Mémoire de Master 2 : Expertise Ecologique et Gestion de la Biodiversité

Promotion 2015-2016 - Aix-Marseille Université

Influence du dérangement scientifique sur le succès reproducteur des Ibis falcinelles, Aigrettes garzettes et Hérons garde-bœufs au sein de la principale colonie de hérons arboricoles en France



Lisa GILI

Encadrant : Jocelyn CHAMPAGNON

Responsables pédagogiques : Agathe LERICHE & Alexandre MILLON

Remerciements

Je tiens à remercier chaleureusement Jocelyn Champagnon pour m'avoir permis d'effectuer ce stage, pour son investissement tout au long du stage, ses conseils, sa patience et sa bonne humeur.

Je remercie également Yves Kayser et Thomas Blanchon pour leur aide sur le terrain comme au bureau, leur expertise et leur patience.

Merci également à Jérémiah Petit et Rémi Tiné pour m'avoir donné l'accès à la colonie du Scamandre, moments privilégiés en immersion totale dans la vie des oiseaux.

Enfin, un grand merci à mes « colocs de bureau » Marion, Sophie et François, pour leur aide dans les moments de stress, leurs conseils, et leur bonne humeur. Merci à la Team : Coline et Nathan, pour les bons moments passés avec vous.

Merci à Axel, Angélique, Océane et Émilie qui ont été là pour m'aider ou m'écouter lorsque j'en avais besoin.

D'une façon plus générale, je remercie toutes les personnes que j'ai pu rencontrer à la Tour du Valat, qu'ils soient stagiaires, salariés ou simplement de passage.

Résumé

Les études scientifiques qui nécessitent d'entrer en contact avec la faune sauvage peuvent avoir divers effets sur celle-ci, induisant des réponses physiologiques ou comportementales. Les oiseaux d'eau qui nichent en colonies sont particulièrement sensibles au dérangement car un grand nombre d'oiseaux nichent sur une aire réduite. Cette étude a pour but d'évaluer l'effet du dérangement lié au baguage des Ibis falcinelles sur le succès reproducteur des Ibis falcinelles, Héron garde-bœufs et Aigrettes garzettes, dans la colonie mixte de hérons arboricoles de la Réserve Naturelle Régionale du Scamandre (Gard). En 2015 et 2016, 293 nids des trois espèces confondues ont été suivis dans deux zones : une dérangée par le baguage et une non dérangée. La survie des jeunes est affectée par la hauteur d'installation des nids : elle est significativement plus faible pour les jeunes des nids situés à moins d'un mètre de haut que pour ceux situés au dessus d'un mètre. Elle est également plus faible en 2016 qu'en 2015. Les modèles ne font pas ressortir un effet significatif du baguage. Cependant, il semble y avoir un effet négatif du baguage sur les nichées qui sont au stade œuf au moment du dérangement. Cet effet pourrait être atténué en décalant la date de baguage au moment où la majorité des œufs ont éclos.

Mots clés : Dérangement scientifique, succès reproducteur, baguage, Ibis falcinelle.

Abstract

Scientific studies that need to be in contact with wild animals may have diverse effects on them, and can induce physiological or behavioral responses. Colonial waterbirds are particularly vulnerable to disturbance because a large number of birds are confined to a small area. This study aims to know the effect of Glossy Ibises' banding disturbance on the reproductive success of the Glossy Ibis, Little Egret and Cattle Egret in the large mixed herons colony of the regional nature reserve of Scamandre (Gard) in France. In 2015 and 2016, 293 nests of the three species were monitored in two zones of the colony: one zone disturbed by the banding activity and one not disturbed. Chicks' survival is affected by the height of the nest: juvenile survival is significantly lower in the lower nests than in the higher nests. Their survival is lower in 2016 than in 2015. Models showed no significant effect of the disturbance caused by banding. Nevertheless, banding seems to have a negative effect on nests that contained eggs when the disturbance occurs. Delaying the banding to the moment when most of eggs have hatched could lower this effect.

Key words: Scientific disturbance, investigator disturbance, banding, reproductive success, Glossy Ibis.

Sommaire

Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des annexes
1. Introduction 1
2. Matériel et méthodes 5
2.1. Modèles biologiques 5
2.2. Site d'étude 6
2.3. Protocole de suivi de la reproduction et de l'impact du dérangement 8
2.4. Déroulement des sessions de baguage 10
2.5. Analyse des données 10
2.5.1. Estimation de la survie des jeunes 11
2.5.2. Estimation de la survie des nichées 12
3. Résultats 13
3.1. Bilan des nids suivis et observations lors du baguage 13
3.2. Résultats préliminaires sur le succès reproducteur en 2015 et 2016 14
3.3. Estimation de la survie des jeunes en prenant en compte la précocité 15
3.4. Estimation de la survie des jeunes sans prendre en compte la précocité 16
3.5. Estimation de la survie des nichées 18
3.6. Estimation de la survie des nichées qui étaient au stade œuf au moment du baguage 20
4. Discussion 23
4.1. Influence du baguage 23
4.2. Position du nid dans l'arbre 23
4.3. Différence du succès reproducteur selon les années 24
4.4. Survie des jeunes et précocité 25
4.5. Étude comparative 26
5. Conclusion 27
Bibliographie

Liste des figures

Figure 1 : a) Ibis falcinelle et ses jeunes au nid, b) Héron garde-bœufs, c) Aigrette garzette et ses jeunes au nid.

Figure 2 : Localisation de la Réserve Naturelle Régionale du Scamandre et de la colonie d'Ardéidés.

Figure 3 : Situation des zones Contrôle et Traitement au sein de la colonie, en 2015 et 2016.

Figure 4 : Affût flottant utilisé lors du suivi.

Figure 5 : Estimation de la survie des jeunes en fonction a) de l'année, b) de la hauteur d'installation du nid (1 : entre 0 et 1 mètre ; 2 : entre 1 et 2 mètres ; 3 : entre 2 et 3 mètres).

Figure 6 : Estimation de la survie journalière des nichées en fonction de la zone et de la hauteur d'installation du nid.

Figure 7 : Estimation de la survie des nichées en fonction de la zone et de la hauteur d'installation du nid.

Figure 8 : Estimation de la survie des nichées en fonction a) de la zone (C : Contrôle ; T : Traitement), b) de l'espèce (AG : Aigrette garzette, GB : Héron garde-bœufs, IF : Ibis falcinelle), c) de la hauteur d'installation du nid (1 : entre 0 et 1 mètre ; 2 : entre 1 et 2 mètres ; 3 : entre 2 et 3 mètres).

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre de couples nicheurs par année et par espèce à la colonie du Scamandre (données Tour du Valat)

Tableau 2 : Nombre de nids suivis utilisés pour les analyses, par année, espèce et zone (en noir le nombre de nids utilisés pour les analyses sans la variable précocité, en bleu le nombre de nids utilisés pour les analyses avec la variable précocité).

Tableau 3 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Tableau 4 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Tableau 5 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Tableau 6 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Tableau 7 : Nombre moyen de jeunes d'Ibis falcinelle, Aigrette garzette et Héron garde-bœufs à l'envol dans différentes colonies du monde.

Liste des annexes

Annexe I : Tableau de sélection de Modèles Linéaires Généralisés prenant en compte la précocité, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Annexe II : Modèle linéaire effectué sur le nombre d'œufs par nid afin de voir s'il existe une variation en fonction de la date d'éclosion, de l'espèce et de la zone.

Annexe III : Modèles Linéaires Généralisés effectués sans la variable Précocité, et en ajoutant la variable Site.

1. Introduction

Les activités humaines sont susceptibles d'avoir un impact sur la faune sauvage en général, que ce soit le tourisme (Pavez *et al*., 2015), les activités récréatives (Navedo & Herrera, 2012), ou la chasse (Marchand *et al*., 2014). Le dérangement lié à ces activités peut induire des réponses comportementales des animaux telles qu'une modification de l'utilisation de l'espace (Ferrand *et al*., 2013), un changement du comportement alimentaire, une augmentation de la part d'activité dédiée à la vigilance, ou des comportements de fuite. Il peut aussi induire des réponses physiologiques comme une modification des sécrétions hormonales (Müllner *et al*., 2004) ou du rythme cardiaque (Culik *et al.*, 1990 ; Ellenberg *et al*., 2013). Les stimuli non létaux que causent le dérangement humain engendrent chez l'animal les mêmes compromis énergétiques que le risque de prédation, entre l'évitement de ce que l'animal perçoit comme un risque et la continuation de son activité de recherche de nourriture, de soins aux jeunes ou de reproduction (Frid & Dill, 2002). Ces impacts sont relativement bien connus et étudiés (Bolduc & Guillemette, 2003 ; Kerbiriou *et al*., 2009 ; Müllner *et al.*, 2004 ; Steven *et al.*, 2011), et des mesures de réduction ont été proposées comme par exemple la mise en place de zones tampon autour des sites de nidification pour les oiseaux (Erwin, 1989 ; Burger *et al*., 2010), la mise en défend de zones pour permettre aux individus de se réfugier (Ikuta & Blumstein, 2002) ou la construction de postes d'observation à distance des colonies (Carney & Sydeman, 1999).

Une activité humaine susceptible d'engendrer un dérangement mais qui est généralement peu étudiée est la recherche scientifique pour la conservation des espèces animales (Frederick & Collopy, 1989 ; Ibáñez-Álamo *et al.*, 2012). Pour certaines espèces rares, en danger, ou vulnérables, le suivi et la gestion des populations sont nécessaires afin de mieux connaître la biologie et l'écologie de l'espèce et pouvoir prendre des mesures de conservation appropriées permettant à ces populations de se maintenir et de voir leurs effectifs croître. Les scientifiques peuvent donc être amenés à entrer en contact direct ou indirect avec la faune sauvage, afin de récolter des données sur l'individu (sexe, poids, taille, divers prélèvements, marquages), ou des données sur la population (comptage d'individus, de jeunes, de terriers, de nids). Concernant les oiseaux, la recherche en sciences de la conservation nécessite d'avoir des données sur les mouvements migratoires, la survie, la dispersion, et d'autres aspects qui ne peuvent être obtenus que par la capture et le marquage des individus. C'est pourquoi, des campagnes de marquage sont mises en place partout dans le monde afin d'acquérir des données. Ce marquage, qui se veut permanent, passe par la pose d'une bague sur la patte,

d'une marque alaire (Saraux *et al*., 2011), d'une marque nasale pour les canards (Guillemain *et al*., 2008) ou d'un collier par exemple pour les oies et les cygnes (Legagneux *et al*., 2013). Il peut être aussi temporaire par la décoloration ou le retrait d'une ou plusieurs plumes de l'aile, ou encore la teinte des plumes sur le ventre ou le dos. Le marquage permanent (qui sera généralisé ensuite sous le terme de baguage) permet, entre autres, le suivi de populations, l'identification des causes de déclin, la visualisation des impacts de la chasse, et la connaissance des routes migratoires (Baillie, 1995). Le baguage peut avoir lieu sur les sites de migration (comme pour les passereaux par exemple), d'hivernage (pour les canards par exemple) ou au moment de la reproduction. En effet pour de nombreuses espèces, il est difficile de capturer des adultes, l'effort de baguage a donc lieu sur le site de reproduction et la capture concerne exclusivement des jeunes non volants.

Les oiseaux peuvent nicher de façon territoriale, communautaire ou en colonie. Chez les oiseaux, la colonialité est le second type le plus commun d'organisation sociale après la territorialité (Brown & Brown, 2001). Elle se définit par la reproduction d'un certain nombre d'individus à un endroit plus ou moins centralisé, duquel les résidents de la colonie partent régulièrement chercher de la nourriture. Bien que les avantages à nicher en colonie semblent évidents au premier abord (l'effet de dilution face aux prédateurs, l'efficacité dans la recherche de nourriture), ce type de nidification a aussi des inconvénients (transmission des parasites, compétition inter- et intra-spécifique pour le lieu d'installation du nid) qui en font l'un des types de reproduction le moins facilement explicable (Brown & Brown, 2001). Selon les espèces et les sites de nidification, les colonies peuvent être monospécifiques ou mixtes. Le rassemblement d'un nombre important d'oiseaux sur une aire réduite lors de la période de reproduction les rend particulièrement sensibles au dérangement, qu'il soit lié aux activités humaines ou non, et donc aussi au dérangement scientifique. Lors d'une intrusion humaine dans une colonie, les adultes s'envolent rapidement car ils identifient l'être humain comme un prédateur qu'ils tentent d'intimider ou auquel ils tentent d'échapper (Carney & Sydeman, 1999). Pendant ce temps, les nids sont laissés à découvert et les œufs ainsi que les jeunes peuvent être prédatés, mourir à cause d'une exposition trop longue aux intempéries ou être simplement abandonnés (Carney & Sydeman, 1999). Lors de la phase d'alerte précédant la fuite, les oiseaux sont agités et peuvent marcher sur des œufs, des très jeunes poussins, ou les éjecter hors du nid (Kury & Gochfeld, 1975). Il en est de même lors de la fuite des poussins qui sont en âge de se déplacer mais qui ne peuvent pas encore voler.

Lorsqu'il y a du dérangement lié aux recherches scientifiques dans une colonie, le succès reproducteur des oiseaux nicheurs est plus ou moins négativement influencé selon le type, la fréquence, la durée et l'intensité du dérangement mais également les conditions extérieures sous lesquelles a lieu le dérangement et la réaction comportementale de l'individu (Gochfeld, 1981). Blackmer *et al*. (2004) ont par exemple montré une diminution du succès reproducteur de l'Océanite culblanc (*Oceanodroma leucorhoa*) de 50% lorsque les nids étaient visités par un observateur à découvert une fois par semaine, et de 56% lorsqu'ils l'étaient une fois par jour, lors de la période d'incubation, en comparaison avec des nids non visités. Tremblay & Ellison (1979) ont mis en évidence une différence de succès reproducteur chez le Bihoreau gris (*Nycticorax nycticorax*) en fonction du stade de la reproduction auquel a lieu le dérangement : lorsque le passage dans la colonie était effectué avant la ponte, seulement 11% des nids étaient ensuite occupés, alors que lorsqu'il avait lieu une semaine avant éclosion, 98% des nids étaient ensuite occupés. De la même façon, Frederick & Collopy (1989) mentionnent l'existence d'une période critique pour les échassiers, entre le début de l'installation et les premières semaines d'incubation, pendant laquelle les adultes reproducteurs peuvent, en cas de dérangement, abandonner les tentatives de nidification ou ne pas revenir assez vite au nid pour le protéger des éventuelles attaques de prédateurs ou d'usurpation par d'autres individus de la même espèce ou d'espèces différentes (Shields & Parnell, 1986 ; Tremblay & Ellison, 1979). De manière générale, plus les individus sont avancés dans la reproduction, plus le risque d'abandon de la nichée est faible.

Indépendamment du dérangement, de nombreux facteurs influencent également le succès reproducteur chez les oiseaux coloniaux, qu'ils soient identiques pour toute la colonie tels que la prédation, le climat, l'interaction avec d'autres espèces, les intempéries ou qu'il s'agisse de caractéristiques individuelles des adultes reproducteurs telles que la position du nid dans la colonie, la date d'installation, l'expérience ou l'âge. Ces facteurs ont été particulièrement étudiés dans les colonies mixtes de hérons arboricoles. Les intempéries par exemple sont une des causes principales de la mortalité des poussins (Blondel & Isenmann, 1981), notamment en cas de fort vent ou de pluie, celle-ci pouvant causer la mort des plus gros poussins qui ne sont plus couvés (Kayser, comm. pers.). Dans les colonies mixtes, bien que l'installation des différentes espèces soit échelonnée le long de la période de reproduction (Blondel & Isenmann, 1981), il peut exister une compétition pour le lieu d'installation entre les espèces qui s'installent au même moment. En Camargue par exemple, une telle compétition a été démontrée entre l'Aigrette garzette (*Egretta garzetta*) et le Héron garde-bœufs (*Bubulcus*

ibis), qui nichent souvent dans les mêmes colonies (Dami *et al*., 2006). En effet, les Hérons garde-bœufs ont un comportement plus agressif que les aigrettes et parviennent plus souvent à les chasser des potentiels sites de nidification que l'inverse. Cela peut aboutir à une exclusion des Aigrettes garzettes de ces sites de meilleure qualité. Toujours en Camargue, d'après les observations de Hafner (1980) sur plusieurs colonies mixtes de hérons arboricoles, l'installation des oiseaux se fait d'abord au centre de la colonie, puis s'étend vers la périphérie. Il a remarqué que le succès reproducteur a tendance à diminuer du centre vers la périphérie, et il en est de même pour la taille des pontes. Cela rejoint les observations de Perrins (1970) qui a constaté que les individus qui s'installent en premier au sein des colonies ont un succès reproducteur plus fort. Le centre de la colonie serait plus favorable à la réussite des nichées que la zone périphérique, et fait l'objet d'un choix préférentiel de la part des nicheurs : il est donc vraisemblablement occupé par des oiseaux plus âgés et plus expérimentés (Hafner, 1980). Enfin, les oiseaux qui nichent pour la première fois ont, en général, tendance à pondre plus tard dans la saison que les oiseaux plus âgés et la taille de leur ponte est plus petite que celle des individus plus vieux (Klomp, 1970).

L'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) est une espèce à répartition mondiale. En Europe, elle était majoritairement présente dans les pays de l'Est, mais la perte des zones humides et la chasse ont causé un déclin important de ces populations (Kayser *et al*., 2006). Peu présente en Europe de l'Ouest au début du 21ème siècle, on observe depuis les années 1990 une croissance exponentielle des populations, notamment en Espagne (Santoro *et al.*, 2010), mais également en France (Dietrich *et al*., 1999) et dans le bassin méditerranéen, où la population espagnole agit comme population source (Santoro *et al*., 2010). En France, l'Ibis falcinelle était nicheur occasionnel depuis 1990 avec quelques observations de reproductions réussies en Camargue (Pineau *et al*., 1992 ; Kayser *et al.*, 1996), mais aucune autre observation de nidification n'avait été faite entre 1998 et 2005 (Kayser *et al*., 2006). Ce n'est qu'à partir de 2006, où 14 couples nicheurs ont été observés, que cette espèce s'est réellement implantée en Camargue (Kayser *et al*., 2006). Depuis, le nombre de couples a augmenté exponentiellement, pour atteindre 1 814 couples en 2016 (données Tour du Valat). Dès 2006, avec l'installation des premiers couples nicheurs en Camargue sur la colonie mixte du Scamandre (Gard), un programme de suivi individuel a été mis en place afin de mieux comprendre les mécanismes de dynamique de populations qui sont à l'origine des échanges entre populations sources et populations puits, et de l'établissement des colonies. Il s'est traduit par un baguage des jeunes, et, entre 2006 et 2016, 3 261 poussins ont été marqués (données Tour du Valat).

Malgré les précautions prises pour éviter au maximum le dérangement dans la colonie lors du baguage, l'augmentation du nombre de couples nicheurs oblige la mobilisation d'un nombre toujours plus important de personnes participant aux opérations, ce qui pourrait avoir un effet néfaste sur le succès reproducteur des ibis mais aussi celui des autres espèces qui nichent dans la colonie.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'effet du dérangement par les équipes de baguage sur le succès reproducteur des Ibis falcinelles, Hérons garde-bœufs et Aigrettes garzettes dans la colonie du Scamandre. L'hypothèse avancée est que les individus exposés au dérangement ont un succès reproducteur plus faible que ceux qui ne sont pas dérangés. Également, il s'agira de voir si d'autres facteurs tels que l'année, la hauteur d'installation des nids et la précocité des adultes reproducteurs influent sur le succès reproducteur de ces trois espèces et de quelle façon.

2. Matériel et méthodes

2.1. Modèles biologiques

L'Ibis falcinelle (figure 1 a)) (ci-après dénommé ibis) est une espèce qui appartient à la famille des Threskiornithidés. Il est protégé en France (arrêté du 29/10/2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de protection) ; inscrit à l'annexe II (espèces de faune strictement protégées) de la convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe ; et également inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux. Son aire de distribution est vaste, on peut le retrouver en Amérique du Nord et du Sud, en Europe, en Afrique, mais aussi en Australie. En période de reproduction, le régime alimentaire de l'ibis est constitué principalement de larves d'odonates, de coléoptères aquatiques, de mollusques, de crustacés, de poissons et d'amphibiens (Macías *et al*., 2004). La période de nidification s'étend d'avril à juillet. La ponte comprend entre 2 et 4 œufs, avec une moyenne de 3,3 œufs (Kayser & Gauthier-Clerc, 2009a), et ceux-ci sont couvés pendant 3 semaines. En Camargue, ils nichent dans des colonies mixtes de hérons arboricoles, où l'on retrouve en majorité des Aigrettes garzettes et Hérons garde-bœufs (Gauthier-Clerc *et al*., 2006).

Le Héron garde-bœufs (figure 1 b)) (ci-après dénommé garde-bœufs) appartient à la famille des Ardéidés. Il est également protégé en France (arrêté du 29/10/2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de protection) et inscrit à

l‘annexe II (espèces de faune strictement protégées) de la convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe. On le retrouve sur tous les continents, dans les habitats favorables tels que les zones humides mais également des prairies et des steppes, à l’exception des cercles polaires. En Europe il est majoritairement présent en Espagne, dans le Sud de la France et est plus occasionnel sur le reste du continent. Son régime alimentaire est constitué majoritairement d’insectes qu’il capture lorsqu’ils sont dérangés par les bovins, les ovins, ou les caprins, mais il peut aussi se nourrir de petits vertébrés comme les grenouilles, les reptiles ou les rongeurs. La période de nidification s’étend d’avril à juillet. La ponte comprend entre 3 et 7 œufs, avec une moyenne de 4,6 œufs (Kayser & Gauthier-Clerc, 2009b) et ceux-ci sont couvés pendant 21 à 25 jours (Blondel & Isenmann, 1981).

L’Aigrette garzette (figure 1 c)) (ci-après dénommée aigrette) appartient également à la famille des Ardéidés. Elle est protégée en France (arrêté du 29/10/2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l’ensemble du territoire et les modalités de protection), inscrite à l‘annexe II (espèces de faune strictement protégées) de la convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe, et également inscrite à l’annexe I de la Directive Oiseaux. On la retrouve principalement en Europe du Sud, en Afrique du Nord et de l’Ouest, en Asie et en Australie. En France, on l’observe principalement en Camargue et sur la côte Atlantique. Cette espèce se nourrit majoritairement de petits poissons, batraciens, mollusques et autres animaux aquatiques. Elle fréquente aussi bien les marais d’eau douce, rizières, que les lagunes saumâtres et salées. La période de reproduction s’étend d’avril à juillet, et la ponte comprend entre 3 et 7 œufs, avec une moyenne de 4 œufs (Kayser & Gauthier-Clerc, 2009c), couvés pendant 21 à 25 jours (Blondel & Isenmann, 1981).

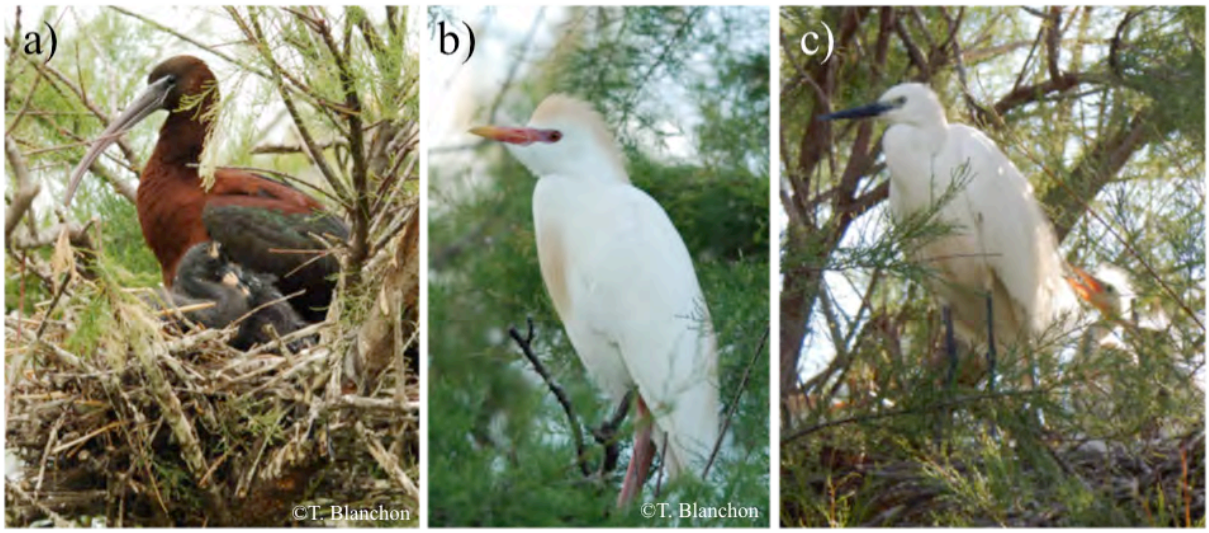


Figure 1 : a) Ibis falcinelle et ses jeunes au nid, b) Héron garde-bœufs, c) Aigrette garzette et ses jeunes au nid.

2.2. Site d'étude

La Réserve Naturelle Régionale du Scamandre, classée depuis 2006 et gérée par le Syndicat Mixte pour la Gestion et la Protection de la Camargue Gardoise, occupe une superficie de 146 hectares dans le département du Gard (30), sur la commune de Vauvert (figure 2). On y trouve la plupart des biotopes de Camargue : prairie, sansouïre et marais. La mosaïque d'habitats naturels qu'elle contient permet la présence d'un grand nombre d'espèces, notamment d'oiseaux.

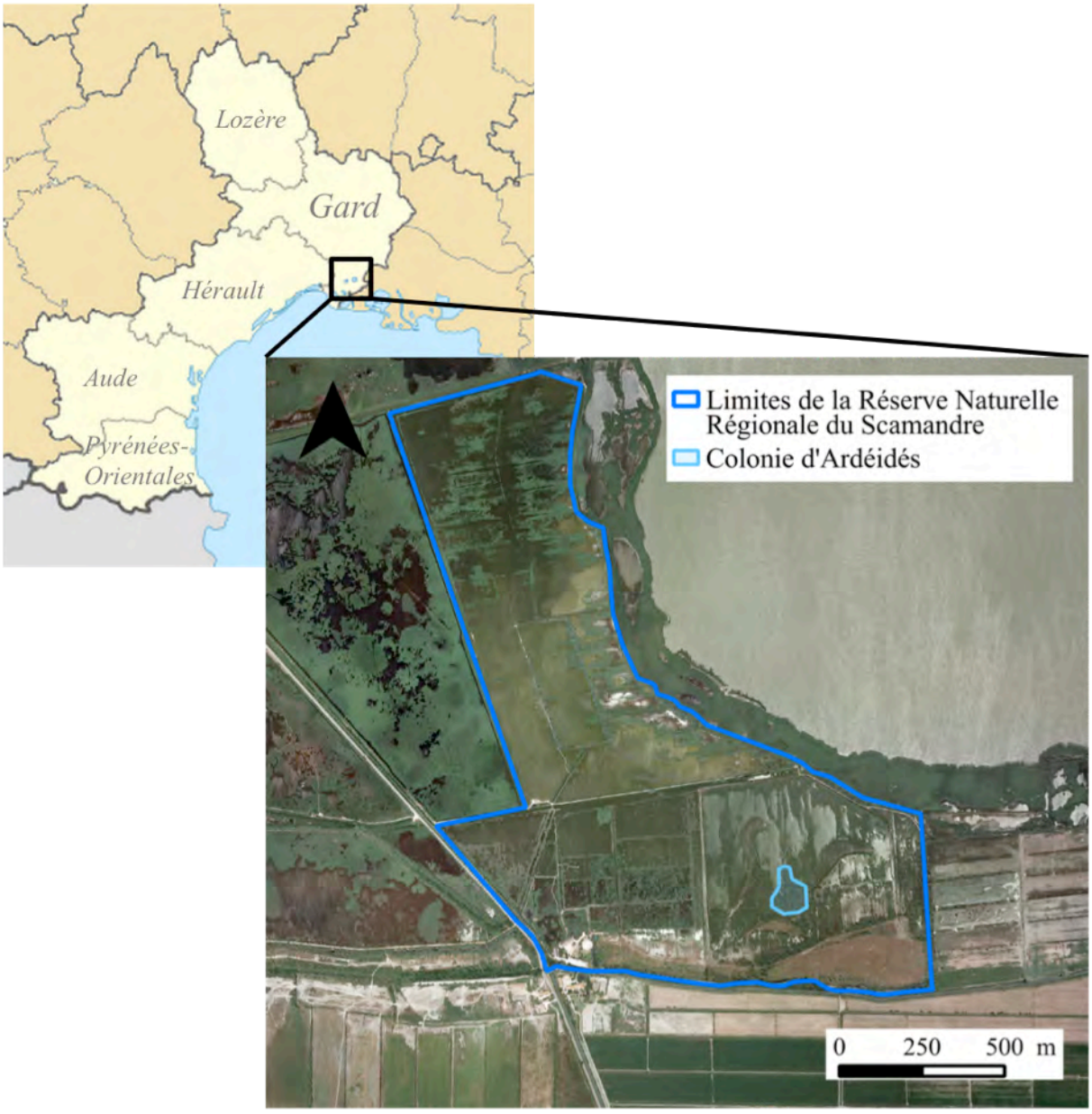


Figure 2 : Localisation de la Réserve Naturelle Régionale du Scamandre et de la colonie d'Ardéidés.

Elle abrite les 9 espèces de hérons présentes en France et la majorité de la population d'Ibis falcinelle française. En 2015, la colonie abritait 9 069 couples, et 4 815 couples en 2016 (tableau 1). Le nombre important de couples qui y nichent chaque année lui donne un caractère exceptionnel, d'autant plus qu'il s'agit de la plus grande colonie de hérons arboricoles française (Gauthier-Clerc *et al.* 2006).

La colonie d'ardéidés est située dans un boisement de tamaris (*Tamarix gallica*) au sein d'une masse d'eau temporaire sur la partie Est de la Réserve. Ce site est inondé lors de la saison de reproduction, la hauteur de l'eau variant entre 40 cm et 1 mètre. Cette gestion est mise en place par la Réserve afin de suivre un régime hydrologique naturel, mais en prolongeant la période d'inondation de quelques semaines en été afin d'éviter une trop grande pression de prédation sur les ardéidés nicheurs. Les arbres atteignent une hauteur maximale de 3 mètres environ.

Tableau 1 : Nombre de couples nicheurs par année et par espèce à la colonie du Scamandre (données Tour du Valat).

	2015	**2016**
Héron garde-bœufs	3 700	1 988
Aigrette garzette	3 255	1 352
Ibis falcinelle	1 028	1 060
Bihoreau gris	669	216
Crabier chevelu	371	178
Héron cendré	46	21

2.3. Protocole de suivi de la reproduction et de l'impact du dérangement

Le protocole suivant a été effectué en 2015 (Carre, 2015) et en 2016. Afin de déterminer s'il existe un impact du dérangement lié au baguage des ibis, deux zones ont été sélectionnées dans la colonie de façon à ce qu'elles soient dans des conditions similaires d'exposition au vent. Une zone est qualifiée de « Traitement » et correspond à la zone qui a été dérangée par l'activité de baguage, et l'autre de « Contrôle » où il n'y a pas eu d'intrusion pour le baguage (figure 3). Les zones sélectionnées n'ont pas été les mêmes sur les deux années : une nouvelle zone Contrôle a été définie en fonction de la présence des oiseaux, et la zone Contrôle de

l'année 2015 a été réutilisée en tant que zone Traitement en 2016 afin d'éliminer un éventuel effet site (figure 3).

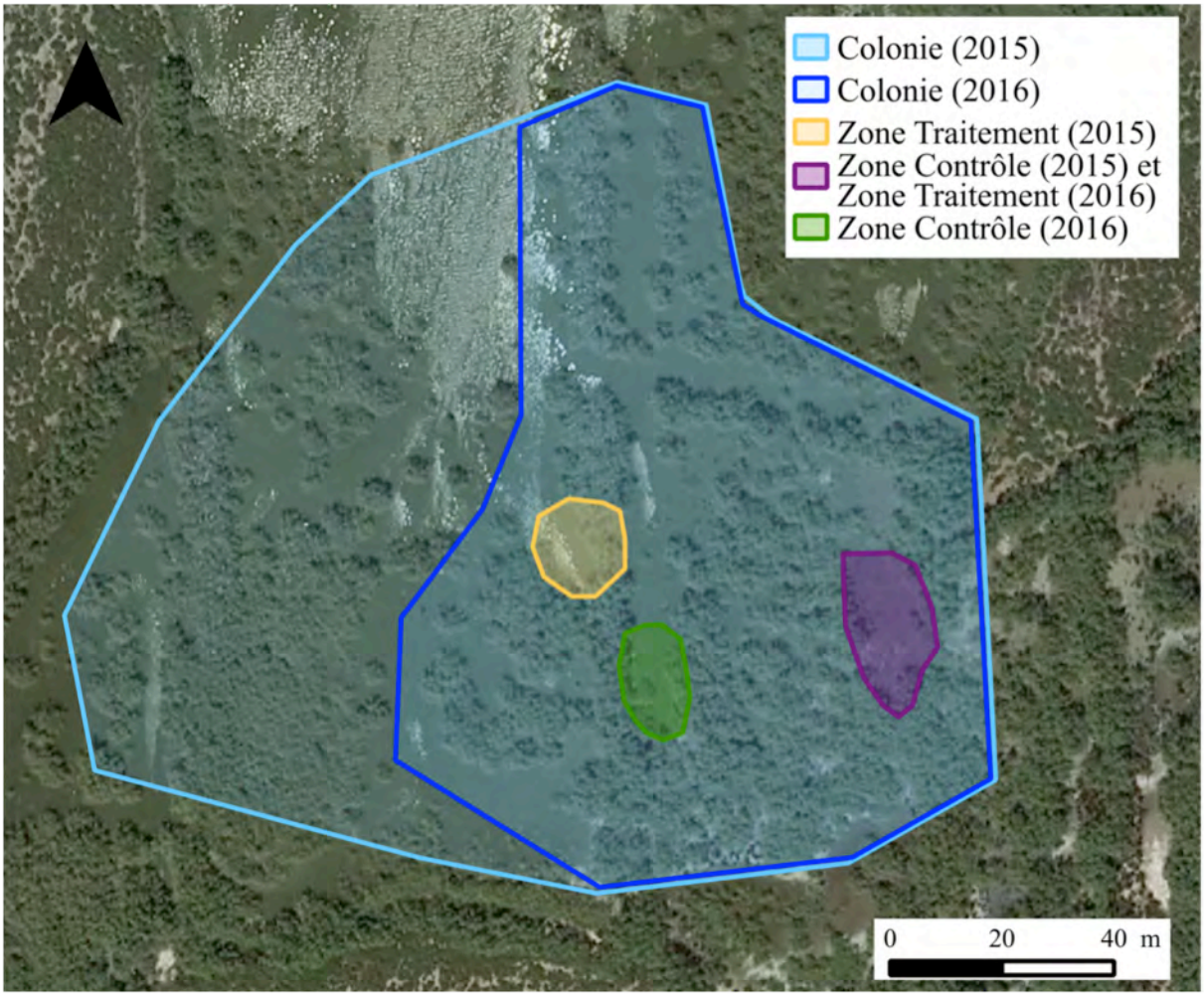


Figure 3 : Situation des zones Contrôle et Traitement au sein de la colonie, en 2015 et 2016.

À compter de l'installation des oiseaux dans ces zones, vers le début du mois de mai, 20 nids minimum par espèce et par zone ont été choisis et ont constitué l'échantillon à suivre. Au total, 326 nids ont été suivis dans la colonie sur les deux années. Le suivi s'est effectué 2 à 3 fois par semaine et durait environ 2h30 par zone, les deux zones étant prospectées le même jour. Pour minimiser le dérangement, le suivi s'est effectué dans un affût flottant (figure 4). Cela implique une visibilité limitée des nids. En effet, les observations sont effectuées à moins d'un mètre au dessus de l'eau, ce qui est inférieur à la hauteur de la plupart des nids et par conséquent ne permet que rarement l'observation des œufs dans le nid. Cependant, la détection reste la même tout au long du suivi. Pour chaque nid ont été relevés : le numéro de l'arbre, la hauteur d'installation (entre 0 et 1 mètre, entre 1 et 2 mètres, entre 2 et 3 mètres), le nombre d'œufs s'ils étaient visibles, le nombre de poussins et leur stade (stade 1 : 0 à 7 jours,

stade 2 : 8 à 14 jours, stade 3 : 15 à 21 jours, stade 4 : 22 à 28 jours, stade 5 : 29 à 36 jours). Dès la première observation d'un jeune dans le nid, la date d'éclosion a été estimée à partir de l'âge du poussin. Le suivi des nids s'est fait si possible jusqu'à l'envol des jeunes (environ 6 semaines après éclosion), mais s'est terminé en général lorsque les jeunes étaient au stade 3 ou 4 car à partir de 15 jours (stade 3) ils commencent à sortir des nids et vers 25 jours (stade 4) ils se déplacent dans les arbres, rendant difficile l'attribution des jeunes à un nid (Blondel & Isenmann, 1981). Dans la suite des analyses, il a été considéré qu'à partir de 3 semaines les jeunes sont prêts à l'envol car leur mortalité diminue au cours du développement. Le nombre maximum de jeunes observés au stade le plus avancé a été rapporté aux stades précédents si celui-ci était inférieur, car si par exemple 2 jeunes ont été observés au stade 1 puis 3 au stade 3, c'est qu'il y avait minimum 3 œufs au nid et 3 jeunes aux stades 1 et 2.



Figure 4 : Affût flottant utilisé lors du suivi.

Ce protocole est contraint par les conditions météorologiques. En effet, les passages dans la colonie s'effectuent dans un affût flottant, et celui-ci n'est pas adapté en cas de fort vent et de pluie. Les passages se sont donc déroulés les jours sans pluie, où le vent était faible à nul.

2.4. Déroulement des sessions de baguage

Plusieurs sessions de baguage ont lieu dans la colonie chaque année, en fonction du nombre de couples installés et du nombre de poussins à baguer. Deux sessions ont eu lieu en 2015 et en 2016. À chaque session, 4 à 5 équipes étaient présentes, composées de 6 à 7 personnes (un ou deux bagueur(s), un secrétaire, et 4 captureurs). Un photographe est également présent lors de chaque opération. Lors du baguage, les équipes se répartissent dans la colonie. Les captureurs doivent aller chercher les jeunes ibis au nid, les apporter au bagueur qui les bague et effectue des mesures (longueur du tarse, poids), puis les captureurs les remettent dans le nid où ils ont été prélevés. Chaque session dure 1 heure.

Lors de chaque session, une personne était présente en affût flottant dans chaque zone. Pour la zone Contrôle, les objectifs ont été de vérifier l'absence d'intrusion et noter le

comportement des adultes reproducteurs tout au long du baguage. Pour cela, 4 nids ont été suivis pendant le baguage, pour lesquels l'observateur a noté à chaque minute le comportement des adultes reproducteurs : couve, est debout sur le nid, est à proximité du nid, a décollé. Dans le cas où des individus avaient décollé, l'observateur est resté maximum 30 minutes dans la zone après la fin du baguage pour noter l'heure à laquelle ils sont revenus.

Dans la zone Traitement, les objectifs ont été de noter précisément l'heure à laquelle les bagueurs sont arrivés dans la zone et l'ont quittée, identifier les nids manipulés qui font partie du suivi ainsi que le nombre d'individus bagués dans ces nids là, et également noter les heures de retour des adultes sur leurs nids à compter de l'heure de fin de baguage. Pour cela, 10 nids ont été sélectionnés aléatoirement à la fin du baguage et les heures de retour pour chaque nid ont été notées, ainsi que l'espèce.

2.5. Analyse des données

Les données de l'année 2015 et de l'année 2016 ont été prises en compte dans les analyses. Une analyse préliminaire sur les données de 2016 avant la première session de baguage a été réalisée afin de voir s'il y avait déjà des différences de survie des nichées entre les zones, qui pourraient influencer l'analyse de l'impact du baguage. Des différences ont été identifiées sur le terrain : une vingtaine de nids sur trois arbres de la zone Contrôle ont été en échec avant le baguage, pour des raisons environnementales diverses (météo, prédation). Il a été décidé de retirer la totalité des nids de ces trois arbres du jeu de données (33 nids). Avec le nouveau jeu de données, les zones ne présentent pas de différences de succès des nichées entre-elles avant le baguage, que ce soit en 2015 ou en 2016.

Ces données ont été ensuite analysées avec deux outils différents : des Modèles Linéaires Généralisés (GLM) avec R (R Core Team, 2015) pour estimer la survie des jeunes ainsi que l'outil « Nest Survival » avec le logiciel MARK (White & Burnham, 1999) afin d'estimer la survie journalière des nichées.

2.5.1. Estimation de la survie des jeunes

Les GLM ont été appliqués en utilisant une loi binomiale (régression logistique non groupée) car la variable réponse est le succès reproducteur (le nombre de jeunes en succès et en échec par nid). Les variables explicatives ont été choisies de façon à être biologiquement pertinentes, tout en limitant le nombre de modèles testés (en particulier sur le choix des interactions) : l'année, la zone, la hauteur d'installation du nid, l'espèce, la précocité des

adultes reproducteurs, ainsi que l'interaction entre l'espèce et la zone. La précocité des adultes reproducteurs a été estimée à partir de la date d'éclosion. Pour cela, la date d'éclosion a été standardisée par espèce et par année, afin de refléter la place de l'individu par rapport à sa cohorte.

Tous les nids n'ayant pas de date d'éclosion, car certains étaient en échec avant d'avoir éclos, il a été décidé dans un premier temps de retirer ces nids du jeu de données afin de tester la variable « précocité ». Cependant, comme ces nids traduisent une information importante (un échec avant éclosion peut être dû au dérangement lié au baguage), ils ont été réintégrés dans le jeu de données et la précocité n'a pas été prise en compte dans les modèles suivants.

Le meilleur modèle a été déterminé sur la base de sa valeur d'AICc (Akaike Information Criterion, corrigé pour les échantillons de petite taille) : le modèle présentant la plus faible valeur d'AICc a été considéré comme le meilleur. Un modèle est considéré différent d'un autre si sa valeur d'AICc est supérieure à 2 points d'écart.

2.5.2. Estimation de la survie des nichées

Les données ont été traitées avec l'outil « Nest Survival » du logiciel MARK (version 8.1). Cet outil permet d'effectuer des modèles qui donnent une estimation du taux de survie journalier (DSR : Daily Survival Rate) des nichées. Ces modèles ne prennent pas en compte le succès reproducteur mais l'issue (succès ou échec) de chaque nichée : par exemple, une nichée de 4 œufs éclos, qui n'a qu'un seul jeune à l'envol est considérée comme étant en succès ; une nichée en échec est un nid dont les œufs n'ont jamais éclos, qui a été renversé, abandonné ou dont les jeunes y ont été vus morts. Pour chaque nid, une « histoire de capture » est créée, contenant le jour où le nid a été vu pour la première fois, le jour où il a été vu pour la dernière fois actif, et le jour où il a été vu en échec lorsque c'est le cas. À partir de ces intervalles de temps, le logiciel peut estimer précisément le taux de survie journalier des nichées, car il prend en compte la probabilité d'un échec pour chaque jour bien que les passages ne soient pas réalisés de façon quotidienne et régulière. Afin d'avoir une estimation de la survie des nichées sur la période de suivi (de la date de ponte jusqu'au stade 3 semaines, soit 42 jours en moyenne), il faut élever la survie journalière par 42. Les postulats de départ sont que : l'issue d'un nid est connue à chaque passage, la survie n'est pas affectée par les passages, la probabilité de visiter un nid est indépendante de son issue, tous les passages sont enregistrés.

Le taux de survie journalier des nichées peut varier en fonction du temps, et en fonction de différentes variables. Ici le taux de survie a été considéré comme constant au cours du suivi et 4 co-variables ont été prises en compte comme pouvant influencer le taux de survie : l'année, la zone où se trouve le nid (Contrôle ou Traitement), la hauteur d'installation du nid et l'espèce ; ainsi que l'interaction entre l'espèce et la zone.

De la même façon que pour les modèles précédents, le meilleur modèle a été déterminé sur la base de sa valeur d'AICc.

3. Résultats

3.1. Bilan des nids suivis et observations lors du baguage

L'installation des ibis en 2016 (date d'éclosion estimée moyenne et écart type : 20 mai, ± 5 jours) a été plus tardive qu'en 2015 (01 mai ± 4 jours). Ce qui ne semble pas être le cas pour les aigrettes et les garde-bœufs. Au total, 167 nids ont été suivis en 2015 (19 passages effectués du 15/04 au 25/06) et 159 en 2016 (19 passages effectués du 06/05 au 08/07), ce qui fait 326 nids suivis sur les deux années. Pour les analyses, 293 nids ont été utilisés (les 167 nids de l'année 2015 et 126 nids de l'année 2016) car 33 nids ont été retirés sur le jeu de données de 2016 (tableau 2). Les analyses ne prenant pas en compte la variable précocité ont été faites sur ces 293 nids. Les analyses prenant en compte la variable précocité ont été faites sur 246 nids (140 nids en 2015 et 106 nids en 2016) (tableau 2), un nid d'aigrette ayant également été retiré car la date d'éclosion des œufs a été très tardive (18 juin 2016) et pouvait influencer les modèles.

Tableau 2 : Nombre de nids suivis utilisés pour les analyses, par année, espèce et zone (en noir le nombre de nids utilisés pour les analyses sans la variable précocité, en bleu le nombre de nids utilisés pour les analyses avec la variable précocité).

		Ibis falcinelle	Aigrette garzette	Héron garde-bœufs
2015	Contrôle	21 (18)	26 (20)	40 (34)
	Traitement	36 (30)	23 (19)	21 (19)
2016	Contrôle	11 (11)	20 (18)	19 (18)
	Traitement	25 (24)	22 (13)	29 (22)

Respectivement, 425 et 318 poussins d'Ibis falcinelle ont été bagués en 2015 et en 2016 dans l'ensemble de la colonie. En 2015, 10 nids suivis ont été manipulés lors des deux sessions de baguage. En 2016, 6 nids suivis ont été manipulés, avec 12 jeunes bagués.

En 2015, la première session a eu lieu le 12 mai 2015 et la seconde le 20 mai 2015. 36 personnes étaient présentes pour la première session, réparties en 6 équipes de 6 personnes. Lors de la seconde session, 33 personnes étaient présentes, réparties en 5 équipes de 6 personnes, 2 personnes qui réalisaient des prélèvements sur les jeunes ibis (hors de la zone traitement) et un photographe. En 2016, la première s'est effectuée le 31 mai 2016 et la seconde le 07 juin 2016. Lors de la première session, 31 personnes étaient présentes, réparties en 5 équipes composées de 6 personnes ainsi qu'un photographe. Pour la seconde session, 28 personnes étaient présentes, réparties en 3 équipes de 7, une équipe de 6 personnes et un photographe.

Lors des deux sessions de baguage en 2016, en zone Contrôle, les oiseaux étaient assez agités et en alerte : sur les 4 nids suivis, un seul adulte est resté couver sur son nid lors de la première session, les autres individus étant debout sur le nid, à proximité du nid ou partis. Lors de la seconde session, les 4 adultes des nids suivis ont alterné un état debout sur le nid, à proximité ou parti. Généralement, les adultes effectuaient des allers-retours rapides au nid. La plus longue durée d'absence a été de 20 minutes lors de la première session et de 40 minutes lors de la seconde. Tous les individus des 10 nids suivis sont revenus sur leurs nids dans la demi-heure qui a suivi le départ des équipes de baguage de la colonie. Les ibis ont semblé être globalement plus sensibles que les autres espèces à l'intrusion dans la colonie. En zone Traitement, les oiseaux ont tous décollé lors de l'entrée des bagueurs dans la zone. Tous les individus des 10 nids suivis sont revenus au nid dans les 10 à 20 minutes qui ont suivi le départ des équipes de baguage. Lors de la deuxième session, un jeune ibis bagué à la première session a été retrouvé mort aux abords de la zone Traitement.

3.2. Résultats préliminaires sur le succès reproducteur en 2015 et 2016

Bien que la détection ne soit pas absolue et que son erreur ne soit pas modélisée, la taille de ponte moyenne s'élevait en 2015 à 3,32 (écart type : ±1,02) œufs par nid pour les aigrettes, 2,84 (±0,95) œufs par nid pour les ibis et 2,41 (±0,78) œufs par nid pour les hérons. En 2016, elle s'élevait à 2,68 (±0,67) œufs par nid pour les aigrettes, 2,77 (±1,01) œufs par nid pour les ibis et 2,33 (±0,88) œufs par nid pour les garde-bœufs.

En 2015, le nombre moyen de jeunes à l'envol pour les couples ayant réussi la reproduction s'élevait à 2,61 (±1,45) pour les aigrettes, 2,32 (±1,43) pour les ibis et 2,06 (±0,97) pour les garde-bœufs. En 2016, il s'élevait à 1,97 (±0,89) pour les aigrettes, 2,19 (±1,26) pour les ibis et 1,78 (±0,99) pour les garde-bœufs. Le nombre moyen de jeunes à l'envol a donc été plus faible en 2016 qu'en 2015.

3.3. Estimation de la survie des jeunes en prenant en compte la précocité

Pour identifier les variables qui influent sur la survie des jeunes, 40 modèles linéaires généralisés ont été réalisés. Sur le tableau 3 figurent les 10 premiers modèles classés par AICc croissant, le tableau complet de sélection de modèles est présenté en annexe I. Les trois premiers modèles ont un delta AICc compris entre 0,00 et 0,96 : ils peuvent être considérés comme équivalents.

Tableau 3 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Modèle	Nb param.	AICc	Δ AICc	Poids d'AICc
Année+Précocité+Hauteur	6	503,7	0,00	0,233
Année+Précocité+Hauteur+Zone	8	504,6	0,90	0,149
Année+Hauteur	5	504,7	0,96	0,144
Précocité+Hauteur	4	506,3	2,59	0,064
Année+Hauteur+Zone	7	506,3	2,63	0,063
Hauteur	3	506,9	3,19	0,047
Année+Précocité	3	507,1	3,42	0,042
Précocité+Hauteur+Zone	6	507,3	3,57	0,039
Année+Précocité+Espece+Hauteur	9	507,8	4,10	0,030
Année+Précocité+Zone	5	508,0	4,28	0,027

Le premier modèle retient un effet de l'année, de la précocité et de la hauteur sur la survie des jeunes. Ce modèle estime une survie des jeunes différente selon les années : elle est plus importante en 2015 qu'en 2016, avec une survie moyenne [intervalle de confiance à 95%] respectivement égale à 0,843 [0,803-0,876] et 0,776 [0,720-0,822]. Concernant la hauteur des nids dans les arbres, le modèle estime une survie moyenne significativement plus faible pour les jeunes issus des nids installés entre 0 et 1 mètres (0,690 [0,577-0,785]), que pour ceux issus des nids installés entre 1 et 2 mètres (0,825 [0,786-0,858]) et entre 2 et 3 mètres (0,840

[0,769-0,893]). Pour ces deux dernières hauteurs, compte tenu des intervalles de confiance, la survie moyenne estimée n'est pas considérée comme différente. Enfin, concernant la précocité, le modèle estime une survie des jeunes plus faible pour les nichées qui ont éclos le plus tôt, que pour celles ayant éclos le plus tard. Plus les adultes reproducteurs sont tardifs, plus la survie de leurs jeunes augmente.

Le second modèle prend en compte l'effet de la zone en plus de l'effet de l'année et de la hauteur. La variable zone étant particulièrement intéressante dans le cadre de cette étude, il a été choisi de regarder de manière plus attentive son effet. Ce modèle estime une survie des jeunes supérieure en zone Traitement qu'en zone Contrôle, avec une survie moyenne respectivement égale à 0,832 [0,788-0,869] et 0,798 [0,748-0,840]. Les estimations de la survie des jeunes en fonction de la hauteur d'installation des nids et en fonction de la précocité sont sensiblement les mêmes que pour le modèle précédent. Le troisième modèle retenu présente des résultats similaires aux précédents.

3.4. Estimation de la survie des jeunes sans prendre en compte la précocité

En prenant en compte la totalité des nids, 20 modèles linéaires généralisés ont été réalisés. Le tableau 4 liste ces modèles testés, classés par AICc croissant. Les trois premiers modèles ont un delta AICc compris entre 0,00 et 1,69, ils peuvent être considérés comme équivalents.

Tableau 4 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Modèle	Nb param.	AICc	Δ AICc	Poids d'AICc
Année+Hauteur	5	544,7	0,00	0,405
Année+Hauteur+Zone	7	546,2	1,51	0,191
Hauteur	3	546,4	1,69	0,174
Hauteur+Zone	5	548,0	3,31	0,078
Année+Espèce+Hauteur	8	548,4	3,67	0,065
Espèce+Hauteur	6	550,0	5,30	0,029
Année+Espèce+Hauteur+Zone	10	550,0	5,32	0,028
Espèce+Hauteur+Zone	8	551,8	7,06	0,012

Année	2	553,8	9,11	0,004
Année+Espèce+Hauteur+Zone+Espèce*Zone	16	553,9	9,17	0,004
Nul	1	554,9	10,15	0,003
Année+Zone	4	555,5	10,82	0,002
Espèce+Hauteur+Zone+Espèce*Zone	14	555,8	11,08	0,002
Année+Espèce	5	556,0	11,27	0,001
Zone	2	556,7	11,96	0,001
Espèce	3	557,0	12,30	0,001
Année+Espèce+Zone	7	557,8	13,04	0,001
Espèce+Zone	5	558,9	14,17	0,000
Année+Espèce+Zone+Espèce*Zone	13	561,5	16,78	0,000
Espèce+Zone+Espèce*Zone	11	562,8	18,09	0,000

Le premier modèle retient un effet de l'année et de la hauteur sur la survie des jeunes. Tout comme les modèles précédents, ce modèle estime une survie des jeunes différente selon l'année, avec une survie moyenne plus élevée en 2015 (survie moyenne égale à 0,823 [0,782-0,857]) qu'en 2016 (survie moyenne égale à 0,761 [0,705-0,809]) (figure 5 a)). Le modèle estime également une survie des jeunes issus des nids installés entre 0 et 1 mètres significativement inférieure (survie moyenne égale à 0,636 [0,525-0,734]) à ceux issus des nids installés entre 1 et 2 mètres (survie moyenne égale à 0,811 [0,772-0,844]) et des nids installés entre 2 et 3 mètres (survie moyenne égale à 0,839 [0,769-0,891]) (figure 5 b)). Pour ces deux dernières hauteurs, compte tenu des intervalles de confiance, la survie moyenne des jeunes n'est pas considérée comme différente.

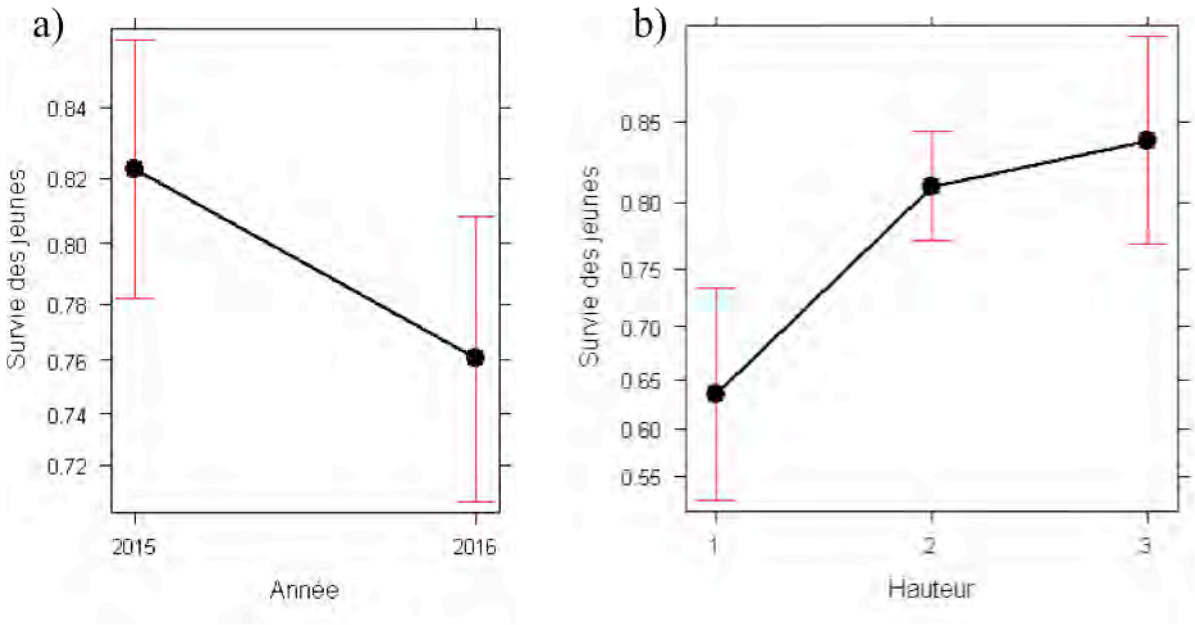


Figure 5 : Estimation de la survie des jeunes en fonction a) de l'année, b) de la hauteur d'installation du nid (1 : entre 0 et 1 mètre ; 2 : entre 1 et 2 mètres ; 3 : entre 2 et 3 mètres).

Le second modèle prend en compte les effets des mêmes variables que le premier, et également l'effet de la zone. Le modèle estime une survie des jeunes supérieure dans la zone Traitement que dans la zone Contrôle, avec une survie moyenne respectivement égale à 0,809 [0,764-0,847] et 0,785 [0,737-0,827]. Les survies des jeunes estimées pour les différentes années et les différentes hauteurs suivent la même tendance que pour le modèle précédent, à savoir une survie plus forte en 2015 qu'en 2016, et une survie significativement plus faible pour les jeunes issus des nids installés entre 0 et 1 mètres, que pour les jeunes issus des nids installés entre 1 et 2 mètres et 2 et 3 mètres. Le troisième modèle retenu présente des résultats similaires aux deux premiers.

3.5. Estimation de la survie des nichées

Pour identifier les variables qui influent sur la survie des nichées, 19 modèles ont été réalisés avec l'outil « Nest Survival » du logiciel MARK. Le tableau 5 liste ces modèles classés par AICc croissant. Les trois premiers modèles ont un delta AICc compris entre 0,00 et 1,94 : ils sont donc considérés comme équivalents.

Tableau 5 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Modèle	Nb param.	AIC	Δ AIC	Poids d'AIC
Zone+Hauteur	5	725,1	0,00	0,346
Zone+Hauteur+Espèce	8	726,9	1,75	0,144
Année+Zone+Hauteur	7	727,1	2,00	0,127
Hauteur	3	727,2	2,07	0,123
Espèce+Hauteur	6	728,2	3,03	0,076
Année+Zone+Hauteur+Espèce	10	728,9	3,74	0,053
Année+Hauteur	5	729,2	4,04	0,046
Année+Hauteur+Espèce	8	730,1	4,96	0,029
Hauteur+Zone*Espèce	9	730,7	5,56	0,022
Zone	2	732,6	7,44	0,008
Hauteur+Année+Zone*Espèce	11	732,7	7,54	0,008
Zone+Espèce	5	733,1	7,97	0,006
Année+Zone	4	734,6	9,44	0,003
Espèce	3	734,8	9,73	0,003
Année+Zone+Espèce	7	735,1	9,96	0,002
Année+Espèce	5	736,8	11,6	0,001
Zone*Espèce	6	736,9	11,8	0,001
Année	2	737,3	12,2	0,001
Année+Zone*Espèce	8	738,9	13,8	0,000

Le premier modèle retient les effets de la zone et de la hauteur sur la survie journalière des nichées. Ce modèle estime une survie journalière des nichées différente selon la hauteur d'installation du nid et selon la zone. En effet, la survie journalière des nichées est globalement plus haute en zone Contrôle qu'en zone Traitement. Concernant la hauteur, la survie journalière des nichées est plus forte pour les nids situés entre 1 et 2 mètres (survie journalière égale à 0,995 [0,979-0,999] pour la zone Contrôle et 0,993 [0,979-0,997] pour la zone Traitement), et pour les nids situés entre 2 et 3 mètres (survie journalière égale à 0,995 [0,986-0,998] pour la zone contrôle et 0,992 [0,986-0,995] pour la zone Traitement) et elle est

la plus faible pour les nids situés entre 0 et 1 mètres (survie journalière égale à 0,988 [0,943-0,998] pour la zone Contrôle et 0,981 [0,943-0,994] pour la zone Traitement) (figure 6).

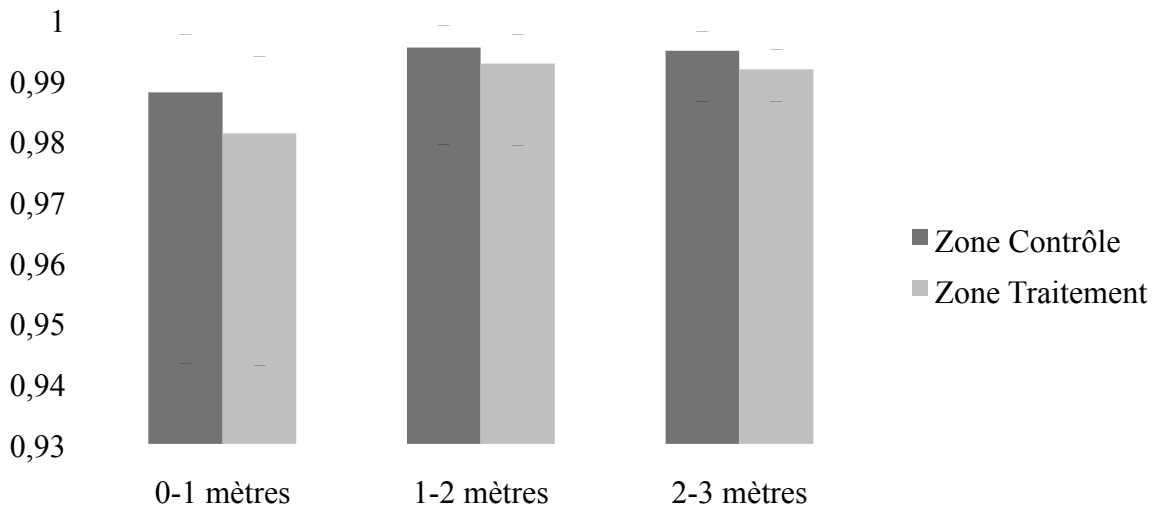


Figure 6 : Estimation de la survie journalière des nichées en fonction de la zone et de la hauteur d'installation du nid.

Ces estimations sont journalières. Lorsqu'elles sont rapportées à la durée totale, de la ponte jusqu'au moment où les jeunes ont atteint 3 semaines (stade auquel le suivi est arrêté), les estimations suivantes sont obtenues : globalement, la survie moyenne des nichées en zone Traitement est inférieure à celle en zone Contrôle, et la survie moyenne des nichées est plus forte pour les nids situés entre 1 et 2 mètres (survie moyenne égale à 0,823 [0,416-0,958] pour la zone Contrôle et 0,736 [0,413-0,899] pour la zone Traitement), que pour les nids situés entre 2 et 3 mètres (survie égale à 0,802 [0,564-0,919] pour la zone Contrôle et 0,707 [0,562-0,812] pour la zone Traitement) et elle est la plus faible pour les nids situés entre 0 et 1 mètres (survie égale à 0,601 [0,086-0,902] pour la zone Contrôle et 0,450 [0,084-0,775] pour la zone Traitement) (figure 7).

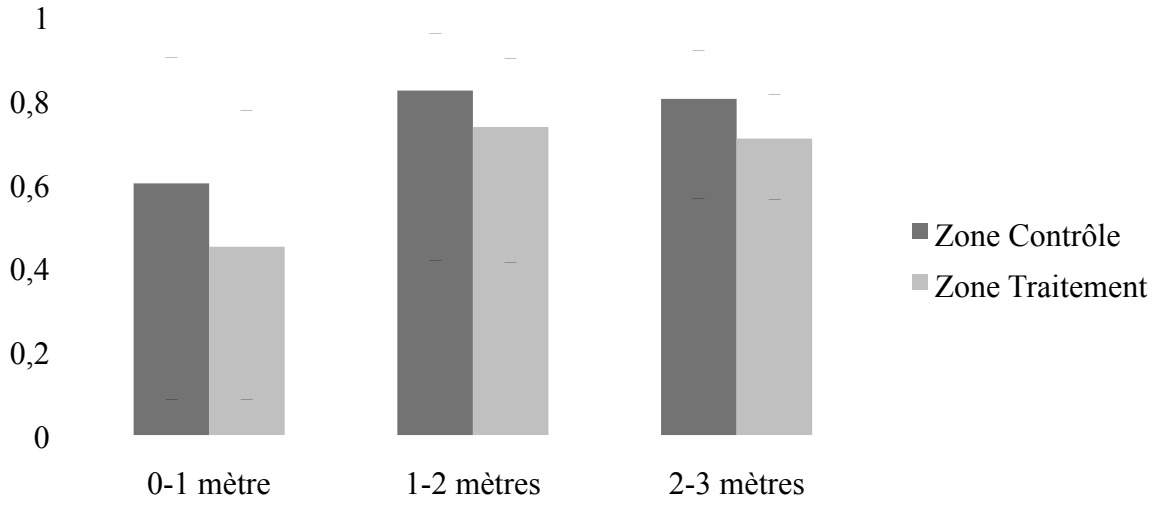


Figure 7 : Estimation de la survie des nichées en fonction de la zone et de la hauteur d'installation du nid.

On peut remarquer des différences entre les résultats donnés par l'outil « Nest Survival » sur le programme Mark et ceux donnés par les Modèles Linéaires Généralisés effectués sans prendre en compte la Précocité. Ces analyses n'utilisent pas la même variable réponse. Pour les GLM, la variable réponse utilisée est le nombre de jeunes en succès ainsi que le nombre de morts (jeunes morts, œufs non éclos) ; alors que pour l'outil Nest Survival, la variable réponse est le succès ou l'échec de la nichée. Dans ce dernier cas, chaque nichée a le même poids dans le modèle, alors qu'il est possible que dans les GLM les nichées avec 0 jeunes observés (et donc 0 jeunes morts) aient peu de poids par rapport aux nichées pour lesquelles le nombre de jeunes minimum a pu être estimé. Pour ces nichées, le nombre de jeunes n'a pas pu être estimé car le nid a été en échec avant que les œufs éclosent, ou juste après l'éclosion au moment où les jeunes ne sont pas encore très visibles. Il a donc été décidé d'effectuer des GLM en prenant en compte uniquement les nids qui étaient au stade œuf au moment de la première session de baguage, afin de voir si le dérangement lié au baguage a une influence particulière sur ces nids là.

3.6. Estimation de la survie des nichées qui étaient au stade œuf au moment du baguage

Afin d'identifier les variables qui influent sur la survie des nichées qui étaient au stade œuf au moment du baguage, 20 modèles linéaires généralisés ont été réalisés, avec le succès ou l'échec du nid en variable réponse. Le tableau 7 liste ces modèles, classés par AICc

croissant. Les cinq premiers modèles ont un delta AICc compris entre 0,00 et 1,42 : ils sont considérés comme équivalents.

Tableau 7 : Liste des modèles testés, classés par AICc croissant (en vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Modèle	Nb param.	AICc	Δ AICc	Poids d'AICc
Espèce+Hauteur+Zone	8	174,1	0,00	0,202
Espèce+Hauteur	6	174,8	0,72	0,141
Année+Espèce+Hauteur	8	174,9	0,80	0,135
Hauteur+Zone	5	175,1	1,01	0,122
Année+Espèce+Hauteur+Zone	10	175,5	1,42	0,099
Hauteur	3	176,1	2,03	0,073
Année+Hauteur	5	176,3	2,22	0,067
Année+Hauteur+Zone	7	176,6	2,50	0,058
Espèce+Hauteur+Zone+Zone*Espèce	14	177,3	3,16	0,042
Année+Espèce+Hauteur+Zone+Zone*Espèce	16	178,8	4,66	0,020
Espèce+Zone	5	179,4	5,23	0,015
Année+Espèce+Zone	7	180,4	6,29	0,009
Année+Espèce	5	180,9	6,81	0,007
Espèce+Zone+Zone*Espèce	11	182,0	7,86	0,004
Espèce	3	182,0	7,86	0,004
Année+Espèce+Zone+Zone*Espèce	13	183,0	8,89	0,002
Zone	2	185,2	11,09	0,001
Année+Zone	4	186,7	12,55	0,000
Année	2	188,8	14,71	0,000
Nul	1	189,4	15,33	0,000

Le premier modèle retient les effets de l'espèce, de la hauteur et de la zone sur la survie des nichées. Ce modèle estime une survie moyenne des jeunes plus faible en zone Traitement (survie moyenne de 0,502 [0,369-0,635]) qu'en zone Contrôle (survie moyenne de 0,659 [0,533-0,767]) (figure 8 a)). La survie estimée des nichées d'ibis est plus faible (survie moyenne égale à 0,258 [0,080-0,581]) que celle des nichées d'aigrettes (survie moyenne égale

à 0,590 [0,419-0,742]), et des nichées de garde-bœufs (survie moyenne égale à 0,642 [0,516-0,750]) (figure 8 b)). Elle est cependant beaucoup plus variable. Enfin, la survie moyenne estimée des nichées situées entre 0 et 1 mètre est plus faible et plus variable (survie moyenne égale à 0,167 [0,039-0,494]) que celle des nichées situées entre 1 et 2 mètres (survie moyenne égale à 0,645 [0,530-0,746]), et celles situées entre 2 et 3 mètres (survie moyenne égale à 0,657 [0,485-0,796]) (figure 8 c)). Les modèles suivant présentent des résultats similaires au premier modèle

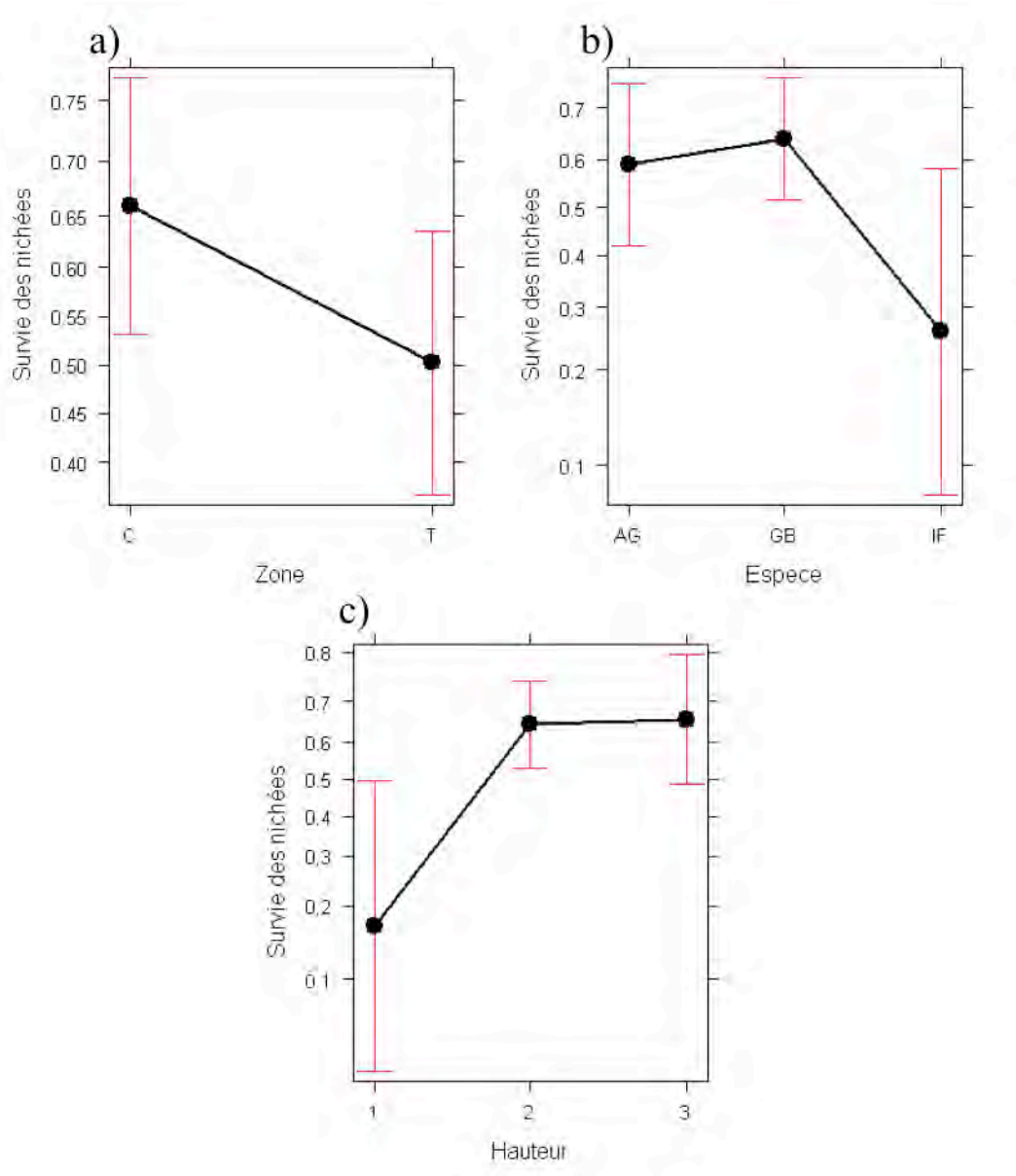


Figure 8 : Estimation de la survie des nichées en fonction a) de la zone (C : Contrôle ; T : Traitement), b) de l'espèce (AG : Aigrette garzette, GB : Héron garde-bœufs, IF : Ibis falcinelle) c) de la hauteur d'installation du nid (1 : entre 0 et 1 mètre ; 2 : entre 1 et 2 mètres ; 3 : entre 2 et 3 mètres).

4. Discussion

4.1. Influence du baguage

Alors que les modèles basés sur le nombre de jeunes à l'envol par nid montrent une absence d'effet du baguage (voire un effet positif), les modèles basés sur le succès des nichées suggèrent un effet négatif du baguage sur la probabilité d'éclosion. Le baguage aurait donc une influence sur l'échec ou le succès des nichées, lorsque celles-ci sont dérangées au stade œuf. Une première hypothèse serait liée à l'investissement des adultes dans leur reproduction. En effet, plus la reproduction est avancée, plus les individus sont investis et moins ils abandonneront leur nichée. Si le dérangement a lieu au stade œuf, l'investissement des adultes est moindre que s'il a lieu au stade poussin, et ceux-ci pourraient plus facilement abandonner leur nichée. Tremblay & Ellison (1979) ont montré que le dérangement inhibait la couvaison chez le Bihoreau gris, ce qui peut être également le cas pour les autres espèces de hérons. De plus, les adultes pourraient ne pas revenir au nid assez rapidement à partir du moment où les équipes de baguage quittent la colonie, et exposer leur nichée à des potentiels prédateurs (Frederick & Collopy, 1989). Cette hypothèse est cependant peu probable dans cette étude car tous les adultes des 10 nichées suivies après le baguage étaient revenus dans les 30 minutes. Enfin, la météo joue certainement un rôle mais une attention particulière est portée sur les conditions climatiques afin que les sessions de baguages sont mises en place dans les meilleures conditions possibles, à savoir peu ou pas de vent et tôt le matin afin d'éviter que les œufs ou les petits poussins soient confrontés à des températures trop élevées. Ce résultat reste assez surprenant car un effet était plutôt attendu sur les jeunes ayant déjà éclos, car la manipulation des jeunes poussins est un moment stressant et aboutit en général à une perte de poids dans les jours qui suivent (Leberman & Stern, 1977).

4.2. Position du nid dans l'arbre

Les modèles estiment tous une survie des jeunes et des nichées significativement plus faible pour les nids situés entre 0 et 1 mètre au dessus du niveau d'eau que pour ceux situés au dessus d'un mètre. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cela. En général, les oiseaux s'installent en premier sur les meilleurs emplacements qui peuvent leur offrir de nombreux avantages tels qu'une meilleure protection contre le vent et les prédateurs, des arbres plus hauts et plus solides où les nids pourront être solidement construits, ainsi qu'une bonne accessibilité aux matériaux de construction (Blondel & Isenmann, 1981). Ces emplacements

colonisés précocement forment le cœur de la colonie, autour duquel s'installent ensuite les individus plus tardifs. Habituellement, les ardéidés s'installent à des hauteurs assez élevées afin d'être protégés des prédateurs terrestres. Dans des colonies de hérons arboricoles, situées dans des bois composés de Peupliers blancs (*Populus alba*), Ormes (*Ulmus sp.*), Frênes (*Fraxnius sp.*), Saules blancs (*Salix alba*), la hauteur moyenne d'installation se situe autour de 7 mètres pour l'Aigrette garzette et le Héron garde-bœufs, avec une gamme de hauteurs assez vaste pouvant aller de 2 mètres à 17 mètres (Blondel & Isenmann, 1981 ; Hafner, 1977). Dans la colonie du Scamandre, la hauteur des tamaris n'excède pas 3 mètres, et l'inondation du site permet d'éviter les cas de prédation par des prédateurs terrestres. Les ardéidés s'installent tout de même préférentiellement à des hauteurs intermédiaires plutôt que basses, comme ils le feraient dans un site non inondé ou inondé temporairement. Ceci explique la plus faible observation des nids situés entre 0 et 1 mètre au dessus du niveau d'eau. Ces emplacements sont donc certainement les derniers à être occupés, et choisis par des individus plus tardifs qui s'installent sur les parties encore libres de la colonie et potentiellement de moins bonne qualité. De façon plus anecdotique, la colonie est située à côté d'un pré où se trouve une manade de taureaux, et ceux-ci parcourent régulièrement la colonie. Ces passages impactent principalement les nids situés à moins d'un mètre de haut. L'échec de plusieurs nids, qui ont été vus renversés, a été attribué au passage des taureaux, qui est facilement identifiable aux branches arrachées et traces de pas. Enfin, les nids les plus bas sont également les plus accessibles lors du baguage, bien que la différence de survie ne semble pas due au baguage car elle est observée dans les deux zones.

4.3. Différence du succès reproducteur selon les années

La survie estimée des jeunes et des nichées en 2016 est plus faible qu'en 2015. Cette différence inter-annuelle est certainement due aux conditions climatiques : les intempéries peuvent avoir un impact non négligeable sur les jeunes oiseaux (Blondel & Insenmann, 1981). Le vent fort, en particulier le mistral en Camargue, peut avoir une action directe et renverser les nids situés sur les branches les plus fines, quand il ne déracine pas directement les arbres ; ou faire s'envoler les œufs lorsque l'adulte est obligé de se lever en cas de dérangement par un prédateur ou par l'Homme (Hafner, 1977). Plusieurs nids renversés ont en effet été observés dans la colonie que ce soit en 2015 ou en 2016, mais aucune perte d'œufs liée au vent n'a été vue car les passages ne pouvaient se faire que par temps calme. Cependant, en 2016, plusieurs nids avec des jeunes morts ont été observés au sein de la colonie, attestant d'une mortalité due à la pluie et au froid (Kayser, comm. pers.), et plusieurs épisodes

pluvieux ont eu lieu lors de la saison de reproduction. L'année 2015 quant à elle, a été beaucoup plus clémente et peu ou pas de poussins morts à cause des intempéries ont été observés dans la colonie (Kayser, comm. pers.).

En 2016, l'installation des ibis a été plus tardive qu'en 2015, certainement dû à un dérangement dans la colonie. Il est probable que les premiers arrivants, supposés de meilleure qualité, qui ont été dérangés, ne soient pas revenus s'installer sur cette même colonie mais se soient dispersés au sein des autres colonies camarguaises. Les individus qui se sont installés ensuite seraient probablement de moins bonne qualité que les premiers, ce qui engendrerait une survie plus faible des jeunes produits.

4.4. Survie des jeunes et précocité

Les estimations du meilleur modèle prenant en compte l'effet de la précocité sont contraires à ce qui était attendu. En effet, la précocité est considérée comme le reflet de la qualité de l'individu : pour une espèce et une année donnée, les individus de meilleure qualité s'installent en général plus tôt au sein de la colonie, dans les zones les plus favorables, pondent donc plus tôt et ainsi leurs œufs éclosent plus tôt. Il est donc attendu d'avoir une survie des jeunes plus importante pour les nichées ayant éclos le plus tôt, et que cette survie soit décroissante avec la date d'éclosion. Ici, la date d'éclosion a été standardisée par espèce et par année afin de voir comment un individu se positionne par rapport au reste de sa cohorte. Le modèle estime donc une survie des jeunes moins élevée pour les œufs ayant éclos plus tôt que la moyenne, et plus élevée pour ceux ayant éclos plus tardivement. Dans la littérature, les exemples sont contraires (Ryder & Ryder, 1981), les individus les plus précoces ayant un meilleur succès reproducteur que les individus tardifs, et leurs jeunes ayant une survie plus forte. Il a aussi été montré que lorsque les nichées éclosent plus tard, elles ont tendance à contenir moins de jeunes que les nichées plus précoces (McNeil & Léger 1987). Ce n'est pas le cas pour nos observations, le nombre d'œufs par nichée n'est pas significativement différent entre les premiers nids éclos et les derniers (annexe II).

La variable précocité a été estimée à partir de la date d'éclosion. Cependant, dans la littérature il est montré que c'est plutôt la date d'installation qui reflète la qualité des parents (Ryder & Ryder, 1981), plus que la date d'éclosion. Ici, la date d'installation n'a pas pu être déterminée précisément car le suivi a commencé lorsque les oiseaux étaient déjà installés afin de ne pas les déranger lors de la période critique d'installation. La date d'éclosion reflète sans doute mal la date d'installation car la période entre l'installation et la ponte est variable d'un

individu à un autre. En effet, bien que la littérature considère que la période moyenne de couvaison soit de 3 semaines, il a été observé des individus sur nid pendant des périodes supérieures à 4 semaines. Cela suggère une variabilité entre les individus sur le délai entre la construction du nid et la ponte du premier œuf.

Il faudrait pouvoir suivre l'installation des oiseaux dans la colonie. Un protocole a été mis en place dans ce sens cette année mais a rapidement été abandonné après avoir remarqué une désertion temporaire des individus qui avaient commencé à s'installer. En effet, la période d'installation est un moment très critique pour la plupart des oiseaux, et un dérangement quelconque peut les conduire à abandonner le site pour la saison de reproduction.

4.5. Étude comparative

Concernant les aigrettes et les hérons garde-bœufs, le nombre moyen de jeunes à l'envol observé dans la colonie du Scamandre est similaire à ce qui a été observé dans d'autres colonies (tableau 7). Pour les ibis, il est inférieur à ce qui a pu être observé dans des colonies proches (en Algérie et Tunisie), mais supérieur à ce qui a été observé aux Etats-Unis. Cela pourrait être du à l'installation plus tardive des ibis en 2016, qui pourraient être des individus de moins bonne qualité car installés plus tard. Plusieurs facteurs peuvent expliquer les différences du nombre de jeunes à l'envol comme par exemple les conditions climatiques (Blondel & Isenmann, 1981), ainsi que d'autres facteurs dépendants des colonies comme l'inondation des sites de nidification, la pression de prédation, le nombre de couples nicheurs au sein de la colonie, ou encore la distance des sites de nourrissage.

Tableau 7 : Nombre moyen de jeunes d'Ibis falcinelle, Aigrette garzette et Héron garde-bœufs à l'envol dans différentes colonies du monde.

Espèce	Lieu	Nombre de jeunes à l'envol	Source
Ibis falcinelle	Algérie	2,71 ± 0,73 (sur 97 nids)	Belhadj *et al.*, 2007
	Tunisie	2,77 (sur 18 nids)	Nefla *et al.*, 2012
	Etats-Unis	1,03 ± 0,9 (sur 20 nids)	Burger, 1978
Aigrette garzette	Algérie	3 (± 0,76) (sur 106 nids)	Belhadj *et al.*, 2007
	Camargue	2,6 (sur 57 nids)	Hafner, 1980
	Corée	2,68 ± 1,14 (sur 31 nids)	Kim & Koo, 2009
Héron garde-bœufs	Algérie	2,46 (±0,64) (sur 90 nids)	Belhadj *et al.*, 2007
	Algérie	1,69 ± 0,87 (sur 58 nids)	Si Bachir *et al.*, 2000

	Etats-Unis	2,54 (± 0,9) (sur 20 nids)	Burger, 1978

5. Conclusion

Différents facteurs influencent le succès reproducteur des ardéidés dans la colonie du Scamandre. La hauteur d'installation du nid a un effet significatif, les couples qui nichent le plus bas ayant un succès reproducteur plus faible que les autres. Même si cela n'a pas été mesuré précisément dans cette étude, il a été observé que les mauvaises conditions météorologiques jouent un rôle également dans la diminution du succès reproducteur, car une différence de survie des jeunes a été observée entre les deux années de suivi. Le dérangement lié au baguage ne semble pas avoir d'effet significatif sur la survie des jeunes, lorsque ceux-ci ont éclos au moment du dérangement. Il semble cependant y avoir un effet du dérangement sur les nichées qui sont au stade œuf.

Une mesure de gestion qui pourrait être mise en place afin de diminuer l'effet du baguage sur les nichées au stade œuf serait de décaler la première session de baguage au moment où la grande majorité des œufs ont éclos. Cependant, cela implique de rater la plupart des jeunes des nichées qui ont éclos plus tôt, car actuellement, lors des premières sessions de baguage il y a déjà de nombreux jeunes qui ont plus de 3 semaines et qu'il est impossible de capturer car ils s'aventurent trop haut dans les arbres. Il ne semble pas judicieux de trop retarder le baguage, car l'effort humain fourni et le stress occasionné dans la colonie sont trop importants pour ne baguer qu'une centaine de poussins. Il est également possible que, si l'on s'en réfère aux observations générales sur les colonies, les jeunes éclos les premiers aient une meilleure survie que les jeunes éclos plus tard. S'il est choisi de baguer plus tardivement, le fait de rater les jeunes plus précoces et donc plus aptes à survivre que les autres peut induire un biais dans l'évaluation du taux de survie de la population, à savoir que ce taux sera sous-estimé. Cet effet peut être inverse s'il est choisi de baguer les jeunes précoces. Il serait donc contre-productif de rater les jeunes plus précoces, d'autant plus qu'il semble plus judicieux de concentrer l'effort et le coût sur les jeunes de meilleure qualité.

Il aurait été intéressant de savoir quels endroits de la colonie sont colonisés en premier, afin de pouvoir vérifier si le succès reproducteur des premiers nicheurs est plus fort que ceux installés plus tardivement en périphérie de la colonie, car bien que cela ait été démontré sur de nombreuses colonies, il n'est pas certain que cet effet soit présent sur toutes les colonies (Ryder & Ryder, 1981). Cependant la période d'installation est critique pour les échassiers,

donc des passages répétés dans la colonie, même en affût, ne peuvent pas être envisagés. Un suivi régulier aérien pourrait être mis en place pendant les premières semaines d'installation, au moyen d'un avion à hélice comme cela est déjà mis en place en Camargue pour suivre et compter certaines colonies, ou avec un drone. Cependant, les effets du drone et le dérangement qu'il induit sont étudiés actuellement et restent à préciser (Vas *et al*., 2015), notamment car les oiseaux peuvent le voir comme un prédateur et donc réagir de la même façon que lors d'une intrusion dans la colonie. Si cette possibilité est envisagée, elle nécessitera une étude préliminaire pour identifier la distance limite à partir de laquelle la présence du drone induit un dérangement pour les oiseaux nicheurs.

Les études en sciences de la conservation qui nécessitent une proximité avec la faune sauvage ont pour la plupart un impact sur celle-ci, qui peut être plus ou moins important selon la nature de la recherche et l'espèce étudiée. Le dérangement peut non seulement avoir des effets sur l'espèce, sa reproduction et sa survie, mais peut également modifier le comportement des individus et donc potentiellement biaiser les résultats des études. L'effet du dérangement sur les animaux sauvages a toujours été présent, bien qu'il soit minimisé, mais est difficile à quantifier. Actuellement, les scientifiques s'attachent à quantifier les effets potentiels du dérangement induit par leurs recherches, pour ainsi tenter de les minimiser.

Bibliographie

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(5-6)**: 967-988.

Belhadj, G., Chabi, Y., Chalabi, B., & Gauthier-Clerc, M. (2005). The Breeding Biology of the Cattle Egret Ardea ibis, the Little Egret *Egretta garzetta*, the Squacco Heron *Ardeola ralloides*, the Black-Crowned Night Heron *Nycticorax nycticorax*, the Purple Heron *Ardea purpurea* and the Glossy Ibis *Plegadis falcinellus*, at the Lac Tonga, Algeria. *European Journal of Sientific Research* **19(1)**: 58-70.

Blackmer, A. L., Ackerman, J. T., Nevitt, G. A. (2004). Effects of investigator disturbance on hatching success and nest-site fidelity in a long-lived seabird, Leach's storm-petrel. *Biological Conservation*, **116**: 141-148.

Blondel, J. & Isenmann, P. (1981). Guide des oiseaux de Camargue. Paris : Delachaux & Niestlé. ISBN : 2-603-00234-1.

Bolduc, F., & Guillemette, M. (2003). Human disturbance and nesting success of Common Eiders: interaction between visitors and gulls. *Biological Conservation*, **110**: 77-83.

Brown, C. R., & Brown, M. B. (2001). Avian coloniality. In : *Current ornithology volume 16*. New York : Springer US, p. 1-82. ISBN : 0-306-46486-1.

Burger, J. (1978). Competition between Cattle Egrets and native North American herons, egrets, and ibises. *The Condor*, **80(1)**: 15-23.

Burger, J., Gochfeld, M., Jenkins, C. D., & Lesser, F. (2010). Effect of approaching boats on nesting black skimmers: using response distances to establish protective buffer zones. *The Journal of Wildlife Management*, **74(1)**: 102-108.

Carney, K. M., & Sydeman, W. J. (1999). A review of human disturbance effects on nesting colonial waterbirds. *Waterbirds*, **22(1)**: 68-79.

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.

Culik, B., Adelung, D., & Woakes, A. J. (1990). The effect of disturbance on the heart rate and behavior of Adélie penguins (*Pygoscelis adeliae*) during the breeding season. In : Kerry, K. R., & Hempel, G., *Antarctic Ecosystems : Ecological change and conservation.* Berlin : Springer Berlin Heidelberg, p. 177-182. ISBN : 978-3-642-84074-6.

Dami, L., Bennetts, R. E., Hafner, H. (2006). Do Cattle Egrets Exclude Little Egrets from Settling at Higher Quality Sites within Mixed-Species Colonies? *Waterbirds*, **29(2)**: 154-162.

Dietrich, L., Kayser, Y. & le C.H.N. (1999). Statut de l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* en France. *Ornithos*, **4(6)**: 183-188.

Ellenberg, U., Mattern, T. & Seddon, P. J. (2013). Heart rate responses provide an objective evaluation of human disturbance stimuli in breeding birds. *Conservation Physiology*, **1**: 1-11.

Erwin, R. M. (1989). Responses to Human Intruders by Birds Nesting in Colonies: Experimental Results and Management Guidelines. *Colonial Waterbirds,* **12(1)**: 104-108.

Ferrand, Y., Aubry, P., Landry, P., & Priol, P. (2013). Responses of Eurasian woodcock *Scolopax rusticola* to simulated hunting disturbance. *Wildlife Biology*, **19(1)**: 19-29.

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.

Frid, A., & Dill, L. M. (2002). Human-caused disturbance stimuli as a form of predation risk. *Conservation Ecology*, **6(1)**: 11.

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

Guillemain, M., Lepley, M., Massez, G., Caizairgues, A., Rodrigues, D., Figueiredo, M. (2008). Addenum: Eurasian Teal *Anas crecca* nasal saddle loss in the Camargue, France. *Bird Study*, **55**: 135-138.

Gochfeld, M. (1981). Differences in Behavioral Responses of Young Common Terns and Black Skimmers to Intrusion and Handling. *Colonial Waterbirds*, **4**: 47-53.

Hafner, H. (1977). Contribution a l'étude écologique de quatre espèces de Hérons: *Egretta garzetta L., Ardeola ralloides Scop., Ardeola ibis L., Nycticorax nycticorax L.* pendant leur nidification en Camargue. Thèse. Toulouse : Université Paul Sabatier. 232p.

Hafner, H. (1980). Étude écologique des colonies de herons arboricoles (*Egretta g. garzetta* L., *Ardeola r. ralloides* Scop., *Ardeola i. ibis* L., *Nycticorax n. nycticorax* L.) en Camargue. *Bonner Zoologische Beiträge*, **31**: 249-287.

Ibáñez-Álamo, J. D., Sanllorente, O., & Soler, M. (2012). The impact of researcher disturbance on nest predation rates: a meta-analysis. *Ibis*, **154(1)**: 5-14.

Ikuta, L. A., & Blumstein D. T. (2002). Do fences protect birds from human disturbance ? *Biological conservation*, **112**: 447-452.

Kayser, Y., Didner, E., Dietrich, L., Hafner, H. (1996). Nouveau cas de reproduction de l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* en Camargue en 1996. *Ornithos*, **3-4** : 200-201.

Kayser, Y., Gauthier-Clerc, M., Paz, L., Ballesteros, M., Baudouin, S., Petit, J. (2006). Nouveaux cas de nidification de l'Ibis falcinelle *Plegadis falcinellus* en Camargue en 2006. *Ornithos*, **13(5)**: 322-325.

Kayser, Y. & Gauthier-Clerc, M. (2009a). Ibis falcinelle. In : Flitti, A., Kabouche, B., Kayser, Y., Olioso, G., *Atlas des oiseaux nicheurs de Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Paris : Delachaux et Niestlé. p. 116-117. ISBN : 978-2-603-01622-0.

Kayser, Y. & Gauthier-Clerc, M. (2009b). Héron garde-bœufs. In : Flitti, A., Kabouche, B., Kayser, Y., Olioso, G., *Atlas des oiseaux nicheurs de Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Paris : Delachaux et Niestlé. p. 104-105. ISBN : 978-2-603-01622-0.

Kayser, Y. & Gauthier-Clerc, M. (2009c). Aigrette garzette. In : Flitti, A., Kabouche, B., Kayser, Y., Olioso, G., *Atlas des oiseaux nicheurs de Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Paris : Delachaux et Niestlé. p. 106-107. ISBN : 978-2-603-01622-0.

Kerbiriou, C., Le Viol, I., Robert, A., Porcher, E., Gourmelon, F. & Julliard, R. (2009). Tourism in protected areas can threaten wild populations: from individual response to population viability of the Chough Pyrrhocorax pyrrhocorax. *Journal of Applied Ecology*, **46(3)**: 657-665.

Kim, J., & Koo, T. H. (2009). Nest site selection and reproductive success of herons and egrets in Pyeongtaek heronry, Korea. *Waterbirds*, **32(1)**: 116-122.

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

Kury, C. H., & Gochfeld, M. (1975). Human interference and gull predation in cormorant colonies. *Biological Conservation*, **8**: 23-34.

Leberman, R. C. & Stern, M. A. (1977). Handling-induced shock in migrants songbirds. *North American Bird Bander*, **2**: 50-54.

Legagneux, P., Simard, A.-A., Gauthier, G., Bêty, J. (2013). Effects of neck collars on the body condition of migrating Greater Snow Geese. *Journal of Field Ornithology*, **84**: 201-209.

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.

Marchand, P., Garel, M., Bourgoin, G., Dubray, D., Maillard, D., & Loison, A. (2014). Impacts of tourism and hunting on a large herbivore's spatio-temporal behavior in and around a French protected area. *Biological Conservation*, **177**: 1-11.

McNeil, R., & Léger, C. (1987). Nest-site quality and reproductive success of early-and late-nesting Double-crested Cormorants. *The Wilson Bulletin*, **99(2)**: 262-267.

Müllner, A., Linsenmair, K. E., Wikelski, M. (2004). Exposure to ecotourism reduces survival and affects stress response in hoatzin chicks (*Opisthocomus hoazin)*. *Biological Conservation*, **118**: 549-558.

Navedo, J. G., & Herrera, A. G. (2012). Effects of recreational disturbance on tidal wetlands: supporting the importance of undisturbed roosting sites for waterbird conservation. *Journal of Coastal Conservation*, **16(3)**: 373-381.

Nefla, A., Ouni, R., & Nouira, S. (2012). The Breeding Status of the Glossy Ibis *Plegadis falcinellus* in the Lebna Dam in Cap Bon, Tunisia. *Journal of Life Sciences*, **6(7)**: 776.

Pavez, G., Muñoz, L., Barilari, F., & Sepúlveda, M. (2015). Variation in behavioural responses of the South American sea lion to tourism disturbance: Implications for tourism management. *Marine Mammal Science*, **31(2)**: 427-439.

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

Pineau, O., Kayser, Y., Hafner, H. (1996). Nidification de l'Ibis falcinelle (*Plegadis falcinellus*) en Camargue en 1991. *L'oiseau et R.F.O.*, **62**: 174-178.

R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL : http://www.R-project.org/.

Ryder, P. L., & Ryder, J. P. (1981). Reproductive performance of Ring-billed Gulls in relation to nest location. *Condor*, **83(1)**: 57-60.

Santoro, S., Máñez, M., Green, A. J., & Figuerola, J. (2010). Formation and growth of a heronry in a managed wetland in Doñana, southwest Spain. *Bird Study*, **57(4)**: 515-524.

Saraux, C., Le Bohec, C., Durant, J. M., Viblanc, V. A., Gauthier-Clerc, M., Beaune, D., Park, Y.-H., Yoccoz, N. G., Stenseth, N. C., Le Maho, Y. (2011). Reliability of flipper-banded penguins as indicators of climate change. *Nature*, **469**: 203-206.

Shields, M. A., & Parnell, J. F. (1986). Fish Crow Predation on Eggs of the White Ibis at Battery Island, North Carolina. *The Auk*, **103**: 531-539.

Si Bachir, A., Hafner, H., Tourenq, 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,* **55(1)**: 33-43.

Steven, R., Pickering, C., & Castley, J. G. (2011). A review of the impacts of nature based recreation on birds. *Journal of Environmental Management*, **92**: 2287-2294.

Tremblay, J., Ellison, L. N. (1979). Effects of Human Disturbance on Breeding of Black-Crowned Night Herons. *The Auk*, **96(2)**: 364-369.

Vas, E., Lescroël, A., Duriez, O., Boguszewski, G., & Grémillet, D. (2015). Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. *Biology letters*, **11(2)**: 1614-1619.

White, G. C., & Burnham, K. P. (1999). Program MARK: survival estimation from population of marked animals. *Bird study*, **46**: S120-S139.

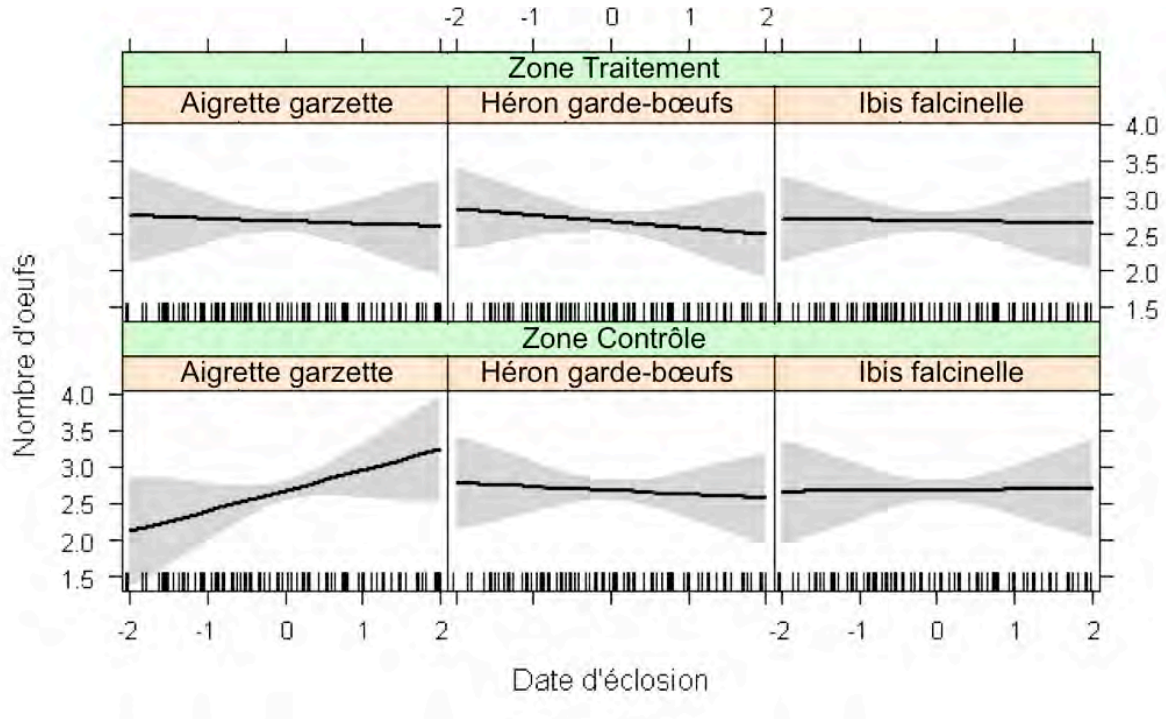
Annexe I : Tableau de sélection de modèles linéaires généralisés prenant en compte la Précocité, classés par AICc croissant. (En vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Modèle	Nb param.	AICc	Δ AICc	Poids d'AICc
Année+Précocité+Hauteur	6	503.7	0.00	0.233
Année+Précocité+Hauteur+Zone	8	504.6	0.90	0.149
Année+Hauteur	5	504.7	0.96	0.144
Précocité+Hauteur	4	506.3	2.59	0.064
Année+Hauteur+Zone	7	506.3	2.63	0.063
Hauteur	3	506.9	3.19	0.047
Année+Précocité	3	507.1	3.42	0.042
Précocité+Hauteur+Zone	6	507.3	3.57	0.039
Année+Précocité+Espece+Hauteur	11	507.8	4.10	0.030
Année+Précocité+Zone	5	508.0	4.28	0.027
Hauteur+Zone	5	508.7	4.94	0.020
Année+Espèce+Hauteur	8	508.7	5.02	0.019
Année+Précocité+Espèce+Hauteur+Zone	11	508.8	5.12	0.018
Précocité	1	509.2	5.47	0.015
Année	2	509.6	5.85	0.013
Précocité+Zone	3	510.2	6.44	0.009
Précocité+Espèce+Hauteur	7	510.3	6.63	0.008
Année+Espèce+Hauteur+Zone	10	510.5	6.79	0.008
Année+Précocité+Espèce	6	510.6	6.91	0.007
Espèce+Hauteur	6	510.9	7.18	0.006
Nul	1	511.2	7.51	0.005
Année+Zone	4	511.3	7.62	0.005
Espèce+Hauteur+Zone	8	511.5	7.76	0.005
Année+Précocité+Espèce+Zone	8	511.5	7.83	0.005
Précocité+Espèce	4	512.7	8.99	0.003
Espèce+Hauteur+Zone	8	512.7	9.02	0.003
Année+Précocité+Espèce+Hauteur+	17	512.8	9.08	0.002

Zone+Zone*Espèce				
Zone	2	513.1	9.36	0.002
Année+Espèce	5	513.1	9.39	0.002
Précocité+Espèce+Zone	6	513.7	10.03	0.002
Année+Espèce+Hauteur+Zone+Zone*Espèce	16	514.3	10.59	0.001
Espèce	3	514.8	11.07	0.001
Année+Espèce+Zone	7	514.9	11.22	0.001
Année+Précocité+Espèce+Zone+ Zone*Espèce	14	515.4	11.73	0.001
Précocité+Espèce+Hauteur+Zone+ Zone*Espèce	15	515.6	11.85	0.001
Espèce+Hauteur+Zone+Zone*Espèce	13	516.6	12.91	0.000
Espèce+Zone	5	516.7	12.98	0.000
Précocité+Espèce+Zone+Zone*Espèce	12	517.8	14.11	0.000
Année+Espèce+Zone+Zone*Espèce	12	518.7	14.99	0.000
Espèce+Zone+Zone*Espèce	11	520.6	16.87	0.000

Annexe II : Modèle linéaire effectué sur le nombre d'œufs par nid afin de voir s'il existe une variation en fonction de la date d'éclosion, de l'espèce et de la zone.

Afin de déterminer si le nombre d'œufs minimum pondu varie selon la date d'éclosion, un modèle linéaire a été effectué, prenant en compte l'effet de la date d'éclosion en interaction avec la zone et l'espèce. Le nombre d'œufs minimum ne varie pas significativement en fonction de la date d'éclosion. Une tendance à la diminution du nombre d'œufs minimum avec l'avancement de la date d'éclosion se dégage tout de même pour toutes les espèces dans chacune des zones sauf pour l'Aigrette garzette en zone Contrôle où cette tendance est inverse.

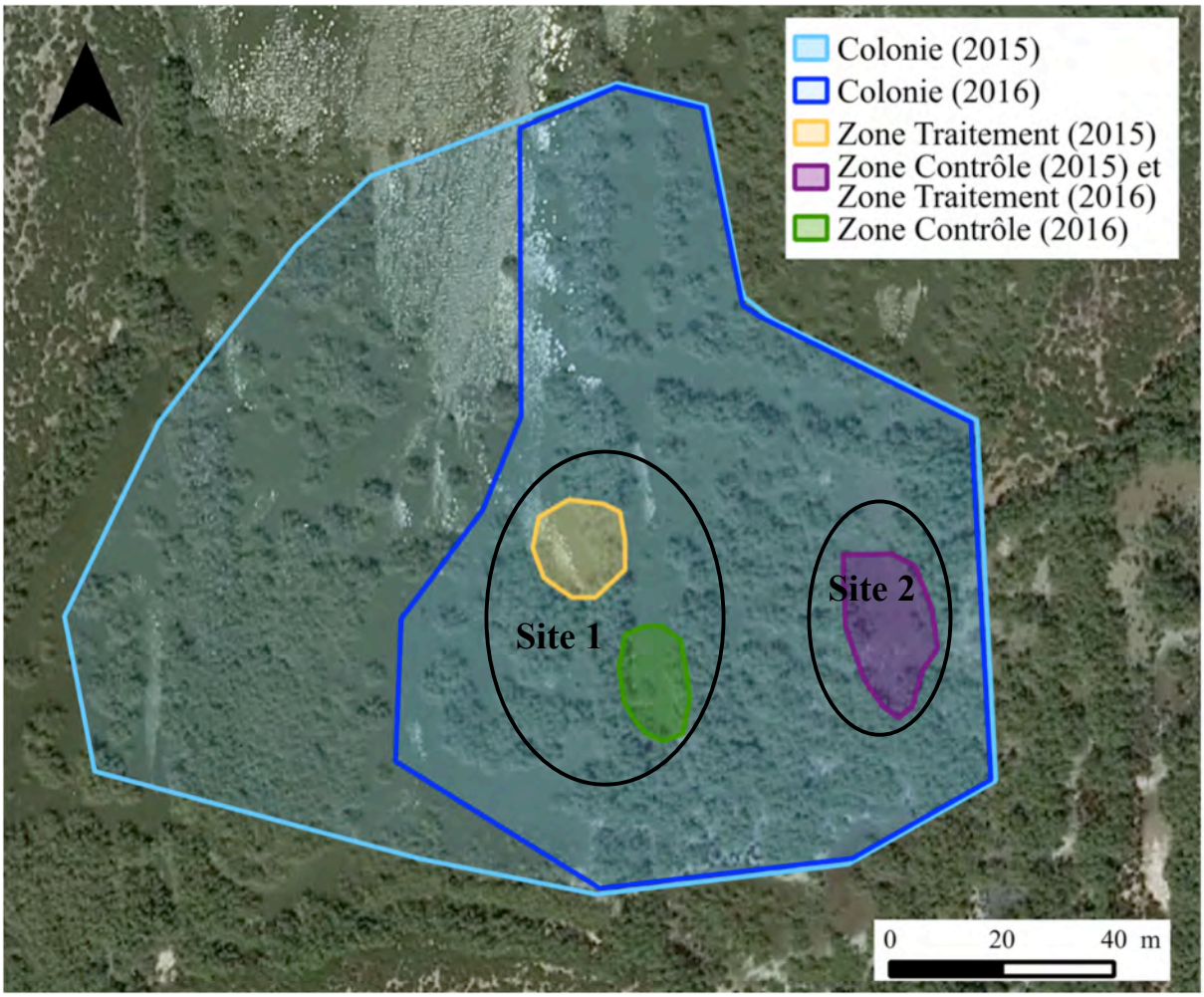


Estimations du nombre d'œuf moyen par espèce et par zone, en fonction de la date d'éclosion.

Annexe III : Modèles Linéaires Généralisés effectués sans la variable Précocité, et en ajoutant la variable Site.

La sélection des zones Contrôle et Traitement s'est fait en fonction de l'installation des oiseaux dans la colonie. La zone Traitement de 2015 n'a pas pu être réutilisée en 2016 car trop peu d'oiseaux s'y étaient installés, et cette zone présente également une différence d'exposition au vent par rapport à la zone Contrôle de 2015. La zone Contrôle de 2015 a donc été utilisée en tant que Traitement en 2016 et une nouvelle zone Contrôle a été établie.

Pour autant, il peut exister un effet « site » qui pourrait influer sur le succès reproducteur des oiseaux nicheurs. Pour tester cela, les zones Contrôle 2016 et Traitement 2015 ont été regroupés en un site (Site 1) et la zone Contrôle 2015 - Traitement 2016 a été appelée Site 2.



Pour vérifier si un tel effet existe dans la colonie, 40 Modèles Linéaires Généralisés en loi binomiale ont été effectués, avec le succès reproducteur comme variable réponse.

La variable site est prise en compte dans le premier modèle, ainsi que dans les 2 modèles suivants qui ne sont pas différents du premier (tableau 1).

Tableau 1 : Tableau de sélection de modèles linéaires généralisés prenant en compte le site, classés par AICc croissant. (En vert : le meilleur modèle ; en orange : les modèles ayant un delta AICc inférieur à 2 par rapport au meilleur modèle).

Modèle	Nb param.	AICc	Δ AICc	Poids d'AICc
Année+Hauteur+Site	8	541,0	0,00	0,350
Hauteur+Site	5	542,2	1,25	0,187
Année+Hauteur+Site+Zone	9	542,8	1,82	0,141
Hauteur+Site+Zone	7	544,3	3,29	0,068
Année+Espèce+Hauteur+Site	10	544,7	3,74	0,054
Année+Hauteur	5	544,7	3,76	0,053
Espèce+Hauteur+Site	8	546,0	5,00	0,029
Année+Hauteur+Zone	7	546,2	5,27	0,025
Hauteur	3	546,4	5,45	0,023
Année+Espèce+Hauteur+Site+Zone	12	546,6	5,65	0,021
Hauteur+Zone	5	548,0	7,07	0,010
Espèce+Hauteur+Site+Zone	10	548,1	7,09	0,010
Année+Espèce+Hauteur	8	548,4	7,43	0,009
Espèce+Hauteur	6	550,0	9,06	0,004
Année+Espèce+Hauteur+Zone	10	550,0	9,08	0,004
Année+Espèce+Hauteur+Site+Zone+Zone*Espèce	18	550,2	9,26	0,003
Espèce+Hauteur+Zone	8	551,8	10,83	0,002
Espèce+Hauteur+Site+Zone+Zone*Espèce	16	551,9	10,93	0,001
Année+Site	4	552,2	11,29	0,001
Site	2	553,0	12,02	0,001
Année	2	553,8	12,87	0,001
Année+Espèce+Hauteur+Zone+Zone*Espèce	16	553,9	12,93	0,001
Année+Espèce+Site	7	554,0	13,01	0,001
Année+Site+Zone	6	554,2	13,21	0,000
Espèce+Site	5	554,7	13,74	0,000

Nul	1	554,9	13,92	0,000
Site+Zone	4	555,0	14,05	0,000
Année+Zone	4	555,5	14,58	0,000
Espèce+Hauteur+Zone+Zone*Espèce	14	555,8	14,84	0,000
Année+Espèce+Site+Zone	9	555,9	14,98	0,000
Année+Espèce	5	556,0	15,03	0,000
Zone	2	556,7	15,73	0,000
Espèce+Site+Zone	7	556,8	15,81	0,000
Espèce	3	557,0	16,07	0,000
Année+Espèce+Zone	7	557,8	16,80	0,000
Espèce+Zone	5	558,9	17,94	0,000
Année+Espèce+Site+Zone+Zone*Espèce	15	559,6	18,63	0,000
Espèce+Site+Zone+Zone*Espèce	13	560,6	19,67	0,000
Année+Espèce+Zone+Zone*Espèce	13	561,5	20,54	0,000
Espèce+Zone+Zone*Espèce	11	562,8	21,86	0,000

Le premier modèle prend donc en compte l'effet de l'année, de la hauteur du nid dans l'arbre et du site sur la survie des jeunes. Comme pour les modèles précédemment présentés, la survie des jeunes est plus forte en 2015 qu'en 2016, et est plus faible pour les nids situés entre 0 et 1 mètres et augmente avec la hauteur du nid. Pour chaque année, la survie des jeunes est plus forte pour le site 1 que pour le site 2 : par exemple pour les nids situés entre 0 et 1 mètre, en 2015, la survie des jeunes estimée pour le site 1 est de 0,716 [0,602 ; 0,807] et 0,608 [0,385 ; 0,793] pour le site 2 (Figure 1).

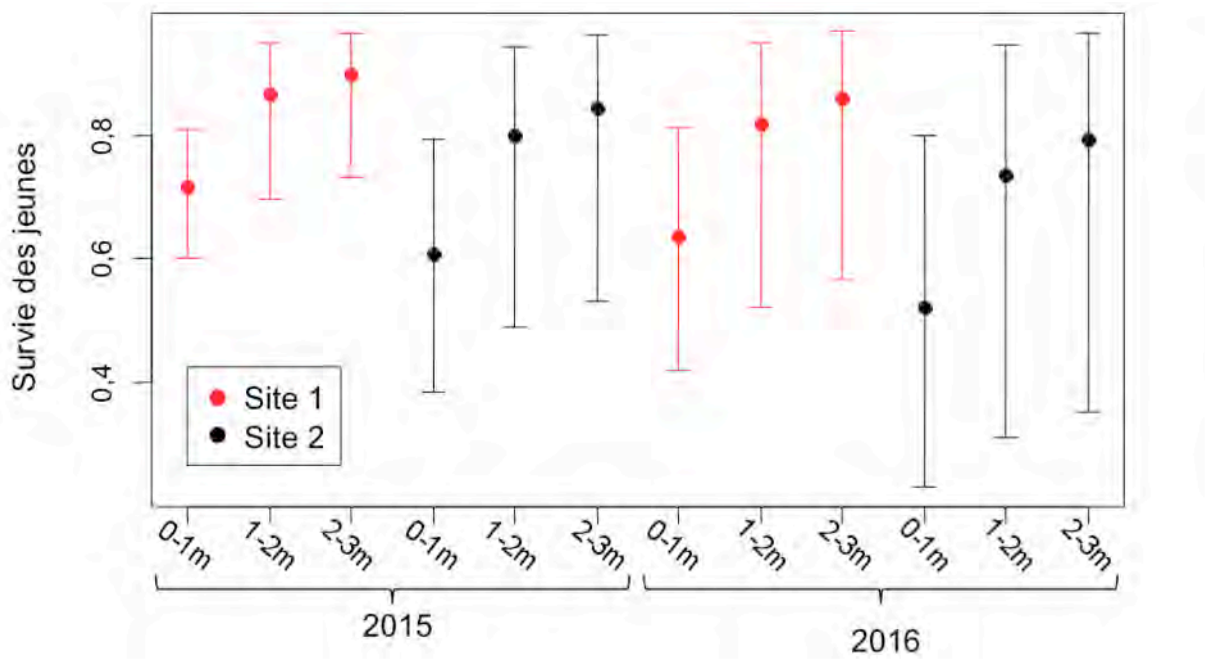


Figure 1 : Survie des jeunes estimée en fonction du site, de l'année et de la hauteur du nid dans l'arbre.

Ces résultats peuvent s'expliquer simplement. En effet, il semble que le site 1 soit le cœur de la colonie, c'est-à-dire la zone où les oiseaux nicheurs s'installent en premier. Il s'agirait donc d'individus plus expérimentés et de meilleure qualité que ceux qui s'installent ensuite, et dans des zones plus périphériques comme le site 2. Il y a donc un effet du site beaucoup plus marqué qu'un effet de la zone : le choix du lieu d'installation dans la colonie et la date d'arrivée des individus semblent jouer un rôle plus important sur leur succès reproducteur.