Master 1 PNB : Patrimoine Naturel et Biodiversité

-Année 2019/2020-

RAPPORT DE STAGE – avril-juin 2020

Soutenu le 25/06/2020

Justine COSTA



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

Maître de stage : Jocelyn Champagnon

Référent Universitaire : Alexandre Carpentier

Structure d'Accueil : Tour du Valat / Syndicat Mixte de Camargue Gardoise

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Jocelyn Champagnon pour m'avoir acceptée en stage à la Tour du Valat, mais aussi pour son investissement, sa disponibilité et sa bonne humeur tout le long de ce stage, malgré les conditions particulières.

Merci à Jérémiah Petit et au Syndicat Mixte pour la protection et gestion de la Camargue gardoise d'avoir accepté ce stage en double encadrement.

Je remercie aussi Oscar Sánchez-Macouzet pour son aide et ses conseils dans mes traitements statistiques.

Enfin, j'adresse mes remerciements à toutes les personnes qui ont participé à la récolte des données telles que Thomas Blanchon, Irene Badone, Lisa Gili et Thomas Skinner, et de manière générale, un grand merci aux personnes ayant participé aux opérations de baguage et qui ont contribué à la récolte des données utilisées dans ce rapport.

Sommaire

1. Introduction 1
2. Matériel et Méthodes 3
   2.1. Site d'étude 3
   2.2. Estimation du nombre de poussins par nid 3
   2.3. Protocole de suivi des nids 4
   2.4. Variables environnementales 4
   2.5. Traitements statistiques 5
3. Résultats 7
   3.1. Comparaison de méthodes 7
   3.2. Évaluation des conditions météorologiques 8
4. Discussion 11
   4.1. Comparaison de méthodes 11
   4.2. Évaluation des conditions météorologiques 12
Bibliographie 16
Résumé 19

1. Introduction

La reproduction en colonie est le second type d'organisation sociale le plus commun chez les oiseaux après la territorialité. Elle se définit par une reproduction regroupée d'un grand nombre d'individus d'une ou plusieurs espèces sur une aire restreinte. Ce mode de reproduction apporte un avantage certain aux oiseaux qui y nichent, en provoquant notamment un effet de dilution face aux prédateurs, et en rendant la recherche de nourriture plus efficace. Cependant, cette organisation présente aussi quelques inconvénients tels que la transmission de parasites facilitée par la proximité des individus, ainsi que la mise en place d'une compétition intra et interspécifique pour le choix du lieu d'installation des nids (Brown & Brown, 2001).

Évaluer le succès reproducteur des oiseaux est indispensable pour comprendre et expliquer les mécanismes de dynamique des populations, et ainsi améliorer les mesures de conservation des espèces. Cependant le succès reproducteur est un terme vaste et chaque étude l'évalue par différentes approches. Bertram en 2000 s'est intéressé à cette question et a évalué différentes estimations du succès reproducteur à partir de données fictives, afin de comparer ces méthodes. Il a ainsi confronté le nombre d'œufs produits, le succès des œufs ou des nids, le succès reproducteur annuel des femelles en termes de nombre de couvées ayant produit des jeunes ou bien le nombre de jeunes élevé avec succès. Les résultats n'ont montré aucune corrélation entre ces variables. Ainsi, il est important d'avoir une bonne estimation du succès reproducteur pour déceler les paramètres qui peuvent l'influencer, telles que les variables climatiques par exemple.

Dans un contexte de changements climatiques globaux, il est encore peu connu de l'impact que pourraient avoir l'augmentation globale des températures et des fréquences de fortes pluies (Stocker *et al.*, 2013) sur la survie des jeunes oisillons. En effet, la période entre l'éclosion et l'envol représente une période physiologiquement exigeante et critique chez les jeunes de première année (Ricklefs, 1969), les oisillons n'étant pas capables de réguler leur température corporelle les premiers jours suivant l'éclosion (Romijn, 1954). Une récente étude parue en avril 2020, a évalué l'impact des températures et des précipitations sur le taux de survie des poussins de Mésange charbonnière (*Parus major*) en Australie. L'étude a montré que les précipitations expliquent la majeure partie de la variation de la survie globale du nid, en réduisant le nombre de poussins ou en entrainant une perte de l'ensemble des jeunes (Schöll &

Hille, 2020). Chez les oiseaux coloniaux, la construction du nid se fait à ciel ouvert. Les poussins sont donc directement exposés aux intempéries et sont plus affectés par les conditions environnementales difficiles que les oiseaux nichant en cavité tels que les Mésanges charbonnières (Mainwaring *et al*., 2014). Par ailleurs, la colonie suivie pour cette étude étant en Camargue, le vent est aussi un facteur à prendre en compte puisque le mistral atteint régulièrement 75 km/h en rafales. En effet, Hafner en 1978 avait recensé des cas de mortalité des œufs d'Aigrette garzette et de Héron garde-bœufs en Camargue où les nids étaient parfois renversés, ou les œufs emportés lorsque l'adulte était obligé de se lever à l'approche d'un prédateur par exemple.

Cette étude s'attache à évaluer le succès reproducteur de l'Aigrette garzette (*Egretta garzetta*), du Héron garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) ainsi que de l'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) nicheurs en Camargue dans l'une des plus importantes colonies d'Europe, située dans la Réserve Naturelle Régionale du Scamandre (Gauthier-Clerc, Kayser & Petit, 2006).
Dans un premier temps, deux méthodes d'estimation du succès reproducteur sont comparées pour la population d'Ibis falcinelle. Les deux méthodes diffèrent de par le temps de la manipulation et par conséquent de par leur impact potentiel sur la colonie. La première vient en application à la méthode de suivi des nids proposée par Mayfield (Mayfield, 1975) qui consiste à réaliser un suivi régulier des nids afin d'obtenir une estimation de leur taux de survie journalier. L'avantage est qu'elle prend en compte l'irrégularité entre les passages de l'observateur, afin de corriger le fait qu'un nid découvert plus tard en saison a moins de chances d'être vu en échec, l'observateur n'étant pas en capacité de rendre compte des incidents survenus avant la découverte du nid.
La seconde approche du succès reproducteur des Ibis est obtenue par le nombre de poussins comptés dans les nids lors des campagnes de baguage qui ont lieu chaque année sur cette même espèce. Cette méthode étant beaucoup moins chronophage que la première, l'objectif est de savoir si les deux techniques s'équivalent en termes de résultats.

Dans un second temps, l'objet de cette étude est d'estimer quel est l'impact des variables météorologiques telles que le vent et la pluie sur le taux de survie journalier des nids de Hérons garde-bœufs, d'Aigrettes garzette et d'Ibis falcinelle par la deuxième approche du succès reproducteur obtenu par le suivi régulier des nids. Il est attendu que les deux méthodes suivent la même tendance chaque année (bien qu'une comparaison sur quatre ans de suivi ne soit pas suffisante). Par ailleurs, du fait du mistral particulièrement fort et soutenu en Camargue, il est

attendu que des évènements de forts vents et d'importantes précipitations soient associés à un faible taux de survie journalier des nids.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Site d'étude

L'étude s'intéresse à une héronnière de 3 ha faisant partie de la Réserve Naturelle Régionale du Scamandre. La réserve, située à l'Ouest de la Camargue (43°36'27''N, 4°20'44''E) est classée par la Région Occitanie et gérée par le Syndicat Mixte pour la Protection et la Gestion de la Camargue Gardoise depuis 2006. Cette héronnière abrite aujourd'hui 6 espèces de hérons, et la majorité de la population d'Ibis falcinelle en France. La colonie est installée sur un boisement de Tamaris (*Tamarix gallica*), inondé durant toute la saison de reproduction. C'est actuellement la plus large colonie de différentes espèces de hérons arboricoles en France et l'une des plus importantes d'Europe (Gauthier-Clerc, Kayser & Petit, 2006). Depuis 2005, le nombre de couples présents dans la colonie varie entre 3 000 et 9 000 couples. En 2019 la héronnière était composée de 1 914 couples de Hérons garde-bœufs, 451 couples d'Aigrettes garzettes, 1 360 couples d'Ibis falcinelle, 153 couples de Crabiers chevelus (*Ardeola ralloides*), 22 couples de Hérons cendrés (*Ardea cinerea*) et 298 couples de Bihoreaux gris (*Nycticorax nycticorax*) (données Tour du Valat).

2.2. Estimation du nombre de poussins par nid

Le baguage des Ibis a lieu chaque année depuis 2006 entre les mois d'avril et de juillet. Il s'effectue durant deux à trois sessions par année suivant le nombre de couples reproducteurs présents dans la colonie et leur synchronisation. Pour chaque session de baguage, jusqu'à 36 participants pénètrent dans la colonie, divisés en cinq à sept équipes, chacune supervisée par un bagueur agréé. L'opération se déroule tôt le matin sous des conditions météorologiques favorables, à savoir par faible vent et avec une température supérieure à 15°C. L'objectif est de baguer le maximum de poussins âgés entre 10 jours et trois semaines pour une durée maximale d'une heure par session. Les poussins des autres espèces ne sont pas touchés. Chaque oiseau est ainsi bagué, pesé, mesuré puis remis au nid. Lorsqu'ils sont attrapés directement au nid, le bagueur note le nombre de poussins par nichée et identifie par les numéros de bague la composition de la fratrie. Cela permet une estimation du nombre de jeunes par nids.

2.3. Protocole de suivi des nids

Le protocole de suivi a été initié en 2015 (Carre, 2015) et 2016 (Gili, 2016) pour étudier l'impact du baguage des Ibis sur le succès reproducteur des espèces nicheuses, puis poursuivi en 2018 (Badone, 2017) et 2019. Au sein de la colonie, 20 arbres sont choisis aléatoirement (20 en 2015, 20 en 2016, 23 en 2018 et 11 en 2019) pour un total de 468 nids. Ceux-ci sont suivis 2 à 3 fois par semaine entre 7h30 et 19h30, en alternant entre le matin et l'après-midi.

Un affût flottant est utilisé, ce qui permet de pénétrer dans la héronnière sans déranger les couples, tout en ayant une approche des nids d'environ 2 m. Néanmoins, cela implique que les passages doivent se faire les jours de faible vent et sans pluie.

La première visite de la colonie s'opère à peu près deux semaines après son installation. Pour chaque nid, plusieurs paramètres sont notés : l'espèce, le numéro de l'arbre et la hauteur du nid dans l'arbre selon trois catégories (<1 m au-dessus de l'eau, entre 1 et 2 m, >2 m au-dessus de l'eau), les nids les plus hauts ne dépassant pas les 3 m. Quand ils sont visibles, l'observateur note le nombre d'œufs et de poussins ainsi que leur stade de développement : 0-7 jours, 8-14 jours, 15-21 jours. Il est en général difficile d'attribuer les poussins à un nid lorsque ceux-ci sont âgés de plus de trois semaines, car ils deviennent trop mobiles et se déplacent sur les arbres (Frederick & Collopy, 1989 ; Herring *et al*., 2010).

Un nid est considéré comme actif lorsqu'au moins un des parents est vu en attente proche du nid ou dès lors qu'il reste au moins un œuf ou un poussin au nid. En revanche, un nid est en échec, s'il est détruit, abandonné ou qu'aucun parent n'est vu au nid durant deux sessions successives.

2.4. Variables environnementales

Toutes les données météorologiques sont récoltées depuis la station Météo-France d'Aigues-Mortes (Salins du midi, 43°32'12"N,4°12'24"E) située 14 km au Sud-Ouest du site d'étude. Les précipitations correspondent à la hauteur de pluie récoltée sur 24h, et la vitesse du vent est la moyenne quotidienne des vitesses maximales par intervalles de dix minutes.

Afin de rendre comptes des évènements climatiques forts, des valeurs seuil sont fixées pour chaque variable climatique. Celles-ci sont renseignées sous forme binaire (0/1), avec 1 lorsque la valeur seuil est dépassée sur la période entre deux passages de l'observateur. Ainsi, les précipitations fortes sont celles dépassant les 10 mm de pluie en une journée (Skagen *et al*., 2012) et les vents forts, sont ceux dont la moyenne journalière dépasse les 50 km/h (Saraux *et*

al., 2016 ; Dehnhard *et al.*, 2013). Cela représente un peu moins de 10% des valeurs de vitesse de vent journalière sur la période de reproduction.

2.5. Traitements statistiques

- Comparaison des deux méthodes

Les deux méthodes sont comparées sur quatre ans de suivi : 2015, 2016, 2018 et 2019, l'année 2017 n'ayant pas fait l'objet d'un suivi.

Le succès reproducteur obtenu par la méthode Mayfield est approché par le calcul du taux de survie journalier des nids, c'est à dire la probabilité qu'un nid soit actif à un certain moment de la saison de reproduction. La méthode d'exposition logistique (Shaffer, 2004) est appliquée et permet de prendre en compte le biais induit par la différence entre les dates de découverte des nids, mais aussi la durée du suivi (Mayfield, 1975 ; Jones & Geupel, 2007).

Les variables suivantes sont prises en compte comme potentielles variables explicatives du statut des nids (actif ou abandonné) : le jour de l'année pour prendre en compte une évolution du succès reproducteur au cours du temps (variable quantitative continue), la hauteur du nid dans l'arbre (variable qualitative avec trois niveaux : bas, moyen, haut) et l'année (variable qualitative). La variable correspondant à l'identification de l'arbre porteur du nid est considérée comme variable aléatoire afin de tenir compte de la dépendance entre les nids au sein d'un arbre donné. Aucune interaction n'est considérée entre ces variables. La formule des GLM est la suivante :

$$log_e\left(\frac{S_{ijk}}{1-S_{ijk}}\right) = Jour_{ijk} + Hauteur_{ijk} + Année_j$$

$$Arbre_{k(j)} \sim N\,(0, \sigma^2_{Arbre})$$

S_{ijk} est le taux de survie journalier du nid *i*, l'année *j* pour l'arbre *k*.

Des modèles linéaires généralisés à effets mixtes (GLMM) sont utilisés avec R (version 3.5.0). Les modèles sont générés avec la fonction glmer du package lme4 (Bates *et al.,* 2015) puis sélectionnés selon leur AICc (Akaike's Information Criteria) avec le package MuMIn (Barton, 2018).

Afin de comparer les deux méthodes, le taux moyen annuel de survie journalier et son écart-type sont extraits du meilleur modèle prenant en compte un effet de la variable *Année*. Cette valeur annuelle moyenne est comparée à la moyenne annuelle du nombre de poussins par nids comptés par la méthode précédente lors du baguage à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson.

- Évaluation des conditions météorologiques

Le succès reproducteur des trois espèces nicheuses est évalué pour les années 2015, 2016 et 2019. L'année 2017 n'a pas fait l'objet d'un suivi, et en 2018, seulement les Ibis ont été suivis. Ainsi, les données d'Ibis seuls seront traitées dans un second temps pour 2015, 2016, 2018 et 2019.

Le taux de survie journalier de chaque nid est évalué de la même façon que pour les Ibis précédemment, néanmoins les variables météorologiques sont ajoutées aux potentielles variables explicatives. Ainsi, sont prises en compte comme variables explicatives le jour de l'année (variable quantitative continue), la hauteur du nid dans l'arbre (variable qualitative avec trois niveaux : bas, moyen, haut), l'espèce (variable qualitative : Aigrette garzette, Héron garde-bœufs, Ibis falcinelle), les fortes précipitations (variable qualitative : 0/1), les forts vents (variable qualitative : 0/1) et enfin, l'année (variable qualitative). La variable correspondant à l'identification de l'arbre porteur du nid est considérée comme variable aléatoire afin de tenir compte de la dépendance entre les nids au sein d'un arbre donné.

Les interactions entres les variables sont prises en compte lorsqu'elles ont un sens biologique. Ainsi, les interactions suivantes sont retenues dans la réalisation des GLM :

$$hauteur \times espèce, espèce \times année, précipitations \times hauteur, vent \times précipitations, espèce \times vent, espèce \times précipitations, vent \times hauteur.$$

La formule des GLM est la suivante :

$$\begin{aligned} log_e\left(\frac{S_{ijk}}{1-S_{ijk}}\right) = {} & Jour_{ijk} + Hauteur_{ijk} + Espèce_{ijk} + Année_j + Précipitations_{ijk} + Vent_{ijk} \\ & + Précipitations_{ijk} \times Vent_{ijk} + Espèce_{ijk} \times Année_j + Espèce_{ijk} \times Hauteur_{ijk} \\ & + Précipitations_{ijk} \times Hauteur_{ijk} + Vent_{ijk} \times Hauteur_{ijk} \\ & + Espèce_{ijk} \times Précipitations_{ijk} + Espèce_{ijk} \times Vent_{ijk} \\ & Arbre_{k(j)} \sim N\,(0, \sigma^2_{Arbre}) \end{aligned}$$

S_{ijk} est le taux de survie journalier du nid *i*, l'année *j* pour l'arbre *k*.

Les modèles sont sélectionnés de la même manière que précédemment pour les Ibis seuls. Pour évaluer plus précisément l'effet d'une variable explicative selon leur catégorie, des tests de Tukey (package multcomp, Hothorn, Bretz & Westfall, 2008) sont utilisés. Finalement, le package ggplot2 (Wickham, 2016) est utilisé pour réaliser les figures.

3. Résultats

3.1. Comparaison de méthodes

Lors du baguage, 1974 jeunes Ibis ont été marqués entre 2015, 2016, 2018 et 2019, et cette opération a permis de compter le nombre de jeunes présents dans 265 nids. Ainsi sur cette période, il y avait en moyenne 2,5 jeunes Ibis par nid (écart-type : ± 0,86).

De plus, 233 nids d'Ibis ont fait l'objet d'un suivi régulier les quatre mêmes années, avec un total de 1148 observations pour une moyenne de 6,5 observations par nid, allant de 10 à 2 passages jusqu'à ce que le nid soit considéré comme en succès ou en échec.

Sur huit modèles au total pour l'estimation du taux de survie journalier, deux modèles sont retenus avec un ΔAICc < 2 (Tableau 1). L'effet du jour de l'année a été retenu sur quatre des huit modèles, avec une diminution linéaire du taux de survie le long de la période de reproduction (Résultats issus du modèle 1 : $\beta = 0,06 \pm 0,02$ SE, $z = -2,7$, $P < 0,001$).

Tableau 1 : Tableau de sélection des modèles montrant les modèles retenus pour expliquer le taux de survie journalier des nids d'Ibis falcinelle. Au total, huit modèles ont été testés avec comme potentielles variables explicatives l'*année*, le *jour* de l'année et la *hauteur* du nid dans l'arbre. L'identification de l'*arbre* porteur du nid est considérée comme variable aléatoire afin de tenir compte de la dépendance entre les nids au sein d'un arbre donné. K est le nombre de paramètres dans le modèle, $Log_e(L)$ est la fonction log-vraisemblance maximisée, AICc est le critère d'information Akaike ajusté pour les petits échantillons, delta AICc est l'AICc comparé au meilleur modèle, et weight est le poids Akaike.

Modèle	**K**	**$Log_e(L)$**	**AICc**	**delta**	**weight**
Jour + Hauteur	5	-187,5	385,1	0,0	0,44
Jour	3	-189,6	385,2	0,0	0,44
Aucune variable retenue	2	-193,2	390,4	5,2	0,03
Hauteur	4	-191,3	390,7	5,5	0,03
Jour + Hauteur + Année	8	-187,3	390,7	5,6	0,03
Jour + Année	6	-189,3	390,7	5,6	0,03
Année	5	-193,1	396,2	11,1	0,02
Hauteur + Année	7	-191,2	396,5	11,3	0,02

Par ailleurs, l'effet de l'année est retenu dans le 5ème meilleur modèle (ΔAICc = 5,6) montrant un poids assez faible de cette variable pour expliquer la variance observée dans la survie journalière des nids. Les valeurs du taux de survie annuel des nids d'Ibis obtenus à partir de ce modèle sont reportées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Succès reproducteur annuel moyen de l'Ibis falcinelle estimé par deux approches : le taux de survie annuel et le nombre de jeunes par nids. Le taux de survie est obtenu par un suivi régulier des nids et le nombre de jeunes par nids est obtenu lors d'un comptage durant les opérations de baguage des poussins d'Ibis.

	Taux de survie annuel moyen	Écart-type	Effectif	Nombre moyen de poussins par nids	Écart-type	Effectif
2015	0,960	0,04	224	2,7	0,80	79
2016	0,946	0,04	216	2,5	0,73	51
2018	0,950	0,05	295	2,6	0,98	72
2019	0,928	0,07	180	2,2	0,81	63

Le coefficient de corrélation entre la moyenne du nombre de poussins par an et la moyenne du taux de survie des nids est de 0,999 indiquant une forte corrélation, et une augmentation linéaire du nombre de poussins comptés dans les nids lorsque le taux de survie annuel moyen est plus élevé (Figure 1).

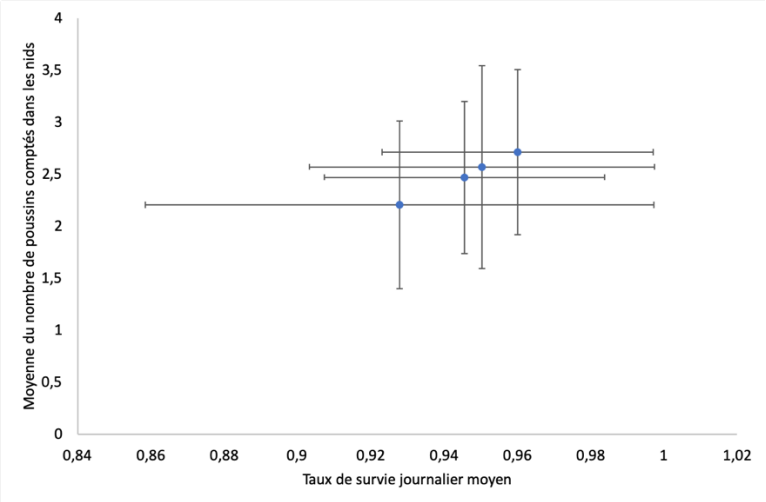


Figure 1 : Évolution du nombre de poussins par nids comptés en fonction du taux de survie annuel moyen chez une population d'Ibis falcinelle nicheuse dans une colonie mixte en Camargue. Chaque point représente une moyenne obtenue pour chaque année de suivi (2015, 2016, 2018 et 2019) et les barres d'erreurs sont l'écart-type.

3.2. Évaluation des conditions météorologiques

- Ibis falcinelle, Héron garde-bœufs et Aigrette garzette (2015, 2016, 2019)

Sur les trois saisons de reproduction, un total de 396 nids ont été régulièrement suivis pour les trois espèces concernées en 2015, 2016, et 2019. Le détail du nombre de nids suivis par espèces est reporté dans le tableau 3 avec les données de 2018 en plus pour l'Ibis. Un total de 2 235 observations a été réalisé pour une moyenne de 6,4 passages par nid allant de 16 à 2 passages jusqu'à ce que le nid soit considéré comme en succès ou en échec.

Tableau 3 : Nombre de nids suivis régulièrement en saison de reproduction pour les Ibis falcinelle, Hérons garde-bœufs et Aigrettes garzette nicheurs à l'étang du Scamandre. En 2017 aucun suivi n'a eu lieu et en 2018, seuls les Ibis ont été suivis.

	2015	**2016**	**2018**	**2019**	**Total**
Ibis falcinelle	59	52	72	50	233
Héron garde-bœufs	65	59	-	10	134
Aigrette garzette	49	50	-	2	101

Au total, 661 modèles ont été comparés et neuf sont retenus avec un $\Delta AICc < 2$ permettant d'expliquer les variations du taux de survie (Tableau 4).

Tableau 4 : Tableau de sélection des modèles montrant les 10 premiers modèles qui expliquent le taux de survie journalier de l'Ibis falcinelle, du Héron garde-bœufs et de l'Aigrette garzette nicheurs dans une colonie mixte. Les données ont été récoltées pour les années 2015, 2016 et 2019. Un total de 661 modèles ont été testés avec comme potentielles variables explicatives un effet de l'*espèce*, de l'*année*, du nombre de *jours* depuis le début du suivi, de la *hauteur* du nid dans l'arbre (bas, moyen, haut), ainsi que la présence de *précipitations* fortes et de *vents* fort (0/1). Des interactions entre les variables ont aussi été prises en compte.

Modèle	**K**	**$Log_e(L)$**	**AICc**	**delta**	**weight**
Jour + Vent + Précipitations + Hauteur + Année	9	-368,1	754,3	0,0	0,05
Jour + Vent + Précipitations + Hauteur	7	-370,3	754,6	0,3	0,04
Jour + Vent + Précipitations + Hauteur + Espèce	9	-368,3	754,8	0,5	0,04
Jour + Vent + Hauteur	6	-371,4	754,9	0,6	0,03
Jour + Vent + Hauteur + Espèce	8	-369,6	755,3	1,0	0,03
Jour + Vent + Hauteur + Année	8	-369,8	755,6	1,4	0,02
Jour + Vent + Précipitations + Année	7	-370,8	755,7	1,4	0,02
Jour + Vent + Précipitations + Hauteur + Espèce + Année	11	-366,8	755,8	1,5	0,02
Jour + Vent + Précipitations + Espèce	7	-371,0	756,1	1,8	0,02
Jour + Hauteur	5	-373,1	756,2	2,0	0,02

L'effet du jour est retenu sur les neuf modèles, et montre une diminution du taux de survie au cours de la saison de reproduction (valeurs issues du premier modèle : β = -0,05 ± 0,01 SE, z = -4,93, P <0,001). Les variables climatiques sont également prises en compte par de nombreux modèles. En effet, le vent est retenu pour les neuf modèles avec une augmentation du taux de survie des nids lorsque la vitesse moyenne journalière dépasse les 50 km/h (valeurs issues du premier modèle : β = 0,69 ± 0,28 SE, z = 2,43, P = 0,001). L'effet de la pluie est lui retenu sur six des neuf modèles. Il y aurait une diminution du taux de survie lorsque les précipitations dépassent 10 mm d'eau récoltée en une journée (modèle 1 : β = -0,64 ± 0,34 SE, z value = -1,87, P = 0,06).

Par ailleurs, la hauteur est aussi reconnue comme ayant un effet sur le taux de survie dans sept des neuf modèles, avec une meilleure survie des nids situés entre 1 et 2 mètres au-dessus de l'eau comparé à ceux construits au plus bas de la colonie (<1m) (modèle 1 : β = 0,71 ± 0,31 SE, z = 2,33, P = 0,05). En revanche, les nids placés le plus haut (>2m) comparés à ceux situés en dessous de deux mètres au-dessus de l'eau n'avaient pas un taux de survie significativement différent. Enfin, aucune interaction n'est retenue sur ces 9 modèles.

- Ibis falcinelle (2015, 2016, 2018, 2019)

Sept modèles ont été retenus pour expliquer les variations du taux de survie chez l'Ibis falcinelle avec un ΔAICc < 2 (Tableau 5).

De même que les résultats obtenus pour les trois espèces précédemment, les sept modèles suggèrent une diminution du taux de survie le long de la saison de reproduction (résultats issus du modèle 1 : $\beta = 0,06 \pm 0,02$ SE, $z = -2,70$, $P = 0,007$).

Par ailleurs, les variables météorologiques sont prises en compte dans certains modèles : trois modèles sur sept incluent l'effet du vent pour expliquer les variations du taux de survie. Le modèle 7 (ΔAICc = 1,8), le plus parcimonieux prenant en compte l'effet du vent, indique une augmentation du taux de survie lorsque les vitesses dépassent les 50km/h ($\beta = 0,18 \pm 0,33$ SE, $z = 0,52$, $P = 0,60$). Les précipitations sont également prises en compte par deux des sept modèles. Le modèle 3 (ΔAICc = 1.1), le plus parcimonieux prenant en compte l'effet de la pluie indique une augmentation du taux de survie lorsque plus de 10mm de pluie est tombée en une journée ($\beta = 0,39 \pm 0,40$ SE, $z = 0,97$, $P = 0,33$).

Tableau 5 : Tableau de sélection des modèles montrant les 10 premiers modèles qui expliquent le taux de survie journalier des Ibis falcinelle nicheurs dans une colonie mixte. Les données ont été récoltées pour les années 2015, 2016, 2018 et 2019. Un total de 72 modèles ont été testés avec comme potentielles variables explicatives un effet de l'*année*, du nombre de *jours* depuis le début du suivi, de la *hauteur* du nid dans l'arbre (bas, moyen, haut), ainsi que la présence de *précipitations* fortes et de *vents* fort (0/1). Des interactions entre les variables ont aussi été prises en compte.

Modèle	**K**	**Log$_e$(L)**	**AICc**	**delta**	**weight**
Jour + Hauteur	5	-187,5	385,1	0,0	0,13
Jour	3	-189,6	385,2	0,0	0,13
Jour + Précipitations	4	-189,1	386,2	1,1	0,08
Jour + Vent + Hauteur + Vent*Hauteur	8	-185,0	386,3	1,1	0,08
Jour + Hauteur+ Précipitations	6	-187,1	386,3	1,2	0,07
Jour + Vent + Hauteur	6	-187,4	386,9	1,7	0,06
Jour + Vent	4	-189,4	386,9	1,8	0,05
Jour + Vent + Hauteur + Précipitations + Vent*Hauteur	9	-184,6	387,3	2,2	0,04
Jour + Vent + Hauteur + Précipitations + Vent*Hauteur + Précipitations*Hauteur	11	-182,9	388,1	3,0	0,03
Jour + Vent + Précipitations	5	-189,1	388,2	3,1	0,03

De même que précédemment, l'effet de la hauteur du nid dans la colonie est retenu pour quatre des sept modèles. Le test de Tukey réalisé sur le taux de survie prédit à partir du modèle 1 en fonction de la hauteur ne montre pas de différence significative entre les hauteurs.

Enfin, l'interaction *Vent*Hauteur* est suggérée par le modèle 4 (ΔAICc = 1.1) : Figure 2.

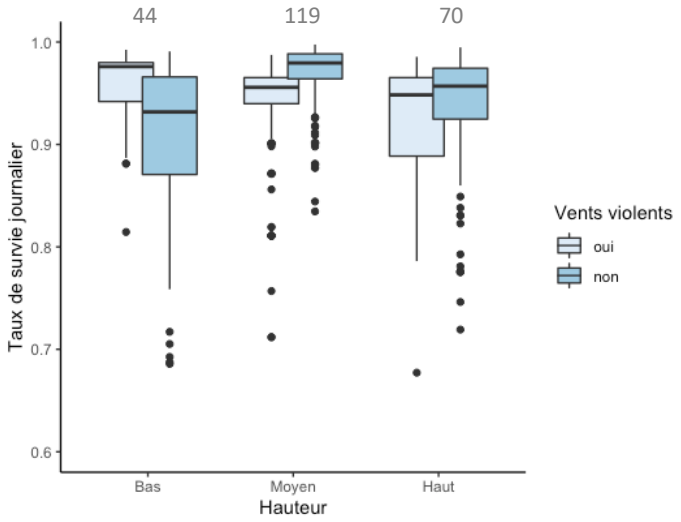


Figure 2 : Effet de la hauteur du nid dans l'arbre et des vitesses de vent pour la population d'Ibis falcinelle nicheuse dans une colonie mixte de hérons. Les vents violents sont considérés comme ceux dont la vitesse moyenne journalière dépasse 50 km/h. « Bas » caractérise les nids placés à moins d'1m au-dessus du niveau d'eau, « Moyen » correspond aux nids entre 1 et 2 m de hauteur, et « Haut » sont les nids construits à plus de 2 m de hauteur. Les estimation du succès reproducteur sont issues du modèle 4 (ΔAICc = 1.1) prenant en compte l'effet de l'interaction *Hauteur* Vent*. La taille des échantillons pour chaque catégorie est indiquée au-dessus de la figure.

4. Discussion

4.1. Comparaison de méthodes

Les deux méthodes montrent une corrélation très forte du nombre de poussins comptés dans les nids avec le taux de survie des nids journalier moyen. Cependant, les écarts-types sont relativement larges, ce qui suggère que la comparaison des deux variables n'est peut-être pas robuste statistiquement. En effet, la comparaison porte sur quatre moyennes présentant en réalité de fortes incertitudes, il faudrait donc utiliser une méthode de corrélation qui prenne en compte l'incertitude sur les moyennes obtenues afin d'accéder à l'incertitude de la corrélation. Par ailleurs, du fait d'une forte variation intra annuelle pour chacune des méthode, il serait nécessaire de tester la corrélation annuelle sur une période plus élevée pour conclure avec certitude sur la corrélation des estimations obtenues à travers les deux méthodes.

Lorsque les deux méthodes sont comparées, il est émis l'hypothèse que le nombre de poussins par nid est impacté par les mêmes facteurs que le taux de survie journalier, hors cette hypothèse présente des limites. En effet, des conditions plus drastiques sont nécessaires pour induire l'échec de tout un nid (conditions météorologiques particulières) alors que la diminution du nombre de jeunes par nids peut être influencée par des facteurs biotiques en lien avec la ressource alimentaire disponible ou l'âge des parents (Ashoori & Barati, 2013 ; Perrins, 1969 ; Klomp, 1970), mais aussi par des facteurs abiotiques tels que la quantité de pluie tombée durant

l'hiver et le printemps, et le nombre de couples reproducteurs dans la colonie (Bennetts *et al*., 2000).

Néanmoins, l'utilisation de la méthode de suivi régulier semble la plus précise puisque c'est une estimation de la survie journalière d'un même nid tout au long de la période de reproduction avec de multiples observations alors que le nombre de poussins par nid ne résulte que d'une observation du nid et ne prend pas en compte les nids en échec. L'inconvénient est que le suivi régulier des nids est une méthode relativement chronophage qui nécessite un calcul du taux de survie en aval des prospections, alors que le nombre de jeunes comptés dans les nids est une donnée directement exploitable, et peut se faire sans phase de terrain supplémentaire puisque le baguage des poussins a lieu systématiquement chaque année. Il est donc nécessaire de choisir la méthode d'estimation en fonction de la question scientifique posée et de l'hypothèse de départ.

Enfin, l'interprétation de ces résultats est fondée sur l'hypothèse que la survie des nids peut être généralisée à la survie des poussins. Or, la survie d'un nid dans sa totalité nécessite des conditions drastiques pour induire un échec alors que la survie des poussins peut dépendre d'autres facteurs tels que la compétition entre la fratrie par exemple.

4.2. Évaluation des conditions météorologiques

- **Ibis falcinelle, Héron garde-bœufs et Aigrette garzette (2015, 2016, 2019)**

Une diminution du taux de survie est observée le long de la période de reproduction pour les trois espèces considérées, ce qui correspond aux faits reportés dans la littérature. En effet, il est connu que les femelles les plus âgées pondent plus tôt que celles se reproduisant pour la première fois, et que les femelles les plus jeunes réussissent moins bien la reproduction que les adultes plus expérimentés (Ashoori & Barati, 2013 ; Perrins, 1969 ; Klomp, 1970). Cela se traduit donc par une diminution du succès reproducteur le long de la saison de reproduction, ce qui pourrait refléter l'inexpérience des plus jeunes.

Effet des précipitations

Les résultats suggèrent une diminution de la survie des nids lorsque les précipitations dépassent 10 mm de pluie récoltée en une journée. Ce résultat correspond à ceux obtenus chez la mésange charbonnière (Schöll & Hille, 2020). En effet, la pluie a à la fois un effet direct et indirect sur la survie des jeunes : elle agit directement sur la thermorégulation et indirectement sur la disponibilité en ressources et sur la prédation.

Lors des premiers jours de vie, les poussins sont incapables de réguler leur propre température corporelle (Whittow, 2000), donc jusqu'au développement de l'homéothermie, les parents s'alternent au nid pour les réchauffer (Visser, 1998). En revanche, après l'achèvement de l'homéothermie des poussins, les deux parents quittent le nid, ce qui augmente la quantité de nourriture collectée (Ricklefs & Roby, 1983). A ce stade-là de développement, quand les jeunes sont recouverts de duvet, l'eau pénètre beaucoup plus facilement et peut mouiller la peau des poussins qui perdent rapidement de la chaleur et tombent en hypothermie (Nye, 1964). La demande en énergie augmente alors et leur température corporelle diminue considérablement (Kennedy, 1970 ; Bump *et al*., 1947). Le taux de survie des poussins est ainsi négativement lié aux fortes précipitations, probablement à partir d'une semaine après l'éclosion, lorsqu'ils ne peuvent plus être entièrement couverts par leurs parents.

Effet du vent

D'après les résultats, la totalité des modèles sélectionnés indiquent que le vent augmente le taux de survie des poussins. Ces résultats vont à l'encontre des faits reportés dans la littérature indiquant que le vent impacte à la fois la thermorégulation des poussins (Bakken, 2002), la quantité de poissons disponibles en eaux calmes, la capacité de chasse des échassiers chassant à vue (Whitfield & Blaber, 2010), mais peut aussi dans certains cas renverser le nid ou emporter les œufs (Hafner, 1978 ; Hoffman, 1959, Bachir *et al*., 2000 & 2008).

Une étude actuellement en cours de rédaction, vise à évaluer l'évolution de la condition corporelle des poussins d'Ibis falcinelle en Camargue en fonction des variables climatiques (Sánchez-Macouzet *et al*., in pret.). Les résultats de cette étude suggèrent un effet de l'interaction des variables climatiques sur la condition corporelle des jeunes : sous des conditions de précipitations maximales, la condition corporelle des poussins est maximale pour ceux ayant connus les températures et les vitesses de vent les plus élevées. Il est probable que les résultats obtenus dans cette étude soient en lien avec les observations récoltées ici, et cela pourrait être expliqué par le contexte particulier dans lequel se situe la Camargue. En effet, le mistral venant du nord-ouest souffle plusieurs jours de suite, et est généralement accompagné d'un temps plutôt sec et ensoleillé. En revanche, le vent du sud qui souffle beaucoup plus rarement, est humide et amène la pluie (Hoffmann, 1959). Dans cette étude, seuls les vents supérieurs à 50 km/h sont considérés, ce qui met en évidence plutôt l'effet du mistral. L'hypothèse serait que bien que les vents augmentent considérablement la conductance chez les poussins duveteux (Bakken, 2002), et donc la perte de chaleur, dans ce cadre particulier imposé par le mistral, ces effets seraient atténués par le fait que ces vents violents sont accompagnés d'un temps sec et ensoleillé. De plus, la colonie du Scamandre est assez bien

abritée du mistral, ce qui limite aussi l'effet de la perte de chaleur et pourrait expliquer aussi le fort taux de reproduction de cette colonie depuis plus de 10 ans. Pour confirmer cette hypothèse, il serait intéressant d'associer aux vitesses de vent la température extérieure.

Effet de la hauteur du nid

Chez les trois espèces confondues, les nids placés à moins d'un mètre au-dessus de l'eau ont une moins bonne survie que ceux situés à mi-hauteur. Ces résultats coïncident avec ceux obtenus lors de précédentes études (Park *et al*., 2011 ; Champagnon *et al*., 2019), et il est possible que l'affût flottant puisse avoir un impact sur la reproduction des nids les plus proches de l'eau, considérant leur proximité avec l'observateur. Cependant, toutes les précautions sont prises pour limiter au maximum le dérangement lors des passages en affut flottant. Les oiseaux peuvent parfois se lever de leurs nids lors du passage mais jamais s'envoler et abandonner le nid.

Par ailleurs, il y aurait plusieurs avantages à construire un nid un hauteur : (1) cela augmente la visibilité face aux prédateurs, (2) permet un accès plus facile au nid, (3) évite le contact avec les prédateurs aquatiques ou venant du sol (Burger,1979), mais rend les nids plus sensibles aux rafales de vent (Pang *et al*., 2019).

- **Ibis falcinelle (2015, 2016, 2018, 2019)**

Les résultats obtenus chez l'Ibis falcinelle seul, coïncident en partie avec ceux obtenus pour les trois espèces confondues. En effet, le taux de survie des poussins d'Ibis diminue le long de la saison de reproduction et augmente lorsque les vitesses moyennes de vents journalières sont supérieures à 50 km/h. En revanche, les fortes pluies auraient tendance à augmenter le taux de survie des poussins, ce qui semble en contradiction avec les résultats précédents.

Effet des précipitations

Hafner (1994), ainsi que Bennetts et ses collaborateurs (2000), montraient un effet positif de la pluie tombée entre février et avril sur la reproduction de l'Aigrette garzette en Camargue. En effet, les pluies abondantes durant l'hiver et le printemps augmentent la surface des eaux peu profondes en bordure de marais, ce qui offre aux oiseaux une plus grande surface de nourrissage (Hafner, 1977). L'ibis falcinelle, de même que l'Aigrette garzette, est un oiseau généraliste qui se nourrit des ressources les plus abondantes dans les marais d'eau douce peu profonds (SEO/BirdLife, 2018 ; Champagnon *et al*., 2019 ; Macías *et al*., 2004). De plus, dans les travaux en cours de rédaction sur la condition corporelle des poussins d'Ibis, les chercheurs ont montré que les jeunes ont une meilleure condition corporelle sous des conditions de précipitations maximales, en association avec des températures et des vitesses de vent élevées (Sánchez-Macouzet *et al*., in pret.). Ainsi, l'hypothèse serait que la pluie offre de meilleures conditions en

terme de ressources pour les Ibis, ce qui permet un meilleur taux de survie des jeunes lors de fortes précipitations. Les résultats obtenus précédemment démontrant l'effet contraire des fortes pluies sur la survie des poussins des trois espèces confondues, pourrait être influencé par les données de Héron garde-bœuf dont le régime alimentaire est beaucoup moins dépendant des plans d'eau peu profonds (SEO/BirdLife, 2018). Cette hypothèse reste à vérifier car cela suppose que ces facteurs influencent la survie de toute la nichée sur un intervalle de temps plutôt court, soit en moyenne 4 jours entre deux passages de l'observateur.

Effet de l'interaction entre la hauteur et le vent

Lors de vents forts, le taux de survie des nids d'Ibis diminue pour ceux placés les plus hauts dans la colonie, soit à plus de un mètre au-dessus de l'eau. En effet, les nids les plus élevés sont soumis à une exposition plus accrue aux coups de vent (Pang *et al.*, 2019) et ont une moins bonne stabilité du fait de la flexibilité des branches de Tamaris. Par ailleurs les résultats suggèrent une augmentation de la survie des jeunes Ibis situés à moins d'un mètre au-dessus de l'eau lors de vents forts. Un phénomène de densité-dépendance pourrait être supposé. En effet, il est possible que les nids les plus bas tirent un avantage du fait que les nids au-dessus ont un moins bon taux de survie lors de vents forts. Cette hypothèse reste à confirmer car les mécanismes qui entreraient sont encore mal connus.

En conclusion, les deux méthodes d'estimation du succès reproducteur sont à choisir en fonction de la question posée en prenant en compte les avantages et inconvénients de chacune. Par ailleurs, le succès reproducteur des oiseaux coloniaux nicheurs en Camargue est influencé par de nombreux facteurs, dont les variables météorologiques fortes tels que le vent et la pluie qui agissent sur la survie des jeunes. Afin de confirmer les hypothèses proposées, il serait intéressant de reproduire le même suivi par exemple sur les colonies d'Ibis et de Hérons espagnols.

Cette étude soulève aussi le fait que le comportement et l'écologie de chaque espèce doit être pris en compte puisque lorsque les données d'Ibis seuls étaient considérées, certains résultats étaient contraires aux précédents. Il est donc difficile de prédire l'impact qu'auront les changements climatiques sur tout un groupe d'espèces bien que leurs mœurs semblent similaires.

Enfin, cette colonie représente un fort enjeu pour la conservation de toutes les espèces nicheuses et les efforts de conservation tels que la mise en eau de l'étang en période de reproduction, sont à maintenir afin de garder le taux de reproduction relativement élevé observé depuis plus de 10 ans.

Bibliographie

Ashoori, A., & Barati, A. (2013). Breeding success of black-crowned Night Heron (*Nycticorax nycticorax*), Little Egret (*Egretta garzetta*) and Cattle Egret (*Bubulcus ibis*)(Aves: Ardeidae) in relation to nest height in the South Caspian Sea. *Italian Journal of Zoology*, *80*(1), 149-154.

Bachir, A. S., Hafner, H., Toureng,J. N., & Doumandji, S. (2000). Structure de l'habitat et biologie de reproduction du Héron Garde-bœuf, *Bubulcus ibis*, dans une colonie de la vallée de la Soummam (Petite Kabylie, Algérie). *Revue d'écologie*.

Bachir, A. S., Barbraud, C., Doumandji, S., & Hafner, H. (2008). Nest site selection and breeding success in an expanding species, the Cattle Egret *Bubulcus ibis*. *Ardea*, *96*(1), 99-107.

Badone, I. (2017). Suivi de la reproduction de l'Ibis falcinelle en Camargue : résultats préliminaires. Rapport de stage. Università di Pavia. 19 p.

Bakken, G. S., Williams, J. B., & Ricklefs, R. E. (2002). Metabolic response to wind of downy chicks of Arctic-breeding shorebirds (Scolopacidae). *Journal of Experimental Biology*, *205*(22), 3435-3443.

Barton K. 2018. MuMIn: multi-model inference. R package version 1.40.4.

Bates D, Mächler M, Bolker B, Walker S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. Journal of Statistical Software 67:1_48 DOI 10.18637/jss.v067.i01.

Bennetts, R. E., Fasola, M., Hafner, H., & Kayser, Y. (2000). Influence of environmental and density-dependent factors on reproduction of Little Egrets. *The Auk*, *117*(3), 634-639.

Bertram, G. Murray, Jr. (2000). Measuring Annual Reproductive Success in Birds. *The Condor*, 102(2), 470–473.

Bump, G., Darrow, R. W., Edmesfster, F. C., & Crissey, W. F. (1947). The ruffed grouse. Life history-propagation-management. *The ruffed grouse. Life history-propagation-management.*

Burger, J. (1979). Resource partitioning: nest site selection in mixed species colonies of herons, egrets and ibises. *American Midland Naturalist*, 191-210.

Brown, C. R., & Brown, M. B. (2001). Avian coloniality. In *Current ornithology* (pp. 1-82). Springer, Boston, MA.

Carre, 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 stage. Metz : Université de Lorraine. 49 p.

Champagnon, J., Carré, H., & Gili, L. (2019a). Effects of research disturbance on nest survival in a mixed colony of waterbirds. *PeerJ*, *7*, e7844.

Champagnon, J., Kayser, Y., Petit, J., Marion, L., Reeber, S., Rodriguez-Perez, H., Purenne, R. (2019b). The Settlement of Glossy Ibis in France. *Stork, Ibis and Spoonbill (SIS) Conservation*, *2019*(1).

Dehnhard, N., Ludynia, K., Poisbleau, M., Demongin, L., & Quillfeldt, P. (2013). Good days, bad days: wind as a driver of foraging success in a flightless seabird, the southern rockhopper penguin. *PloS one*, *8*(11).

Frederick, P. C., & Collopy, M. W. (1989). Researcher disturbance in colonies of wading birds: effects of frequency of visit and egg-marking on reproductive parameters. *Colonial Waterbirds*, 12(2): 152-157.

Gauthier-Clerc, M., Kayser, Y., Petit, J. (2006). Une colonie exceptionnelle de hérons arboricoles en Camargue gardoise. *Ornithos*, 13(5): 320-322.

Gili, L. (2016). Influence du dérangement scientifique sur le succès reproducteur des Ibis falcinelles, Aigrettes garzettes et Hérons garde-boeufs au sein de la principale colonie de hérons arboricoles en France. Rapport de stage. Aix-Marseille université. 29 p.

Hafner, H. (1977). Contribution à l'étude de quatre espèces de hérons (*Egretta garzetta L., Ardeola ralloides Scop., Ardeola ibis L., Nycticorax nycticorax L.*) pendant leur nidification en Camargue. *Ph. D. dissertation*.

Hafner, H. (1978). Le succès de reproduction de quatre espèces d'Ardeidés *Egretta g. garzetta L., Ardeola r. ralloides Scop., Ardeola i. ibis L., Nycticorax n. nycticorax L.* en Camargue. *La Terre et la vie*.

Hafner, H., Pineau, O., & Kayser, Y. (1994). Ecological determinants of annual fluctuations in numbers of breeding little Little Egrets (*Egretta garzetta L.*) in the Camargue, S. France. *Revue d'écologie*.

Herring, G., Gawlik, D. E., Cook, M. I., & Beerens, J. M. (2010). Sensitivity of nesting Great Egrets (*Ardea alba*) and White Ibises (*Eudocimus albus*) to reduced prey availability. *The Auk*, *127*(3), 660-670.

Hoffmann, L., Lévêque, R., Aguesse, P., & Bigot, L. (1959). Esquisse écologique de la Camargue à l'intention des ornithologistes. *La Terre et la vie*.

Hothorn, T., Bretz, F., & Westfall, P. (2008). Simultaneous inference in general parametric models. *Biometrical Journal: Journal of Mathematical Methods in Biosciences*, *50*(3), 346-363.

Jones SL, Geupel GR (eds.) (2007). Beyond Mayfield: measurements of nest-survival data. Camarillo: *Cooper Ornithological Society*.

Kennedy, R. J. (1970). Direct effects of rain on birds: a review. *British Birds*, *63*(10), 401-404.

Klomp, H. (1970). The determination of clutch-size in birds: a review. *Ardea*, 58: 1-124.

Macías, M., Green, A. J., & Sánchez, M. I. (2004). The diet of the Glossy Ibis during the breeding season in Doñana, southwest Spain. *Waterbirds*, *27*(2), 234-239.

Mainwaring, M. C., Hartley, I. R., Lambrechts, M. M., & Deeming, D. C. (2014). The design and function of birds' nests. *Ecology and Evolution*, *4*(20), 3909-3928.

Mayfield HF. (1975). Suggestions for calculating nest success. *The Wilson Bulletin* 87(4):456_466.

Nye, P. A. (1964). Heat loss in wet ducklings and chicks. *Ibis*, *106*(2), 189-197.

Pang, R. H., Yu, T. L., & Busam, M. (2019). Low breeding success of the little egret (Egretta garzetta) near residential areas and in colonies exposed to gales: a comparison of colony in Sichuan, Southwest China, with literature. *Animal cells and systems*, *23*(3), 235-240.

Park, S. R., Kim, K. Y., Chung, H., Choi, Y. S., & Sung, H. C. (2011). Vertical nest stratification and breeding success in a six mixed-species heronry in Taeseong, Chungbuk, Korea. *Animal cells and systems*, *15*(1), 85-90.

Perrins, C. M. (1970). The timing of birds 'breeding seasons. *Ibis*, *112*(2), 242-255.

Ricklefs, R. E. (1969). An analysis of nesting mortality in birds. *Smithsonian contributions to zoology*.

Ricklefs, R. E., & Roby, D. D. (1983). Development of homeothermy in the diving petrels Pelecanoides urinatrix exsul and P. georgicus, and the Antarctic prion Pachyptila desolata. *Comparative biochemistry and physiology. A, Comparative physiology*, *75*(2), 307-311.

Romijn, C. (1954). Development of heat regulation in the chick. Proceedings 10th World Poultry Congress, Department of Agriculture, Edinburgh, pt. 2. Pp. 181-184.

Sánchez-Macouzet, O., Ferreira, H., Badone, I., Béchet, A., & Champagnon J. (En cours de rédaction)

Saraux, C., Chiaradia, A., Salton, M., Dann, P., & Viblanc, V. A. (2016). Negative effects of wind speed on individual foraging performance and breeding success in little penguins. *Ecological monographs*, *86*(1), 61-77.

Schöll, E. M., & Hille, S. M. (2020). Heavy and persistent rainfall leads to brood reduction and nest failure in a passerine bird. *Journal of Avian Biology*.

SEO/BirdLife (2018). Estudio de la dieta de las aves acuáticas coloniales en l'albufera de València a partir de isótopos estables. Informe elaborado por SEO/BirdLife para l'Ajuntament de València. Número de expediente E-03602-2018-000057-00

Shaffer TL. (2004). A unified approach to analyzing nest success. *The Auk* 121:526_540

Skagen, S. K., & Adams, A. A. Y. (2012). Weather effects on avian breeding performance and implications of climate change. *Ecological Applications*, *22*(4), 1131-1145.

Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., ... & Midgley, P. M. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. *Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, *1535*.

Vergara, P., I. Aguirre, J., & Fernández-Cruz, M. (2007). Arrival date, age and breeding success in white stork Ciconia ciconia. *Journal of Avian Biology*, *38*(5), 573-579.

Visser, G. H. (1998). Development of temperature regulation. *Oxford Ornithology Series*, *8*, 117-156.

Wickham H. (2016). ggplot2: elegant graphics for data analysis. New York: Springer-Verlag New York.

Whitfield, A. K., & Blaber, S. J. M. (1979). Feeding ecology of piscivorous birds at lake St Lucia, Part 2 : Wading birds. *Ostrich*, *50*(1), 1-9.

Whittow, G. C. (2000). Sturkie´s Avian Physiology. - Academic Press.

Résumé

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

L'estimation du succès reproducteur chez les oiseaux est important pour comprendre quels facteurs peuvent influencer la dynamique des populations. Cette étude s'intéresse à la reproduction d'Aigrettes garzettes (*Egretta garzetta*), d'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) et de Hérons garde-bœufs (*Bubulcus ibis*) nicheurs dans une colonie mixte en Camargue.
Dans un premier temps, deux méthodes d'estimation du succès reproducteur des Ibis sont comparées sur quatre saisons de reproduction. L'une à partir du nombre de jeunes par nid au cours d'une visite dans la colonie, et l'autre à partir d'un échantillon de nids suivis à plusieurs reprises dans la colonie. Dans un second temps, l'impact du vent et de la pluie sur le taux de survie des nids est évalué pour les trois espèces nicheuses.
La comparaison des deux méthodes donnent des résultats très corrélés, mais avec une incertitude élevée à cause du faible nombre d'années de suivi et de la forte variabilité intra-annuelle. Ensuite, le vent a un effet positif sur le taux de survie des nids, probablement car en Camargue, le mistral (vent fort local) est accompagné d'un temps plutôt sec et ensoleillé. En revanche, la pluie a un effet négatif sur la survie des nids des trois espèces confondues, mais positif sur les nids d'Ibis falcinelle seuls. Ces résultats s'expliquent par le fait que la pluie induit une perte d'énergie et une diminution de la température corporelle des poussins, mais qu'elle augmente la surface de nourrissage dans les marais, principaux lieux de nourrissage des Ibis et des Aigrettes garzettes en Camargue. Le Héron garde-bœuf est lui, moins dépendant des marais d'eau douce pour la recherche de nourriture, et ne tire pas autant les bénéfices de l'augmentation des niveaux d'eau.
Mots clés : Taux de survie journalier, oiseaux coloniaux, vent, précipitations

Abstract

Comparison of two methods to estimate the reproductive success and evaluation of weather conditions on the reproduction of Glossy Ibis, Cattle Egret and Little Egrets in Camargue.

The estimation of birds breeding success is important to understand what factors can influence population dynamics. Breeding populations of Little Egret (*Egretta garzetta*), Glossy Ibis (*Plegadis falcinellus*) and Cattle Egret (*Bubulcus ibis*) were studied in a mixed colony of waterbirds in Camargue.
Firstly, two methods were compared to define the breeding success of Ibises over four seasons. One obtained with the number of chicks counted in the colony and the other with nests sampled and monitored all the breeding season. In a second time, the impact of heavy winds and precipitations on nests Daily Survival Rate (DSR) were assessed for the three species.
The two methods were strongly correlated but with a high uncertainty because of a low number of years monitored and a high intra-annual variability. Then, heavy winds had a positive effect on DSR maybe because of the local wind called mistral which brings dry and sunny weather. However, heavy rain had a negative effect on the three species nest DSR but was positive for Ibises chicks only.
Rain causes a loss of energy and impact the body temperature of chicks but also increase the feeding surface of marshes which are the main foraging habitat for Ibises and Little Egrets in Camargue. Cattle Egrets doesn't benefit as much from increased water levels because it is less dependent of marshes for foraging.
Keywords : Daily Survival Rate, wading birds, wind, rain