M., and F. Abadi. 2011. Integrated population models: a novel analysis framework for deeper insights into population dynamics. *Journal of Ornithology* 152:227–237.
- Schlicht, E., and B. Kempenaers. 2018. The Immediate Impact of Ringing, Blood Sampling and PIT-Tag Implanting on the Behaviour of Blue Tits *Cyanistes caeruleus*. *Ardea* 106:39–98.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity. 2001. Handbook of the Convention on Biological Diversity. Earthscan.
- Sheldon, R., N. Mikander, and J. Fernández Orueta. 2018. International Single Species Action Plan for the Conservation of the White-headed Duck (*Oxyura leucocephala*). 1st revision. CMS Technical series. AEW Technical series.
- Silvertown, J. 2009. A new dawn for citizen science. *Trends in Ecology & Evolution* 24:467–471.
- Smith, F. A., R. E. Elliott Smith, S. K. Lyons, and J. L. Payne. 2018. Body size downgrading of mammals over the late Quaternary. *Science* 360:310–313.
- Smokorowski, K. E., and R. G. Randall. 2017. Cautions on using the Before-After-Control-Impact design in environmental effects monitoring programs. *FACETS* 2:212–232.

- Söderquist, P., J. Elmberg, G. Gunnarsson, C.-G. Thulin, J. Champagnon, M. Guillemain, J. Kreisinger, H. H. T. Prins, R. P. M. A. Crooijmans, and R. H. S. Kraus. 2017. Admixture between released and wild game birds: a changing genetic landscape in European mallards (*Anas platyrhynchos*). *European Journal of Wildlife Research* 63.
- Sodhi, N. S., and P. R. Ehrlich, editors. 2010. *Conservation biology for all*. Oxford University Press, Oxford ; New York.
- Soulé, M. E. 1986. *Conservation biology: the science of scarcity and diversity*.
- Soule, M. E., and B. Wilcox. 1980. *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective*. Reissue edition. Sinauer Associates Inc, Sunderland, Mass.
- Soulsbury, C. D., H. E. Gray, L. M. Smith, V. Braithwaite, S. C. Cotter, R. W. Elwood, A. Wilkinson, and L. M. Collins. 2020. The welfare and ethics of research involving wild animals: A primer. *Methods in Ecology and Evolution* 11:1164–1181.
- Spotswood, E. N., K. R. Goodman, J. Carlisle, R. L. Cormier, D. L. Humple, J. Rousseau, S. L. Guers, and G. G. Barton. 2012. How safe is mist netting? evaluating the risk of injury and mortality to birds: How safe is mist netting? *Methods in Ecology and Evolution* 3:29–38.
- Stroud, D. A., J. Madsen, and A. D. Fox. 2017. Key actions towards the sustainable management of European geese. *Ambio* 46:328–338.
- Sutherland, W. J. 2008. *The conservation handbook: research, management and policy*. John Wiley & Sons.
- Sutherland, W. J., A. S. Pullin, P. M. Dolman, and T. M. Knight. 2004. The need for evidence-based conservation. *Trends in ecology & evolution* 19:305–308.
- Sutherland, W. J., N. G. Taylor, D. MacFarlane, T. Amano, A. P. Christie, L. V. Dicks, A. J. Lemasson, N. A. Littlewood, P. A. Martin, and N. Ockendon. 2019. Building a tool to overcome barriers in research-implementation spaces: The Conservation Evidence database. *Biological Conservation* 238:108199.

- Swanson, S. S., and N. M. Ardoin. 2021. Communities behind the lens: A review and critical analysis of Visual Participatory Methods in biodiversity conservation. *Biological Conservation* 262:109293.
- Tamisier, A., and O. Dehorter. 1999. *Camargue, canards et foulques*. Centre Ornithologique du Gard, Nîmes.
- Tavecchia, G., D. Oro, A. Sanz-Aguilar, and A. Béchet. 2017. The multidimensional value of long-term individual-based studies: more than lots of data. *Avocetta* 41:19–21.
- Taylor, J. K. D., R. D. Kenney, D. J. LeRoi, and S. D. Kraus. 2014. Automated Vertical Photography for Detecting Pelagic Species in Multitaxon Aerial Surveys. *Marine Technology Society Journal* 48:36–48.
- Taylor, N. G., P. Grillas, R. Smith, and W. Sutherland. 2021. Marsh and swamp conservation – Global evidence for the effects of interventions to conserve marsh and swamp vegetation. Conservation Evidence synopses. University of Cambridge, Cambridge, UK,.
- Taylor, N. G., P. Grillas, and W. J. Sutherland. 2018. Peatland conservation. What works in conservation:329–392.
- Teitelbaum, C. S., and T. Mueller. 2019. Beyond Migration: Causes and Consequences of Nomadic Animal Movements. *Trends in Ecology & Evolution* 34:569–581.
- Thompson, T. 2021. Scientist Rebellion: researchers join protesters at COP26. *Nature* 599:357–357.
- Thomson, D. L., M. J. Conroy, D. R. Anderson, K. P. Burnham, E. G. Cooch, C. M. Francis, J.-D. Lebreton, M. S. Lindberg, B. J. T. Morgan, D. L. Otis, and G. C. White. 2009. Standardising terminology and notation for the analysis of demographic processes in marked populations. Pages 1099–1106 *in* D. L. Thomson, E. G. Cooch, and M. J. Conroy, editors. *Environmental and Ecological Statistics*. Springer US.
- Toomey, A. H., A. T. Knight, and J. Barlow. 2017. Navigating the Space between Research and Implementation in Conservation. *Conservation Letters* 10:619–625.

- Tour du Valat. 2018. Mediterranean Wetlands Outlook 2: Solutions for sustainable Mediterranean Wetlands. Arles, France.
- Tour du Valat. 2021, January 1. Réunion annuelle des chasseurs, gestionnaires d'espaces naturels et partenaires scientifiques de Camargue.
- Tour du Valat. 2023, February 23. Résultat du comptage 2023 des Grues cendrées en Camargue.
- Trierweiler, C., W. C. Mullié, R. H. Drent, K.-M. Exo, J. Komdeur, F. Bairlein, A. Harouna, M. de Bakker, and B. J. Koks. 2013. A Palaearctic migratory raptor species tracks shifting prey availability within its wintering range in the Sahel. *Journal of Animal Ecology* 82:107–120.
- Triplet, P., O. Overdijk, M. Smart, S. Nagy, M. Schneider-Jacoby, E. S. Karauz, C. Pigniczki, S. B. El Din, J. Kralj, A. Sandor, and J. Navedo. 2008. International single species action plan for the conservation of the Eurasian Spoonbill *Platalea leucorodia*. AEWA Technical series 35.
- Trotignon, J. 2022. Dénombrements des Butors étoilés *Botaurus stellaris* mâles chanteurs en France en 2021. *Ornithos* 29:1–19.
- Vallecillo, D. 2021. Modélisation de la répartition spatio-temporelle des oiseaux d'eau en Camargue - un outil pour la gestion. Thèse de Doctorat d'État, en Écologie et Biodiversité, Montpellier, Montpellier.
- Vallecillo, D., P. Defos du Rau, A. Olivier, J. Champagnon, M. Guillemain, N. Croce, G. Massez, J. Petit, N. Beck, and Y. Mondain-Monval. 2019. Expériences cynégétiques innovantes en Camargue : des pistes pour la chasse au gibier d'eau de demain? *Faune Sauvage* 323:33–39.
- Vallecillo, D., M. Gauthier-Clerc, M. Guillemain, M. Vittecoq, P. Vandewalle, B. Roche, and J. Champagnon. 2021. Reliability of animal counts and implications for the interpretation of trends. *Ecology and Evolution* 11:2249–2260.
- Vallecillo, D., M. Guillemain, M. Authier, C. Bouchard, D. Cohez, E. Vialet, G. Massez, P. Vandewalle, and J. Champagnon. 2022. Accounting for detection probability with overestimation by integrating double monitoring programs over 40 years. *PLoS ONE* 17:e0265730.

- Vallecillo, D., M. Guillemain, C. Bouchard, S. Roques, and J. Champagnon. in press. Influence of changes in local environmental variables on the distribution and abundance dynamics of wintering Teal *Anas crecca*. *Biodiversity and Conservation*.
- Van Strien, A., J. Pannekoek, W. Hagemeyer, and T. Verstrael. 2004. A loglinear Poisson regression method to analyse bird monitoring data. *Bird Census news*:33–39.
- Vickery, J. A., S. R. Ewing, K. W. Smith, D. J. Pain, F. Bairlein, J. Škorpilová, and R. D. Gregory. 2014. The decline of Afro-Palaeartic migrants and an assessment of potential causes. *Ibis* 156:1–22.
- Vidal-Mateo, J., U. Mellone, P. López-López, J. D. La Puente, C. García-Ripollés, A. Bermejo, and V. Urios. 2016. Wind effects on the migration routes of trans-Saharan soaring raptors: geographical, seasonal, and interspecific variation. *Current Zoology* 62:89–97.
- Vraiment Nature : les vols de grues cendrées à observer dans le ciel vaclusien à cette saison. 2020, November 29. .
- Vucetich, J. A., and M. P. Nelson. 2007. What are 60 warblers worth? Killing in the name of conservation. *Oikos* 116:1267–1278.
- Walker, M., P. Gibbard, and J. Lowe. 2015. Comment on “When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary is stratigraphically optimal” by Jan Zalasiewicz et al. (2015), *Quaternary International*, 383, 196–203. *Quaternary International* 383:204–207.
- Wasse, G., and J. Champagnon. 2018, July 25. La Spatule blanche, une espèce emblématique des zones humides méditerranéennes.
- Wasse, G., and J. Champagnon. 2019a, March 19. Conservation des pélicans blancs et frisés. <https://tourduvalat.org/actions/conservation-des-pelicans-blancs-et-frises/>.
- Wasse, G., and J. Champagnon. 2019b, July 15. Interrogations sur le Comité d’experts sur la gestion adaptative des espèces.
- Wasse, G., and J. Champagnon. 2019c, November 12. Effet des opérations de baguage dans une colonie mixte d’oiseaux d’eau.

- Wauchope, H., T. Amano, W. Sutherland, and A. Johnston. 2019. When can we trust population trends? A method for quantifying the effects of sampling interval and duration. *Methods in Ecology and Evolution*:2041–210X.13302.
- Wearn, O. R., and P. Glover-Kapfer. 2019. Snap happy: camera traps are an effective sampling tool when compared with alternative methods. *Royal Society Open Science* 6:181748.
- Wilkinson, C. E. 2023. Public interest in individual study animals can bolster wildlife conservation. *Nature Ecology & Evolution*.
- Williams, B. K., J. D. Nichols, and M. J. Conroy. 2002. Chapter 25: Management of the sport harvest of North American waterfowl. Pages 663–684 *Analysis and management of animal populations: modeling, estimation, and decision making*. Academic Press.
- Williams, D. R., A. Balmford, and D. S. Wilcove. 2020a. The past and future role of conservation science in saving biodiversity. *Conservation Letters* 13:e12720.
- Williams, H. J., L. A. Taylor, S. Benhamou, A. I. Bijleveld, T. A. Clay, S. de Grissac, U. Demšar, H. M. English, N. Franconi, A. Gómez-Laich, R. C. Griffiths, W. P. Kay, J. M. Morales, J. R. Potts, K. F. Rogerson, C. Rutz, A. Spelt, A. M. Trevaill, R. P. Wilson, and L. Börger. 2020b. Optimizing the use of biologgers for movement ecology research. *Journal of Animal Ecology* 89:186–206.
- Wilson, K. A., J. Carwardine, and H. P. Possingham. 2009. Setting Conservation Priorities. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1162:237–264.
- Wilson, R. P., L. Börger, M. D. Holton, D. M. Scantlebury, A. Gómez-Laich, F. Quintana, F. Rosell, P. M. Graf, H. Williams, R. Gunner, L. Hopkins, N. Marks, N. R. Geraldi, C. M. Duarte, R. Scott, M. S. Strano, H. Robotka, C. Eizaguirre, A. Fahlman, and E. L. C. Shepard. 2020. Estimates for energy expenditure in free-living animals using acceleration proxies: A reappraisal. *Journal of Animal Ecology* 89:161–172.
- Wilson, R. P., and C. R. McMahon. 2006. Measuring devices on wild animals: what constitutes acceptable practice? *Frontiers in Ecology and the Environment* 4:147–154.

- Woinarski, J. C. Z., P. J. Whitehead, D. Bowman, and J. Russell-Smith. 1992. Conservation of mobile species in a variable environment: the problem of reserve design in the Northern Territory, Australia. *Global Ecology and Biogeography Letters*:1–10.
- Wolff, C., A. T. Vafeidis, S. Muis, D. Lincke, A. Satta, P. Lionello, J. A. Jimenez, D. Conte, and J. Hinkel. 2018. A Mediterranean coastal database for assessing the impacts of sea-level rise and associated hazards. *Scientific Data* 5:180044.
- Wood, H. B. 1945. The History of Bird Banding. *The Auk* 62:256–265.
- Wurtsbaugh, W. A., C. Miller, S. E. Null, R. J. DeRose, P. Wilcock, M. Hahnenberger, F. Howe, and J. Moore. 2017. Decline of the world's saline lakes. *Nature Geoscience* 10:816–821.
- Young, J. C., K. A. Waylen, S. Sarkki, S. Albon, I. Bainbridge, E. Balian, J. Davidson, D. Edwards, R. Fairley, and C. Margerison. 2014. Improving the science-policy dialogue to meet the challenges of biodiversity conservation: having conversations rather than talking at one-another. *Biodiversity and Conservation* 23:387–404.
- Young, K. D., and R. J. Van Aarde. 2011. Science and elephant management decisions in South Africa. *Biological Conservation* 144:876–885.
- Zalasiewicz, J., C. N. Waters, M. Williams, A. D. Barnosky, A. Cearreta, P. Crutzen, E. Ellis, M. A. Ellis, I. J. Fairchild, J. Grinevald, P. K. Haff, I. Hajdas, R. Leinfelder, J. McNeill, E. O. Odada, C. Poirier, D. Richter, W. Steffen, C. Summerhayes, J. P. M. Syvitski, D. Vidas, M. Wagnreich, S. L. Wing, A. P. Wolfe, Z. An, and N. Oreskes. 2015. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International* 383:196–203.
- Zipkin, E. F., and S. P. Saunders. 2018. Synthesizing multiple data types for biological conservation using integrated population models. *Biological Conservation* 217:240–250.
- Zurell, D., C. H. Graham, L. Gallien, W. Thuiller, and N. E. Zimmermann. 2018. Long-distance migratory birds threatened by multiple independent risks from global change. *Nature Climate Change*:1.

Zwarts, Â. L., R. Bijlsma, J. van der Kamp, and E. Wymenga. 2010. Living on the Edge: Wetlands and Birds in a Changing Sahel. KNNV Uitgeverij, Zeist.