

ETUDE DU SUCCES D'ECLOSION DES FLAMANTS ROSES (*PHOENICOPTERUS ROSEUS*) EN FONCTION DES SITES DE NIDIFICATION A AIGUES-MORTES



Julie Itty

Stage effectué du 17/04/2023 au 31/08/2023 à

La Tour du Valat

Le Sambuc

13200 Arles, France

Sous la direction scientifique de Mr Antoine Arnaud



"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier Jean Jalbert, Directeur Général de la Tour du Valat, pour m'avoir acceptée au sein de la structure et avoir permis la réalisation de mon stage dans les meilleures conditions.

Ensuite, je suis particulièrement reconnaissante envers mon maître de stage Antoine Arnaud, ingénieur de recherche, pour m'avoir encadrée et guidée tout au long de cette aventure. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir accordé une grande autonomie, autant sur le travail de terrain que sur celui de bureau. Merci pour ta bonne humeur, ta bienveillance et ton partage de connaissances, qui font de toi un excellent encadrant. Ce stage fut un plaisir et une période charnière dans mon parcours professionnel et personnel, en grande partie grâce à toi !

Je tiens également à remercier Samuel Hilaire et Thomas Dagonet, techniciens de recherche, pour m'avoir accueillie dans le bureau. La joyeuse ambiance qui y régnait et votre bonne humeur ne seront jamais oubliées ! Merci aussi pour tous les échanges que nous avons pu avoir durant ces 4 mois. Merci aussi à Vincent Vuillemet, service civique, pour avoir été un super collègue sur le suivi des flamants !

Je remercie aussi Christophe Germain, chef de projet & assistant expert informatique, pour m'avoir accompagnée dans ce stage et avoir extrait les données essentielles à la réalisation de ce rapport. Merci pour ton aide sur la saisie et la gestion des données et tes encouragements ! Merci également à Loïc Willm, ingénieur de recherche, pour son aide lors de la réalisation de la photogrammétrie et de la cartographie.

J'exprime ma gratitude envers Arnaud Béchet, directeur de recherche et responsable de l'axe agroécologie, Jocelyn Champagnon, chargé de recherche et coordinateur du thème conservation des espèces, Hugo Ferreira, doctorant et Antoine Gazaix, chargé de recherche, pour leur aide et leur accompagnement lors de la réflexion sur le sujet de stage et la réalisation des analyses statistiques.

Je tiens également à remercier tous les autres salariés de la Tour du Valat, dont la gentillesse m'a permis de rapidement m'intégrer à la structure. Merci de m'avoir fait découvrir de nombreux autres programmes de recherches !

Mes remerciements vont également à Gwenaël Pivert, directeur des 4 sites de production de sel de mer du sud de la France au sein du groupe SALINS, Alain Berthelot, responsable production des Salins du Midi et tous les salariés du groupe SALINS, pour leur collaboration, essentielle à la réalisation du suivi de la colonie de flamant roses.

Je remercie enfin toutes les personnes impliquées dans le réseau Flamant et qui étudient depuis plus de 60 ans le flamant rose afin de mieux protéger cette espèce si particulière et les zones humides dans leur globalité. Merci aussi aux nombreux bagueurs et observateurs qui permettent de suivre les autres colonies du pourtour méditerranéen et les déplacements des individus.

J'adresse mes chaleureux remerciements à tous les stagiaires, services civiques, volontaires européens et doctorants de la Tour du Valat, ainsi qu'aux amis des structures voisines, pour la vie de communauté à la TdV. Vous êtes géniaux, votre bonne humeur, votre gentillesse et votre bienveillance ont rendu ce stage tellement plus spécial ! Merci pour les discussions, les bons moments et la bonne bouffe ! Mention spéciale à Camille, Lisel, Margot, Louise-Anne, Hugo, Léna et Inès, la team de fin d'année, pour ces joyeux instants passés ensemble ! Merci aussi à tous ceux qui ont apporté leur aide sur le suivi des flamants et la préparation du baguage !

Enfin, je tiens à remercier les personnes qui m'ont aidées à écrire mon rapport, notamment en effectuant un magnifique travail de relecture : Antoine Arnaud, Christophe Germain, Christian et Karine Itty et Adan Vansantberghe.

Table des figures et des tableaux

Figures

Figure 1: Cartographie des domaines de la Tour du Valat (©Tour du Valat)	6
Figure 2 : Sites de nidifications du flamant rose dans les Salins du Midi à Aigues-Mortes en 2023 (©J. Itty - Tour du Valat).....	2
Figure 3 : Erosion de l'îlot Flamant, de 2020 à 2023 (© L. Willm - Tour du Valat)	3
Figure 4 : Flamants nichant sur le gypse à Aigues-Mortes dont les nids sont noyés (©J. Itty - Tour du Valat).....	4
Figure 5 : Flamant nain nourrissant son poussin à la colonie d'Aigues-Mortes (©A. Arnaud - Tour du Valat).....	5
Figure 6 : Flamant nain à côté de flamants roses, à la colonie d'Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)	5
Figure 7 : Carte de la répartition des flamants roses (©Tour du Valat)	6
Figure 8 : Flamants paradant à la colonie d'Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)	7
Figure 9 : Poussins de flamants roses âgés de moins de 5 jours à gauche et au centre, de 20 jours à droite (©J. Itty - Tour du Valat)	8
Figure 10 : Cartographie de la Camargue et des deux principaux sites de reproduction des flamants roses - 2020 (© C. Couderc - Tour du Valat)	10
Figure 11 : Jeu de bagues posé sur les flamants roses (©J. Itty - Tour du Valat).....	13
Figure 12 : Schéma des installations construites pour le baguage des flamants roses à Aigues-Mortes (©J. Itty).....	14
Figure 13 : Circuits opérés par l'observateur - Salin d'Aigues-Mortes 2023 (©J. Itty - Tour du Valat)	15
Figure 14 : Exemple de piquet présent devant l'îlot Flamant, permettant le positionnement des flamants reproducteurs (©J. Itty - Tour du Valat).....	17
Figure 15 : Effectifs de couples nicheurs de flamants roses en mai 2023 à Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)	22
Figure 16 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur origine (©J. Itty)	23
Figure 17 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur classe d'âge (©J. Itty)	24
Figure 18 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon chaque site.....	25
Figure 19 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon les types de sites (©J. Itty).....	26
Figure 20 : Proposition pour l'emplacement d'un nouvel îlot à Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)	29

Tableaux

Tableau 1 : Fiche d'aides concernant les statuts et codes comportements (© C. Germain - Tour du Valat)	15
Tableau 2 : Effectifs de flamants roses selon l'origine et le type de site (© J. Itty).....	20
Tableau 3 : Effectifs de flamants nicheurs selon leurs classes d'âge et le type de site (© J. Itty)	20
Tableau 4 : Nombre de flamants nicheurs identifiées par sites (©J. Itty)	21
Tableau 5 : Nombre de flamants nicheurs identifiées par type de site (© J. Itty).....	21
Tableau 6 : Résultats des comptages des flamants nicheurs à Aigues-Mortes le 19 mai 2023 (©J. Itty)	23
Tableau 7 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur origine (©J. Itty)	23
Tableau 8 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur classe d'âge (©J. Itty)	24
Tableau 9 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon chaque site (©J. Itty).....	25
Tableau 10 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon les types de sites (©J. Itty)	25

Liste des sigles et des abréviations

Note au lecteur : les sigles et abréviations définis ci-dessous sont signalés dans le développement par un astérisque ().*

CEFE/CNRS : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive / Centre National de la Recherche Scientifique

CMR : Capture-Marquage-Recapture

CRBPO : Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux

FSG : Flamingo Specialist Group

GLM : Generalized Linear Model

GPS : Global Positioning System (système de localisation par satellite)

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

SIAM : Suivi Individuel d'Animaux Marqués

TdV : Tour du Valat

UE : Union Européenne

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

ZNIEFF : Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique

Glossaire

*Note au lecteur : les mots définis dans le glossaire apparaissent **en gras** dans le texte.*

Gypse : substrat gypseux, constitué de gypse cristallisé (minéral composé de sulfate dihydraté de calcium), qui affleure à la surface de l'étang.

Convention sur les Zones Humides de Ramsar : traité international qui sert de cadre à l'action nationale et à la coopération internationale pour la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

Longévive : espèce qui vit longtemps.

Monogame saisonnier : qui est fidèle à son/sa partenaire seulement durant une saison.

Grégaire : espèce vivant en groupe sans nécessairement présenter une organisation sociale

SALINS : Entreprise, groupe salinier (assure la production de sel).

Wetlands International : organisation mondiale à but non lucratif dédiée à la conservation et à la restauration des zones humides.

MIGRALION : projet visant à caractériser, à l'échelle du golfe du Lion, les flux migratoires et les fonctionnalités des zones en mer pour les oiseaux, que ce soit pour des espèces résidentes ou de passage.

Peson : balance à laquelle on suspend ce qu'on veut peser.

Avant-propos

« Mieux comprendre les zones humides pour mieux les protéger ». Telle est la ligne de conduite de la Tour du Valat (TdV), déclinée en 4 objectifs : comprendre, gérer, transmettre et convaincre.

Créée en 1954 par Luc Hoffman, naturaliste suisse passionné d'ornithologie, la TdV* est un institut privé de recherche avec la forme juridique d'une fondation à but non lucratif, reconnue d'utilité publique. Elle développe depuis des dizaines d'années des programmes de recherche et de gestion intégrée, dans l'optique de lier les activités humaines et la protection du patrimoine naturel. Ses actions, menées avec plus de 300 partenaires dans plus de 20 pays, principalement du pourtour méditerranéen, visent à la conservation des zones humides.

En 2022, l'équipe de la TdV était composée de 86 salariés, 6 doctorants, 5 volontaires au Corps Européen de Solidarité, 4 volontaires en Service Civique et 11 stagiaires. Avec plus de 1945 articles scientifiques publiés, cette structure est reconnue à l'international dans le domaine de la recherche scientifique et de la conservation des zones humides. Guidée par Luc Hoffman, elle a notamment initié, dans les années 1960, le projet MAR. Il a consisté en l'organisation de rencontres internationales pour défendre les fonctions et valeurs des zones humides et a établi le premier constat objectivé scientifiquement de la disparition alarmante de ces dernières. C'est lors d'une conférence organisée en Camargue à l'issue de ce projet que l'idée d'une convention internationale dédiée à la conservation des zones humides et de leurs ressources a émergé. Cette idée s'est concrétisée, 9 ans plus tard, par la signature de la **Convention sur les Zones Humides à Ramsar**. Pour son travail et ses actions en faveur des zones humides, la Tour du Valat a reçu le prix Ramsar du mérite en 2015. De plus, depuis 1992, la TdV contribue à l'application et à l'adaptation au monde méditerranéen des principes de la Convention de Ramsar.



Figure 1: Cartographie des domaines de la Tour du Valat (©Tour du Valat)

Cependant, la TdV n'est pas qu'un institut de recherche. Située en plein cœur du Parc Naturel Régional de Camargue (figure 1), la structure fait partie d'un large domaine de 2649 hectares dont 1845 sont classés en Réserve naturelle régionale et font partie du Site Ramsar de la Camargue. Le domaine a été acquis en 1948 par Luc Hoffman et est situé sur la commune d'Arles, dans les Bouches-du-Rhône. Il permet, en plus de conserver la biodiversité, de mener des recherches et suivis scientifiques et de tester et développer des pratiques agricoles et cynégétiques compatibles avec le maintien de la biodiversité. Ces actions sont aussi développées sur le domaine du Petit Saint-Jean. Acquis et géré par la TdV depuis 2012, il est le terrain de mise en œuvre d'un projet de gestion conservatoire. Cette propriété abrite un système agricole productif, durable et autonome, qui s'appuie sur les principes de l'agroécologie et de l'agroforesterie, et cherche à développer les synergies avec les milieux naturels et notamment les zones humides. La TdV a aussi à cœur le maintien des activités traditionnelles : les pâturages servent pour l'élevage de taureaux et de chevaux et celui-ci contribue à certains programmes de recherches.

Enfin, les projets de recherches et de gestion de la TdV sont répartis en 5 thèmes :

- Conservation des Espèces (dans lequel j'ai effectué mon stage),
- Écologie de la Santé,
- Gestion et restauration des écosystèmes naturels et agricoles,
- Dynamiques des zones humides et gestion de l'eau,
- Interfaces Sciences-Société.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	1
I) CONTEXTE DE L'ETUDE.....	2
II) MATERIELS ET METHODES.....	5
PRESENTATION DE L'ESPECE ETUDIEE	5
LA POPULATION ETUDIEE : LES FLAMANTS ROSES EN CAMARGUE	8
SUIVI DE LA POPULATION DE FLAMANTS ROSES.....	10
<i>Protocole de suivi par Capture-Marquage-Recapture (CMR)</i>	11
<i>Capture et Marquage : Programme de baguage</i>	11
<i>Recapture : suivi par observation</i>	14
ENCADREMENT DU BAGUAGE EN FRANCE	17
ANALYSES CARTOGRAPHIQUES.....	19
ANALYSES STATISTIQUES	19
<i>Profil des flamants nichant sur le gypse</i>	19
<i>Analyse du succès d'éclosion</i>	21
III) RESULTATS.....	22
ANALYSES CARTOGRAPHIQUES.....	22
PROFIL DES FLAMANTS NICHANT SUR LE GYPSE	23
ANALYSE DU SUCCES D'ECLOSION	25
IV) DISCUSSION	26
PROFIL DES FLAMANTS NICHANT SUR LE GYPSE	26
SUCCES D'ECLOSION SELON LES SITES.....	28
PROPOSITIONS DE GESTION	29
CONCLUSION.....	30
BIBLIOGRAPHIE.....	31
ANNEXES	
ANNEXE 1 : RECAPITULATIF DES TYPES DE BAGUES POSEES PAR PAYS (©TOUR DU VALAT)	I
ANNEXE 2 : PHOTOS DES FLAMANTS NICHANT DANS LA LAGUNE DE KHNIFISS (©RADI ET AL, 2023).....	II
ANNEXE 3 : FICHE D'AIDE POUR DETERMINER L'AGE DES POUSSINS (STADES DE DEVELOPPEMENT) (©TOUR DU VALAT).....	III
ANNEXE 4 : EXEMPLE DU JEU DE DONNEES D'OBSERVATIONS	V
ANNEXE 5 : SCRIPTS R.....	VI
ANNEXE 6 : TABLEAU DES INTERVENANTS PAR TACHE ET CALENDRIER DE STAGE	IX

Introduction

Le flamant rose (*Phoenicopiterus roseus*) est un symbole, non seulement de la Camargue, mais aussi de la conservation des zones humides. En effet, cet oiseau, si singulier avec sa couleur atypique, son étrange comportement alimentaire et son corps tout allongé, est l'un des plus connus et des plus populaires du monde (Johnson et Cézilly, 2007). Dépendant des lagunes d'eau saumâtre et salée pour chaque étape de sa vie, il est vulnérable aux menaces qui pèsent sur ces dernières : le développement industriel, agricole et touristique et le changement climatique (Tour du Valat, 2006).

Cette étude va traiter d'une étape en particulier de la vie du flamant rose : la reproduction. Au début du printemps, les flamants se regroupent en colonies de plusieurs milliers d'individus. Si l'espèce est aujourd'hui devenue commune en Méditerranée, le nombre de sites de reproduction reste faible, une vingtaine pour le pourtour méditerranéen. Le choix du site de reproduction est donc important car sa qualité (inaccessibilité pour les prédateurs, solidité ...) va conditionner la réussite de l'élevage des jeunes. Le site des salins d'Aigues-Mortes dans le Gard, est le seul lieu de reproduction des flamants roses en France. Ils y nichent en général sur des îlots artificiels dont la capacité d'accueil est limitée et sur une digue où le succès reproducteur est incertain. Ainsi, il existe une forte compétition intraspécifique (entre les individus) pour trouver un site de ponte. Ces deux dernières années, le manque de place (dû notamment à l'érosion des îlots) a poussé certains flamants à faire un choix alternatif : nicher sur une fine couche de substrat gypseux, constituée de **gypse** cristallisé (minéral composé de sulfate dihydraté de calcium), qui affleure à la surface de l'étang. Par convention, ce substrat pourra être appelé simplement gypse dans le reste du rapport.

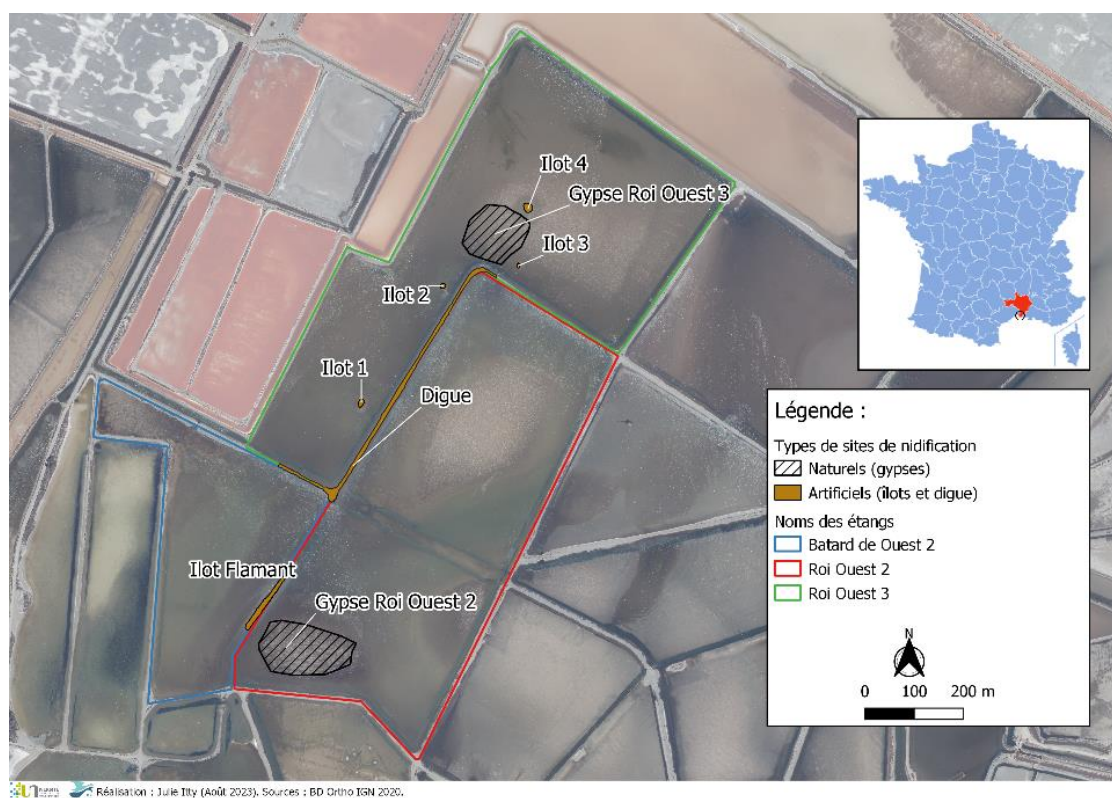
Cette solution qui semble attractive à première vue, pourrait se révéler être un piège écologique. Un piège écologique est une situation dans laquelle un organisme choisit un habitat qui induit une baisse du succès reproducteur malgré la présence d'autres habitats plus favorables, en raison d'un ou plusieurs changements récents dans l'environnement (Schlaepfer et Sherman, 2002, Schwartz, 2020). Ces changements peuvent être d'origine anthropique comme naturelle et de nombreuses espèces en sont victimes. La couche de gypse est étendue et offre ainsi une surface importante pour la nidification, mais elle est vulnérable aux variations du niveau de l'eau du bassin. Une augmentation de quelques centimètres de ce dernier peut suffire à noyer les œufs des flamants roses, impactant leurs chances d'éclosion. Les nids du gypse pourraient aussi être plus accessibles pour les prédateurs. Des comportements similaires ont déjà été observés dans des colonies d'autres pays (Turquie, Mauritanie, Maroc) mais avec des conditions d'approche bien plus difficiles, voire impossible.

L'objectif de ce rapport est d'analyser le succès d'éclosion des flamants en fonction de l'emplacement de leur site de nidification. Tout d'abord, nous dresserons un profil (âge et origine) des flamants ayant décidé de nicher sur le gypse. Ensuite, nous comparerons les succès d'éclosion selon le site où les œufs ont été couvés. Nous suivrons l'hypothèse (H1) selon laquelle il y a une différence significative de succès d'éclosion en fonction du site de reproduction, en lien avec son type. Il peut être aménagé dans cette optique donc artificiel (îlots), ou non, donc naturel (gypse). Nous verrons enfin ce que cela peut impliquer dans la gestion globale du site de reproduction à Aigues-Mortes.

I) Contexte de l'étude

Les flamants roses font l'objet d'un programme de suivi à long terme, initié en 1954 et fortement structuré à partir de 1977. Ce projet vise à améliorer les connaissances scientifiques sur l'espèce et sa démographie, ainsi qu'à améliorer sa conservation en prodiguant des conseils de gestion des sites naturels. Cette étude s'appuie sur la pose de bagues permettant d'identifier les individus. D'autres pays du pourtour Méditerranéen organisent des baguages de flamants roses : Italie, Espagne, Turquie, Algérie et Tunisie (Annexe 1 : Récapitulatif des types de bagues posées par pays). Toutes les données de baguage et d'observation de ces différents programmes sont partagées au sein d'une même base de données appelée SIAM* (Suivi Individuel d'Animaux Marqués). Un réseau mondial de spécialistes des flamants roses (scientifiques et non scientifiques), nommé le FSG* (Flamingo Specialist Group), a été créé en 1978 par Alan Johnson de la Tour du Valat. Cet ornithologue, membre pionnier de la TdV et spécialiste mondial reconnu du flamant rose, a initié le programme d'étude et de conservation sur cette espèce et a œuvré pour leur conservation durant toute sa vie. Le rôle du FSG est d'élaborer des plans d'action de conservation et d'encourager l'échange d'informations, ainsi que la coopération entre les spécialistes, en lien avec d'autres organisations concernées.

Un soin particulier est accordé au suivi de la reproduction des flamants roses nichant à Aigues-Mortes, unique site de nidification de l'espèce en France depuis 2016. Si les populations de Flamants se portent bien à l'échelle de la France et de la Méditerranée, le faible nombre de colonies et leur vulnérabilité donne un fort intérêt au suivi de la reproduction et aux facteurs qui influent le succès reproducteur. Ce suivi est effectué par l'équipe "flamant" dans laquelle j'ai effectué mon stage. L'objectif est de lire les bagues des flamants marqués et de noter et coder leurs comportements, afin de suivre leur reproduction et d'assurer la continuité du programme de suivi à long terme initié en 1977. Un des paramètres observés est le choix du site de nidification.



Dans les Salins du Midi à Aigues-Mortes, les flamants nichent habituellement à 6 endroits (figure 2). Il y a d'abord 4 petits îlots (nommés îlot 1 à 4, ou Sud, Centre-Sud, Centre-Nord et Nord) créés à l'origine pour la reproduction des laro-limicoles. Ensuite, on trouve le grand îlot (aussi appelé l'îlot flamant) qui est une ancienne digue qui a été coupée pour être séparée de la terre ferme, dans l'optique de servir pour la reproduction des flamants roses. Enfin, une digue longeant les petits 4 îlots sert aussi à la nidification. Elle est protégée des incursions de prédateurs terrestres par 2 barrières qui peuvent être parfois contournées par les prédateurs.

Le problème est que les îlots, qui présentent les meilleures conditions pour la nidification, sont vite saturés et que la digue est plus vulnérable aux prédateurs. Le manque de place est encore accentué par l'érosion des îlots (parfois jusqu'à l'effondrement de certaines portions) et de la digue. Cette érosion est due à l'action de l'eau, du vent mais aussi des flamants eux-mêmes (Johnson et Cézilly, 2007). Elle est particulièrement marquée sur l'îlot Flamant (figure 3), dont deux portions se sont effondrées en 2023. Le fait que les îlots ne soient pas consolidés par des galets mais juste constitués de sable accélère ce processus.

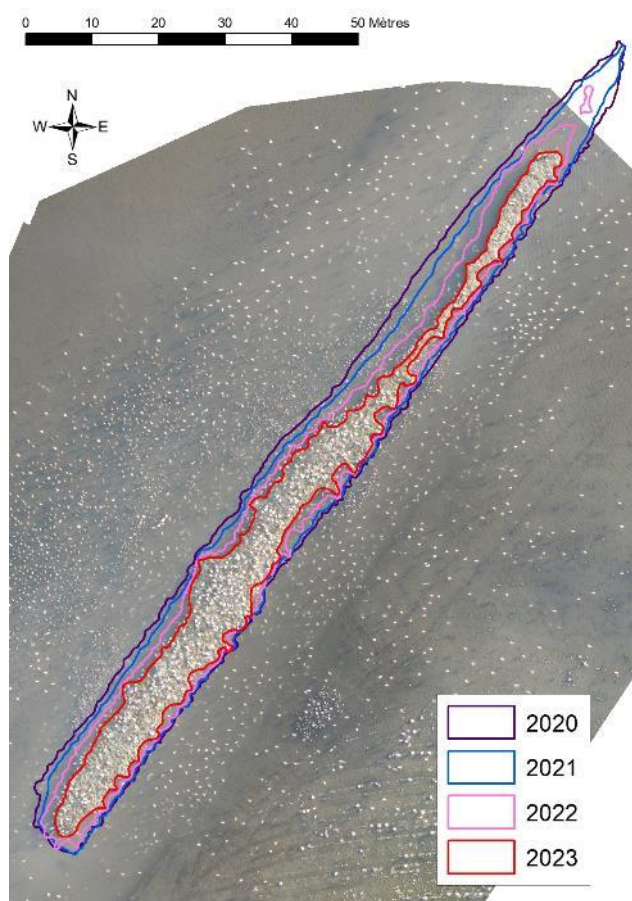


Figure 3 : Erosion de l'îlot Flamant, de 2020 à 2023 (© L. Willm - Tour du Valat)

Une autre option apparaît alors : l'utilisation du substrat gypseux dépassant des étangs du Roi Ouest 2 et Roi Ouest 3. Un comportement proche a déjà été observé dans d'autres colonies, parmi les plus naturelles pour l'espèce. Il est intéressant de noter que si les flamants trouvent des conditions de nidification artificielles favorables dans des sites gérés, ils trouvent dans des milieux naturels des sites de nidifications qui s'apparentent à ces milieux instables aux conditions hydriques très fluctuantes.

Dans la lagune de Khnifiss au Maroc, les flamants se sont reproduits sur un îlot qui est apparu suite à la baisse du niveau d'eau (Annexe 2 : Photos des flamants nichant dans la lagune de Khnifiss). D'après Radi et al, 2023, durant l'année 2022, le succès reproducteur a été de 8%, donc faible. Les causes énoncées sont la faible surface de reproduction disponible, la submersion des nids par les marées et l'impact des prédateurs terrestres et volants. En Turquie, sur le lac Tuz, les flamants se reproduisent chaque année sur une couche de substrat naturel qui est comparable au substrat gypseux de Camargue (Haber Dairesi, 2021). Un cas a aussi été documenté en Mauritanie, dans le bassin de l'Aftout (périphérie Nord du Parc National du Diawling). Les flamants se reproduisaient sur des îlots de nidification qui apparaissaient lors de la baisse du niveau de l'eau de l'étang. Cependant, cette baisse se faisait parfois trop rapidement et les flamants étaient vite vulnérables aux prédateurs terrestres. La reproduction à cet endroit a été interrompue en 2016 à cause d'un assèchement du bassin, qui était donc complètement accessible aux prédateurs (Arnaud et Abidin Zidatt, 2016). Par la suite, l'augmentation de la riziculture dans la zone a induit une montée du niveau d'eau trop importante pour permettre la reproduction (Arnaud, com. pers.).

Seulement, le gypse est vulnérable à de nombreux périls, tels que la montée du niveau de l'eau du bassin. Cette variation peut être de plusieurs origines : les niveaux doivent parfois être augmentés pour permettre le bon fonctionnement de l'exploitation des salins, de grosses pluies peuvent survenir et enfin le vent dans les salins peut créer une bascule de l'eau venant submerger les nids. Le gypse est aussi potentiellement plus près de la terre ferme, où passent les prédateurs et les humains, et les flamants qui y nichent peuvent être plus facilement dérangés.



Figure 4 : Flamants nichant sur le gypse à Aigues-Mortes dont les nids sont noyés (©J. Itty - Tour du Valat)

Concrètement, la nidification sur le gypse peut ainsi échouer pour 3 raisons : les œufs peuvent tomber en dehors du nid dans l'eau, l'eau peut monter jusqu'à dans le nid et noyer l'œuf (figure 4) et les parents peuvent être dérangés et abandonner le nid. Dans ces conditions, la qualité individuelle des parents sera importante pour le succès reproducteur : hauteur et qualité du nid, capacité à défendre l'œuf puis le poussin

Ce nouveau comportement par les flamants en Camargue a soulevé un questionnement : la reproduction sur le substrat gypseux est-elle un piège écologique ? L'objectif de ce travail est donc d'amener des éléments de réponse à cette interrogation.

Cette étude apportera aussi des éléments de réflexion concernant une opération de gestion : la place sur les îlots devenant de plus en plus faible, il semble nécessaire de trouver une solution pour que la reproduction des flamants puisse continuer dans les meilleures conditions possibles. Plusieurs options de gestion existent : entretenir (et reconstruire selon les cas) les îlots érodés, en construire de nouveaux ou laisser les flamants roses s'adapter naturellement si cela paraissait finalement plus approprié.

En dehors du contexte camarguais, l'étude nous éclairera aussi sur les stratégies de reproduction adoptées dans d'autres pays où les suivis sont plus difficiles. En effet, dans certaines zones étrangères de nidification, le nombre d'oiseaux bagués n'est pas assez important pour permettre un suivi efficace et les conditions d'observations peuvent être beaucoup plus complexes. L'intérêt d'analyser les données recueillies à Aigues-Mortes en est donc renforcé, car le suivi est assez fin et donc assez représentatif. Il pourra ainsi être extrapolé à d'autres sites et d'autres contextes.

II) Matériels et Méthodes

Présentation de l'espèce étudiée

Les flamants sont une famille de grands échassiers constituée de 6 espèces : le flamant de James (*Phoenicoparrus jamesi*), le flamant des Andes (*Phoenicoparrus andinus*), le flamant du Chili (*Phoenicopterus chilensis*), le flamant des Caraïbes (*Phoenicopterus ruber*), le flamant nain (*Phoeniconaias minor*) et enfin, le flamant rose (*Phoenicopterus roseus*) (Gill F et al, 2023). Si ce dernier est la seule espèce de flamant qui est habituellement naturellement présente en Camargue, des individus d'autres espèces peuvent aussi y être occasionnellement observés. Ainsi, des flamants nains sont régulièrement vus avec les flamants roses, notamment au milieu de la colonie de ces derniers durant la reproduction. Ils peuvent soit être issus de captivité, soit être venus naturellement avec les flamants roses, lors de leur migration depuis l'Afrique. A titre d'exemple, en 2023, 5 flamants nains ont été observés à la colonie d'Aigues-Mortes et un couple s'est reproduit, le poussin étant né début juillet (figures 5 et 6).



Figure 6 : Flamant nain à côté de flamants roses, à la colonie d'Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)



Figure 5 : Flamant nain nourrissant son poussin à la colonie d'Aigues-Mortes (©A. Arnaud - Tour du Valat)

Quelques flamants du Chili ou flamants des Caraïbes peuvent aussi être observés, mais se sont tous généralement des échappés, de parcs zoologiques par exemple (Béchet et al, 2017).

La place des flamants dans l'arbre généalogique a longtemps été discutée. Ils ont été placés à différents embranchements, selon si les analyses étaient basées sur des ressemblances génétiques ou morphologiques. Au début des années 2000, ils ont finalement été associés à la famille des grèbes avec lesquels ils forment un groupe ayant pour ancêtres communs les Mirandornithes (Mathevet et Béchet, 2020). Ainsi, la classification en vigueur pour cette famille est :

- Règne : Animalia
- Embranchement : Chordata

- Classe : Aves
- Ordre : Phoenicopteriformes
- Famille : Phoenicopteridae
- Genre : *Phoenicopus*

La population mondiale de flamants roses est estimée à près de 600 000 individus, ce qui fait de lui la deuxième espèce de flamants la plus abondante, après le flamant nain (Mathevet et Béchet, 2020). Comme présenté dans la figure 7, ils sont présents en Afrique de l'Ouest (de 45 000 à 90 000 individus), en Afrique du Sud (environ 50 000), en Afrique de l'Est (environ 35 000), en Méditerranée (environ 200 000) et en Moyen-Orient et Asie du Sud-Est (environ 200 000 individus). Ces individus sont tous historiquement issus du même noyau de population.



Figure 7 : Carte de la répartition des flamants roses (©Tour du Valat)

Le flamant rose est une espèce classée « préoccupation mineure » sur les listes rouges des espèces menacées au niveau mondial et européen de l'UICN*. En France métropolitaine, il est classé « vulnérable » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs. Enfin, à l'échelle régionale, il est classé « vulnérable » sur la liste rouge régionale des oiseaux nicheurs, de passage et hivernants de Provence-Alpes-Côte d'Azur et « quasi-menacé » sur la liste rouge régionale Oiseaux nicheurs Languedoc Roussillon.

Au niveau de la réglementation, le flamant rose est une espèce protégée. Il est inscrit dans l'annexe II de la Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage (CMS - Convention de Bonn) et à l'annexe III de la Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (Convention de Berne). Il est aussi inscrit dans l'article 3 de l'arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. Cela signifie notamment que le flamant rose bénéficie d'une protection totale sur le territoire français. Il est ainsi interdit de détruire ou d'enlever ses œufs, de détruire, mutiler, capturer ou enlever les oiseaux de leur milieu naturel, de perturber les oiseaux pendant la période de reproduction si cela en impacte la réussite. Ses sites de reproduction et ses aires de repos sont également protégés. Pour finir, il est interdit de détenir, transporter, naturaliser, colporter, mettre en vente, acheter et utiliser des spécimens de flamants roses, sur le territoire français métropolitain et sur le territoire européen des autres Etats membres de l'UE* dans lesquels la directive du 2 avril 1979 (Directive Oiseaux) est en vigueur. Cette directive concerne la conservation de toutes les espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen des États membres dans lesquels ce traité s'applique.

Enfin, les flamants roses sont aussi concernés par la CITES (Convention de Washington) et son application au sein de l'Union européenne. Cette convention protège les espèces de faune et de flore sauvages par le contrôle de leur commerce. Il est aussi à noter que c'est une espèce déterminante en France pour la création de ZNIEFF*.

Le flamant rose est une espèce atypique. Il mesure en moyenne 90 à 155 cm (max 200 cm) de la pointe du bec jusqu'au bout des ongles et a une envergure moyenne comprise entre 140 et 170 cm (max 187 cm). La femelle est en moyenne 20% plus petite que le mâle et est moins colorée. Le poids moyen est de 3 kg (max 4,4 kg) (Deville, 2015, Svensson et al, 2015).

Cependant, ce qui étonne le plus est sa couleur et son bec. Le flamant rose se nourrit principalement d'invertébrés aquatiques, comme les *Artemia*, mais aussi de graines de plantes des berges et des marais ou de riz. Pour cela, il filtre l'eau avec son bec et récupère les proies présentes dans l'eau. En effet, entre les deux mandibules et la langue sont alignées de fines lamelles en kératine qui servent de filtre, à l'image des fanons des baleines (Mathevet et Béchet, 2020). Le flamant aspire l'eau en se servant de sa langue comme d'un piston, et la pousse ensuite vers les côtés, recueillant les proies (de 0,5 à 6 mm) dans ses lamelles. Il peut aussi manger des proies plus grosses en les attrapant avec le bout de son bec. Sa couleur est acquise grâce à son alimentation : les artémies consomment des algues unicellulaires qui métabolisent un pigment, la bactériorubérine, qui est présent chez les archéobactéries (Mathevet et Béchet, 2020). Ce pigment contient des caroténoïdes (Flegler et Lipski, 2021), qui se retrouvent dans les plumes et le sang de l'oiseau. En plus de ceux-ci, des pigments sont aussi excrétés par une glande située au niveau du croupion (glande uropygiale), qui sécrète une huile utilisée pour l'imperméabilisation et la protection du plumage. Les flamants vont maquiller leurs plumes de cette huile, notamment pendant la période de parade.

Le flamant rose est une espèce **longévive**. On ne connaît pas exactement leur durée de vie mais elle est estimée à une quarantaine d'années au moins à l'état sauvage et à au moins 70 ans en captivité. Le record est détenu par un flamant qui a vécu au zoo d'Adélaïde en Australie et qui est mort à au moins 83 ans. Dans la nature, un certain nombre de flamants roses bagués en 1977 (première année où les flamants roses ont été bagués avec des bagues lisibles de loin) sont toujours observés, à maintenant 46 ans. Ce caractère longévif induit aussi une maturité sexuelle assez tardive, après 3 ans.

Au début de l'hiver, pour les flamants commence la saison des parades nuptiales (figure 8). Elles consistent en général en des danses synchronisées, composées de mouvements et postures répétés. Les deux sexes participent à la parade, au sein de groupes de plusieurs dizaines d'individus. Deux flamants se choisiront alors comme partenaires pour la saison de reproduction suivante seulement. On dit alors que les flamants sont monogames saisonniers, c'est-à-dire qu'ils sont fidèles à leur partenaire pour une saison uniquement (Mathevet et Béchet, 2020). Un échec précoce dans la reproduction peut cependant parfois amener le mâle à chercher une deuxième femelle pour se reproduire (l'effort de production de l'œuf ne permet en général pas à une femelle d'en pondre un deuxième dans la saison).



Figure 8 : Flamants paradant à la colonie d'Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)

A l'arrivée du printemps, les couples de flamants roses se réunissent au sein de colonies pouvant compter de plusieurs centaines à plusieurs milliers d'individus. On dit que les flamants sont **grégaire**s. Ils vont construire des nids faits de boue, ressemblant à des tourelles hautes de 40 cm et larges de 20 à 30 cm. Un unique œuf sera pondu par la femelle et couvé durant 29 jours par les deux parents, qui se relaieront tous les 3 à 4 jours (Mathevet et Béchet, 2020). Les 2-3 premiers jours suivant l'éclosion, le poussin est blanc avec le bec et les pattes roses/orangées et reste sous les plumes de l'adulte (figure 9). Au bout d'une dizaine de jours, il rejoint progressivement une crèche, qui regroupe tous les poussins de la colonie. Il deviendra petit à petit gris, avec les pattes et le bec gris/noir (Annexe 3 : Fiche d'aide pour déterminer l'âge des poussins), avant d'avoir ses premières plumes vers 30 jours. Les parents viennent nourrir leur poussin au crépuscule, d'une substance riche en protéines, lipides et glucose. Ils espacent petit à petit les nourrissages au fur et à mesure de la croissance de leur jeune. Le jeune flamant s'envole généralement vers 80 jours (Mathevet et Béchet, 2020).



Figure 9 : Poussins de flamants roses âgés de moins de 5 jours à gauche et au centre, de 20 jours à droite (©J. Itty - Tour du Valat)

Les oiseaux coloniaux en général et les flamants en particulier, sont très sensibles aux dérangements en période de nidification (de début avril à fin juin). Puisque les flamants vivent longtemps, il est plus intéressant pour eux d'abandonner leur œuf ou leur poussin pour recommencer l'année suivante, plutôt que de risquer de mourir en restant sur place. La particularité des flamants est qu'en cas de dérangement, tout ou partie de la colonie panique, et les adultes ne reviennent pas, ou alors trop tard, pour retrouver leur œuf. La densité de la colonie induit également beaucoup de destruction directe des œufs ou petits poussins en cas de panique. Par exemple, le passage d'un avion, ULM, drone... trop bas ou trop longtemps au-dessus de la colonie peut provoquer la panique et la destruction de tout ou partie des nids. Cela a été observé plusieurs fois ces dernières années, provoqué par un paramoteur, un avion et un ULM. Il en est de même pour le passage à pied d'un observateur, d'un photographe ou de tout autre curieux qui passerait trop près des oiseaux et sans système de camouflage. Enfin, on observe des abandons provoqués par le passage de prédateurs terrestres (renards, sangliers ...) et plus récemment par les attaques de hibou grand-duc.

En Camargue, les flamants roses sont dits migrateurs partiels : certains restent au même endroit l'été comme l'hiver et d'autres migrent pour fuir vers des lieux plus chauds. Le flamant n'est migrateur strict que dans le Nord de son aire de répartition (figure 7).

La population étudiée : les flamants roses en Camargue

Le flamant rose est certainement présent en Camargue depuis l'époque romaine. De 1947 à 1961, des nidifications ont été observées dans deux étangs de Camargue et s'en est suivie une interruption jusqu'en 1969. Les causes sont multiples mais peuvent notamment être citées

les conséquences de la construction de digues. En effet, les processus de sédimentation et d'érosion qui contribuaient à la formation naturelle d'îlots propices à la nidification ont été interrompus. De plus, les îlots encore disponibles se sont érodés ou ont été colonisés par la végétation. Enfin, ils étaient trop vulnérables aux prédateurs et aux dérangements causés par les pêcheurs, chasseurs et goélands (Béchet et al, 2017). L'état de la population de flamants roses devient alors inquiétant en France, avec pas plus de quelques milliers de flamants nicheurs comptés dans tout l'Ouest de la Méditerranée sur la France et l'Espagne (entre la Camargue et l'Andalousie).

En 1969, l'étang du Fangassier I, situé à Salin-de-Giraud, fut choisi par les flamants roses pour se reproduire (figure 10). Comme l'îlot occupé était trop petit pour tous les accueillir, la Tour du Valat, en collaboration avec la compagnie **SALINS**, fit construire un îlot plus grand sur l'étang voisin du Fangassier II. Jusqu'en 1974, cet îlot fut évité par les flamants. Pour y remédier, 500 nids factices furent construits sur l'îlot artificiel pour les attirer. Cette technique a fonctionné, puisque par la suite cet îlot a alors été utilisé par les flamants jusqu'en 2016.

Cependant, suite à une accumulation de facteurs, ce site a fini par être abandonné par ces oiseaux, au profit du site des salins du Midi à Aigues-Mortes. En effet, à partir de 2008, une partie des salins de Giraud, dont le Fangassier, a été acquise par le Conservatoire du Littoral. L'un des objectifs était de rétablir un fonctionnement hydrologique plus naturel (donc sans pompage, activité mise en place lors de l'exploitation des salins pour la production de sel) tout en maintenant une forte capacité d'accueil, notamment pour les flamants roses. En 2011, le pompage a donc été interrompu et la mise en eau a été faite par entrée gravitaire de l'eau de mer et complémentée par un canal de drainage. Seulement, fin 2012, de hauts niveaux de pesticides ont été détectés dans ce canal (à cause notamment de la riziculture) conduisant à l'abandon de cette solution pour mettre en eau les étangs. Suite à une grande sécheresse en 2014 et malgré l'utilisation d'un autre canal, l'îlot du Fangassier s'est retrouvé accessible pour les renards et les flamants quittèrent la colonie pour se reproduire à Aigues-Mortes. Ils revinrent cependant en 2015, grâce aux fortes précipitations et au travail important des cogestionnaires, qui rendirent à nouveau les conditions de nidification favorables (Béchet et al, 2017). Les années suivantes, des tentatives de reproduction infructueuses ont été observées au Fangassier, tandis qu'un succès reproducteur faible était observé à Aigues-Mortes (deux colonies existaient ces années-là). A partir de 2020 et la colonisation du nouvel îlot Flamant (construit dans cette optique) à Aigues Mortes, le succès reproducteur observé devint très bon et le site de reproduction historique du Fangassier fut abandonné par les oiseaux.

Dans les salins du Midi, les flamants roses s'installèrent (à partir de 2014) dans les étangs du Roi Ouest 2 et 3, sur les petits îlots d'abord, puis sur la digue et enfin sur l'îlot Flamant (figure 10). L'entreprise SALINS, propriétaire du site, effectue un travail important de surveillance et de contrôle d'accès à la colonie. Les visiteurs, journalistes ou photographes ne peuvent donc pas s'en approcher sans autorisation, même si la présence de flamants roses dans les salins contribue à l'attrait qu'il représente aux yeux du grand public. Ainsi, durant les visites en petit-train ou en 4x4, organisées pour visiter les salins, leur présence est mentionnée. Les visites ne passent cependant pas à proximité de la colonie, afin de ne pas les déranger. SALINS a aussi un rôle important dans la gestion et l'aménagement du site de reproduction. Ils ont par exemple construit des barrières afin de limiter l'accès de la digue aux prédateurs, ils contrôlent les populations de ces derniers et ils créent des îlots et les entretiennent.

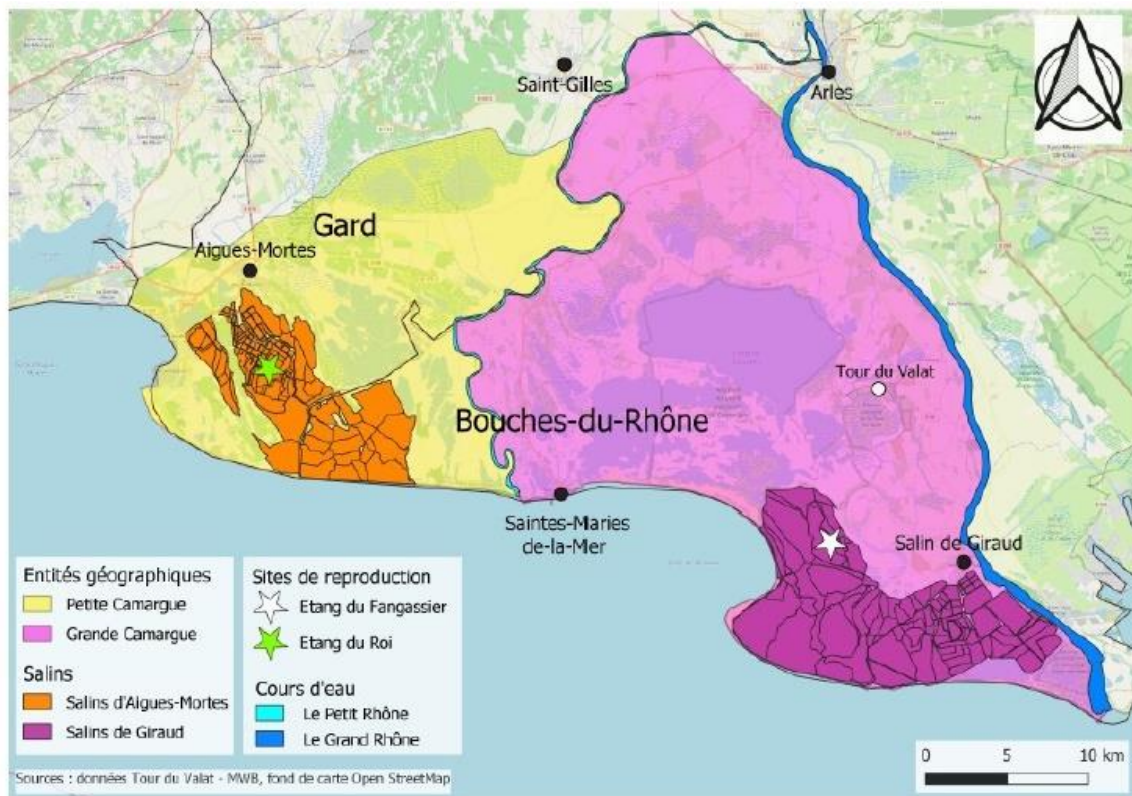


Figure 10 : Cartographie de la Camargue et des deux principaux sites de reproduction des flamants roses - 2020 (© C. Couderc - Tour du Valat)

Suivi de la population de flamants roses

Le suivi de la population de flamants roses en Camargue se fait de plusieurs manières :

- Deux comptages sont effectués, respectivement en janvier et en mai. Le premier est le recensement international des oiseaux d'eau, organisé par l'ONG **Wetlands International**, qui permet de dénombrer notamment la population de flamants hivernants. Le deuxième a pour objectif de compter les flamants présents en France pendant la saison de reproduction. Ces deux comptages sont standardisés et sont opérés de manière conjointe par tous les acteurs (au sol, en avion ...).
- Des survols de la colonie en drone (pilote par Antoine Arnaud, ingénieur d'études à la TdV chargé du suivi des flamants) sont faits pour prendre des photos. Elles seront traitées par **photogrammétrie** et permettent d'estimer le nombre de flamants nicheurs, le nombre de poussins de la crèche ou encore de contrôler l'état des sites de reproduction et de la colonie en général. La photogrammétrie est une méthode de traitement d'image qui permet de créer une seule image à partir de plusieurs clichés. Le logiciel se base sur une série de photos, en général géoréférencées, et les combine en cherchant des points identiques qui servent d'accroches. La photo obtenue est bien plus détaillée et précise qu'une photo qui aurait été prise de plus haut. Une vision par le dessus donne des informations supplémentaires à celles recueillies à l'œil nu par un observateur, notamment dans zones non visibles depuis les points

d'observation. Il est ainsi possible par exemple de voir l'intérieur des îlots ou de l'autre côté de la digue.

Les dénombrements (adultes couveurs, poussins ...) faits sur ces photos se font à l'aide de logiciels, tel que le logiciel de SIG QGIS (cf Analyses cartographiques).

- Un protocole de suivi de la colonie est mis en place depuis 1969 afin de collecter des données sur la reproduction (cf Recapture : suivi par observation). Il est en général couplé à une surveillance, effectuée par la TdV ou par l'entreprise **SALINS** qui permet de réduire les dérangements que pourraient subir les flamants.
- Depuis 1977, un protocole de suivi par CMR*, par le baguage des oiseaux puis la relecture de leurs bagues, a été mis en place (cf Protocole de suivi par Capture-Marquage-Recapture). Les données collectées lors du suivi sont intégrées dans la base de données dédiée aux flamants roses (SIAM), qui est synchronisée avec celles des autres pays du pourtour Méditerranéen qui baguent cette espèce.

Lors de stage, j'ai effectué le suivi de la colonie, saisi et traité les données associées, fait de la photogrammétrie et participé à l'organisation et au baguage en lui-même.

Protocole de suivi par Capture-Marquage-Recapture (CMR)

La pose de bagues sur les oiseaux est une méthode de CMR* qui a pour but principal l'étude de la dynamique des populations (Jackson, 1933, Burnham, 1989) en individualisant des animaux, qu'il est ensuite possible de suivre en les réidentifiant tout au long de leur vie.

En effet, une population est soumise à des facteurs externes, c'est-à-dire abiotiques ou issus de l'environnement (climat, accès et qualité des ressources), ainsi qu'à des facteurs internes (sexe, âge, densité ...). Ils influencent la survie des individus. Si on ajoute la reproduction à la survie des individus de l'année n , et qu'on prend en compte le taux d'émigration et d'immigration, on obtient l'état de la population à l'année $n + 1$ (ONCFS, 2012). Pour estimer ces paramètres (survie, mortalité, émigration, immigration) et mesurer les facteurs et leurs impacts, on peut mettre en place un protocole de CMR qui est une des méthodes de suivi scientifique la plus adaptée pour recueillir ces informations.

Capture et Marquage : Programme de baguage

Le programme de baguage a été initié en 1954 et renforcé en 1977 par la pose de bagues en plastique, plus lisibles à distance, en plus des bagues en métal posées depuis 1954 (Deville, 2015). Suite à cela, le programme personnel de baguage intitulé « Dynamique de population des flamants roses » a été créé le 29 Février 1984 par Alan Johnson, du fait de l'évolution du cadre légal des opérations de baguage d'oiseaux (le 1er arrêté ministériel de protection des oiseaux date de 1981). Il a été accepté et validé par le CRBPO* et le MNHN* de Paris sous le numéro 405. Après le départ à la retraite d'Alan Johnson en 2001, il a été repris par Arnaud Béchet (écologue et directeur de recherche à la TdV, aujourd'hui responsable de l'axe agroécologie).

Le programme porte plus spécifiquement sur l'étude de la dynamique de population des flamants roses en Camargue et comprend 3 objectifs principaux (Béchet, 2019).

Le premier dépend des informations obtenues à partir des captures et des recaptures. Il vise à faire le suivi à long terme de la démographie des flamants roses en Méditerranée, par l'estimation des paramètres démographiques clefs de l'espèce et des facteurs individuels et environnementaux les affectant. L'un des objectifs est de modéliser les trajectoires de la population en Méditerranée sous différents scénarios de changements globaux. Il comprend aussi, grâce au suivi GPS d'un échantillon d'individu, la caractérisation de l'utilisation de la zone maritime du Golfe du Lion par les flamants roses en vol, afin d'informer quant à l'implantation de futurs parc éoliens en mer en Méditerranée, et de réduire les risques pour les flamants roses (et pour d'autres espèces, dans le cadre d'autres programmes personnels). Ce volet de l'étude est intégré à un projet de recherche plus global concernant plusieurs espèces et dénommé projet **MIGRALION**.

Le deuxième dépend des informations de capture seulement : estimation des variations interannuelles de la condition corporelle (sur la base des mesures biométriques, notamment de la masse), en fonction de l'âge et du sexe. Ces variations peuvent ensuite être reliées aux conditions environnementales et de gestion des sites. Par ailleurs, il est également possible d'étudier l'effet du microbiome sur la condition corporelle ; et le comportement suivant la condition corporelle et la "personnalité" de chaque individu (pour cela, des mesures de personnalité, mesures de tonicité notamment, sont également réalisées lors du baguage).

Le dernier ne nécessite par la capture des individus : suivi de la dynamique de la reproduction et d'hivernage des flamants roses en France (inventaire des couples nicheurs, estimation du succès reproducteur, inventaires hivernaux).

Le baguage est organisé chaque année fin juillet, lorsque la majorité des poussins sont assez grands pour être bagués mais pas encore volants. L'objectif est de baguer environ 600 poussins. La capture des flamants s'effectue lors d'une opération appelée le rabattage. Cette année, 150 personnes ont guidé les flamants de la crèche, vers un grand enclos préalablement construit sur une digue proche. Deux ailes de grillage servent "d'entonnoir" pour guider les flamants dans l'enclos. Autour de ce dernier sont construits d'autres enclos plus petits (les enclos sont appelés des corrals). Cette organisation est montrée en figure 12. Chaque enclos est dédié à une équipe de baguage. En effet, pour que l'opération soit la plus brève possible, plusieurs équipes de baguage sont formées afin qu'elle soit plus efficace.

Ainsi, le parcours type d'un flamant rose durant le baguage est le suivant :

1. Grand corral : lieu où le poussin est parqué avec les autres à la suite du rabattage.
2. Petit corral : un opérateur situé dans le grand corral attrape le flamant et le donne au responsable d'un petit corral.
3. Porteur : le responsable du petit corral donne le poussin à une personne dénommée porteur et qui est chargée de l'amener à chaque étape du baguage.

4. Bague : le poussin est équipé d'une bague en plastique blanche gravée avec un code alphanumérique à 4 caractères, appelée bague Darvic (d'après le nom du plastique historiquement utilisé pour les construire), qui sert à l'identifier à environ 250m de distance (par lecture du code) et d'une bague en métal, qui présente un numéro gravé, enregistré par le CRBPO et le MNHN (figure 11). Ce numéro sert à identifier l'oiseau (s'il est assez proche) s'il perd sa bague Darvic ou qu'elle n'est pas visible. Si le flamant est retrouvé mort, elle comprend les informations nécessaires à l'envoi des bagues vers le MNHN de Paris.



Figure 11 : Jeu de bagues posé sur les flamants roses
(©J. Itty - Tour du Valat)

5. Mesures : l'aile et le tarse du flamant sont mesurés, afin d'obtenir des données biométriques de taille de l'individu.
6. Pesée : le poids du poussin est évalué. Pour cela, un **peson** est utilisé, accroché à une potence de pesée. Le rapport du poids sur la taille, relativisé par le sexe et l'âge, permet de définir la condition corporelle de chaque individu.
7. Age et jabot : dernière étape, le porteur amène le flamant à un opérateur qui détermine son âge (selon sa couleur, le stade de développement du plumage...) et le degré de remplissage de son jabot. Cette dernière mesure permet de relativiser le poids noté précédemment (si le jabot est plein, le flamant pèse en réalité moins que ce qui a été mesuré). Cela permet aussi d'évaluer si le flamant a été nourri récemment par ses parents.
8. Relâcher : le poussin est relâché au bord de la digue, et rejoint le reste de la crèche qui n'a pas été capturé.

Ce parcours est opéré par chaque flamant de chaque équipe de baguage. En 2023, elles étaient au nombre de 7. Une autre équipe était chargée cette année de poser des balises GPS, dans le cadre du projet **MIGRALION**. Elle a son propre corral, un peu à l'écart du reste des équipes de baguage (car la manipulation est un peu particulière, plus longue et plus sensible).

Une autre étape a aussi été ajoutée pour les flamants passant par l'équipe **MIGRALION** et l'équipe de baguage n°3 : le profilage. Pour ces flamants, les porteurs ont évalué leur niveau d'énergie de 0 (très calme, ne bougeant presque pas) à 3 (difficilement tenable, très remuant). En plus de cela, une profileuse (Anne Charmantier, directrice de recherche au CEFE/CNRS* de Montpellier) a donné une autre note de comportement (0 à 3), en se basant sur les mouvements des pattes et la tonicité musculaire. Ces évaluations serviront à chercher s'il y a un lien entre le comportement et la stratégie migratoire. L'hypothèse est que les individus plus énergiques auraient tendance à migrer plus loin et plus souvent que les flamants plus calmes. C'est ce qu'on appelle les mesures de personnalité, domaine de recherche en plein développement en ce moment pour expliquer les variations interindividuelles observées entre les individus au sein d'une même espèce.

Il arrive que des flamants soient trop fatigués, ou blessés, pour rejoindre directement la colonie. Ils sont alors acheminés vers l'infirmerie, enclos construit à l'écart, dans laquelle ils sont pris en charge par des vétérinaires en attendant leur relâcher.

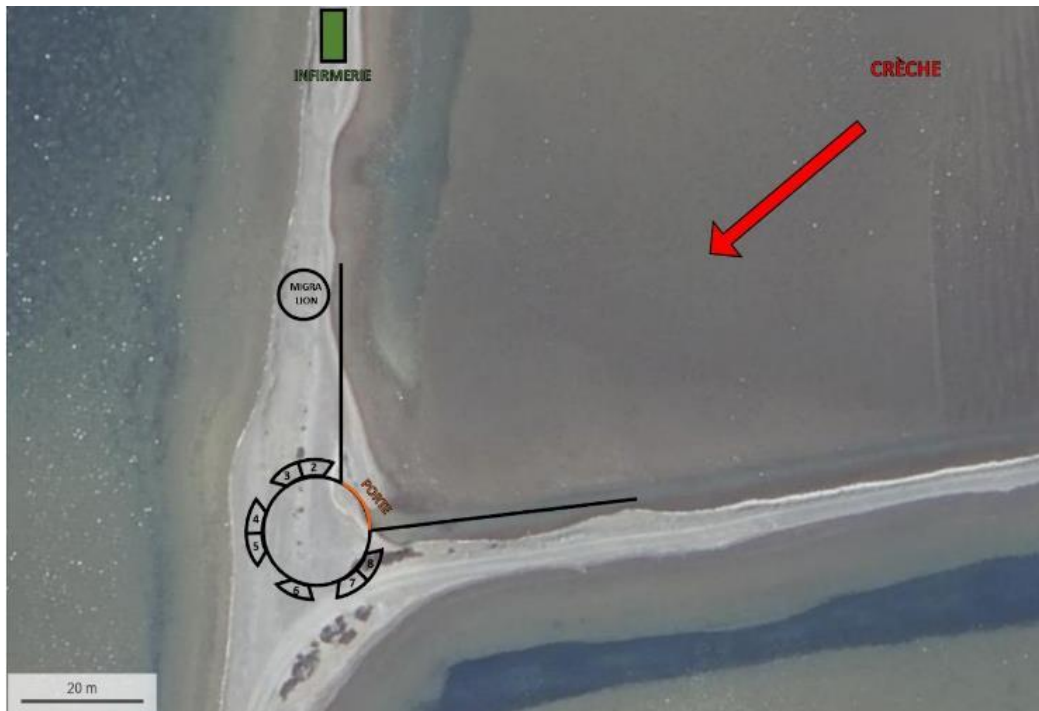


Figure 12 : Schéma des installations construites pour le baguage des flamants roses à Aigues-Mortes (©J. Itty)

Recapture : suivi par observation

Pour le suivi des flamants roses, la recapture est presque exclusivement visuelle car il est très difficile de capturer un flamant rose adulte. Pour cela, des sessions d'observations régulières sont organisées (dont l'objectif principal est de relire les bagues plastiques couleurs). Idéalement, 4 sessions par semaine sont réalisées. Les observateurs réguliers sont Antoine Arnaud et le/la stagiaire "flamants" (mon poste cette année), avec l'appui de Christophe Germain, gestionnaire de la base de données.

Le suivi se fait selon 2 circuits : le premier suit les 4 petits îlots et la digue. Comme l'observateur est proche des flamants, il évolue dans une cache en carton. Le deuxième longe l'îlot flamant et est effectué en voiture (figure 13). L'opérateur dispose d'une longue-vue, d'un trépied à longue vue en carbone, d'un siège de camping, d'un carnet où il écrit les bagues lues et d'un stylo. L'objectif est de relever toutes les bagues lues (code et sens de lecture) et d'y associer un code comportement. Par exemple, un flamant supposé reproducteur (couché, tournant sur place comme pour tester le terrain ...) sera noté 29. Pour cela, l'observateur a à sa disposition une fiche d'aide avec la liste des codes comportement (Tableau 1).

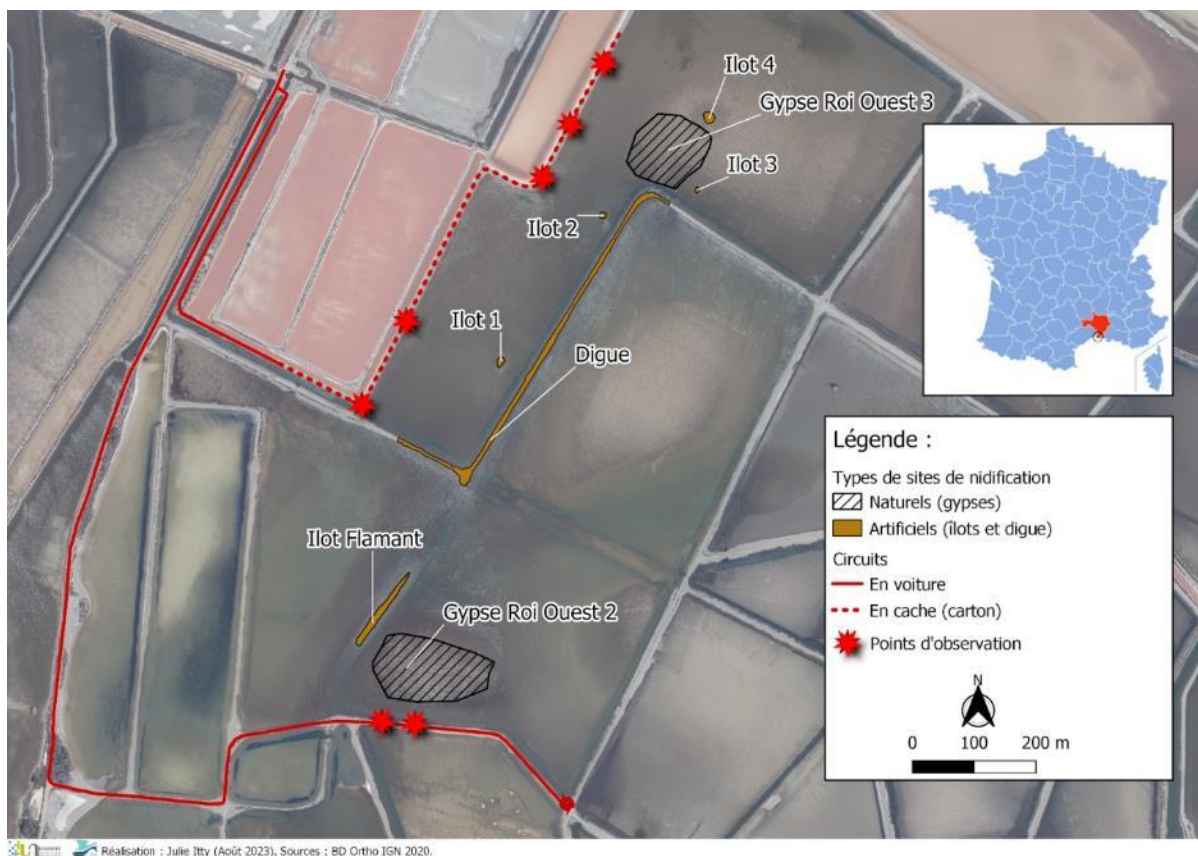


Figure 13 : Circuits opérés par l'observateur - Salin d'Aigues-Mortes 2023 (©J. Itty - Tour du Valat)

Tableau 1 : Fiche d'aides concernant les statuts et codes comportements (© C. Germain - Tour du Valat)

Code	Libellé	Commentaire
01	Bague(s) trouvée(s) seule(s)	
02	Mort	
03	Blessé ou malade	
04	Blessé ou malade relâché	
05	Blessé ou malade gardé en captivité	
06	Piégé, relâché	
07	Piégé, gardé en captivité	
08	Relâché	Une observation antérieure doit être saisie indiquant quand l'oiseau a été capturé (codes 05 ou 07)
20	A la colonie	Si pas de comportement particulier et que l'oiseau est relativement proche de l'îlot ou digue ou crèche.
29	Reproducteur probable (œuf / poussin non vu)	Lorsque vu sur le nid sans voir ni œuf ni poussin. Dans ce cas essayer de localiser le plus précisément possible la position sur l'îlot (repères paysagers, angle pris à la boussole depuis position fixe télescope ...)
31	Parade nuptiale	
32	En couple	

33	Copulation	
34	Accouplement avec un individu bagué	Noter le code de la <u>bague du partenaire</u> dans un champ séparé et <u>ne pas oublier l'observation inverse</u>
35	Construit un nid	
36	Individu sale (ayant construit un nid ?)	
37	En couple avec un individu bagué	Noter le code de la <u>bague du partenaire</u> dans un champ séparé et <u>ne pas oublier l'observation inverse</u>
39	Accepté reproducteur (œuf / poussin non vu)	Lorsque vu sur le nid sans voir ni œuf ni poussin et que l'individu a été vu 29 (repro probable) au moins 48h avant, à la même position sur l'îlot
40	Identifié reproducteur (œuf / poussin non vu)	Lorsque vu sur le nid sans voir ni œuf ni poussin et que l'individu a été vu 39 (accepté repro) au moins 24h avant, ou 42 (Couveur, œuf vu) à la même position sur l'îlot
42	Couveur, œuf vu	
43	S'occupe du poussin au nid	
44	Nourrit/garde un poussin en crèche sur l'île	
45	Nourrit/garde un poussin en crèche hors île (bague non vue)	Avant opération de baguage
46	Nourrit un poussin bagué	Noter le code de la <u>bague du poussin</u> dans un champ séparé et <u>ne pas oublier l'observation inverse (codes 60, 61 ou 62)</u>
47	Nourrit un poussin non bagué	Après opération de baguage
60	Nourrit par un adulte bagué	Noter le code de la <u>bague du parent</u> dans un champ séparé et <u>ne pas oublier l'observation inverse (code 46)</u>
61	Nourrit par un mâle non bagué	
62	Nourrit par une femelle non baguée	
63	Nourrit par un adulte non bagué	
80	Bague PVC colonisée par balanes	
85	Bague PVC cassée	
90	Bague PVC tombée sur le tarse	
95	Bague PVC perdue (absence au tibia et tarse), métal lue	
99	Bague PVC non vue (absence du tibia, peut être au tarse), métal lue	

En plus, les flamants bagués sont localisés sur la colonie. Pour les petits sites (petits îlots de 1 à 4 et les gypses), seul le nom du site est spécifié. Pour les grands sites (îlot Flamant et digue), la position est précisée selon l'abscisse et l'ordonnée. Pour l'abscisse, des poteaux agrémentés de panneaux ont été plantés en 2021 le long des sites. Le but de cette manipulation est de connaître la position exacte du flamant bagué afin de pouvoir suivre l'évolution de sa nidification. Cette numérotation est composée d'une lettre et d'un chiffre à la suite pouvant aller de 0 à 19. La disposition des poteaux sur le site est la suivante :

- Pour la digue, de A0 jusqu'à A19 puis B0 jusqu'à B19 en finissant par C0 jusqu'à C16.
- Pour l'îlot Flamant, les panneaux commencent à L0 et terminent par L10.



Figure 14 : Exemple de piquet présent devant l'îlot Flamant, permettant le positionnement des flamants reproducteurs (©J. Itty - Tour du Valat)

La numérotation des chiffres correspond au nombre de mètres qui séparent le piquet du tout premier poteau de la même lettre (exemple : A16 est à 16 m de A0). Tous les poteaux ont donc été espacés de 10 m les uns des autres. Concrètement, lorsqu'un oiseau est situé entre deux poteaux, L3 et L4 par exemple (figure 14), il peut être placé en L31, L32, L33, L34, etc... jusqu'à L40. Pour les ordonnées, une lettre est ajoutée au code précédent : X si le flamant est situé sur la partie de l'îlot/digue proche de l'observateur, Y : s'il est sur la partie centrale, Z : s'il est sur la partie la plus éloignée de l'observateur. Ainsi, le flamant qui est debout au-dessus de son poussin (âgé de moins de 3 jours) sur la figure 14 sera placé en « L39X » avec un code comportement de 43 (tableau 1). Seuls les flamants qui n'ont pas de comportement de reproduction à proprement parler (évoluant juste autour de la colonie, paradant ...) ne sont pas localisés.

Le suivi démarre fin mars/début avril lors des premières installations de flamants sur le site pour la reproduction. Les premiers oiseaux pondent ensuite dans la foulée. Les dernières sessions d'observations ont lieu en septembre/octobre, après l'envol des poussins. Une donnée additionnelle relevée pendant le suivi est l'âge des poussins observés avec un parent bagué. Une fiche d'aide est également disponible, pour l'évaluer selon le plumage, le comportement, la couleur... (Annexe 3 : Fiche d'aide pour déterminer l'âge des poussins). En 2023, 8962 lectures de bagues ont été effectuées, sur 795 reproducteurs bagués différents.

Encadrement du baguage en France

En ornithologie, de nombreuses recherches sont effectuées à partir de comptages et d'observations. Seulement, cela ne permet pas de suivre individuellement les oiseaux et cela ne permet pas non plus d'évaluer certains paramètres comme la longévité et les déplacements des individus. C'est pour cela que la méthode de baguage a été mise en place. Elle consiste en la

pose sur le tarse ou le tibia des oiseaux, d'une bague numérotée, souvent métallique. Un numéro unique ainsi que les informations nécessaires pour permettre le rapatriement postal de la bague vers le centre émetteur (dans notre cas, le MNHN de Paris) sont inscrits sur chaque bague (CRBPO, 2023). Il existe 3 axes de recherches au sein du plan national de recherche ornithologique du Centre de Recherche sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO) qui encadre les activités de baguage en France pour le compte du MNHN :

- Axe 1 : recherches impliquant la répétition d'opérations de capture, sur un site défini, selon les mêmes modalités plusieurs années consécutives. Il comporte deux options : le suivi temporel des oiseaux communs (STOC) et le suivi des populations d'oiseaux locaux (SPOL) (CRBPO, 2023).
- Axe 2 : ensemble des protocoles d'étude sur la migration et la dispersion par baguage (CRBPO, 2023).
- Axe 3 : programmes qui demandent une autorisation explicite du CRBPO et passent par le dépôt d'un dossier justifiant cette autorisation (CRBPO, 2023). Un suivi rentre dans le cadre des programmes personnels lorsqu'une personne souhaite faire une étude sur une espèce ou un groupe d'espèces en utilisant des méthodes de capture ou des méthodes de marquage particulières (autres que les bagues classiques) (CRBPO, 2023).

Le baguage, lorsqu'il est assuré par des personnes qualifiées, n'altère en rien le comportement des oiseaux. De nombreuses études ont montré que ni la survie, ni le succès de reproduction n'étaient affectées par le port d'une bague (GOPA, 2022). A titre d'exemple, les bagues utilisées sur les plus petits des oiseaux (15 à 20g) d'Europe pèsent environ 31 milligrammes, celles posées sur les Merles noirs (pesant 90 grammes en moyenne calculée sur 8300 données issues de la base de données du CRBPO) pèsent 187 milligrammes, soit un rapport de l'ordre du 500^e (CRBPO, 2023).

De plus, la capture, le baguage et marquage des oiseaux sauvages à des fins d'études et de recherche sont soumis à autorisation et à des règles précises, édictées par le CRBPO. Ainsi, le baguage est possible grâce à 3 arrêtés :

- Un arrêté ministériel donnant délégation au CRBPO (MNHN) d'autoriser la capture d'oiseaux sauvages d'espèces protégées en dérogation à la loi sur la protection de la nature, y compris dans les zones cœurs des parcs nationaux.
- Un arrêté préfectoral donnant délégation au CRBPO (MNHN) d'autoriser la capture d'oiseaux sauvages d'espèces chassables.
- Un arrêté ministériel définissant que, si des oiseaux d'espèces protégées doivent être marqués, cela doit être fait à l'aide de bagues métalliques numérotées « Museum Paris » distribuées par le CRBPO (MNHN).

Au titre de ces arrêtés de délégation, le CRBPO est ainsi habilité à délivrer des autorisations de capture et de marquage des oiseaux sauvages, pour une ou plusieurs espèces, à des personnes spécialement formées et qui satisfont à la réussite d'un examen attestant de leurs compétences.

Analyses cartographiques

Afin de connaître l'état de la population de flamants roses, un comptage est réalisé à l'aide du logiciel de SIG QGIS (version 3.16.8 Hannover). L'objectif est de compter manuellement les flamants couveurs. Le nombre obtenu correspond au nombre de couples reproducteurs. Les photos utilisées sont issues d'un survol en drone effectué le 19 mai 2023. Pour les plus grands sites de reproduction (Ilot Flamant et gypses), les photos sont construites grâce à la photogrammétrie.

Analyses statistiques

Pour répondre aux questions posées en introduction, nous utilisons le jeu de données issu des observations faites sur la colonie entre le 18 avril 2023 et le 18 juillet 2023 (Annexe 4 : Exemple du jeu de données d'observations). Cela correspond à 8962 observations. Un tri parmi ces données a été effectué par Christophe Germain (Chef de projet et développeur et gestionnaire de la base de données dédiée aux flamants roses) afin d'avoir un jeu de données facilement exploitable pour les analyses statistiques. Ainsi, ce jeu comprend une ligne par individu et plusieurs colonnes :

- Âge, site et pays de baguage pour l'analyse du profil des flamants nichant sur le gypse,
- Etat de couveur (1 si considéré comme reproducteur et 0 sinon). Les codes comportements sélectionnés pour remplir cette colonne sont : 42 en priorité (vu avec oeuf), puis 40 (reproducteur connu), puis 39 (reproducteur accepté).
- Etat de succès d'éclosion (1 si avec poussin et 0 sinon). Les codes comportement sélectionnés pour remplir cette colonne sont : 43 en priorité (vu avec poussin sur le nid), puis 44 (vu avec poussin dans la crèche proche des nids), puis 45 (vu avec poussin dans la crèche loin des nids). Les codes 44 et 45 ne sont pris en compte que lorsque le flamant a été vu avec l'oeuf d'abord car sinon, il serait presque impossible de savoir où il a niché.
- Sites où les flamants ont été vu couveurs et avec poussin (îlots, gypses ...).
- Types de sites : gypses (naturels) ou autres (artificiels).

Pour les analyses statistiques, seuls les flamants ayant été vus couveurs sont gardés. L'ensemble des analyses sont réalisées avec le logiciel RStudio (version 2022.12.0/version de R 4.2.2) et Excel (Microsoft 365 Apps for entreprise). Les scripts R sont en annexe 5.

Profil des flamants nichant sur le gypse

Deux variables explicatives qui pourraient avoir un impact sur le comportement de nidification sont testées.

La première est l'origine des oiseaux : camarguais (nés et bagués en Camargue) ou étrangers (nés et bagués dans les autres pays du pourtour méditerranéen). C'est une variable binaire. Comme les effectifs pour chaque origine hors Camargue sont trop faibles, ils sont regroupés dans une catégorie « Etranger » (tableau 2).

Tableau 2 : Effectifs de flamants roses selon l'origine et le type de site (© J. Itty)

	Etranger	Camarguais	Total
Autres	88	354	442
Gypses	79	193	272
Total	167	547	714

L'hypothèse biologique est que les flamants nés hors site seraient plus enclins à nicher sur le gypse. En effet on peut émettre l'hypothèse que des individus capables de s'installer sur une colonie différente de leur colonie d'origine pourraient être les « pionniers » pour s'installer sur un site nouveau. Les hypothèses testées sont :

- H0 : la proportion d'individus nichant sur les gypses n'est pas significativement différente entre les camarguais et les étrangers.
- H1 : la proportion d'individus nichant sur les gypses est significativement différente entre les camarguais et les étrangers.

Comme ce sont deux variables binaires, que l'on considère les observations indépendantes et qu'il y a au moins 2,5 observations attendues pour chaque combinaison, nous effectuons le test du Chi2 de Yates.

La deuxième est l'âge des oiseaux : de 6 à 46 ans. Nous avons ici une variable qualitative ordinale. Comme les effectifs pour de nombreux âges sont trop faibles, ils sont regroupés en catégories (tableau 3).

Tableau 3 : Effectifs de flamants nicheurs selon leurs classes d'âge et le type de site (© J. Itty)

	<10	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-40	>40	Total
Autres	14	64	111	57	63	59	42	32	442
Gypses	18	76	53	34	31	26	20	14	272
Total	32	140	164	91	94	85	62	46	714

L'hypothèse biologique est que les flamants plus jeunes auraient plus tendance à nicher sur le gypse, parce que les flamants plus expérimentés auraient colonisé le site le plus favorable en premier. Les hypothèses testées sont :

- H0 : le comportement de nidification sur le gypse ne dépend pas de l'âge des individus.
- H1 : le comportement de nidification sur le gypse dépend de l'âge des individus.

Les observations sont considérées comme indépendantes. Comme il y a une variable non-binaire et au moins 5 observations attendues pour chaque combinaison, nous effectuons le test du Chi2 de Pearson.

Analyse du succès d'éclosion

Dans un premier temps, les succès d'éclosion de chaque site et chaque type de site sont calculés sur R. A partir des tableaux obtenus, des graphiques sont construits sur Excel, afin de voir si visuellement, il y a une différence entre les succès d'éclosion des différents sites (et types de sites). Il est important de noter que le succès d'éclosion est le succès apparent : certains poussins ont pu être manqués lors des observations. Cependant, les données recueillies sont considérées suffisantes pour donner une idée du véritable succès d'éclosion. Le tableau 4 montre les effectifs des flamants identifiés par site et le tableau 5 montre l'effectif selon les types de site.

Tableau 4 : Nombre de flamants nicheurs identifiés par sites (©J. Itty)

Site	Gypse Roi Ouest 2	Ilot Flamant	Ilot 1	Ilot 2	Ilot 3	Ilot 4	Gypse Roi Ouest 3	Digue	Total
Nombre de nicheurs identifiés	233	318	37	27	12	38	39	10	714

Tableau 5 : Nombre de flamants nicheurs identifiés par type de site (© J. Itty)

	Artificiels	Naturels
Nombre de nicheurs identifiés	442	272

Dans un second temps, pour déterminer si statistiquement, le succès d'éclosion dépend du site, nous analysons les données grâce à des modèles linéaires généralisés (GLM). Ces modèles sont plus adaptés que la régression linéaire (LM) car nos données suivent la loi binomiale (données binaires). Nous testons ainsi sur R : l'effet de tous les sites sur le succès d'éclosion, et l'effet du type de site (gypse ou autre) sur le succès.

Ainsi, les hypothèses sont :

- H0 : les succès d'éclosion ne dépendent pas du site de nidification
- H1 : les succès d'éclosion dépendent du site de nidification

Et :

- H0 : les succès d'éclosion ne dépendent pas du type de site de nidification
- H1 : les succès d'éclosion dépendent du type de site de nidification

III) Résultats

Analyses cartographiques

Durant l'année 2023, au minimum 8 700 couples ont niché sur le site des Salins d'Aigues-Mortes et environ 4 000 poussins ont éclos. Suite à un dérangement intervenu début mai sur la digue, une grande partie des flamants qui nichaient à cet endroit ont échoué. Du jour au lendemain, il a été observé que les flamants étaient éparpillés, que de nombreux œufs étaient cassés, tombés dans l'eau ou abandonnés et que plusieurs cadavres de flamants adultes se trouvaient sur la digue. Une hypothèse évoquée pour expliquer ce phénomène est le passage d'un renard, car des traces ont été trouvées sur la digue lors du passage flamant. Une autre hypothèse pourrait être un dérangement aérien, le site étant régulièrement survolé par différents aéronefs. Dans les deux cas, le dérangement aurait aussi provoqué un mouvement de panique chez les flamants, qui aurait causé la perte des œufs et éventuellement la mort de certains adultes. Comme il était assez tôt dans la saison, un certain nombre de ces individus ont tenté de se reproduire ailleurs.

Ainsi, d'après la figure 15, on voit que la zone où il y a le plus de flamants est l'étang du Roi Ouest 2, notamment car c'est là où les sites sont les plus grands. On remarque cependant, sur le tableau 6, que les sites qui présentent la plus grande concentration de flamants sont les petits îlots (1 à 4). Les données de concentration pour les gypses n'ont pas été calculées car la surface est changeante et donc difficile à déterminer (cela reviendrait à additionner les surfaces de chaque nid qui constitue un îlot en soit, ce qui est impossible).

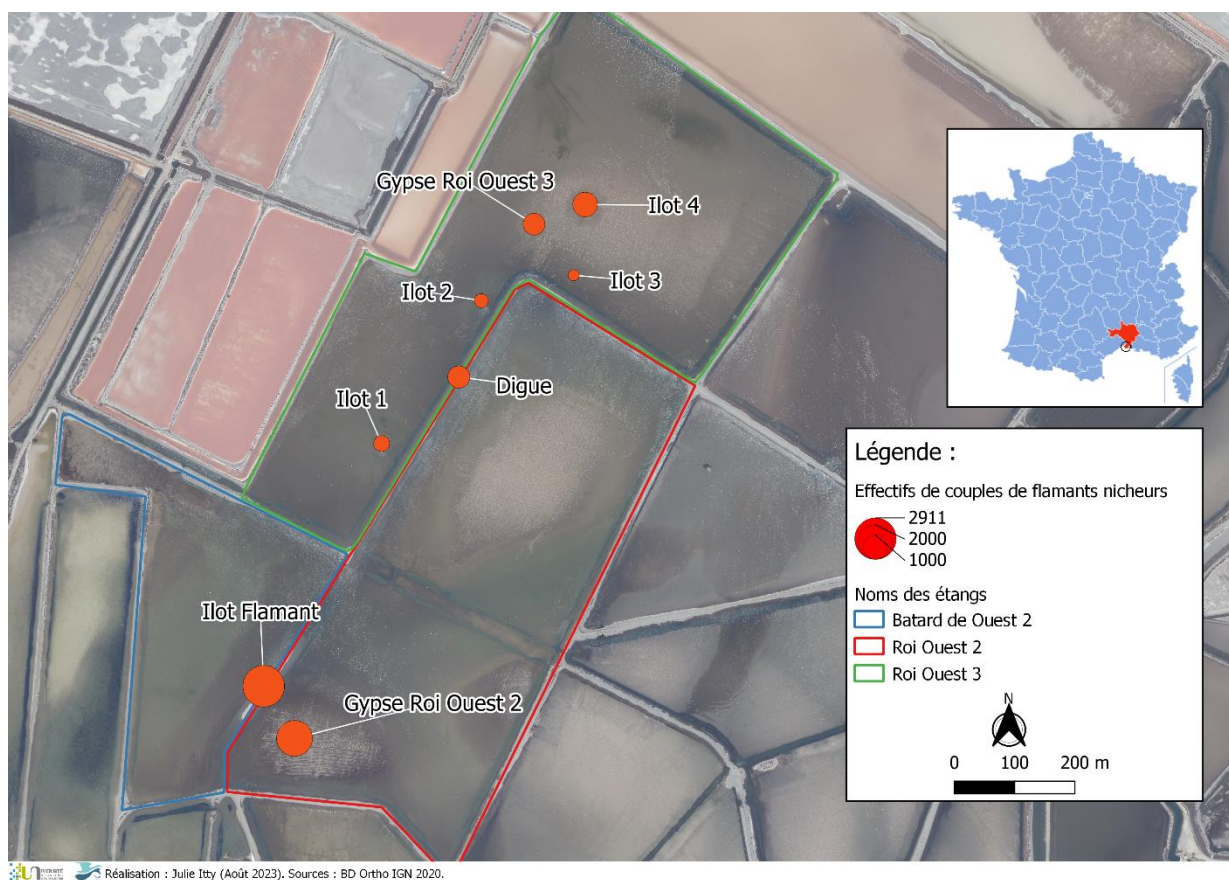


Tableau 6 : Résultats des comptages des flamants nicheurs à Aigues-Mortes le 19 mai 2023 (©J. Itty)

Site	Gypse Roi Ouest 2	Ilot Flamant	Ilot 1	Ilot 2	Ilot 3	Ilot 4	Gypse Roi Ouest 3	Digue	Total
Nombre de couples	2167	2911	427	334	217	1039	810	831	8736
Nombre de couples/m ²	/	2,3	3,0	3,8	4,7	3,9	/	0,2	/

Profil des flamants nichant sur le gypse

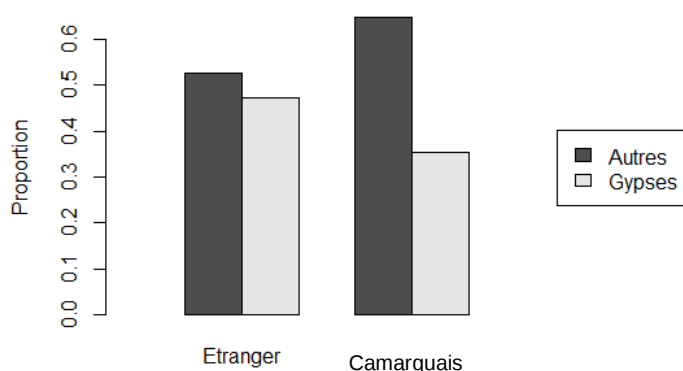


Tableau 7 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur origine (©J. Itty)

	Etrangers	Camarguais
Autres	0,527	0,647
Gypses	0,473	0,353

Figure 16 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur origine (©J. Itty)

D'après le tableau 7 et la figure 16, il semble que parmi les flamants roses nés hors Camargue, la proportion d'individus nichant sur les gypses est plus forte que parmi les flamants roses camarguais. Ils auraient donc plus tendance à nicher sur le gypse. Le résultat du test du Chi² de Yates indique qu'il y a en effet une différence significative entre la proportion de flamants camarguais nichant sur le gypse et celle de flamants étrangers ($p = 0,0067 < 0,05$). Les hypothèses étaient :

- H0 : la proportion d'individus nichant sur les gypses n'est pas significativement différente entre les camarguais et les étrangers.
- H1 : la proportion d'individus nichant sur les gypses est significativement différente entre les camarguais et les étrangers.

On peut donc dire, avec un risque d'erreur de 0,67%, que l'origine des flamants a un effet sur le fait de nicher sur le gypse.

Tableau 8 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur classe d'âge (©J. Itty)

	<10	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-40	>40
Autres	0,438	0,457	0,677	0,626	0,670	0,694	0,677	0,696
Gypses	0,563	0,543	0,323	0,374	0,330	0,306	0,323	0,304

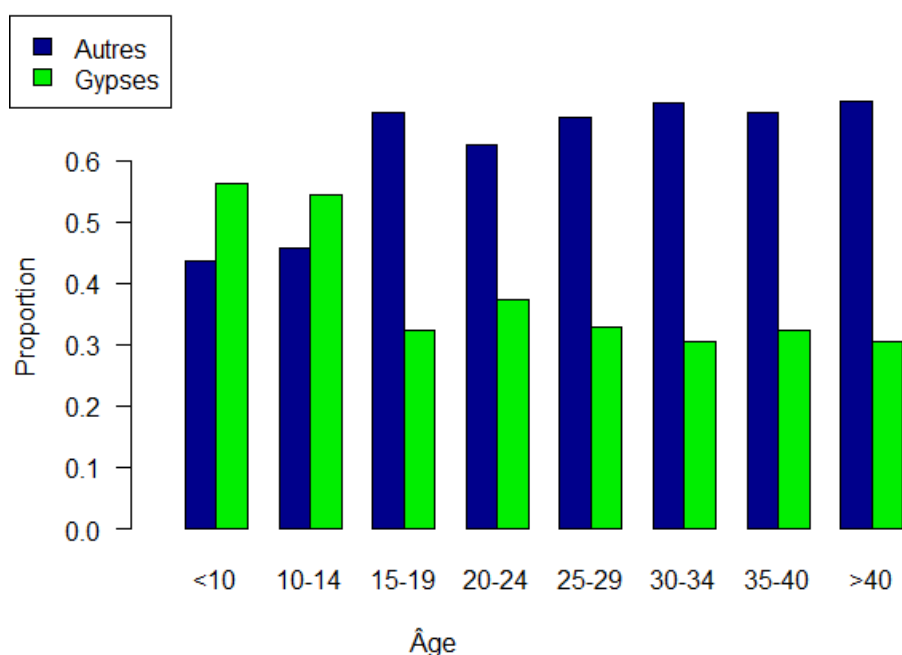


Figure 17 : Proportion de flamants nichant sur chaque type de site selon leur classe d'âge (©J. Itty)

Il semble, d'après le tableau 8 et la figure 17, que les flamants les plus jeunes ont plus tendance à nicher sur le gypse que les plus âgés. Le résultat du test du Chi2 indique que le comportement de nidification dépend de l'âge des flamants ($p = 0,0003 < 0,05$). Les hypothèses étaient :

- H0 : le comportement de nidification sur le gypse ne dépend pas de l'âge des individus.
- H1 : le comportement de nidification sur le gypse dépend de l'âge des individus.

On peut ainsi dire, avec un risque d'erreur inférieur à 5%, que l'âge des flamants a un effet sur le fait de nicher sur le gypse.

Analyse du succès d'éclosion

Tableau 9 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon chaque site (©J. Itty)

	Gypse Roi Ouest 2	Gypse Roi Ouest 3	Ilot Flamant	Ilot 1	Ilot 2	Ilot 3	Ilot 4
Succès d'éclosion	0,236	0,077	0,211	0,216	0,111	0,25	0,158
Ecart-type	0,426	0,270	0,409	0,417	0,320	0,452	0,369

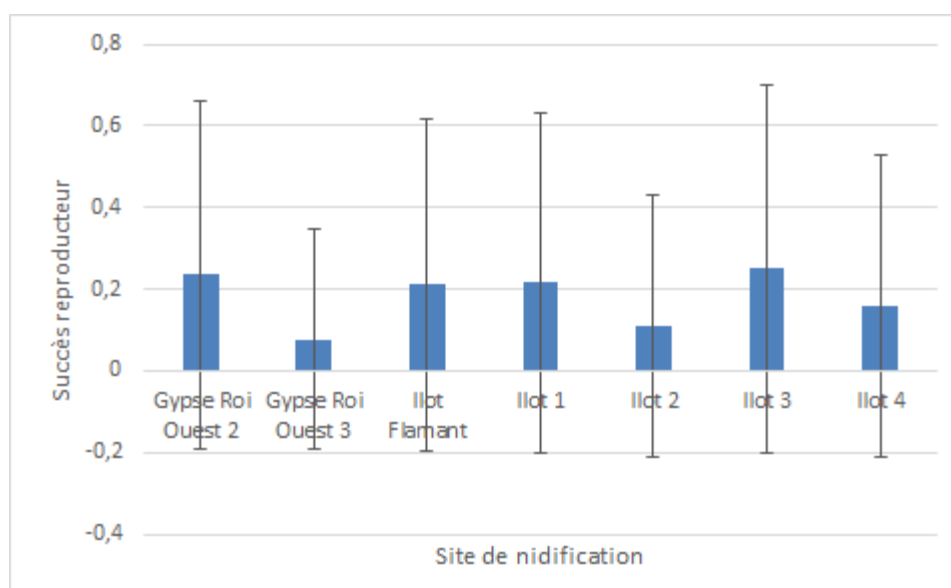


Figure 18 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon chaque site

D'après le tableau 9 et la figure 18, il semble que le succès d'éclosion soit différent selon les sites de nidification (la digue a été enlevée de cette figure et de ce tableau car elle a un succès d'éclosion et un écart-type de 0). Cependant, comme les écart-types sont grands, il est difficile d'affirmer que la différence est significative.

Tableau 10 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon les types de sites (©J. Itty)

	Artificiels	Naturels
Succès d'éclosion	0,197	0,213
Ecart-type	0,398	0,410

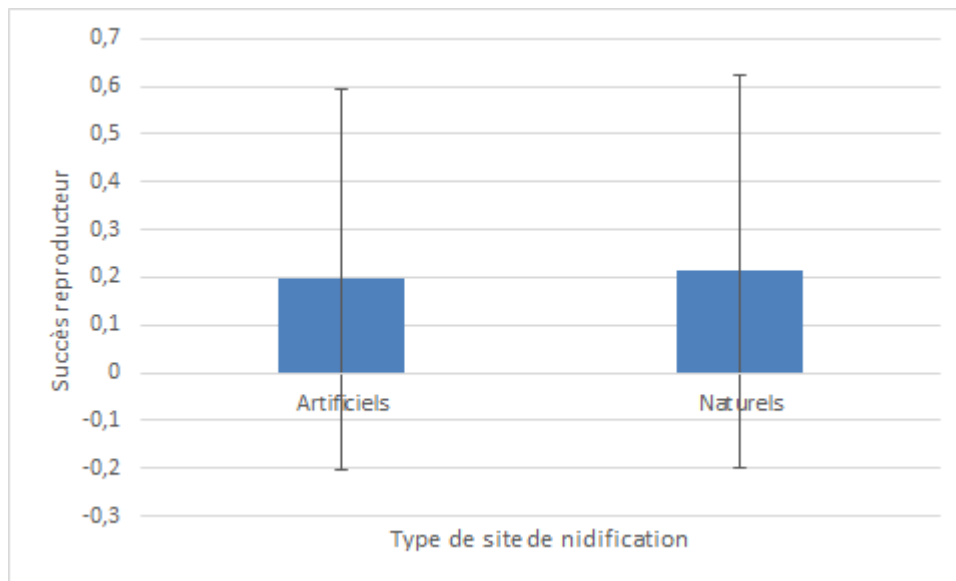


Figure 19 : Succès d'éclosion (et leurs écart-types) selon les types de sites (©J. Itty)

D'après le tableau 10 et la figure 19, il semble aussi ne pas y avoir de différence entre les sites artificiels (ilots) et les sites naturels (gypses).

L'analyse de l'effet des sites sur les succès d'éclosion montre que ces derniers ne sont pas significativement différents selon les sites ($p = 0,07 > 0,05$). Les hypothèses étaient :

- H_0 : les succès d'éclosion ne dépendent pas du site de nidification
- H_1 : les succès d'éclosion dépendent du site de nidification

On ne peut donc pas dire que le fait de nicher sur l'un ou l'autre de ces sites de nidification ait un impact sur le succès d'éclosion.

L'analyse de l'effet du type de site sur les succès d'éclosion montre que, là aussi, il n'y a donc pas de différence significative entre les succès d'éclosion des sites artificiels et ceux des sites naturels ($p = 0,60 > 0,05$). Les hypothèses étaient :

- H_0 : les succès d'éclosion ne dépendent pas du type de site de nidification
- H_1 : les succès d'éclosion dépendent du type de site de nidification

On ne peut donc pas dire que le type de site (naturel ou artificiel) ait un effet sur le succès d'éclosion.

IV) Discussion

Profil des flamants nichant sur le gypse

Cette étude sur le succès reproducteur et le profil des flamants nichant sur des sites de reproduction de configuration, différente permet d'amener plusieurs éléments de compréhension, à la fois sur l'origine mais aussi sur les conséquences des choix des oiseaux. La première est que le fait de nicher sur le gypse est bien dépendant de certaines caractéristiques

individuelles des flamants. L'âge et l'origine influencent le choix du site de reproduction, notamment le fait de choisir entre des sites naturels mais d'utilisation récente et des sites artificiels d'utilisation plus ancienne. Les hypothèses biologiques énoncées semblent donc fondées.

Pour l'origine, il semble bien, d'après la figure 16, que ce soient les flamants étrangers (nés hors Camargue) qui soient le plus enclins à nicher sur le gypse. Plusieurs hypothèses sont possibles pour tenter d'expliquer cette caractéristique. Les flamants étrangers peuvent être de nature plus aventureux par exemple, car ils viennent se reproduire à un endroit différent de là où ils sont nés. Dans ce cas, ils peuvent être plus enclins à nicher à un « nouvel endroit » du fait d'une nature plus exploratoire, et des traits de caractères plus adaptatifs. Une autre hypothèse est que, les flamants français nés en Camargue peuvent être plus habitués au terrain, leur comportement étant guidé par un environnement qu'ils connaissent depuis leur naissance. Ils auraient ainsi pu s'installer en premier sur les îlots, les flamants d'origine plus lointaine se retrouvant contraints de s'installer sur le gypse, les autres places étant prises. Pour vérifier cette hypothèse, il serait intéressant de regarder les dates de première observation de poussins sur les îlots et sur les gypses. Si les gypses sont réellement occupés comme un site de second choix, les éclosions devraient survenir d'abord sur les îlots, et ensuite sur le gypse.

Pour l'âge, l'hypothèse est plus difficilement vérifiable. Même s'il semble que les plus jeunes flamants aient en effet plus tendances à nicher sur le gypse que les plus vieux, d'après la figure 17, il est possible que ce ne soit qu'un hasard. Le test statistique nous permet seulement de dire, avec un risque de se tromper inférieur à 5%, que l'âge a un effet sur la propension à nicher sur le gypse. Il serait intéressant d'approfondir les analyses, et de regarder s'il y a une sorte d'âge seuil ou d'âge « d'expérience », à partir duquel la proportion s'inverse. Ce phénomène pourrait trouver une explication biologique et comportementale : l'expérience des premières années de reproduction passées, leur âge avançant, les flamants avec l'apprentissage qu'ils ont acquis se recentreraient sur les sites de reproduction les plus anciennement utilisées. Il serait également pertinent de regarder si les flamants les plus âgés ne pondent pas de manière générale plus tôt que les flamants les plus jeunes. Ceci pourrait expliquer que les plus jeunes se rabattent sur le gypse du fait d'un ponte plus tardive, les sites principaux étant déjà occupés par les oiseaux les plus précoces dans leur date de ponte. Il est cependant tout à fait possible que la date de ponte soit une caractéristique individuelle, intrinsèquement propre à chaque femelle.

Ainsi, cette première année de suivi amène des éléments sur les profils de flamants se reproduisant sur le substrat gypseux. Rappelons que ce phénomène est récent, il est donc impossible d'avoir un recul de données plus important : seule l'année 2022 aurait pu être utilisée pour renforcer ces premières analyses mais la prise de données effectuée cette année-là ne permet pas leur utilisation dans ce cadre.

Il faut ainsi poursuivre les observations (d'où l'intérêt du suivi à long terme) et réitérer ces tests durant les prochaines années pour vérifier si ce profil se confirme et éventuellement essayer de savoir s'il y a une tendance plus franche qui se dégage au sein des âges. De plus, comme les tailles des échantillons étaient souvent trop faibles pour donner un résultat représentatif, nous avons dû regrouper les données dans des classes plus grandes. Si le nombre d'observations le permet, il pourra être intéressant de faire ses analyses en prenant des classes plus petites, pour affiner les résultats.

Une autre analyse qu'il serait pertinent de réaliser serait de tester, avec un modèle type GLM*, l'effet combiné des deux variables (âge et origine) sur la propension à se reproduire sur

le gypse. Cela permettrait de savoir si l'un de ces deux paramètres influence plus cette tendance que l'autre.

Succès d'éclosion selon les sites

Les tests statistiques opérés ont montré qu'il n'y avait pas de différence significativement du succès d'éclosion selon les sites. Il semble donc que les aspects positifs et négatifs de chaque site se compensent. Les variations du succès d'éclosion semblent donc dépendre d'autres paramètres que de la valeur intrinsèque de chaque site. Le succès pourrait donc plutôt dépendre des individus en eux-mêmes par exemple.

Ensuite, le type de site ne semble pas avoir non plus d'impact significatif sur le succès d'éclosion. Il est globalement le même sur les îlots et sur les gypses.

Ce résultat paraît logique si on regarde la niche écologique naturelle des flamants. Comme expliqué dans le contexte de l'étude, d'autres cas de flamants nichant sur des substrats présentant les mêmes caractéristiques instables que le gypse ont été observés. Le résultat que nous avons obtenu peut expliquer pourquoi les flamants nichent naturellement sur ces sites : le succès d'éclosion est sensiblement le même que sur des sites que nous considérons plus favorables. Nous pouvons par exemple supposer que les nids du gypse sont moins vulnérables aux conséquences des mouvements de panique des flamants. En effet, une part de l'échec de la reproduction est due à ces mouvements de panique. Lorsque les individus prennent peur, ils se bousculent, cassant les œufs ou les faisant rouler hors des nids. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la densité des flamants est importante. On peut donc imaginer que, cette densité étant moindre sur le gypse, les mouvements de panique créent moins de perte : moins d'œufs sont cassés et ceux qui roulent sont plus facilement retrouvables par les parents.

Ainsi, il semble que, contrairement à ce que nous supposions, le gypse n'est pas un piège écologique. Pour rappel, un piège écologique est une situation dans laquelle un organisme choisi un habitat qui induit une baisse du succès d'éclosion malgré la présence d'autres habitats plus favorables, en raison d'un ou plusieurs changements récents dans l'environnement. On a pu observer certains flamants qui avaient échoué leur reproduction, certainement car leur œuf avait été noyé. Par exemple, l'individu bagué « CHSC » continuait de couvrir sur le gypse environ 2 mois après la date de ponte de l'œuf (donc plus d'un mois après qu'il aurait dû éclore). Mais dans notre cas, comme il ne semble pas y avoir de baisse du succès d'éclosion global, le substrat gypseux ne peut pas être qualifié de piège écologique.

Néanmoins, le fait que nous ne disposions que de deux années de reproduction avec ces comportements de nidification sur le gypse, fait que ces analyses seraient à confirmer par un suivi à plus long terme. En effet, il est tout à fait possible que, cumulé sur plusieurs années, le succès de reproduction soit plus faible sur un pas de temps plus long sur le substrat gypseux, du fait de conditions plus aléatoires liées à des paramètres qui varient plus entre les années qu'au sein d'une même année (par exemple, niveaux d'eau liées aux conditions météo comme dans le cas d'une année pluvieuse versus une année sèche, niveaux d'eau changeants liés à des nécessités annuelles d'exploitation ...). Dans ce cas il se pourrait également que par un phénomène d'apprentissage, après plusieurs années d'échec, des oiseaux par mémoire des problèmes passés puissent changer de site de ponte.

Enfin, un point mérite réflexion. En effet, depuis le point d'observation du côté de l'étang du Roi Ouest 2, les conditions d'observation du gypse et de l'îlot Flamant ne sont pas les mêmes. Les flamants du gypse sont plus proches et ceux de l'îlot sont plus loin. De plus, les individus debout sur le gypse cachent une partie de l'îlot Flamant. Les flamants de l'îlot sont donc plus difficilement observables que ceux du gypse. Les réussites, et donc les échecs, sont ainsi plus facilement constatables sur ce dernier. Dans ces conditions, il est important de mener une réflexion, avec des chercheurs statisticiens de la Tour du Valat, sur la comparabilité de ces deux sites, pour affiner les analyses.

Propositions de gestion

Les données recueillies nous permettent aussi de faire des propositions de gestion. Un premier constat, issu des observations sur le terrain, montre une dégradation rapide des îlots de nidification. Même si le gypse semble être une solution viable, et dans l'attente d'analyses stabilisées sur du moyen/long terme, il apparaît nécessaire de restaurer les îlots, afin que les flamants puissent avoir accès à des sites de nidification moins instables. Nous proposons donc deux possibilités de restauration pour la zone de l'îlot Flamant (zone la plus touchée par l'érosion). La première est de reconstruire l'îlot, en créant une base constituée de galets. Ils permettront d'apporter une solidité renforcée par rapport à un îlot uniquement constitué de sable. D'après le journal de terrain, document Word rempli après chaque sortie sur le terrain, qui contient les principales informations importantes dont les conditions météorologiques (sens et force du vent, température, pluie, recouvrement nuageux ...), le vent à Aigues-Mortes semble le plus souvent provenir du Nord-Ouest, frappant l'îlot Flamant de plein fouet. Une idée serait donc que lors de la reconstruction de l'îlot, il soit réorienté afin que le vent n'arrive plus de face. Cela pourrait limiter l'érosion même si c'est une solution couteuse.

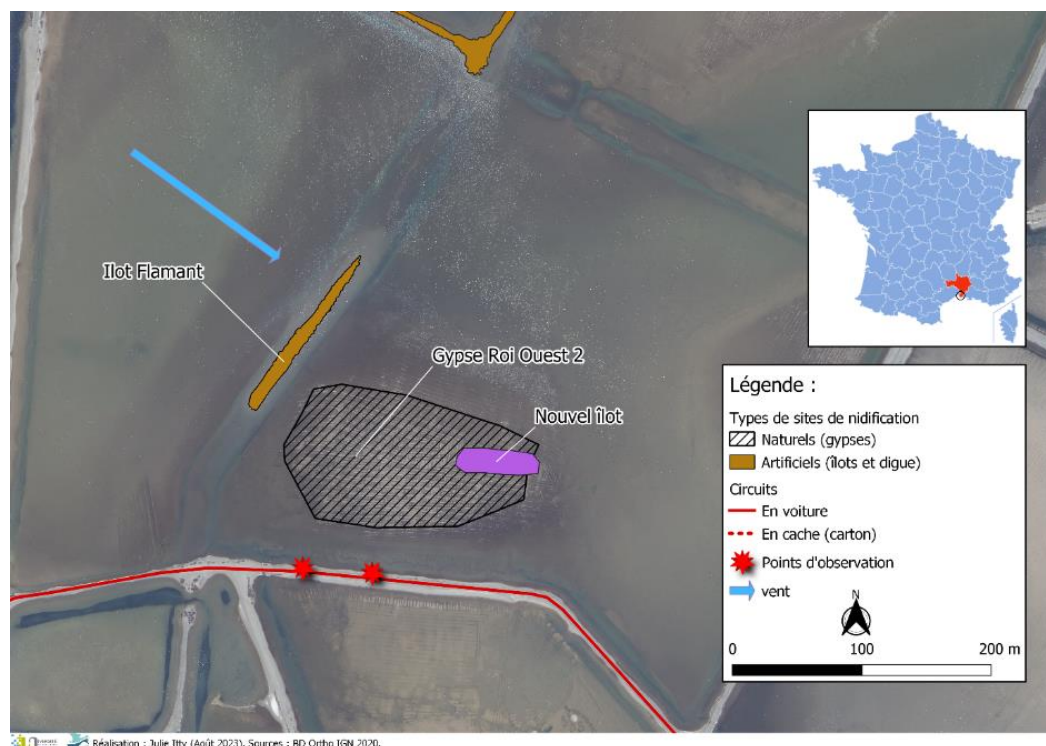


Figure 20 : Proposition pour l'emplacement d'un nouvel îlot à Aigues-Mortes (©J. Itty - Tour du Valat)

Pour pallier ce problème de cout, une autre solution serait alors de construire un nouvel îlot sur le substrat gypseux du Roi Ouest 2 (figure 20). Ainsi, cet îlot se trouverait protégé du vent par l'îlot Flamant et utiliser le gypse comme base demanderait le déplacement de moins de matériaux. De plus, comme le gypse est déjà occupé par les flamants, ils seraient déjà habitués à nicher à cet endroit et coloniseraient peut-être le nouvel îlot sans trop d'hésitation. Enfin, si le nouvel îlot est construit à l'extrémité droite du gypse, il ne gênera pas les observations de l'îlot Flamant. Une forme allongée permettra aussi de faciliter les observations sur cet îlot.

Conclusion

Dans ce rapport, nous avons donc pu déterminer que les flamants nés hors de la Camargue (donc à l'étranger) avaient plus tendance à nicher sur le substrat gypseux que les flamants nés en Camargue. Par ailleurs, nous documentons que la propension à nicher sur le gypse dépend de l'âge des oiseaux, même si des analyses complémentaires restent à conduire pour préciser ce phénomène et ces raisons.

Sur l'année 2023, le gypse s'avère ne pas être un piège écologique car le succès d'éclosion est globalement le même que sur les sites artificiels (îlots). De plus, chaque site en lui-même n'a semble-t-il pas d'influence sur le succès d'éclosion des flamants y nichant. Ces résultats restent à conforter par un contrôle sur des séries temporelles plus longues, afin de s'assurer que certains sites n'ont pas une variabilité interannuelle du succès d'éclosion plus forte que d'autres. Il paraît donc important de continuer le suivi fait cette année les années prochaines.

Aussi, dans l'attente de résultats stabilisés, même si nicher sur le gypse semble être une solution viable, il apparaît nécessaire de maintenir la surface disponible d'habitat artificiel, en reconstruisant l'îlot Flamant ou en construisant un nouvel îlot sur le gypse Roi Ouest 2 par exemple.

Ces analyses nous ont ainsi fourni des éléments de réflexion sur la gestion et des informations pour comprendre et appréhender les comportements de nidification existants dans d'autres pays.

Une continuité intéressante de ce travail serait d'accentuer l'effort d'observation sur l'évaluation de la qualité individuelle, c'est-à-dire la capacité à réussir la reproduction, des flamants. En effet, il est apparu au cours du suivi que cette réussite sur le gypse dépendait fortement de la qualité individuelle des flamants roses. Ceux qui construisent un nid plus haut ont ainsi plus de chance de mener la couvaison à terme par exemple. Dans cette optique, la proximité du gypse au point d'observation est un avantage pour le suivi. Des individus pourraient par exemple être ciblés et leurs caractéristiques plus détaillées (hauteur du nid, distance à la digue, comportement général ...). Nous pourrions ainsi, en plus d'acquérir des informations sur les flamants qui réussissent le mieux la reproduction, documenter et analyser les comportements des flamants qui échouent, comme ceux qui continuent de couvrir longtemps après que leur œuf aurait dû éclore.

Bibliographie

- « 600 poussins de flamants roses bagués sur le Salin d'Aigues-Mortes ! » In : *Tour du Valat* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2021a. Disponible sur : < <https://tourduvalat.org/actualites/600-poussins-de-flamants-roses-bagues-sur-le-salin-daigues-mortes/> > (consulté le 10 août 2023)
- « Axe 1. Démographie - CRBPO ». [s.l.] : [s.n.], 2023a. Disponible sur : < <https://crbpo.mnhn.fr/les-programmes-de-recherche/axe-1-demographie/> > (consulté le 7 août 2023)
- « Axe 2. Migration et dispersion - CRBPO ». [s.l.] : [s.n.], 2023b. Disponible sur : < <https://crbpo.mnhn.fr/les-programmes-de-recherche/axe-2-migration-et-dispersion/> > (consulté le 7 août 2023)
- « Axe 3. Suivis à accès limité - CRBPO ». [s.l.] : [s.n.], 2023c. Disponible sur : < <https://crbpo.mnhn.fr/les-programmes-de-recherche/axe-3-suivis-a-acces-limite/> > (consulté le 7 août 2023)
- « Dossier : l'implication de la Tour du Valat dans la conservation des flamants roses en Camargue ». In : *Tour du Valat* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2017. Disponible sur : < <https://tourduvalat.org/dossier-newsletter/dossier-implication-de-la-tour-du-valat-dans-la-conservation-des-flamants-roses-en-camargue/> > (consulté le 8 août 2023)
- « EUR-Lex - 31979L0409 - FR ». In : *Journal officiel n° L 103 du 25/04/1979 p. 0001 - 0018* [En ligne]. [s.l.] : OPOCE, [s.d.]. Disponible sur : < <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A31979L0409> > (consulté le 7 août 2023d)
- « Flamingo Atlas - ©2006, Tour du Valat ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < <http://www.flamingoatlas.org/> > (consulté le 21 juillet 2023e)
- « Histoire et valeurs ». In : *Tour du Valat* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < <https://tourduvalat.org/fondation-tour-du-valat/histoire-et-valeurs/> > (consulté le 6 août 2023g)
- « Le baguage, pour quoi faire ? ». In : *CRBPO* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2007a. Disponible sur : < <https://crbpo.mnhn.fr/le-crbpo/article/le-baguage-pour-quoi-faire> > (consulté le 7 août 2023)
- « Le domaine du Petit Saint-Jean, conjuguer agriculture innovante et conservation de la nature en Camargue ». In : *Tour du Valat* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2012. Disponible sur : < <https://tourduvalat.org/actions/petit-saint-jean/> > (consulté le 6 août 2023)
- « Prix 2015 | The Convention on Wetlands, La Convention sur les zones humides ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < <https://www.ramsar.org/fr/prix-2015> > (consulté le 6 août 2023h)
- « PRIX DU MÉRITE 2015 | The Convention on Wetlands, La Convention sur les zones humides ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < <https://www.ramsar.org/fr/prix-du-merite-2015-1> > (consulté le 6 août 2023i)
- « Programmes personnels ». In : *CRBPO* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2007b. Disponible sur : < <https://crbpo.mnhn.fr/les-programmes-de-recherche/axe-3-suivis-a-acces-limite/article/programmes-personnels> > (consulté le 7 août 2023)
- « Success story - Adopte un flamant ». [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < <https://monflamant.com/success-story/> > (consulté le 10 août 2023j)
- « Tuz Gölü'nde ilk kez görüntülendi! Eşsiz kareler ». In : *Haber Dairesi* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2021b. Disponible sur : < <https://haberdairesi.com/yasam/tuz-golunde-ilk-kez-goruntulendi-essiz-kareler-51284h> > (consulté le 8 août 2023)

- Ar A., Deeming D. C. « Roles of Water and Gas Exchange in Determining Hatchability Success ». *Avian Biology Research* [En ligne]. 1 avril 2009. Vol. 2, n°1-2, p. 61-66. Disponible sur : < <https://doi.org/10.3184/175815509X431830> >
- Arnaud A., El Abidin Zidatt Z. *CR mission Parc National du Diawling*. janvier 2016.
- Arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection. [s.l.] : [s.n.], [s.d.].
- Baguage [En ligne]. GOPA. Disponible sur : < <http://www.gopa-pyrénées.fr/baguage/> > (consulté le 7 août 2023c)
- Béchet A. *BILAN DE PROGRAMME PERSONNEL POUR DES RECHERCHES FAISANT APPEL AU BAGUAGE - Dynamique de population des Flamants roses*. 28 juin 2019.
- Béchet A., Arnaud A., Jara Navarro A., Germain C., Johnson A. R. *FLAMINGO STUDY-Volume II Standardized ring resightings and data collection*. [s.l.] : [s.n.], 2020.
- Béchet A., Thibault M., Boutron O. « Les flamants roses en Camargue ». 2017. p. 28.
- Benaiche L. *Suivi scientifique d'une colonie de Flamants roses en Camargue*. [s.l.] : Ecole de la Gestion et Protection de la Nature, 2021.
- Burnham K.P. et al (1989) Design and analysis methods for fishing survival experiments based on release-recapture. *River Research and Applications*, vol 4, issue 1, 107-108. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1002/rrr.3450040111> >
- Couderc C. *Suivi de la colonie de Flamant rose, *Phoenicopterus roseus* installée à l'Etang du Roi, Salins du Midi Aigues-Mortes (Gard)*. [s.l.] : Licence Professionnelle Etude et Développement des Espaces Naturels, 2020.
- Deville A.-S. *Le flamant rose, ambassadeur des zones humides*. [s.l.] : Muséo Editions, 2015. 200 p.
- Flamant rose* [En ligne]. Wikipédia. 4 août 2023d. Disponible sur : < https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Flamant_rose&oldid=206644164#Reproduction > (consulté le 6 août 2023)
- Flamingo Specialist Group* [En ligne]. *Wetlands International*. Disponible sur : < <https://www.wetlands.org/our-network/specialist-groups/flamingo-specialist-group/> > (consulté le 8 août 2023f)
- Flegler A., Lipski A. « The C50 carotenoid bacterioruberin regulates membrane fluidity in pink-pigmented *Arthrobacter* species ». *Arch Microbiol* [En ligne]. 24 décembre 2021. Vol. 204, n°1, p. 70. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1007/s00203-021-02719-3> >
- Fletcher R., Orrock J., Robertson B. « How the type of anthropogenic change alters the consequences of ecological traps ». *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society* [En ligne]. 29 février 2012. Vol. 279, p. 2546-52. Disponible sur : < <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.0139> >
- Gates J., Gysel L. « Avian Nest Dispersion and Fledging Success in Field-Forest Ecotones ». *Ecology* [En ligne]. 1 août 1978. Vol. 59, p. 871-883. Disponible sur : < <https://doi.org/10.2307/1938540> >
- Geisler D. « Genèse et évolution des gypses des marais salants de Salin-de-Giraud (Camargue) ». *Bulletin de Minéralogie* [En ligne]. 1981. Vol. 104, n°5, p. 625-629. Disponible sur : < <https://doi.org/10.3406/bulmi.1981.7548> >
- Gill F, D Donsker & P Rasmussen (Eds). 2023. IOC World Bird List (v13.2). Disponible sur : < <https://doi.org/10.14344/IOC.ML.13.1> >

GOPA. Groupe Ornithologique des Pyrénées et de l'Adour [en ligne]. Disponible sur : < <http://www.gopa-pyrénées.fr/baguage/> > (consulté le 11/08/2023)

Jackson C. H. N. (1933) On the True Density of Tsetse Flies. *Journal of Animal Ecology* 2, vol. 2, n°2 204–209. Disponible sur : < <https://doi.org/10.2307/958> > (consulté le 11/08/2023).

Johnson A. R., Cézilly F. *The Greater Flamingo*. [s.l.] : T & AD Poyser, 2007. 328 p.

Mathevet R., Béchet A. *Politiques du flamant rose - Vers une écologie du sauvage*. [s.l.] : Editions wildproject, 2020. 142 p.(Le monde qui vient).

Méry E. *ÉTUDE DE LA REPRODUCTION DE LA COLONIE DU FLAMANT ROSE (PHOENICOPTERUS ROSEUS) EN CAMARGUE*. [s.l.] : Université de Franche-Comté, 2020.

Naturelle M. National d'Histoire. « *Phoenicopterus roseus* Pallas, 1811 - Flamant rose ». In : *Inventaire National du Patrimoine Naturel* [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], [s.d.]. Disponible sur : < https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/199335 > (consulté le 7 août 2023)

ONCFS (2012, 25 juin). L'approche par Capture-Marquage-Recapture : un peu de théorie et de pratique [Diapositives].

Radi M., Laghzaoui E. M., Aouissa S., Hamoumi R. E., Qninba A., Rihane A. « Monitoring the breeding of the Greater Flamingo *Phoenicopterus roseus* at the Khnifiss Lagoon, southern Morocco ». 2023.

Règlement (CE) n° 338/97 du Conseil du 9 décembre 1996 relatif à la protection des espèces de faune et de flore sauvages par le contrôle de leur commerce [En ligne]. [s.l.] : [s.n.], 2013. Disponible sur : < <http://data.europa.eu/eli/reg/1997/338/2013-08-10/fra> > (consulté le 7 août 2023)

Robertson B., Hutto R. « A framework for understanding ecological traps and evaluating existing evidence ». *Ecology* [En ligne]. 1 juin 2006. Vol. 87, p. 1075-85. Disponible sur : < [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1075:AFFUET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1075:AFFUET]2.0.CO;2) >

Schlaepfer M., Runge M., Sherman P. « Ecological and evolutionary traps ». *Trends in Ecology & Evolution* [En ligne]. 1 octobre 2002. Vol. 17, p. 474-480. Disponible sur : < [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02580-6](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02580-6) >

Schwartz T. *Les dispositifs artificiels au service de la restauration et de la compensation écologique : de l'évaluation du risque de piège écologique aux recommandations de bonnes pratiques* [En ligne]. phdthesis. [s.l.] : Université Paris sciences et lettres, 2020. Disponible sur : < <https://theses.hal.science/tel-03177394> > (consulté le 28 juillet 2023)

Svensson L., Mullarney K., Zetterström D. *Le guide ornitho*. [s.l.] : Delachaux et Niestlé, 2015. 447 p.(Guide Delachaux).

ANNEXES

Annexe 1 : Récapitulatif des types de bagues posées par pays (©Tour du Valat)

1/8

Greater Flamingo (*Phoenicopterus roseus*) banding schemes in the Mediterranean from 1977 to 2021

Elements to be communicated for a band reading

Date	Site (be as precise as you can, if you transmit GPS co-ordinates, do not forget to also transmit the reference of the used co-ordinates system)	Position of the read band (right or left tibia)	Code of the read band (do not forget to note the possible presence of the stripe or the 2 dots)	Reading direction of the read band (from bottom to top or from top to bottom)	Colour of the ring	Age of the bird: juvenile / immature / adult	First and last names of the observers (2 maximum)	Other possible elements, as the sex, flock size, the breeding status...	Note: Always try to transmit the maximum of information, for example if a bird is found dead, to note the decomposition state, the possible cause of the death, etc...	Main Informations according to the kind of bands																				
										Kind of band	Banding country	Colour	Number of characters	Usual* reading direction	Usual* location	Stripe	Metal Ring	Used characters												
																		?	?	?	all positions									
																					never in first position									
																					only in first position									

* The term "usual" is used to acknowledge the exceptions caused by misapplications

Main Informations according to the kind of bands

Kind of band	Banding country	Colour	Number of characters	Usual* reading direction	Usual* location	Stripe	Metal Ring	Used characters																														
???	France	Light (white/yellow)	3	↑ or ↓	Right	No	No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P	R	S	T	U	V	X	Y	Z
A?? +	India	Yellow	3	↑ or ↓	Left or Right	No	Narrow	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L	N	P	R	T	U	V	X	Y	Z											
???	France	Yellow	4	↑ or ↓	Right	No	Large	A	B	C	D	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z														
???	France	White	4	↑ or ↓	Right	No	Large	A	B	C	D	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z														
M??	Italy - Sardinia	Red	4	↑	Right	No	Narrow	A	B	C	D	F	H	J	L	M	N	P	R	S	T	V	X	Z														
M??	Italy - Sardinia	White	4	↑ or ↓	Left	No	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	F	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	V	X	Z			
W??	Italy - Sardinia	White	4	↓	Left	No	Narrow	A	B	C	D	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z														
???	Italy	Blue	3	↑	Left or Right	No	Narrow	A	B	C	D	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z														
???	Italy	Blue	4	↑ or ↓	Right	No	Narrow	A	B	C	D	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z														
E:??	Italy (Continental & Sicily)	Blue	4	↑ or ↓	Left or Right	No	Narrow	A	B	C	D	E	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z													
???	Spain - Andalusia	Orange	3	↑	Left	Yes	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	F	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V	W	X	Z	
???	Spain - Andalusia	White	3	↓	Left	Yes	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	C			F	H	J	L	M	N	P	R	T	U	V	W	X				
???	Spain - Andalusia	White	4	↓	Left	Yes	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	F	H	I	J	K	L	M	N	P	R	S	T	V	X	Z		
T??	Turkey	White	4	↑ or ↓	Right	Yes	Large	A	B	C	D	F	H	J	K	L	N	P	R	S	T	V	X	Z														
V??	Spain - Catalonia	White	4	↓	Right	Yes	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																					
X??	Spain - Catalonia	White	4	↓	Right	Yes	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	F	H	J	L	M	N	P	R	S	T	V	X	Z				
???	Algeria	Yellow	4	↑ or ↓	Right	Yes	No	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	F	H	J	L	M	N	P	R	S	T	V	X	Z				
VH?	Germany	Blue	3	↑ or ↓	Left or Right	No	Narrow											H																				
Z??	Germany Netherlands	Red	4	↑ or ↓	Left or Right	No	Narrow	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9																					

*The term "usual" is used to acknowledge the exceptions caused by misapplications

Annexe 2 : Photos des flamants nichant dans la lagune de Khnifiss (©Radi et al, 2023).



Annexe 3 : Fiche d'aide pour déterminer l'âge des poussins (stades de développement) (©Tour du Valat).

Jours :

1-3 : Duvet blanc, bec et pattes roses, diamant visible, se tient debout avec difficultés au bout du 3^{ème} jour, couvé pendant de longues périodes par l'adulte au nid.

4-6 : Duvet gris-blanchâtre, bec et pattes roses devenant grisâtres, diamant toujours visible. Se tient debout aisément au bout du 5^{ème} jour. Au 6^{ème} jour en position debout, est presque à la même hauteur que la cheville de la femelle, assez mobile et explorateur hors du nid, encore couvé par l'adulte.

7-9 : Duvet grisâtre, bec et pattes gris avec articulations noires se développant au 7^{ème} jour et très marqué au 9^{ème}, tête à hauteur de la cheville de la femelle et à moitié du tibia mâle, explore intensément, picorant le sol, bat des ailes, encore couvé par l'adulte.

10-12 : Duvet grisâtre gris au 12^{ème} jour, bec gris noircissant et se courbant au 12^{ème} jour pattes grises devenant noirâtre, en position debout la tête est plus haute que la cheville de la femelle et le dos est presque aussi haut que la cheville de la femelle et la tête aussi haute que la cheville du mâle, n'est plus couvé par l'adulte.

13-15 : Duvet gris, tête de la hauteur de la cheville du mâle et dos aussi haut que la cheville de la femelle laissé fréquemment seul en crèche.

16-19 : Duvet gris foncé partant en lambeaux sur le cou et la tête au 16^{ème} jour dos plus haut que la cheville de la femelle et à partir du 18^{ème} jour dos de la hauteur de la cheville du mâle.

20-24 : Duvet gris foncé dos presque à la hauteur de la bague de la femelle.

25-29 : Dos à moitié du tibia de la femelle au 27^{ème} jour uniformément gris foncé prémices de plumes visibles et les ailes perdent leur aspect de moignon.

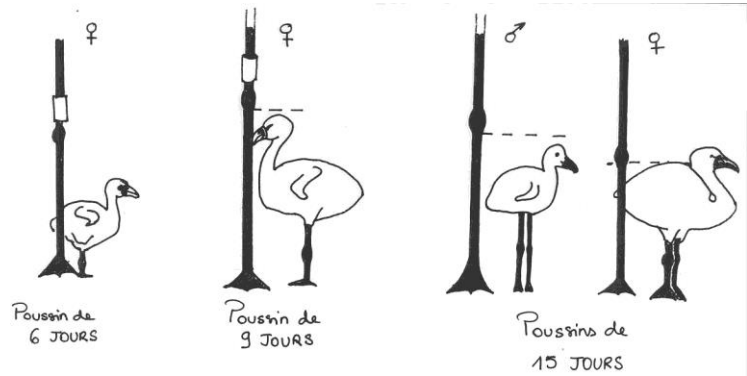
30-35 : Dos presque au niveau du ventre de la femelle.

38-44 : Dos au niveau du ventre de la femelle et au 1/3 – 2/3 de la hauteur du tibia du mâle.

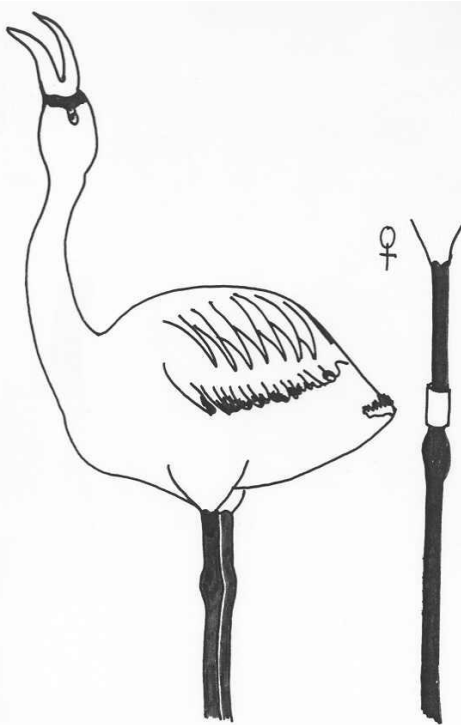
45-60 : Variable, dos au niveau ou plus haut que le ventre de la femelle et 1/3 – 2/3 de la hauteur du tibia du mâle, au 50^{ème} jour ventre et queue blanchâtres mais aspect duveteux au cou et à la poitrine dos et ailes emplumés bord d'attaque de l'aile fermé par les plumes des flancs.

61-80 : Dos au-dessus des pattes de la femelle et au niveau du ventre du mâle.

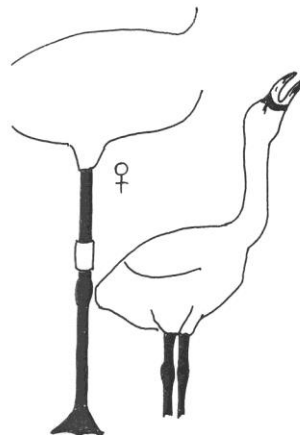
Age des poussins en fonction de leur taille



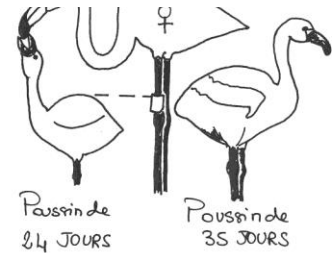
Age des Poussins
en fonction de



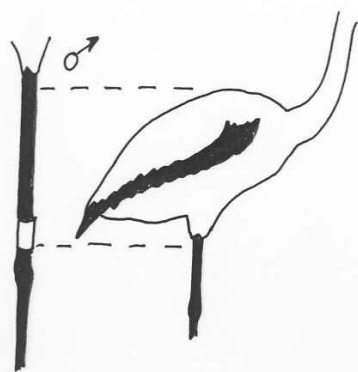
Poussin de 42 JOURS



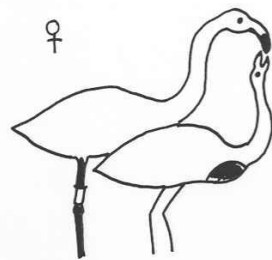
Poussin de 25 JOURS



Poussin de 51 JOURS



Poussin de 66 JOURS



Poussin de 94 JOURS

Annexe 4 : Exemple du jeu de données d’observations

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Num	Date	Orig	Bague	Sens	Sexe	Comportement	Partenaire	Age Chick	Site	Observateur1	Observateur2	Douteux	Comment	Ref	IntegrationsSIAM
75	18/04/2023	AND	OIXHX	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH75	
76	18/04/2023	ITA	MIAP	U	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH76	
77	18/04/2023	CAT	XICZV	D	31				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH77	
78	18/04/2023	AND	TIJ7	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH78	
79	18/04/2023	AND	OIDSJ	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH79	
80	18/04/2023	AND	OIHVL	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH80	
81	18/04/2023	AND	1COZ	D	29				Roi Ouest 2 - L68Y	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH81	
82	18/04/2023	AND	1JTF	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH82	
83	18/04/2023	CAT	XIHXC	D	29				Roi Ouest 2 - L19Z	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH83	
84	18/04/2023	ALG	A4I4D	U	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH84	
85	18/04/2023	CAT	XIDBT	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH85	
86	18/04/2023	AND	NICF	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH86	
87	18/04/2023	AND	RJ3T	D	31				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH87	
88	18/04/2023	AND	1IAH	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH88	
89	18/04/2023	AND	2ICIV	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Antoine Arnaud			230419AADH89	
90	18/04/2023	CAT	XIPFS	D	29				Roi Ouest 2 - L76Y	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH90	
91	18/04/2023	AND	1APB	D	29				Roi Ouest 2 - L66Y	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH91	
92	18/04/2023	AND	1TIX	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH92	
93	18/04/2023	FRA	KLLA	D	29				Roi Ouest 2 - L05X	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH93	19/04/2023
94	18/04/2023	FRA	KDIL	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH94	19/04/2023
95	18/04/2023	FRA	KDJN	U	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH95	19/04/2023
96	18/04/2023	FRA	KLDA	U	85				Roi Ouest 2	Julie Itty	Vincent Vuillermet		BAGUE CASSEE EN HAUT	230419AADH96	19/04/2023
97	18/04/2023	FRA	K8FB	D	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH97	19/04/2023
98	18/04/2023	FRA	KFFD	U	20				Roi Ouest 2	Julie Itty	Vincent Vuillermet			230419AADH98	19/04/2023

Annexe 5 : Scripts R

Nettoyage des données :

```
setwd("D:/Users/Julie ITTY/Desktop/stage tour  
du valat flamants/R")
```

```
library(readxl)
```

```
library(openxlsx)
```

```
install.packages("forcats")
```

```
install.packages("tidyverse")
```

```
library(tidyverse)
```

```
library(forcats)
```

```
data <- read_excel("data.xlsx")
```

```
View(data)
```

#enlever les lignes avec 0 dans la case couveur

```
datavf <- data[data$Couveur == "1",]
```

```
View(datavf)
```

#créer une variable selon si gypse (vrai) ou pas gypse (faux)

```
interm <- datavf$Site_base %in%  
c("R2gypse", "R3ilot3gypse", "R3diguegypse",  
"R3ilot4gypse")
```

#changer vrai en 1 et faux en 0

```
Site <- ifelse(interm == "TRUE", "Gypses",  
"Autres")
```

#ajouter la variable au tableau

```
datavf <- cbind(datavf, Site)
```

#créer une variable selon si français (FR) ou étranger

```
Origine <- ifelse(datavf$PaysB == "FR",  
"Français", "Etranger")
```

#ajouter au tableau

```
datavf <- cbind(datavf, Origine)
```

#changer le nom de la colonne avec poussin en succès d'éclosion

```
names(datavf)[8] <- "Succès d'éclosion"
```

#regrouper les ages en classes

```
datavf <- datavf %>%
```

```
  mutate("Classes d'âge" = fct_collapse(Age,
```

```
    "<10" = c("6", "8", "9"),
```

```
    "10-14"
```

```
    = c("10", "11", "12", "13", "14"), "15-19"
```

```
    = c("15", "16", "17", "18", "19"), "20-24"
```

```
    = c("20", "21", "22", "23", "24"), "25-29"
```

```
    = c("25", "26", "27", "28", "29"), "30-34"
```

```
    = c("30", "31", "32", "33", "34"), "35-40"
```

```
    = c("35", "36", "37", "38", "39"), ">40"
```

```
    = c("40", "41", "42", "43", "44", "45", "46")))
```

```
datavf$`Classes d'âge` <-  
as.factor(datavf$`Classes d'âge`)
```

#changer les chr en factor

```
str(datavf)
```

```
datavf$Site <- as.factor(datavf$Site)
```

```
datavf$Site_couveur <-  
as.factor(datavf$Site_couveur)
```

```
datavf$Origine <- as.factor(datavf$Origine)
```

```
datavf$Age <- as.numeric(datavf$Age)
```

```
datavf$Age <- as.factor(datavf$Age)
```

Profil des flamants nichant sur le gypse :

#Origine

Création du tableau de contingence en origine - origine en colonnes

```
cont.table <- table (datavf$Site, datavf$Origine,  
useNA = "ifany")
```

```
cont.table
```

Création du tableau de contingence en origine - origine en lignes

```
cont.table2 <- table (datavf$Origine,datavf$Site,  
useNA = "ifany")
```

```
cont.table2
```

Création du tableau de contingence en proportions par colonnes

```
prop.table(cont.table, margin = 2)
```

Création du tableau de contingence en proportions par colonnes

```
prop.table(cont.table, margin = 1)
```

```
write.xlsx(prop.table(cont.table, margin = 2), file  
= "D:/Users/Julie ITTY/Desktop/stage tour du  
valat flamants/R/contgyp.xlsx")
```

```
write.xlsx(prop.table(cont.table, margin = 1), file  
= "D:/Users/Julie ITTY/Desktop/stage tour du  
valat flamants/R/contorig.xlsx")
```

```
write.xlsx(cont.table, file = "D:/Users/Julie  
ITTY/Desktop/stage tour du valat  
flamants/R/contgypse.xlsx")
```

```
barplot(prop.table(cont.table, margin = 2),  
beside = TRUE, xlim = c(0,10),
```

```
ylab = "Proportion",
```

```
legend.text = levels(datavf$Site),
```

```
args.legend = list(x="right", inset = 0.05))
```

#test chi2

```
chisq.test(cont.table)
```

#Age

```
cont.table3 <- table (datavf$Site,  
datavf$`Classes d'âge`, useNA = "ifany")
```

```
cont.table3
```

```
write.xlsx(cont.table3, file = "D:/Users/Julie  
ITTY/Desktop/stage tour du valat  
flamants/R/cont-age.xlsx")
```

```
par(xpd = TRUE, mar = c(4,4,4,7))
```

```
barplot(prop.table(cont.table3, margin = 2),  
beside = TRUE, las = 1, xlim = c(0,18), col =  
c("blue4","green2"),
```

```
xlab = "Âge",
```

```
ylab = "Proportion",
```

```
legend.text = levels(datavf$Site),  
args.legend = list(x="topleft", inset = -0.2))
```

```
prop.table(cont.table3, margin = 2)
```

```
write.xlsx(prop.table(cont.table3, margin = 2),  
file = "D:/Users/Julie ITTY/Desktop/stage tour  
du valat flamants/R/propage.xlsx")
```

test

```
chisq.test(cont.table3)
```

Succès d'éclosion :

```
table(datavf$Site_couveur)
```

```
R2gypse <- subset(datavf, datavf$Site_couveur  
== "R2gypse")
```

```
R2gypse
```

```
dR2gypse <- c(mean(R2gypse$`Succès  
d'éclosion`),sd(R2gypse$`Succès d'éclosion`))
```

```
dR2gypse
```

```
R3gypse <- subset(datavf, datavf$Site_couveur  
== "R3gypse")
```

```
R3gypse
```

```
dR3gypse <- c(mean(R3gypse$`Succès  
d'éclosion`),sd(R3gypse$`Succès d'éclosion`))
```

```
dR3gypse
```

```
R3digue <- subset(datavf, datavf$Site_couveur  
== "R3digue")
```

```
R3digue
```

```
dR3digue <- c(mean(R3digue$`Succès  
d'éclosion`),sd(R3digue$`Succès d'éclosion`))
```

```
dR3digue
```

```

IlotF <- subset(datavf, datavf$Site_couveur ==
"R2ilotF")

dIlotF <- c(mean(IlotF$`Succès
d'éclosion`),sd(IlotF$`Succès d'éclosion`))

dIlotF

Ilot1 <- subset(datavf, datavf$Site_couveur ==
"R3ilot1")

dIlot1 <- c(mean(Ilot1$`Succès
d'éclosion`),sd(Ilot1$`Succès d'éclosion`))

dIlot1

Ilot2 <- subset(datavf, datavf$Site_couveur ==
"R3ilot2")

dIlot2 <- c(mean(Ilot2$`Succès
d'éclosion`),sd(Ilot2$`Succès d'éclosion`))

dIlot2

Ilot3 <- subset(datavf, datavf$Site_couveur ==
"R3ilot3")

dIlot3 <- c(mean(Ilot3$`Succès
d'éclosion`),sd(Ilot3$`Succès d'éclosion`))

dIlot3

Ilot4 <- subset(datavf, datavf$Site_couveur ==
"R3ilot4")

dIlot4 <- c(mean(Ilot4$`Succès
d'éclosion`),sd(Ilot4$`Succès d'éclosion`))

dIlot4

artificiel <- subset(datavf, datavf$Site ==
"Autres")

dartificiel <- c(mean(artificiel$`Succès
d'éclosion`),sd(artificiel$`Succès d'éclosion`))

dartificiel

```

```

naturel <- subset(datavf, datavf$Site ==
"Gypses")

dnaturel <- c(mean(naturel$`Succès
d'éclosion`),sd(naturel$`Succès d'éclosion`))

dnaturel

datatype <- data.frame(dartificiel,dnaturel)

write.xlsx(datatype, file = "D:/Users/Julie
ITTY/Desktop/stage tour du valat
flamants/R/table-type.xlsx")

rownames(datatype) <- c("Moyenne", "Ecart-
type")

datasucces <- data.frame(dR2gypse,dR3gypse,
dR3digue, dIlotF, dIlot1, dIlot2, dIlot3, dIlot4)

write.xlsx(datasucces, file = "D:/Users/Julie
ITTY/Desktop/stage tour du valat
flamants/R/table-succes.xlsx")

rownames(datasucces) <- c("Moyenne", "Ecart-
type")

#modèle 1 :

model <- glm(`Succès d'éclosion` ~ Site,
data=datavf, family = "binomial")

anova(model, test="Chisq")

#modèle 2 :

model2 <- glm(`Succès d'éclosion` ~
Site_couveur , data=datavf, family = "binomial")

anova(model2, test="Chisq")

```

Annexe 6 : Tableau des intervenants par tâche et calendrier de stage

Intervenant	Définition du sujet de stage	Bibliographie	Mise en place du protocole	Analyses statistiques	Rédaction
Principal	AAD	JIY	AAD	JIY	JIY
Secondaires	JIY, ABT	RFI	JIY, VVT, CGN, LWM	ABT, JCN, CGN, AGX, HFA	AAD, CGN, CIY

JIY : Julie Itty

AAD : Antoine Arnaud

ABT : Arnaud Béchet

RFI : Roberta Fausti (bibliothécaire de la TdV)

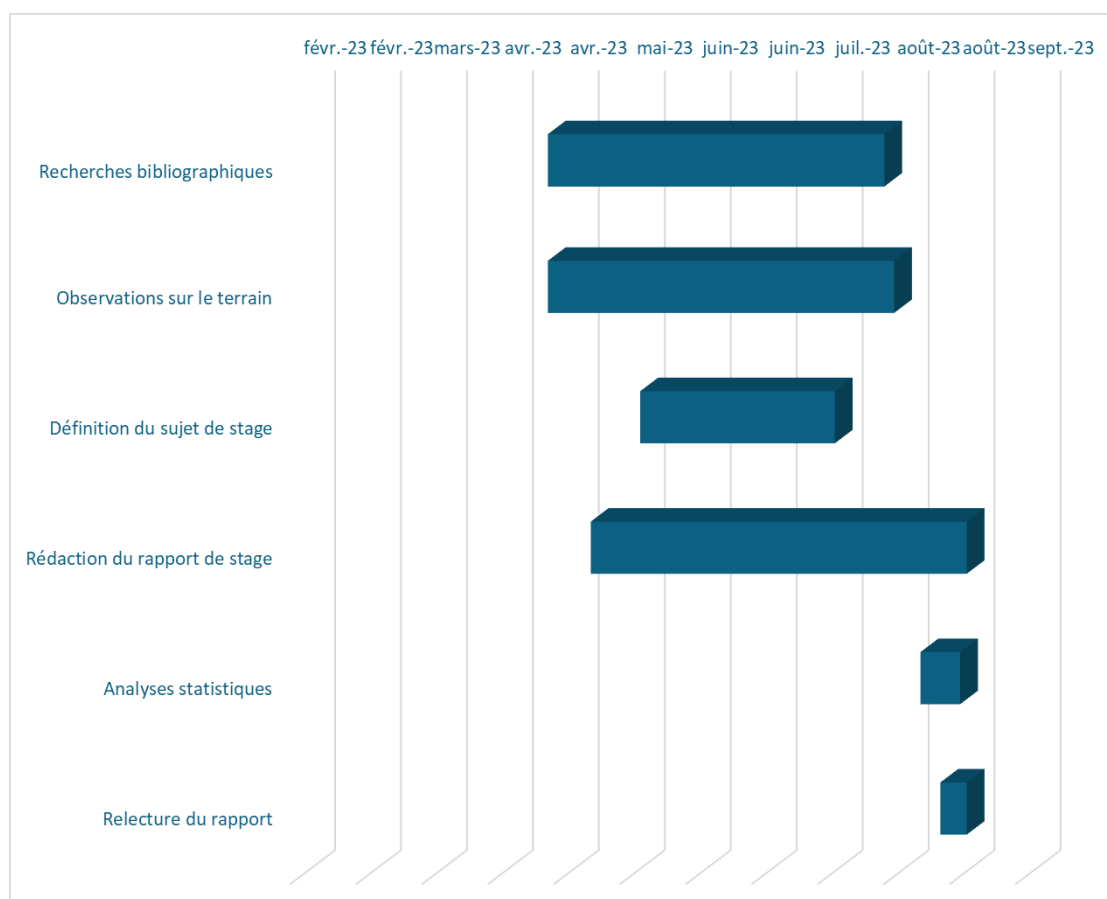
VVT : Vincent Vuillermet

CGN : Christophe Germain

JCN : Jocelyn Champagnon

LWM : Loic Willm

CIY : Christian Itty



JULIE ITTY

ETUDE DU SUCCES D'ECLOSION DES FLAMANTS ROSES (*PHOENICOPTERUS ROSEUS*) EN FONCTION DES SITES DE NIDIFICATION A AIGUES-MORTES

Résumé :

La Tour du Valat effectue, depuis 1954, un suivi de la reproduction de la colonie de flamants roses (*Phoenicopterus roseus*) dans les Salins du Midi en Camargue, unique lieu de nidification de cette espèce en France. Le suivi par observations à la longue-vue est possible grâce au marquage des flamants, qui se voient équipés d'une bague en plastique avec un code alphanumérique lisible à 300m et d'une bague en métal. Les flamants nichent l'accoutumée sur des îlots et une digue mais il a été remarqué, en 2022 et 2023, que ces oiseaux se reproduisaient sur un nouveau site : le substrat gypseux (constitué d'un minéral appelé le gypse) qui affleure de l'étang. Seulement, cette stratégie semblait comporter des risques car les œufs peuvent être facilement submergés par l'eau. Les analyses ont permis, dans un premier temps, de montrer que la propension des individus à nicher sur le gypse dépendait de leur âge et de leur origine. Ensuite, il s'est avéré que le succès d'éclosion des flamants ne dépendait finalement pas du site de nidification. Mais les analyses devront être poursuivies en même temps que le suivi originel, afin de vérifier ces résultats. Enfin, des propositions de gestion du site ont été présentées.

Mots-clefs : Flamant rose, suivi de population, méthode de Capture-Marquage-Recapture, stratégie de nidification, reproduction, gypse.

STUDY OF THE HATCHING SUCCESS OF GREATER FLAMINGOS (*PHOENICOPTERUS ROSEUS*) AS A FUNCTION OF NESTING SITES IN AIGUES-MORTES

Abstract :

Since 1954, the Tour du Valat has been monitoring the reproduction of the colony of greater flamingos (*Phoenicopterus roseus*) in the Salins du Midi in Camargue, the only nesting site for this species in France. Monitoring by observations with a telescope is possible thanks to the marking of the flamingos, which are equipped with a plastic ring with an alphanumeric code readable at 300m and a metal ring. Flamingos usually nest on islets and a dyke, but it was noticed in 2022 and 2023 that these birds were nesting on a new site: the gypsum substrate (made up of a mineral called gypsum) which shows on the surface of the salt marsh. However, this strategy seemed risky because the eggs can be easily submerged in water. The analyzes made it possible to show that the propensity of individuals to nest on gypsum depended on their age and their origin. Then it turned out that the reproductive success of flamingos ultimately did not depend on the nesting site. But the analyzes will have to be continued at the same time as the original monitoring, to verify these results. Finally, site management proposals were presented.

Keywords: Greater flamingo, population monitoring, Capture-Mark-Recapture method, nesting strategy, reproduction, gypsum.