

RAPPORT D'ETUDE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Du 09 nov. 2020 au 10 sept. 2021



Manon Maupomé

M2 IEGB

ETUDES DES COLONIES DE STERNES DU VAL D'ALLIER

LPO Auvergne-Rhône-Alpes - Délégation Auvergne
6 bd Nomazy - 03000 MOULINS

Maitre d'apprentissage : Alexis Renaux

Tuteur pédagogique : Olivier Duriez

RAPPORT D'ETUDE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

ETUDES DES COLONIES DE STERNES DU VAL D'ALLIER

Manon Maupomé – M2 IEGB

Apprentissage du 09 novembre 2020 au 10 septembre 2021

LPO Auvergne Rhône-Alpes – Délégation Auvergne

6 bd Nomazy – 03000 MOULINS

Sous la tutelle de :

Alexis Renaux – LPO AuRA

Olivier Duriez – Université de Montpellier

REMERCIEMENTS

Je tenais tout d'abord à remercier Jean-Christophe Gigault, Charline Giraud et Alexis Renaux pour m'avoir pris en alternance pour cette dernière année de Master. Cette expérience m'aura permis d'enrichir encore un peu plus mes connaissances et développer des aspects relationnels auprès des acteurs, pour pouvoir mettre toutes mes chances sur le marché de l'emploi d'ici quelques semaines !

Un merci tout particulier à Alexis pour de multiples choses ! Ton réel suivi malgré la distance, le confinement et le télétravail, ton apport de connaissances sur les taxons, ton aide sur R.. Vraiment obligatoire, sinon il n'y aurait eu que des moyennes, des écart-types et des histogrammes dans ce rapport, faits sous Excel bien entendu ! Tu ne m'auras peut-être pas transmis ton amour des stats, voire même fais peur avec ton enthousiasme débordant à l'idée de faire un GLM, un test de Kruskal ou autre ligne de code interminable, mais j'ai réussi à tenir jusqu'au bout et c'est déjà plutôt pas mal ! J'espère tout de même que tu me mettras +1 sur ma note pour ça, et peut-être que je ne serais plus dans le négatif vu tous les points perdus et si peu gagnés pendant nos sessions terrain. Désolée de ne pas être tombée dans l'eau pendant les 6 mois de terrain, tu n'auras pas d'anecdote de ce type à raconter sur moi ! Merci tout de même pour nos discussions et réflexions au bureau ou dehors, comme le choix d'une loi statistique en fonction du régime alimentaire d'un certain sujet d'étude, les conditions de consommation d'une courgette, ou encore le prix d'un trajet Clermont-Moulins pour une plaque à reptile si c'est toi qui l'emmènes.

Je remercie également Olivier Duriez, pour ces trois années de cours sur les vautours et autres bêtes à plumes, ainsi que le suivi sur les deux derniers stages. J'espère avoir été à la hauteur !

Un très grand merci à Sylvie Lovaty, LA bénévole des sternes de l'Allier, avec qui j'ai pu apprendre de nombreuses choses sur les sternes, l'Allier, le site de Régemortes, les acteurs.. Une mine de connaissance pour une petite bretonne comme moi ! Merci également pour ton aide sur les études et les suivis, les découvertes des sites (je n'aurais jamais trouvé tous ces petits chemins d'accès aux sites sans toi !), ces longues discussions en face de la colonie de Moulins, mais aussi l'observation du nid de Balbuzard, 3 jours avant que le jeune ne s'envole ! On était encore dans les temps !

... Finalement, oublie ce que j'ai dit, il paraît que tu ne veux pas trop apparaître dans les remerciements, juste dans la biblio !

Mes remerciements vont également à Jean-Luc Gilles, Denis Bacholier, Clémentine Guerber et Baptiste Boutroy pour votre participation aux études pêche. Grace à vous, j'ai pu me démultiplier et être partout à la fois sans trop de difficultés !

Je souhaite également remercier Grégory Hebrard et Anthony Voute pour l'aide à la pause de tout le matériel sur Moulins et Villeneuve, ainsi que Camille Balsac, de l'ASPPT, pour le prêt de canoé et la descente de l'Allier qui a finalement pu se faire après plusieurs reports ! Lucie Serre et Jérémy Bihan,

pour m'avoir accompagné et aidé à planter ces fameux panneaux, dont vous entendiez régulièrement parler ! Merci également pour la session cistude et les quelques commérages pendant nos pauses, dont on ne précisera pas, bien entendu, la durée ! Un non remerciement à l'Allier qui nous a empêché une seconde descente pour la récupération des panneaux, qu'elle a emporté 3 petites semaines après leur pause ! Si jamais quelqu'un les retrouve...

Même si nous ne nous sommes pas vus souvent avec la situation sanitaire, une pensée pour les collègues de Clermont et de l'ENVA. Merci à Anne-Sophie De Pieri de m'avoir confié les suivis sur Villeneuve et les deux-trois petits inventaires qui m'ont permis d'avoir un peu plus de terrain pendant mes semaines. Un merci également à ma collègue de bureau Laura Guillain. Même si on se sera plus vues sur un canoé que derrière nos écrans, le courant est vite passé ! Il faut dire que le canoé ça crée des liens, entre l'organisation complexe des accès et des agendas, le besoin de réactivité de fermeture des bouches de gonflage à 8h du matin, l'évitement (toujours maîtrisé) des obstacles et autres embâcles, le rangement parfois complexe dans le sac après 6 heures de rames ou encore l'abandon immédiat du navire lors d'un orage. Comme on l'avait dit, ce stage a été réussi à partir du moment où le canoé a mis moins de 5 secondes à être rangé ! Il restera tout de même un gout de glace inachevée sous 30 degrés... Bonne continuation à tous !

Des remerciements formels aux sternes de l'Allier, d'avoir bien voulu être présentes et rester sur les sites malgré une météo complexe. Grâce à vous j'ai pu avoir des données, parfois minimes, lors des sorties terrain ! (et peut-être valider mon master, mais c'est une autre histoire) Et un merci aux autres animaux d'avoir pu me permettre de trouver ces heures d'observations un peu moins longues lorsque les sternes n'étaient pas au rendez-vous !

Ma dernière pensée sera pour une personne spéciale, qui a su me pousser vers le haut quand il le fallait et égayer mes soirées et mes week-ends. Sans toi les balades ne seraient pas pareilles, mais les plantes que tu y récoltes s'en porteraient peut-être mieux ! J'espère que tu es prêt pour me supporter encore quelques temps, parce que j'arrive !

ABREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

AEWA : African-Eurasian Migratory Waterbird Agreement

AIC : Critère d'Information d'Akaike

ANOVA : Analyse de Variance

APPB : Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope

DCE : Directive Cadre sur l'Eau

DPF : Domaine Public Fluvial

GLM : Modèle linéaire généralisé

LPO : Ligue pour la Protection des Oiseaux

RNNVA : Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier

ZSC : Zone Spéciale de Conservation

ZNIEFF : Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

ZPS : Zone de Protection Spéciale



Partie 1 : Missions et Contexte

MISSIONS D'APPRENTISSAGE

1 Mission principale : étude des colonies de sternes

→ Etude de la ressource alimentaire : étudier les succès de pêche des adultes en suivant les sites de pêches et le nourrissage des poussins, afin de comprendre l'attrait des oiseaux pour un site fortement perturbé tout au long de la saison de reproduction (site du Pont Régemortes à Moulins).

→ Etude de l'impact des feux d'artifices : savoir si le déplacement du feu d'artifice a toujours un impact fort sur la colonie. L'étude sera réalisée comme année témoin en 2021 à cause de l'annulation des feux d'artifice du 14 juillet dans de nombreuses communes suite à la crise sanitaire.

→ Communication, concertation et sensibilisation des acteurs locaux, tels que les élus des communes présentant une colonie de reproduction, les loueurs de canoës, les canoéistes, les personnes présentes à proximité des sites.

2 Autres missions

→ Etude de l'évolution de la végétation et de la configuration des ilots de Moulins suite à différents travaux de dévégétalisation, avec un suivi photographique et une analyse comparative des images.

→ Evaluation du plan de gestion du Logiparc03

→ Suivis de mesures compensatoires pour le contournement routier de la commune de Villeneuve-sur-Allier :

- Protocole POP reptiles avec pose et relevés de plaques
- Suivis mammifères avec pose et relevés de pièges photographiques, prospection d'ouvrages routiers (ponts) pour trouver des indices de présence
- Suivi mortalité sur la portion de route créée
- Suivi odonates (aide technique)
- Rédaction des rapports associés



Figure 1 : Ilot de sable et graviers au milieu de l'Allier, pouvant être utilisé par les sternes pour l'installation de la colonie de nidification. M.Spæth

CONTEXTE DE L'ETUDE

Les Sternes naines et pierregarins sont des laridés dont les individus nichent en colonies de plusieurs dizaines d'oiseaux, sur les côtes ou dans les terres, principalement sur des espaces de sables et de graviers. La Loire et l'Allier sont ainsi les principaux biotopes de reproduction continentaux de ces espèces en France. Ils font partie des derniers cours d'eau présentant une dynamique fluviale encore relativement conservée, permettant la présence d'habitats pionniers tels que des îlots de sable et graviers (Fig.1). Dans l'Allier, certains de ces sites sont classés en Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope, dans le but de protéger l'avifaune nicheuse inféodée à ces milieux. Au cours de la saison de reproduction, les sternes doivent faire face à de nombreuses problématiques, qu'elles soient anthropiques ou naturelles. Les crues, d'intensité plus ou moins élevées et fréquentes selon les années, les loisirs de pêche, les canoës, les baigneurs ou encore les chiens dans les secteurs les plus anthropisés.

La LPO Auvergne mène depuis plus de 50 ans un suivi de la reproduction des Sternes naines et pierregarins dans le Val d'Allier. L'objectif général est la conservation de ces deux espèces, dont le taux de réussite des nichées reste très faible dans l'Allier. Jusqu'alors, les bénévoles étaient majoritairement intervenus pour mettre en place le suivi et la surveillance des colonies. Afin de développer et renforcer ces actions, une subvention de la Direction Départementale des Territoires (DDT) a permis de recruter une stagiaire et un service civique en 2020, ainsi qu'une alternante en 2021. Il est prévu de réaliser une importante synthèse bibliographique sur la biologie des sternes, leurs habitats et les études réalisées, etc. Deux études scientifiques doivent être mises en place, sur la ressource alimentaire et l'impact des tirs de feu d'artifice à proximité de la colonie du Pont Régemortes à Moulins. Des opérations de sensibilisation et conservation/préservation sur les actions mises en place, sont également programmées. On retrouve parmi celles-ci la mise à jour et l'installation de panneaux de sensibilisation et d'interdiction d'accès sur les sites de reproduction, la prise de contact avec les communes concernées par la présence d'une colonie reproductrice et la surveillance des colonies tout au long de la saison avec les bénévoles.



**Partie 2 :
Sternes et facteurs
limitants**

SOMMAIRE

INTRODUCTION	2
MATERIEL ET METHODES	12
1 LE VAL D'ALLIER, UN ESPACE NATUREL REMARQUABLE	12
2 LES HIRONDELLES DE MER.....	12
3 ETUDES SUR LES COLONIES DE STERNES DU VAL D'ALLIER.....	14
3.1 <i>Capacité de pêche et sélection de l'habitat de reproduction</i>	14
3.1.1 Secteurs d'étude.....	14
3.1.2 Une étude, deux protocoles	16
3.1.3 Tri des données et analyses statistiques	16
3.2 <i>Feu d'artifice et impacts sur les sternes</i>	18
3.2.1 Site d'étude : la colonie de Moulins	20
3.2.2 Un suivi du dérangement en soirée.....	20
3.2.3 Analyse des données	20
RESULTATS OBTENUS.....	20
4 INFLUENCE POTENTIELLE DE LA CAPACITE DE PECHE DANS LA SELECTION DE L'HABITAT DE REPRODUCTION.....	20
4.1 <i>Une pêche liée aux secteurs de l'Allier</i>	20
4.2 <i>Moulins, un site au meilleur succès de pêche</i>	22
4.3 <i>Des colonies similaires</i>	24
5 LE FEU D'ARTIFICE, UN DERANGEMENT IMPORTANT	26
5.1 <i>Une colonie de Moulins peu dérangée en soirée</i>	26
5.2 <i>Des couvées mises à mal</i>	26
DISCUSSION	28
6 UN PROTOCOLE A COMPLETER.....	28
7 UNE ETUDE COMPLEMENTAIRE A INSTAURER	28
8 DES RESULTATS A NUANCER	30
9 MOULINS, UN SITE PAS COMME LES AUTRES ?	30
10 UN FEU D'ARTIFICE A DECALER	32
CONCLUSION	34
TABLE DES FIGURES	
TABLE DES TABLEAUX	
TABLE DES EQUATIONS	
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXES	

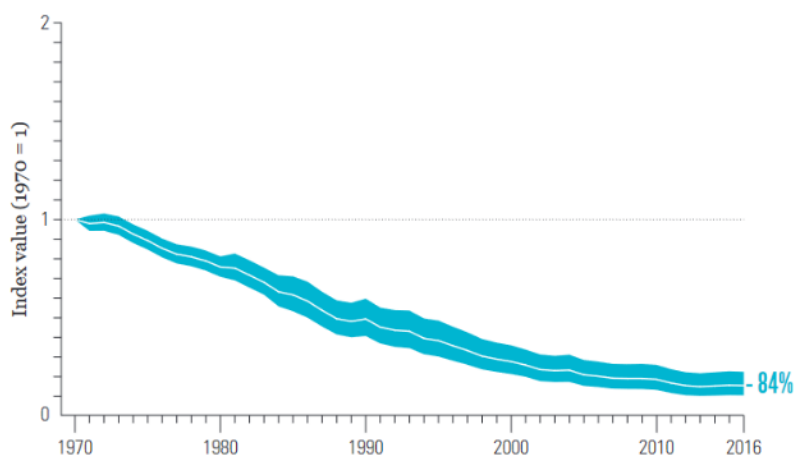
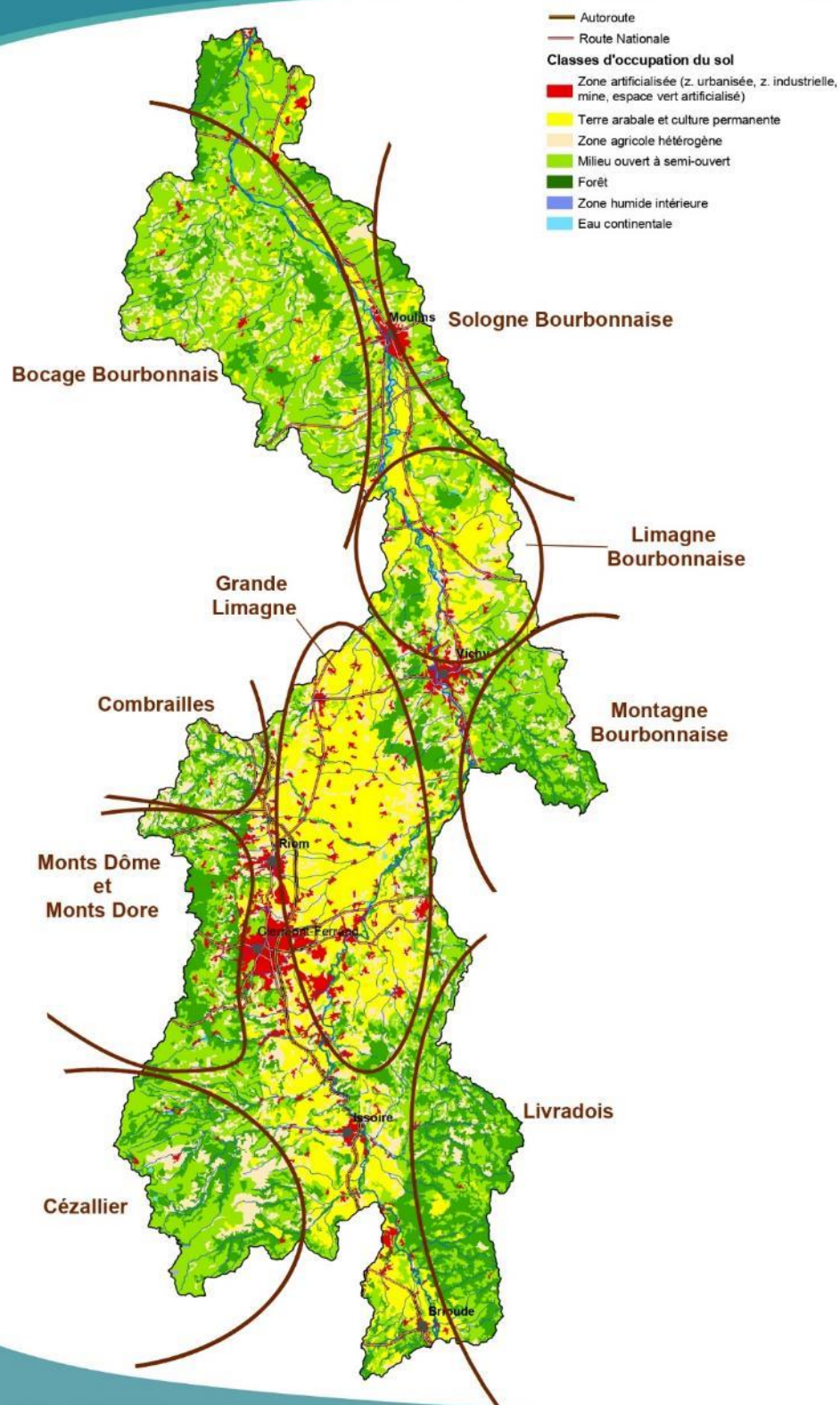


Figure 2 : Freshwater Living Planex Index de 1970 à 2016 : Abondance moyenne des populations d'espèces infestées aux milieux aquatiques. La ligne blanche correspond aux valeurs de l'index, comprise dans un intervalle de confiance en bleu (Almond, Grooten, et Peterson 2020).

INTRODUCTION

Les menaces qui pèsent sur la biodiversité mondiale ne cessent d'augmenter au fil des années. Elles sont multiples, et touchent l'ensemble des taxons et des écosystèmes, qu'ils soient terrestres ou aquatiques, avec une conséquence plus ou moins visible. Ce sont principalement les milieux aquatiques qui sont les plus impactés. Près de 90% des zones humides ont été détruites dans le monde depuis 1700, avec de nombreuses modifications induites par l'homme (WWF 2020). Il s'agit toutefois des habitats parmi les plus complexes de la planète. Ils comprennent une diversité d'écosystèmes reliés à la profondeur, au courant, à la température, au substrat, à la salinité, à l'ombrage, ou encore à l'isolement aux autres points d'eau (Tickner *et al.* 2020; Geist 2011). Cet ensemble de facteurs abiotiques permet à ces milieux aquatiques d'abriter une biodiversité très riche. Elle représenterait 10% de l'ensemble des espèces du globe décrites à ce jour (Geist 2011). 6% est d'ailleurs présente uniquement dans les écosystèmes aquatiques continentaux, alors qu'ils ne représentent que 0,8% de la surface totale du globe (Michelet 2017). Il s'agit donc de milieux importants pour la conservation de la biodiversité. Toutefois, les populations animales, à savoir les mammifères, oiseaux, amphibiens, reptiles et poissons, inféodées à ces milieux, ont diminué de 84% entre 1970 et 2016, avec une moyenne de 4% par an (Almond *et al.* 2020 ; Fig.2).

Il existe cinq grandes menaces pesant directement sur les milieux aquatiques d'eau douce. La présence d'espèces exotiques envahissantes, dont la propagation menace les écosystèmes et la biodiversité indigène. La pollution, qui est une des menaces la moins visible mais fortement impactante. Elle perturbe de manière lente la qualité des eaux, entraînant ainsi eutrophisation et prolifération d'algues parfois toxiques. Les animaux ingèrent de manière directe ou indirecte ces polluants et cela peut entraîner des phénomènes de mortalités massives chez certaines espèces (Michelet 2017; Geist 2011; Tickner *et al.* 2020). Les deux menaces premièrement citées en induisent une troisième, la dégradation des habitats. Cette notion est également liée à l'altération de l'hydromorphologie, qui concerne le fonctionnement des cours d'eau. A l'origine, les rivières et fleuves étaient libres. Leur lit était uniquement créé au fil des ans par la dynamique fluviale liée aux événements météorologiques pluvieux. Les pressions anthropiques se sont considérablement accentuées à partir du XIX^{ème} siècle, avec de nombreux aménagements, tels que des digues, des canalisations, des enrochements, des barrages et seuils, etc. L'extraction de granulats dans les rivières a également entraîné une modification de la circulation des sédiments et ainsi du lit de cours d'eau. Ces ouvrages et activités ont fortement impacté la libre circulation de l'eau, entraînant par la suite une fragmentation des habitats, une simplification de la morphologie du lit principal et son isolement de sa plaine d'inondation, ainsi qu'une modification de celle-ci. Par cela, la biodiversité inféodée à ces milieux a également été impactée (Michelet 2017; Petit 2013). Migration piscicole interrompue ou complexe ne permettant plus aux espèces d'accomplir leur cycle de vie, surreprésentation des faciès d'écoulement d'eau calme favorisation l'eutrophisation et l'installation d'espèces exotiques envahissantes, stockage ou prélèvement de la ressource en eau à certains endroits entraînant un appauvrissement en aval, etc. Les dérangements d'origines anthropiques



Etat des lieux du SAGE Allier Aval

Figure 3 : Carte des entités paysagères de l'Allier aval. 10 entités sont décrites, auxquelles il faut rajouter le Val d'Allier, qui suit le cours d'eau à partir de la Limagne bourbonnaise. Etablissement Public Loire 2014

ont également un impact sur les populations animales et piscicoles. Les pratiques sportives telles que le canoë peuvent, par exemple, entraîner un dérangement plus ou moins important chez les colonies d'oiseaux d'eau. Une étude note que lorsque les embarcations longent uniquement les îles abritant ces colonies, seulement 2/3 des individus nicheurs s'envolent. Si 3 canoës ou plus passent simultanément, l'ensemble de la colonie s'envole. Il en va de même lors d'un accostage ou d'un débarquement (Dejaifve 2008). L'utilisation des berges et îlots par la population humaine entraîne également des dérangements divers, par le piétinement, le dépôt de déchets ou encore la présence de chiens en liberté. Les festivités, comme les feux d'artifices du 14 juillet, intervenant en pleine période de reproduction de nombreuses espèces sensibles, provoquent également un dérangement sonore et visuel fortement impactant (Pedreros *et al.* 2016; Stickroth 2015). Les exemples sont multiples et représentés sur l'ensemble du globe. A cette notion s'ajoute la surexploitation des ressources, qu'elles soient animales, minérales ou aquatiques, ainsi que le changement climatique. Celui-ci est d'autant plus problématique qu'il impacte directement le cycle de l'eau. La température de l'eau tend désormais vers une augmentation. Les organismes aquatiques doivent faire face à cela, alors qu'il s'agit souvent d'espèces sténocènes, inféodées à une niche écologique restreinte. Face à ces changements et menaces, la capacité d'adaptation des espèces ne semble pas assez rapide pour permettre la survie de chacun (Michelet 2017). Les régimes d'épisodes pluvieux se modifient également, avec une diminution des fréquences et une augmentation de l'intensification des épisodes de fortes précipitations (GIEC 2021; Laucoin et Rambourdin 2017). Les espèces inféodées aux îlots et berges de certains fleuves et rivières sont ainsi impactées par ces précipitations entraînant des crues destructrices dans certains bassins versants. Une récente étude montre que 69% des stations hydrographiques situées dans le Nord-Ouest de l'Europe, du bassin de la Loire en France à l'Islande, observent une tendance à la hausse des crues, avec une augmentation locale moyenne de +2,3% par décennie (Blöschl *et al.* 2019).

Il existe tout de même quelques cours d'eau encore considérés comme « sauvages » et peu impactés par ces menaces. En France, une rivière sauvage doit correspondre à un très bon état écologique selon la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de 2000, ce qui signifie une naturalité remarquable, aucune intervention humaine et une fonctionnalité hydrobiologique optimale (Charrais *et al.* 2014). Cela ne représente qu'1% des cours d'eau du territoire ; principalement de petits cours d'eau isolés. On estime tout de même que certains grands cours d'eau français sont encore « sauvages », peu ou pas canalisés, avec un lit majeur très large, de nombreux méandres, permettant une libre évolution latérale de l'eau et de sa circulation. Il s'agit du fleuve de la Loire et d'un de ses affluents, la rivière Allier. Cette dernière prend sa source en Lozère, traverse 7 départements sur 420 kilomètres avant de se jeter dans la Loire au niveau du Bec de l'Allier à Nevers. Le bassin hydrographique de l'Allier se caractérise par de nombreuses structures paysagères, définies par une géologie complexe et une jonction entre plusieurs climats météorologiques (Fig.3&4). Sur sa partie aval, la rivière traverse le département du même nom, au sein d'une entité écologique nommée « Val d'Allier ». Celle-ci se définit par un substrat sableux plus ou moins gros, peu de reliefs et d'urbanisation à proximité immédiate du cours d'eau. Seuls deux

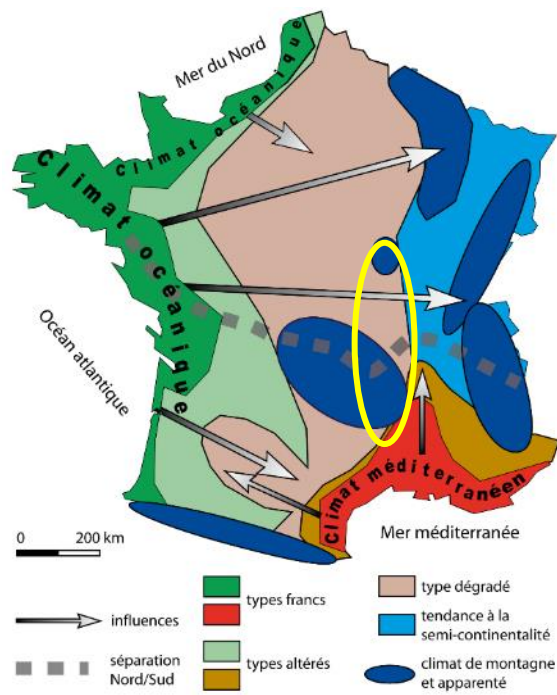


Figure 4 : Carte des climats de France. La rivière Allier est matérialisée dans l'encadré jaune. Joly et al. 2010.

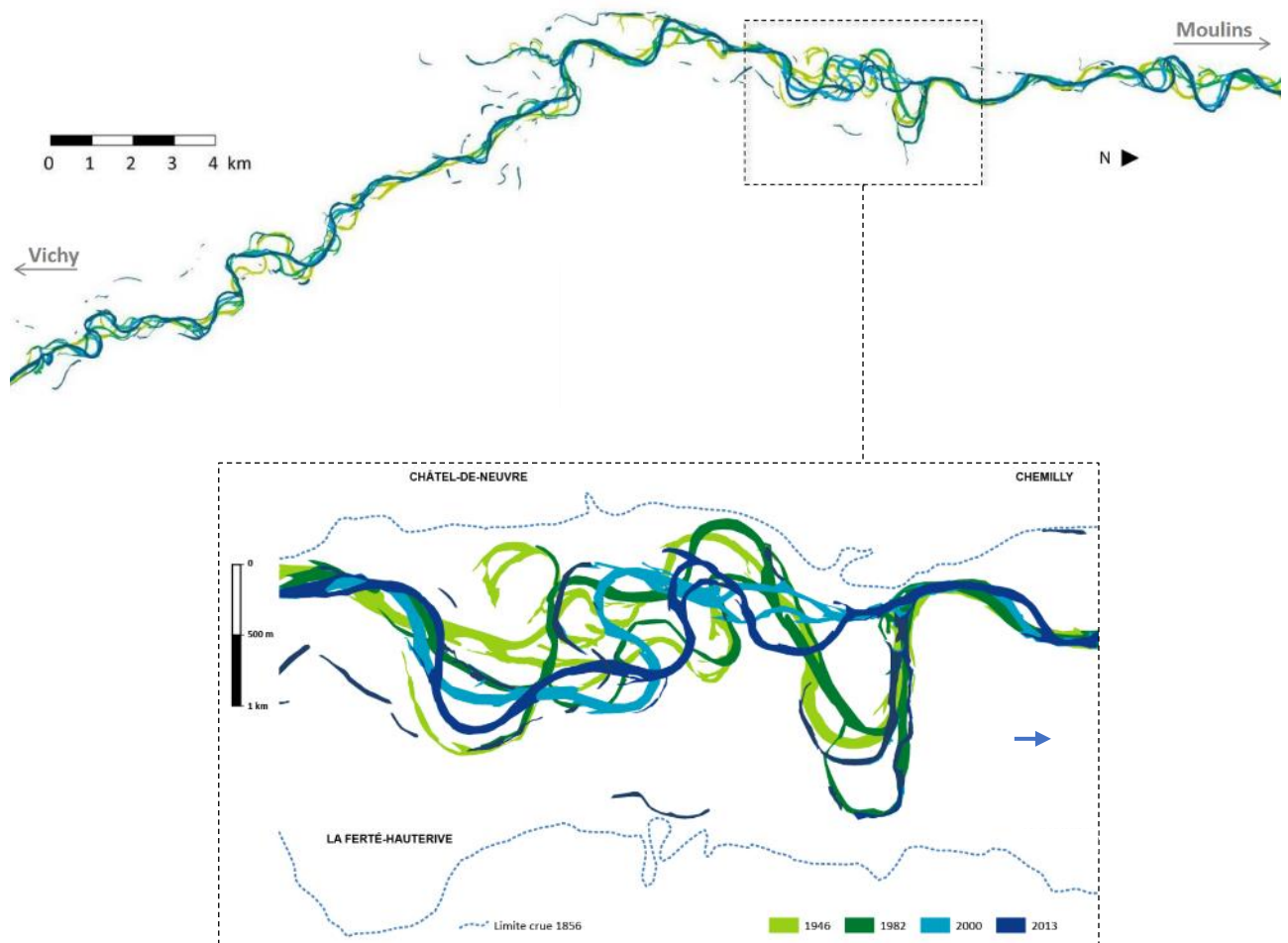


Figure 5 : Dynamique de la rivière Allier entre Vichy et Moulins, au sein du Val d'Allier entre 1946 et 2013. Le lit du cours d'eau est en perpétuels changements, avec des différences pouvant aller jusqu'à plusieurs kilomètres. Cournez 2016

pôles urbains importants, Vichy et Moulins, sont présents en rive droite. De fait, l'Allier a pu conserver un lit mobile, en perpétuelle évolution sur certaines portions (Fig.5). Cette dynamique fluviale permet de rétablir l'équilibre entre les charges liquides et solides, en érodant ou déposant des sédiments au niveau des méandres. La faible pente du Val d'Allier oblige la rivière à s'élargir pour continuer de s'écouler, et permet par cela la création de zones importantes de dépôts d'alluvions et de sédiments (Laucoin et Rambourdin 2017; EPTB Loire 2014; LPO Auvergne et ONF 2018). Cette divagation naturelle préservée est à l'origine d'un patrimoine naturel très riche, via la création d'une diversité d'habitats naturels tels que les falaises d'érosion, les îlots pionniers, les boires et bras secondaires, etc. De nombreuses Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique (ZNIEFF) sont recensées sur le périmètre du Val d'Allier, ainsi que deux Zones Spéciales de Conservation (ZSC) et une Zone de Protection Spéciale (ZPS) au titre de Natura 2000. La Réserve Naturelle Nationale du Val d'Allier (RNNVA) a été créée en 1994 afin de protéger la libre fluctuation du cours d'eau et les milieux naturels associés. On trouve également deux Arrêtés Préfectoraux de Protection de Biotope (APPB), l'un concernant la rivière et les milieux naturels à proximité, et l'autre concernant les îlots de graviers et sable utilisés par les oiseaux nicheurs (Ann.1). Cet APPB, voué à évoluer en fonction des années et de la création d'îlots par la rivière, inclut aujourd'hui 5 sites dispersés le long du Val d'Allier, de Saint-Yorre à Château-sur-Allier (Ann.2). Plusieurs oiseaux protégés, dont l'Édicnème criard et les Sternes naines et pierregarins s'y reproduisent. Il s'agit d'un des derniers secteurs français de nidification rivulaire pour ces trois espèces, en incluant la Loire pour les sternes.

Ces deux espèces de sternes sont protégées en France, inscrites à l'annexe 1 de la Directive Oiseaux, à l'annexe 2 de la convention de Berne et listées en catégorie C1¹ de l'African-Eurasian Migratory Waterbird Agreement (AEWA). Elles sont classées en « préoccupation mineure » sur les listes rouges mondiale, européenne et française des oiseaux nicheurs, mais « en danger » sur la liste rouge auvergnate (« INPN » 2021). Les sternes sont présentes sur la côte Africaine, de l'Ouest de l'Afrique jusqu'en Afrique du Sud, en période hivernale. On les retrouve ensuite de l'Europe de l'Ouest jusqu'en Asie septentrionale au cours de la saison de reproduction. La population mondiale de Sterne pierregarin est estimée à 500 000 couples, contre 35 000 à 55 000 couples pour les Sternes naines. L'Europe comporte 40% à 60% des couples de pierregarins, et 3% à 5% des couples de naines (MNHN 2012b; 2012a).

La France accueille 4000 à 5000 couples de Sternes pierregarins et environ 1800 couples de Sternes naines. Trois populations nicheuses se distinguent pour ces deux espèces : les oiseaux présents sur la façade atlantique et la Manche, ceux présents sur le pourtour méditerranéen, et les individus continentaux (MEEDDAT et MNHN, 2012a; 2012b; Yeatman-Berthelot 1994; Fig.6&7). Cette population est principalement présente dans le bassin Ligérien, notamment sur la Loire et l'Allier. En moyenne, 84 à 86 couples de S. pierregarin sont présents en Auvergne, entre l'Allier et le Puy-de-Dôme. Les Sternes naines sont uniquement présentes sur le Val d'Allier, à hauteur d'une trentaine de couples en moyenne (MNHN 2012b; LPO Auvergne 2010; Lovaty 2020). Les données de reproduction sont

¹ Concerne les populations de plus de 100 000 individus

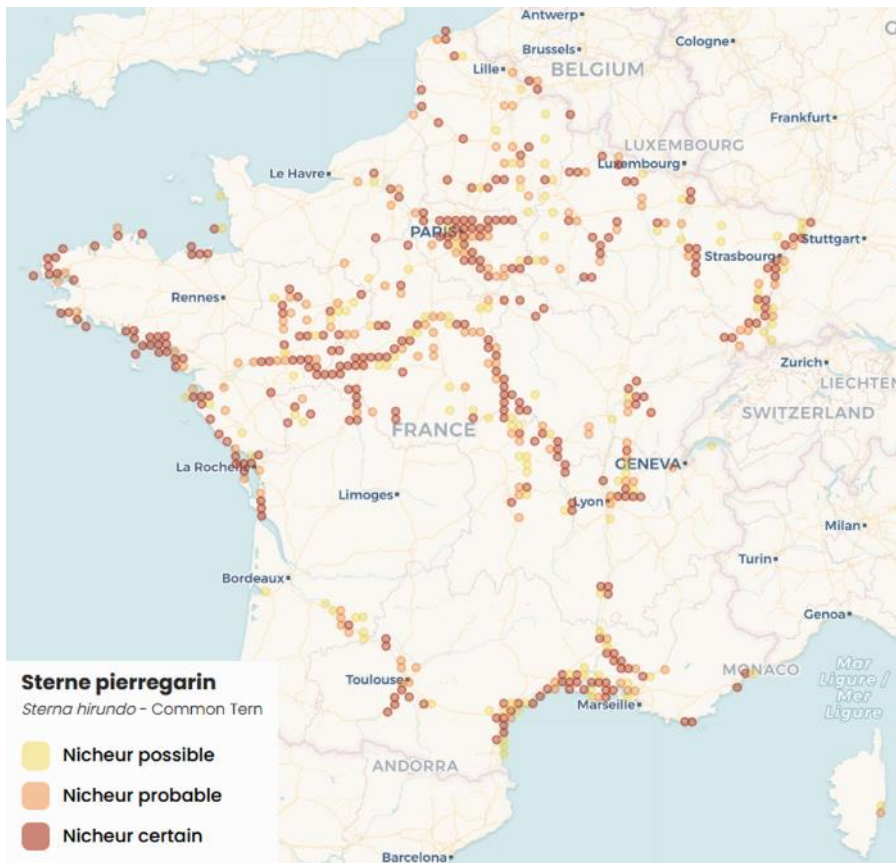


Figure 6 : Carte de répartition des couples nicheurs certains (rouge), probables (orange) et possibles (jaune) de Sternes pierregarins en France. ODF, 2021



Figure 7 : Carte de répartition des couples nicheurs certains (rouge), probables (orange) et possibles (jaune) de Sternes naines en France. ODF, 2021

connues sur ce secteur depuis 1974, alors que les Sternes pierregarins sont citées à partir de 1955. Ce sont tout d'abord des nids isolés qui sont observés, puis des colonies de 20 à 35 individus à partir des années 80, comprenant toujours une majorité de Sternes pierregarins (LPO Auvergne 2010). Les effectifs reproducteurs sont fortement variables entre les années, notamment chez les *S.pierregarins* pouvant passer d'une centaine de couples à moins de 40 l'année suivante (Fig.8). On remarque tout de même une tendance à l'augmentation depuis une trentaine d'années, nettement plus prononcée chez les pierregarins. Le nombre de jeunes à l'envol est toutefois extrêmement variable d'une année sur l'autre. La productivité moyenne du Val d'Allier est estimée à 0.62 juvénile par couple pour les Sternes pierregarins et 0.47 pour les Sternes naines sur les vingt dernières années. La moyenne européenne pour les individus se reproduisant en eau douce est de 1.05 juvénile par couple de pierregarin (Becker et Ludwigs 2004), ce qui est bien supérieur aux données de l'Allier. Le succès moyen de reproduction de la Sterne naine est estimé entre 5% et 46% des poussins éclos (MNHN 2012a). Les données de l'Allier sont ainsi bien en dessous des résultats des populations européennes pour les deux espèces, ce qui est problématique pour le maintien et la pérennité des effectifs français départementaux et continentaux.

Ces fortes variations peuvent s'expliquer par les nombreux facteurs de perturbations auxquels les colonies de reproduction doivent faire face. D'un point de vue naturel, les colonies sont soumises à la présence de prédateurs, notamment aviaires, tels que les Milans noirs (*Milvus migrans*) ou les Corneilles noires (*Corvus corone*). La présence de prédateurs terrestres est limitée par le choix d'un site encerclé par l'eau. Toutefois, la sécheresse et la diminution du débit de l'Allier peut entraîner un rattachement à la berge au cours de la saison de reproduction. La nidification des oiseaux installés s'achève alors généralement par un échec ou un fort taux de mortalité des poussins (LPO Auvergne 2010). Un autre facteur naturel d'échec de reproduction est les crues soudaines de l'Allier. Celles-ci ont trois origines géographiques : les pluies cévenoles qui s'abattent dans le sud du Massif Central à la source de l'Allier et impactent principalement ce secteur ; les crues océaniques issues de fortes précipitations sur l'ensemble du bassin de l'Allier, assez fréquentes mais de faible intensité de manière générale. Les crues combinant ces deux types, appelées crues mixtes, associant remontées méditerranéennes et perturbations atlantiques. Il s'agit des plus importantes et dangereuses. Les comparaisons des débits maximaux mensuels entre 2000 et 2021 pour la station hydrométrique principale de l'Allier (Moulins - K3450810) montrent que les crues de fin d'hiver au mois de mars et avril, lors de l'arrivée et l'installation des sternes, diminuent en intensité. Au contraire, les débits de juin augmentent fortement, de +10% en 20 ans (HydroFrance 2015, Fig.9). Ceci correspond aux périodes d'éclosion et d'élevage des poussins, dont les chances de survie sont quasi nulles s'ils sont âgés de moins de 15 jours (*comm. pers. Sylvie Lovaty*).

Les facteurs d'échec sont également anthropiques. L'Allier est très prisée par les touristes pour les descentes en canoë, notamment le Val d'Allier par son cours plus calme. Les débarquements sur les îles sont fréquents, du fait du faible nombre de points d'accostage le long des berges. Dans ce cas, le risque de piétinement des œufs et poussins, de couleur mimétique, est considérable. Les œufs ne doivent pas rester plus de 7 minutes sans être couvés, faute de s'échauffer en quelques minutes si cela se produit aux

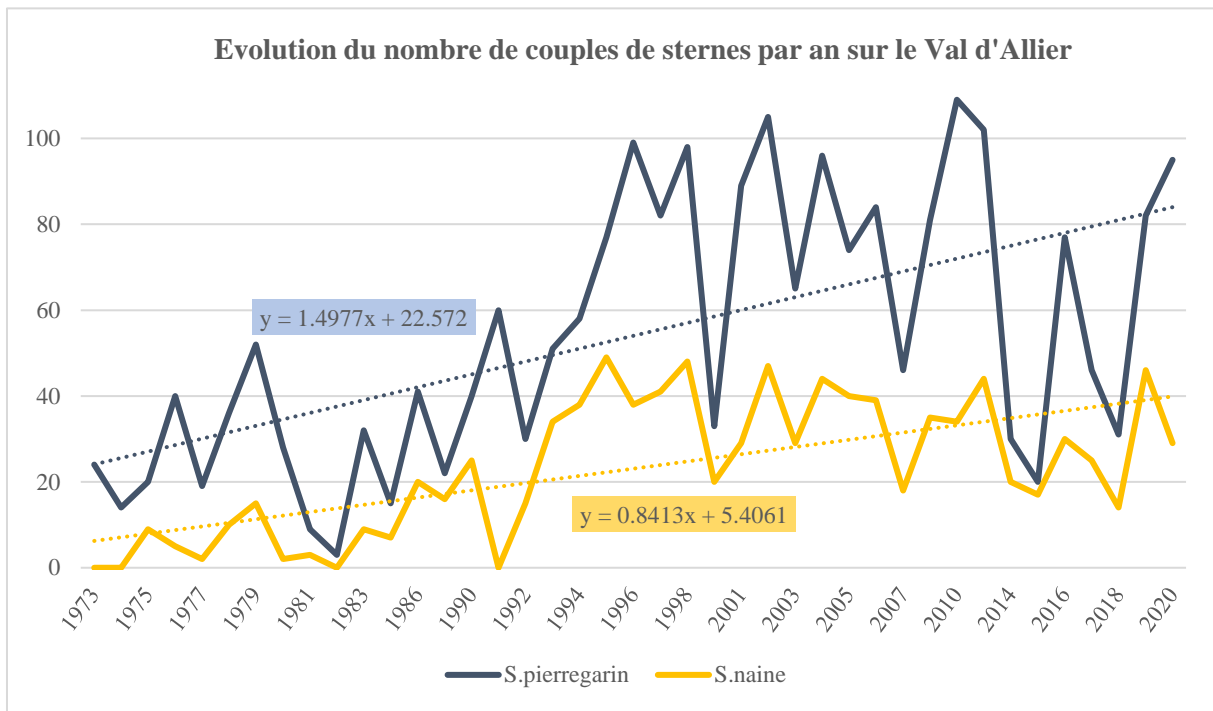


Figure 8 : Graphique de l'évolution du nombre de couples de Sternes pierregarins et naines entre 1973 et 2020 sur le Val d'Allier

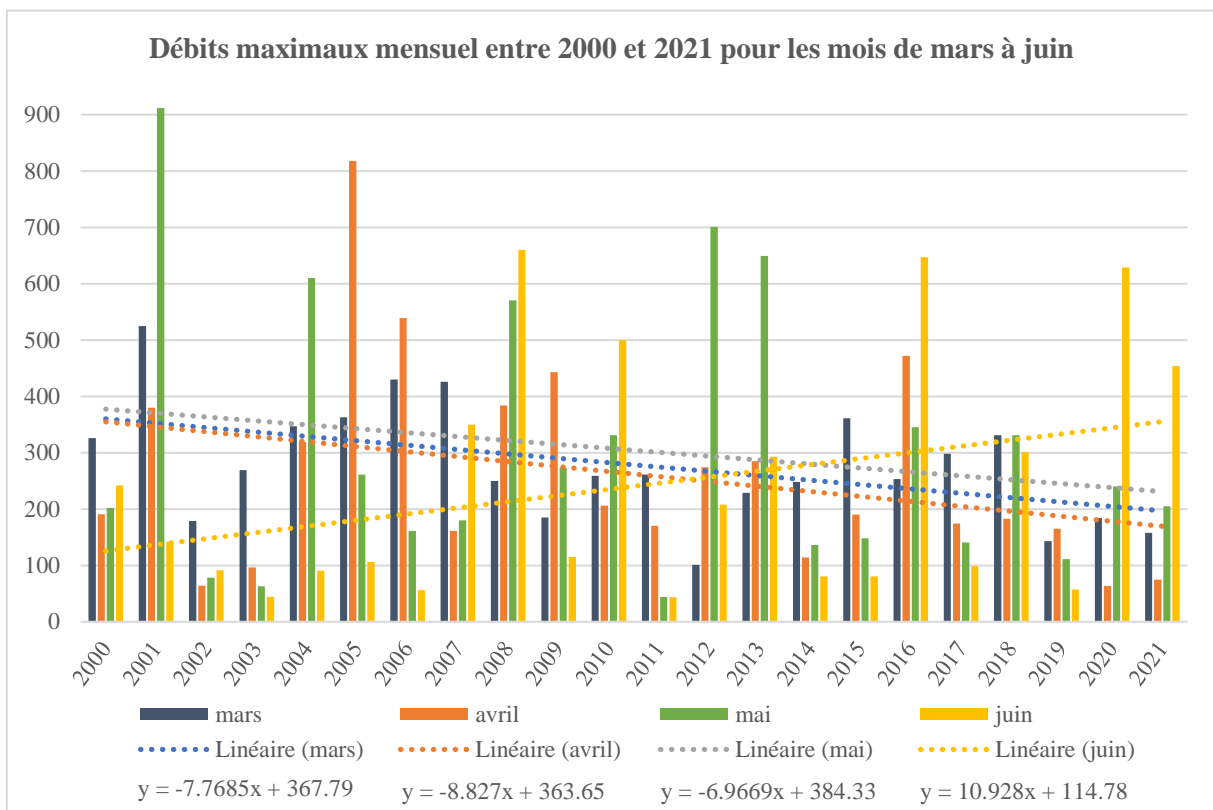


Figure 9 : Débits maximaux mensuel entre 2000 et 2021 pour les mois de mars à juin – données issues de Hydrofrance, station de Moulins (K3450810). Les débits maximaux du mois de mars diminuent de -7% en 20 ans. Ceux des mois d'avril et mai diminuent -6% à -8%. Les crues importantes ayant habituellement lieu au cours de ces mois-ci n'ont quasiment plus lieu depuis 2013. La courbe de tendance du mois de juin montre une augmentation de +10% en 20 ans. Les crues interviennent désormais à la fin du printemps, en période d'élevage des poussins.

heures les plus chaudes d'une journée ensoleillée. Cela n'arrive que lors de dérangements prolongés, la durée moyenne étant de 3 minutes (Dejaifve 2008). Certains ilots, notamment ceux situés au Pont Régemortes à Moulins, se trouvent en périphérie d'une aire urbaine (Fig.10). La population locale aime profiter des berges de l'Allier, notamment l'été. En cette période, les niveaux d'eau peuvent descendre très bas, à moins de 20m³. Les ilots deviennent alors facilement accessibles depuis les berges. Les pêcheurs les utilisent également comme poste de pêche ou de dépôt de matériel. Il est également à noter que des événements festifs tels que le 14 juillet amènent une forte fréquentation sur les berges de l'Allier, ainsi qu'un fort dérangement sonore, le feu étant tiré à proximité immédiate des ilots. Malgré cela, les sternes reviennent année après année sur ces mêmes sites dérangés. La colonie de Moulins est d'ailleurs la plus importante du Val d'Allier, accueillant jusqu'à 77 couples de Sternes pierregarins et 13 couples de Sternes naines en 2020 (Lovaty 2020). Ces dérangements anthropiques ont lieu en période de couvaison et d'élevage.

Deux questions se posent :

1) *La capacité de pêche est-elle un facteur important de sélection d'habitat de reproduction sur le Val d'Allier ?*

Hypothèse : *La colonie de Moulins obtient des taux de pêche plus importants que les autres colonies et secteurs de pêche présents sur l'Allier.*

Il semblerait qu'il existe une différence de facilité d'accès à la ressource alimentaire entre les sites de reproduction et le reste de la rivière Allier. Cela semble notamment possible pour la colonie de Moulins, qui est la plus importante du département. Cela pourrait s'expliquer par la présence d'un radier au pied du Pont de Régemortes, à quelques mètres des ilots. Celui-ci semble être une nurserie pour les poissons, et ainsi un accès facile à la ressource alimentaire pour les sternes nicheuses permettant un nourrissage efficace des poussins.

2) *Une distance supérieure à 1.5km entre la colonie de reproduction et le site de tir du feu d'artifice rend-elle l'impact des tirs moins importants en contexte de rivière ?*

Hypothèse : *Le bruit des tirs de feu d'artifice à proximité immédiate entraîne la désertion d'une partie de la colonie reproductrice et provoque l'échec des pontes en cours.*

Le feu d'artifice du 14 juillet a lieu depuis le Pont Régemortes depuis une dizaine d'année, situé à une vingtaine de mètres des ilots de reproduction des sternes. L'impact sur la colonie est très important, pouvant aller jusqu'à l'abandon de 90% des individus (Lovaty 2019). La LPO met en place des réunions afin de déplacer le site de tir plus en amont de la colonie. La distance optimale serait d'au moins 1.5km (Stickroth 2015).



*Figure 10 : Ilots du Pont Régemortes à Moulins, accueillant une importante colonie de Sternes naines et pierregarins.
M.Maupomé*



Figure 11 : Sterne pierregarin en vol et posée – M.Maupomé



Figure 12 : Sterne naine en vol et posée au sol – gauche : M.Maupomé, droite : etangdeberre.org

1 Le Val d'Allier, un espace naturel remarquable

Le Val d'Allier se situe dans le département éponyme, en région Auvergne-Rhône-Alpes. Cet espace naturel est reconnu pour la biodiversité qu'il abrite. On retrouve ainsi pas moins de 15 grands milieux naturels ou semi-naturels autour de la rivière Allier, classés au sein de deux grandes entités (Laucoin et Rambourdin 2017). La plaine, de part à d'autre de la rivière, qui est essentiellement composée de prairies de fauche et de pâtures, des espaces agricoles de cultures intensives ; les ripisylves et le Domaine Public Fluvial (DPF), où se trouvent la majorité des habitats liés à la dynamique latérale active du lit de l'Allier. Des végétations aquatiques et amphibies se développent dans le cours d'eau et les secteurs de crues. Des habitats alluvionnaires, notamment des plages et des bancs de sable sans végétation, sont renouvelés annuellement par la dynamique fluviale. Des friches, des pelouses et des mégaphorbiaies se développent également sur les berges stabilisées et à proximité des bras morts. Les forêts de bois tendre et les saulaies sont fortement représentées sur les rives de l'Allier.

Cette mosaïque d'habitats abrite une grande diversité d'espèces faunistiques et floristiques, dont certaines sont identifiées comme rares et menacées en France et au niveau Européen. Parmi celles-ci, on peut noter la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*), le Cuivré des marais (*Lycaena dispar*), le Gomphe serpent (*Ophiogomphus cecilia*), le Castor d'Europe (*Castor fiber*), la Mulette épaisse (*Unio crassus*), le Saumon (*Salmo salar*), ou encore la Marsilée à quatre feuilles (*Marsilea quadrifolia*). 35 espèces d'oiseaux sont considérées d'intérêt communautaire sur le Val d'Allier, dont l'Œdicnème criard (*Burhinus oedicephalus*), le Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*) et la Sterne naine (*Sternula albifrons*), présents en période de reproduction (LPO Auvergne et ONF 2018).

2 Les hirondelles de mer

Les sternes, également appelées « hirondelles de mer », sont des Laridés de petite taille, que l'on retrouve parmi 6 genres et 34 espèces. Parmi celles-ci, la Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*) est la plus commune en France (Fig.11). On retrouve également de petites colonies de Sterne naine (*Sternula albifrons*), espèce plus rare sur le territoire (Fig.12). Parmi les trois populations françaises, la population continentale s'installe sur des îlots, bancs de sables et de galets, au milieu de la rivière. Ceux-ci doivent comporter une surface sableuse dégagée, peu de végétation et être légèrement en hauteur par rapport au niveau de l'eau (LPO Auvergne 2010). La présence d'eau de chaque côté de l'île assure une protection contre les prédateurs terrestres (Fasola et Bogliani 1984). Les individus sont philopatriques ou choisissent un site de reproduction à proximité de leur site de naissance (Renken et Smith 1995; Martinović *et al.* 2019). Avant de sélectionner l'îlot de nidification, des prospections sont réalisées, permettant ainsi aux oiseaux de connaître l'ensemble des sites potentiels dans leur secteur, et pouvoir s'y déplacer si besoin (Martinović *et al.* 2019).

Bien qu'utilisant les mêmes milieux naturels et la même ressource alimentaire, chaque espèce possède sa niche écologique. La Sterne pierregarin arrive sur ses quartiers de reproduction dès fin mars.



Sites d'étude du protocole ciblant la ressource alimentaire des sternes du Val d'Allier

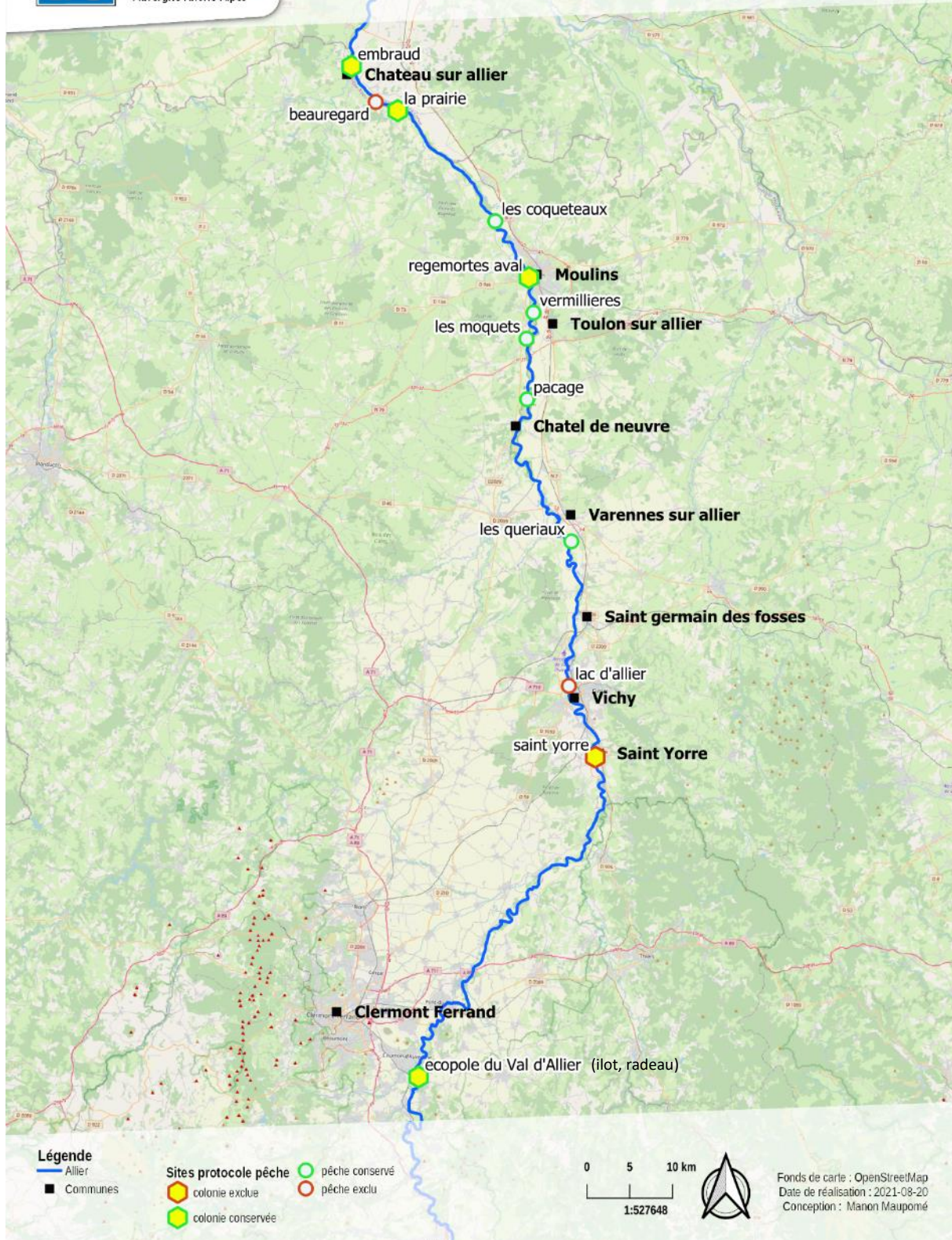


Figure 13 : Localisation des sites d'études choisis et conservés pour les protocoles ciblant la ressource alimentaire. Les sites de Embraud, la Prairie, Moulins (Régemortes aval) et l'Ecopôle du Val d'Allier sont des sites de reproduction. Ce dernier est composé de deux sites, l'Ecopôle îlot et l'Ecopôle_radeau, qui correspondent à deux bassins différents de la gravière. Les sites des Coqueteaux, Vermillères, les Moquets, Pacage et les Quériaux sont inclus en tant que sites de pêche.

Une fois les couples formés, la femelle dépose 2 à 3 œufs dans une cuvette creusée dans le gravier, à même le sol. Cette espèce privilégie les substrats épais, légèrement surélevés par rapport au niveau de l'eau (Buckley et Buckley 1982 in Fasola et Bogliani 1984). La présence de touffes de végétations et de bois flottés à proximité garantie un abri futur pour les juvéniles (LPO Auvergne 2010). Les œufs sont couvés pendant 23 jours, et les deux parents participent à l'élevage des poussins semi-nidifuges. Ceux-ci prennent leur envol entre 22 et 28 jours, et restent encore un à deux mois avec leurs parents avant de rejoindre les sites d'hivernage entre mi-août et fin septembre.

La Sterne naine, reconnaissable à son bec jaune, arrive au début du mois de mai en France. La formation des couples et l'installation se fait rapidement. La cuvette est creusée dans un substrat plus fin et sableux que pour la Sterne pierregarin (Jeong *et al.* 2011; Valle et Scarton 1999). Ces secteurs se trouvent plus proches de l'eau et sont donc plus facilement submersibles lors d'une augmentation du niveau d'eau. 1 à 3 œufs sont pondus et couvés par la femelle pendant 18 à 20 jours. Une vingtaine de jours plus tard, les jeunes s'envolent et restent avec leurs parents pendant un à trois mois (MNHN 2012a). Le retour sur les quartiers d'hiver s'effectue à partir du mois de juillet.

Lors d'épisodes de crues ou d'échec des nichées, il est fréquent que les oiseaux fassent des pontes de remplacement. 10% des effectifs nicheurs seraient concernés chez la Sterne pierregarin (LPO Auvergne 2010). Cela reste moins fréquent chez la Sterne naine qui repart tôt de ses sites de nidification, ce qui ne lui laisse souvent pas assez de temps pour élever de nouveaux jeunes.

3 Etudes sur les colonies de sternes du Val d'Allier

3.1 Capacité de pêche et sélection de l'habitat de reproduction

Afin de comprendre la répartition des colonies de reproduction des Sternes naines et pierregarins au sein du Val d'Allier, une étude ciblant la capacité de pêche est réalisée. Celle-ci a pour objectif de déterminer si la facilité d'accès à la ressource alimentaire peut être une des raisons de l'installation des colonies de sternes. Cette information pourrait également mettre en lien l'importance de la ressource alimentaire face au dérangement humain dans la sélection des zones de reproduction années après années.

3.1.1 Secteurs d'étude

Cette première étude est mise en place sur deux types de sites : les sites de reproductions utilisés chaque année par les sternes, ainsi que sur des secteurs connus pour être des sites de pêche des oiseaux (Fig.13). Les 5 sites de reproduction inscrits en APPB ont ainsi été choisis : Saint-Yorre, les Quériaux (Créchy), Régemortes (Moulins), la Prairie (Saint-Léopardin-d'Augy) et Embraud (Château-sur-Allier). La gravière de l'Ecopôle du Val d'Allier, située dans le Puy-de-Dôme (63) a également été intégrée à l'étude. Les Sternes pierregarins y nichent depuis une vingtaine d'années, sur des îlots naturels ainsi que des radeaux artificiels installés par la LPO Auvergne. Ceci permettra de comparer les données entre sites naturels de reproduction et sites artificiels. Les sites de pêche ont été sélectionnés en recoupant les

Tableau 1 : Synthèse des données choisies pour les protocoles de l'étude de la ressource alimentaire

Variables		Type	Description	Métrique	
Météo	s	Qualitatif	Présence de soleil	Caché, voilé, présent	
	n	Qualitatif	Nébulosité	Absente, faible (25%), moyenne (50%), forte (75%), totale (100%)	
	v	Qualitatif	Force du vent	Nul, faible, moyen, fort	
	p	Qualitatif	Pluviométrie	Nulle, bruine, faible, modérée, forte	
Allier	h	Quantitatif	Hauteur de l'Allier	Mètres	
	d	Quantitatif	Débit de l'Allier	m ³ /s	
PECHE	Données brutes	id	Qualitatif	Code de l'individu suivi (sans distinction entre les sessions d'observation)	Initiales du site + numéro du passage_numéro de l'individu
		sp	Qualitatif	Espèce suivie	Sh (S.pierregarin), Sa (S.naine)
		h_p	Quantitatif	Heure du plongeon	Heure : minute
		adl_nb_pr	Quantitatif	Nombre de proie pêchées	-
		l_pr	Quantitatif	Taille proies en proportion par rapport à la taille du bec	Proportion (0.5/1/1.5/2/2.5)
		adl_s_e	Qualitatif	Succès ou échec de la pêche	s (succès), e (échec)
	Analyse	d_p	Qualitatif	Durée de l'observation pour l'ensemble des plongeurs d'un individu	Minutes
		nb_p	Quantitatif	Nombre de plongeurs	-
		adl_nb_s	Quantitatif	Nombre de plongeurs réussis	-
		adl_nb_e	Qualitatif	Nombre de plongeurs non réussis	-
		l_pr_adl_moy	Quantitatif	Taille moyenne des proies par individus	-
		frq_pl	Quantitatif	Fréquence des plongeurs par minutes	-
		frq_s	Quantitatif	Fréquence des plongeurs avec succès par individu	Pourcentage
NOURRISSAGE	Données brutes	sp	Qualitatif	Espèce suivie	Sh (S.pierregarin), Sa (S.naine)
		nb_po	Quantitatif	Nombre de poussins de moins de 10 jours	-
		h_nour	Quantitatif	Heure du nourrissage	-
		l_pr	Quantitatif	Taille des proies en proportion de la taille du bec	Proportion (0.5/1/1.5/2/2.5)
		po_s_e	Qualitatif	Succès ou échec du nourrissage	S (succès), e (échec)
	Analyse	nb_nour	Quantitatif	Nombre d'apport de poissons aux poussins de moins de 10 jours	-
		nb_s	Quantitatif	Nombre d'apport consommés	-
		nb_e	Quantitatif	Nombre d'apport non consommés	-
		fr_nourr	Quantitatif	Fréquence des apports sur une heure	-
		moy_apport	Quantitatif	Nombre de poissons apportés en moyenne par poussin en une heure	-
		l_pr_moy	Quantitatif	Taille moyenne des proies apportées aux poussins	-

données des cinq dernières années transmises sur le portail Faune-Auvergne, ainsi qu'avec les connaissances de la bénévole référente sternes. 6 sites ont ainsi été choisis le long de l'Allier.

À la suite des premières semaines de suivis, le nombre de sites d'étude a été diminué. Peu ou pas d'oiseaux ont été observés sur certains sites de pêche, notamment le lac de Vichy et le site de Beauregard. Le site de Saint-Yorre n'a pas été utilisé pour la troisième année consécutive par les sternes. Les crues hivernales de l'Allier ont modifié le site de nidification des Quériaux en rattachant l'île à la berge, empêchant ainsi l'utilisation du site par les oiseaux reproducteurs. Celui-ci a tout de même été conservé comme site de pêche, des individus ayant été observés au cours de la saison de reproduction. La colonie habituelle de la Prairie n'a été utilisée par un couple de Sternes naines que pendant 3 semaines, avant d'abandonner le site, probablement à cause des accostages réguliers des canoës sur les ilots. Les passages sur ce secteur ont donc été abandonnés.

3.1.2 Une étude, deux protocoles

L'étude mise en place a été dissociée en deux parties. Dans un premier temps, et tout au long de la saison de reproduction, du mois de mai à juillet, la pêche des adultes de Sternes pierregarins et naines est étudiée. Une fois par semaine, chaque site est suivi pendant une heure. Des paramètres abiotiques, notamment météorologiques et fluviaux, sont notés (Tab.1). Un oiseau est choisi au hasard parmi ceux observés, et est ensuite suivi sur un maximum de 5 plongeurs par adulte. On considère ici comme plongeur, toute action fructueuse ou non, pour laquelle le bec et la tête de l'oiseau entrent dans l'eau. Pour chaque individu, l'heure et le succès/échec du plongeur sont notés, ainsi qu'une estimation de la taille de la proie en fonction du bec de l'oiseau (James 2001; Pineau *et al.* 2018; Monticelli *et al.* 2006). Les fréquences de plongeurs par minute et le taux de réussite par individu sont calculés a posteriori.

La seconde partie concerne uniquement les colonies de reproduction, et plus particulièrement le nourrissage. Les poussins étant nidifuges et très mobiles sur et entre les ilots, seuls ceux de moins de 10 jours ont été ciblés (MEEDDAT et MNHN 2012b; 2012a; Sadoul *et al.* 2016). Leur nombre est comptabilisé à chaque passage, soit par colonie si l'ensemble des poussins se situent sur un même espace, soit par ilot si les couvées sont dispersées sur plusieurs îles. Deux passages par semaine sont réalisés, afin d'obtenir le maximum d'informations avant que les poussins ne soient trop grands. Pendant une heure, le nombre d'apports de poissons par les adultes pour ces poussins est relevé. Il est important de ne pas prendre en compte les apports concernant les couveuses ou les poussins plus âgés, qui peuvent être moins régulièrement nourris (Bogliani *et al.* 1994). Ces données sont ensuite estimées sur l'ensemble du site lorsque celui-ci est divisé en plusieurs ilots de reproduction.

3.1.3 Tri des données et analyses statistiques

Avant de réaliser les analyses statistiques, un premier tri des données récoltées est effectué pour le protocole de pêche. Les passages où aucune sterne n'a été observée sont supprimés. Tous les sites n'ont donc pas le même nombre de réplicats, notamment ceux abandonnés par les oiseaux en cours de reproduction. Afin de compenser cela, les analyses sont également réalisées en fonction des types de

Équation 1 : Formule du calcul de la déviance d'un modèle explicatif

$$\mathbf{Déviance} = \frac{\mathbf{NULL\ deviance} - \mathbf{Residual\ deviance}}{\mathbf{Null\ deviance}}$$

milieux étudiés, permettant ainsi de regrouper les sites entre eux et maximiser les échantillons. Les deux sites de l'Ecopôle du Val d'Allier sont définis en tant que « gravière », et la colonie de Moulins est différenciée des autres îlots naturels, du fait de la proximité de digues et d'un radier influant sur l'écoulement de la rivière et la présence de poissons. Ils sont respectivement nommés « Régemortes » et « rivière ». Afin de mieux estimer l'utilisation des sites par les oiseaux, trois principales variables sont étudiées : la fréquence des plongeurs par minute (frq_{pl}), la fréquence de succès par individu (frq_s) et la taille moyenne des poissons pêchés (l_{pr_moy}) (Tabl.1). Des comparaisons de moyennes sont réalisées sur celles-ci en fonction des milieux étudiés puis des sites, à l'aide des tests non paramétriques de Kruskal-Wallis. Lorsque ceux-ci sont significatifs, un test post-hoc de Tukey ($tukeyHSD$) permet de préciser les comparaisons deux à deux. Par la suite, différents Modèles Linéaires Généralisés (GLM) sont définis afin d'expliquer les variables principales à l'aide des paramètres abiotiques (météorologie, hydrométrie, sites et milieux). Les relations entre les paramètres météorologiques et hydrométriques sont testées afin de d'éviter toute corrélation. Pour cela, un test du χ^2 est mis en place. Ainsi, la nébulosité (n) est exclue des analyses car corrélée à la variable d'ensoleillement (s). La variable de hauteur de l'Allier (h) est également retirée puisqu'elle suit le débit (d). La variable de pluviométrie (p) est quant à elle enlevée car elle ne comporte finalement qu'un seul paramètre. Des modèles simples et additifs sont réalisés. La fonction $stepAIC$ (library $MASS$) est utilisée afin de sélectionner « pas à pas » le modèle le plus explicatif. La différence sera établie en fonction du Critère d'Information d'Akaike (AIC), qui devra être le plus faible. Si la différence entre le meilleur modèle et le modèle suivant (ΔAIC) est inférieure à 2, celui-ci est également explicatif. Le degré d'explication du modèle étudiée est calculé par la déviance (Eq.1). Lorsqu'un paramètre quantitatif s'avère significatif (données hydrométriques), un test de corrélation de Spearman ou Pearson est réalisée selon la normalité des données, pour quantifier l'importance de la relation.

Afin de comparer les capacités de nourrissages des jeunes en fonction des sites, la fréquence des apports sur la colonie (frq_{nourr}) et la moyenne horaire d'apports par poussin ($nourr_{po}$) ont été calculées. Les deux colonies, Moulins et l'Ecopôle du Val d'Allier ont été comparées uniquement sur les données de Sternes pierregarins, les Sternes naines n'étant pas présentes dans le Puy-de-Dôme. Des tests de Wilcoxon et des tests de Student sont réalisés en fonction de la normalité des données. Celles issues de la colonie de Moulins sont comparées entre espèces, à l'aide des mêmes tests de comparaisons de moyennes.

3.2 Feu d'artifice et impacts sur les sternes

Chaque année, la ville de Moulins tire son feu d'artifice du 14 juillet depuis le pont Régemortes, situé à une vingtaine de mètres en amont des îlots de la colonie de sternes. Cet évènement attire une forte population, qui profite du spectacle depuis les berges de l'Allier. L'affluence, associée aux dérangements sonores, ont des incidences non négligeables sur la colonie. Afin d'obtenir des informations sur l'impact de ces festivités en vue d'un déplacement du site de tir, une étude a été financée par la DDT en 2020. Suite à la crise sanitaire, l'évènement a été annulé et reconduit en 2021.



Figure 14 : Feu d'artifice du 14 juillet 2021 sur Moulins, tiré à proximité immédiate des îlots de reproduction des sternes. M.Maupomé

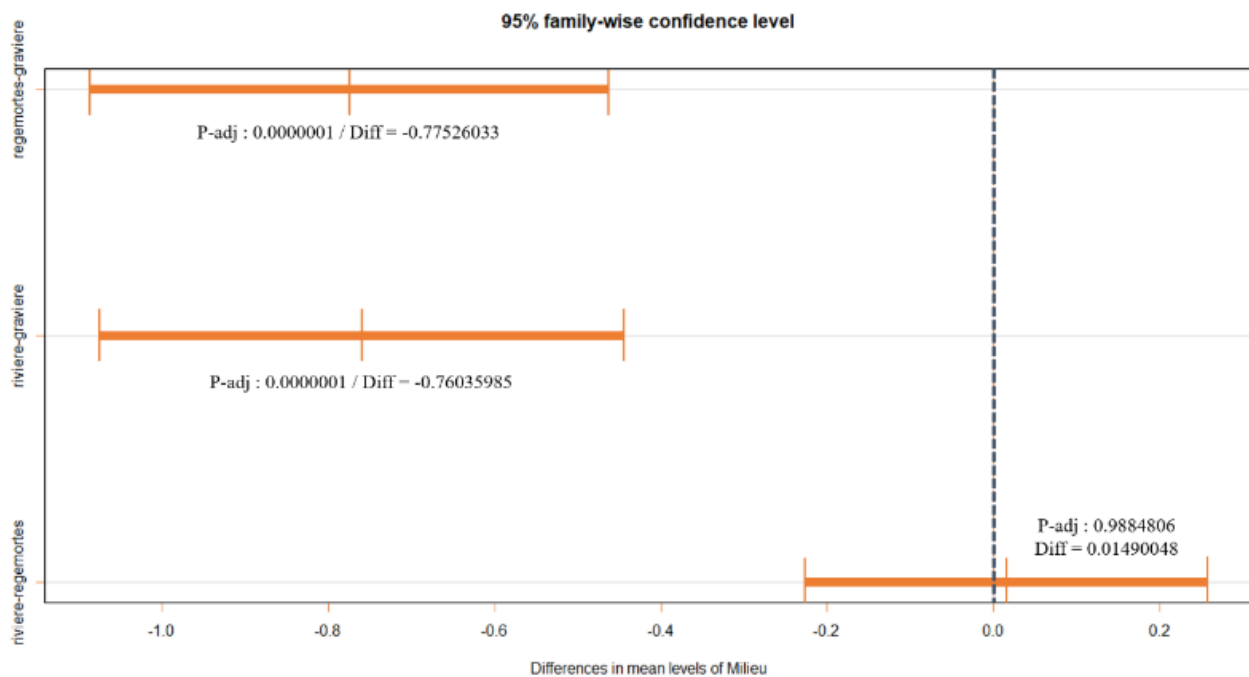


Figure 15 : Graphique de test de comparaison des moyennes des fréquences de pêches entre les milieux étudiés. Le trait bleu est la ligne de démarcation des différences entre les moyennes des deux sites. Si un des segments orange coupe cette ligne, alors la différence entre les deux sites n'est pas significative. Ainsi, les couples rivière – gravière et Régemortes – gravière sont significativement différentes du point de vue de la fréquence des succès.

3.2.1 Site d'étude : la colonie de Moulins

Cette étude cible principalement la colonie de Moulins mais aurait pu être mise en place sur d'autres sites, afin de connaître l'impact des feux d'artifices en fonction de la distance à la colonie (Fig.14). Ceci n'a toutefois pu être réalisé puisque Moulins est l'unique site de reproduction du Val d'Allier en 2021.

3.2.2 Un suivi du dérangement en soirée

La colonie a été suivie au cours du mois de juillet, avant, pendant et après le feu d'artifice, sur un total de 10 passages. Chaque session dure une heure et démarre 15 minutes avant le coucher du soleil. Ceci permet de connaître les habitudes de la colonie en soirée et début de nuit, ainsi que les potentiels dérangements. La diminution de la luminosité ne devient dérangeante que sur les dix dernières minutes. Les oiseaux étant blancs, il est tout de même possible de les repérer en vol grâce aux lampadaires des quais et du pont.

La colonie est comptabilisée, en séparant les adultes, les poussins non volants et les couveuses. La fréquentation des berges par la population est estimée et chaque dérangement entraînant une réaction de la part des sternes est identifié. La durée et le type de réaction sont notés, ainsi que le nombre d'oiseaux impactés. Ces variables ont été suivies 3 fois avant le feu d'artifice, une fois 2h avant et pendant le feu, le lendemain au lever et au coucher du soleil, puis lors de 3 autres passages espacés de 2 à 3 jours. Ceci permet de bien visualiser l'évolution de la colonie autour de ces festivités.

3.2.3 Analyse des données

Les données obtenues par ce protocole n'ont pas fait l'objet d'analyses statistiques poussées. Ce protocole est une année 0, dont les résultats pourront être utilisés comme comparaison s'il est reconduit. Les données obtenues ont été comparées avant et après le feu d'artifice, afin de définir les pertes engendrées par l'évènement sur la colonie de reproduction. Les évolutions du nombre d'individus, de couveuses et de poussins ont été ciblées.

RESULTATS OBTENUS

4 Influence potentielle de la capacité de pêche dans la sélection de l'habitat de reproduction

4.1 Une pêche liée aux secteurs de l'Allier

Les sites sont tout d'abord comparés sur la fréquence des plongeon réalisés par les sternes observées. D'une manière générale, les oiseaux réalisent 1.31 plongeon par minute. Les secteurs d'étude sont comparés entre eux à l'aide de tests de Kruskal-Wallis sous l'hypothèse H0 d'égalité des moyennes, puis testés deux à deux à l'aide d'un test post-hoc de Tukey. Les résultats montrent que la fréquence varie selon les milieux étudiés. On observe ainsi que les oiseaux présents sur l'Ecopôle du Val d'Allier effectuent plus de plongeon que ceux présents sur les autres milieux ($p\text{-value} = 1e-7 / \text{diff} = -0.7$) (Fig.15). **Les sites de la rivière et de Régemortes ont quant à eux des données similaires ($p\text{-value} = 0.998$).**

95% family-wise confidence level

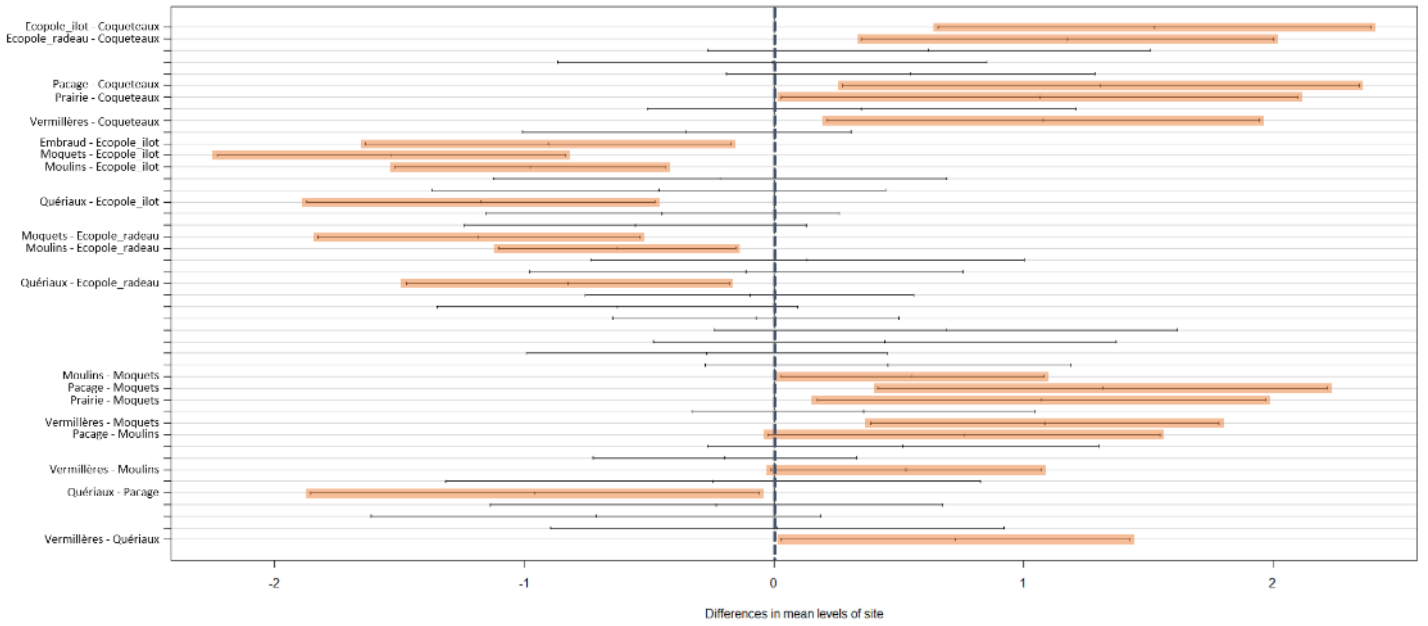


Figure 16 : Comparaisons des fréquences de plongeurs des sites deux à deux à l'aide du test de Tukey. Les lignes colorées présentent des différences de moyennes entre les sites comparés. Si elles se situent à gauche de la ligne bleue, la différence de fréquence de plongeurs est négative, tandis qu'elle est positive pour les lignes de droite.

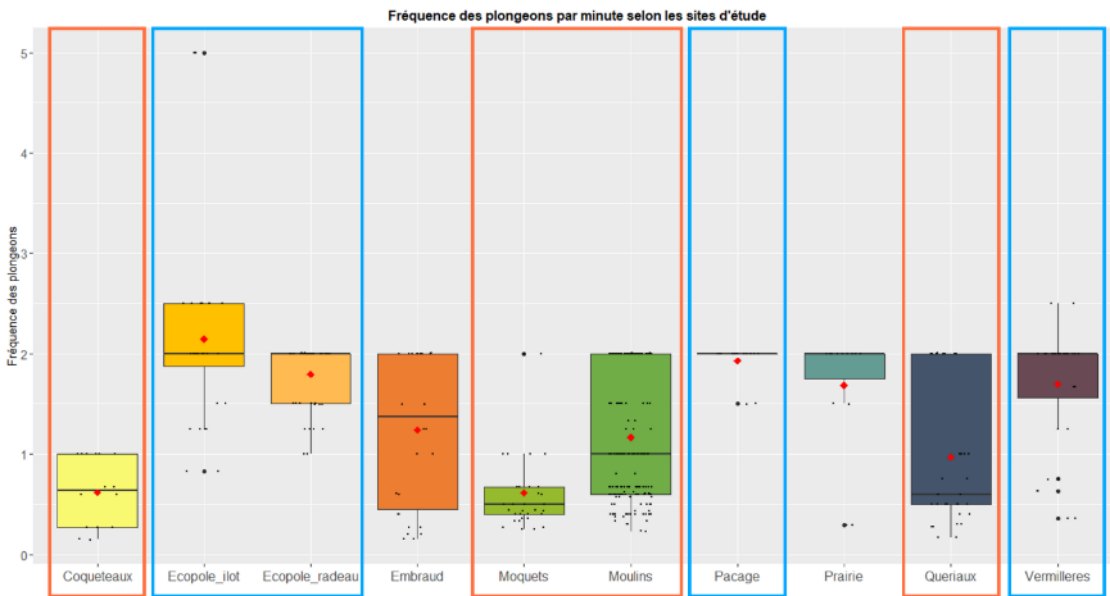
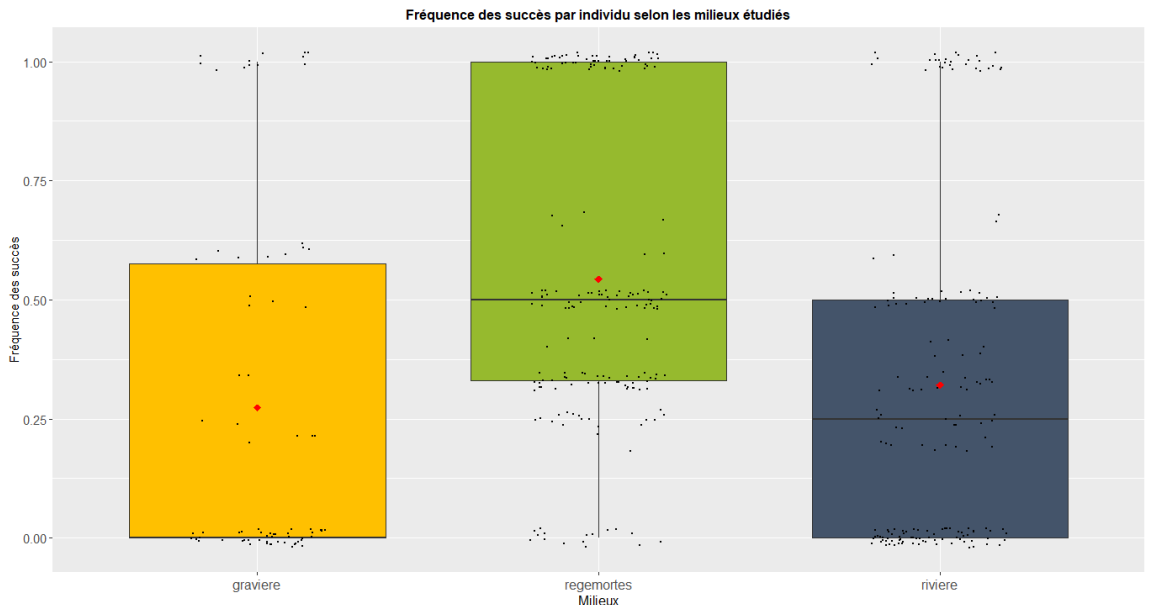


Figure 17 : Fréquences des plongeurs par minute selon les sites étudiés. Les points rouges correspondent aux moyennes des fréquences. Les sites encadrés en rouge possèdent les fréquences les plus faibles, tandis que les sites encadrés en bleu montrent des fréquences élevées.

Figure 18 : Comparaison des succès par minute entre les milieux de gravière, Régemortes et rivière. Les points rouges correspondent aux moyennes de chaque groupe. Les milieux « gravière » et « rivière » ont des données équivalentes, tandis que le milieu « Régemortes » possède une fréquence de succès plus élevée.



En comparant les sites de pêche deux à deux (Fig.16), puis à l'aide d'une représentation graphique des données brutes (Fig.17), il est possible de différencier deux groupes. Les sites de l'Ecopôle (ilot + radeau), de Pacage et de Vermillères présentent le plus de plongeurs, avec une moyenne de 1.89 par minute. A contrario, les sites des Coqueteaux, des Moquets, des Quériaux et de Moulins sont ceux où les sternes plongent le moins. La moyenne des plongeurs y est de 0.84, soit un plongeur en moins par minute que le groupe précédent.

L'ensemble des paramètres abiotiques ont été testés sur la variable de fréquence de pêche à l'aide de GLM simples et additifs (Ann.3). **Seul celui de la variable « sites » est explicatif, avec une AIC de 424.28** (contre 431.82 pour le suivant). La déviance est estimée à 0.32, soit 32% d'explication des fréquences de plongeurs.

4.2 Moulins, un site au meilleur succès de pêche

Les résultats des succès de pêche par individu sont également variables selon les milieux étudiés et les sites. Les comparaisons de moyennes montrent une différence significative entre Moulins et les milieux de type « gravière » ($p\text{-value} = 0.0002$) et « rivière » ($p\text{-value} = 0.00009$) (Fig.18). Les comparaisons deux à deux des sites d'étude via le test de Tukey confirment notamment cela entre les sites de Moulins et l'Ecopole_ilot ($p\text{-value} = 0.001 / \text{diff} = 0.40$) et entre Moulins et les Moquets ($p\text{-value} = 0.009 / \text{diff} = 0.34$).

La représentation des données brutes de succès (Fig.19) nous permet tout de même d'observer que le groupe de sites présentant les fréquences de plongeurs les plus élevées (Fig.17, encadrés bleus), ont un taux de succès similaire entre eux, variant autour de 0.32. Celui-ci est moins bon que celui du site de Moulins ($moy = 0.54$). Concernant le groupe où les plongeurs étaient plus faibles (Fig.17, encadrés rouges), les succès associés varient entre les sites. Les Coqueteaux et les Moquets présentent de faibles taux de réussite ($moyC = 0.18$; $moyM = 0.36$), tandis que Moulins et les Quériaux présentent des valeurs équivalentes ($moyR = 0.54$; $moyQ = 0.42$). Il est possible d'inclure ici le site d'Embraud, dont la moyenne des taux de succès est similaire à ces deux derniers sites ($moyE = 0.37$). Il s'agit ici de 3 secteurs habituellement choisis par les sternes pour se reproduire (Lovaty 2020). **Même si Moulins reste le site où le succès moyen est le plus élevé, la variable « faible fréquence de plongeurs » et « taux de succès élevé » semble influencer dans la sélection des sites de reproduction sur le Val d'Allier.**

Tout comme pour la fréquence de plongeurs, différents GLM simples et additifs ont été réalisés sur les paramètres abiotiques afin de montrer un lien possible avec le taux de succès (Ann.3). Grâce à la fonction *stepAIC* permettant de connaître le(s) modèle(s) avec l(es) AIC le(s) plus faible(s), plusieurs sont ressortis (Tab.2). En considérant uniquement l'AIC comme moyen de sélection des modèles associé à un ΔAIC inférieur à 2 pour des modèles équivalents, « M1 : débit + vent + milieux » ($AIC = 2162.02$) et « M2 : milieux » ($AIC = 2162.5$) sont définis comme les plus explicatifs. Leur déviance respective est toutefois estimée à 0.13 et 0.10. Elle est plus faible que celle des 3 modèles suivants :

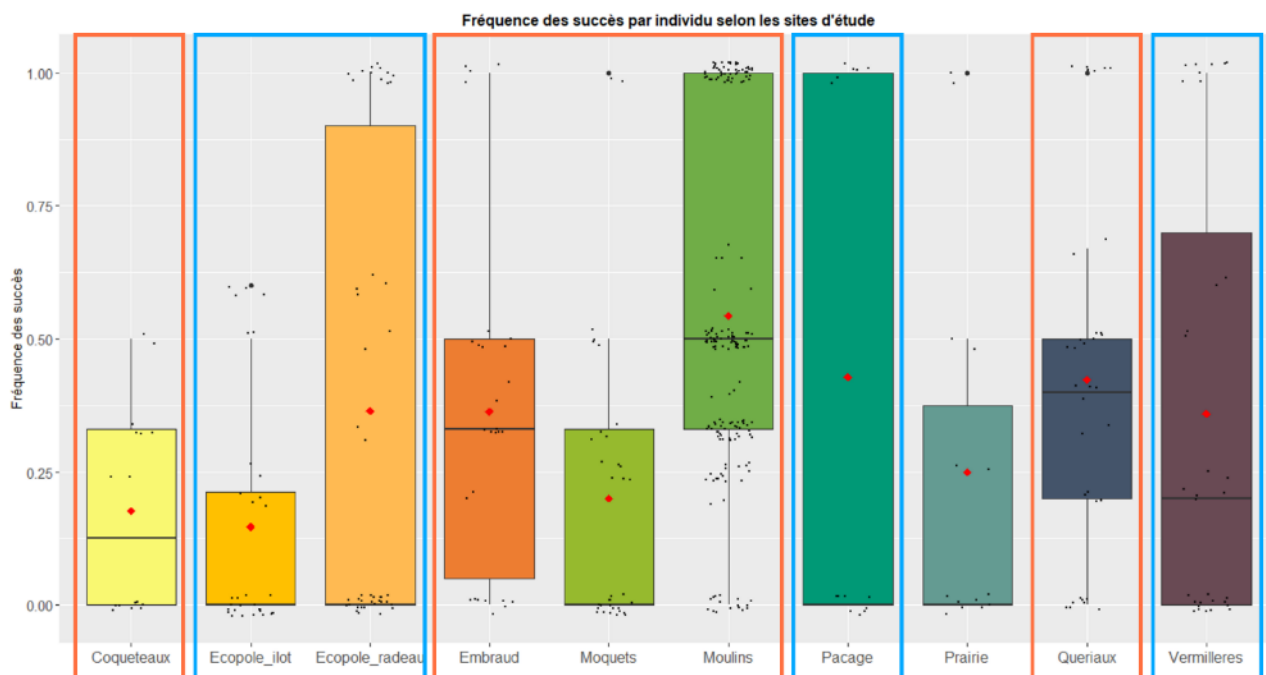


Figure 19 : Représentation des taux de succès des plongeurs par site d'étude. Les points rouges correspondent aux moyennes de chaque site. Les cadres bleu et rouge sont associés à la figure 16. Le premier correspond aux sites dont la fréquence de plongeurs est la plus élevée. Ils ont ici un taux de succès situé autour entre 0.25 et 0.40. Les cadres rouges présentaient les fréquences de plongeurs les plus faibles. Leur taux de succès est ici assez variable entre les sites. Les sites d'Embraud, Moulins et les Quériaux possèdent les fréquences les plus élevées.

Tableau 2 : Synthèse des modèles GLM explicatifs du succès de pêche. « d » correspond au débit et « v » au vent.

Modèle	AIC	Déviante	Modèle	AIC	Déviante
M1 : d + v + milieu	2162.02	0.13	M3 : d + sites	2166.1	0.15
M2 : milieu	2162.5	0.10	M4 : sites	2166.3	0.14
			M5 : d + v + sites	2167.2	0.16

Tableau 3 : Synthèse des résultats des test de comparaisons de moyennes des données issues du protocole nourrissage. L'ensemble des comparaisons n'est pas significatif, il n'existe donc pas de différences entre les Sternes pierregarins de l'Ecopôle et de Moulins, ni entre les espèces de sternes présentes sur la colonie de Moulins.

	Ecopôle VS Moulins (Sterne pierregarin)	Sterne naine VS Sterne pierregarin (Moulins)
Fréquence d'apports	Test de Wilcoxon : p-value = 0.1	Test de student : p-value = 0.98
Nourrissage par poussin	Test de Wilcoxon : p-value = 0.62	Test de student : p-value = 0.95
Taille des poissons	Test de student : p-value = 0.37	Test de student : p-value = 0.24

« M3 : débit + sites » ($AIC = 2166.1 - \text{dév} = 0.15$), « M4 : sites » ($AIC = 2166.3 - \text{dév} = 0.14$) et « M5 : débit + vent + sites » ($AIC = 2167.2 - \text{dév} = 0.16$).

La différence entre ces cinq modèles réside dans le choix de la variable « milieux » ou « site ». Il est à noter que les « milieux » sont construits à partir des « sites », chaque milieu incluant un ou plusieurs sites d'étude (cf. 3.1.2). La variable « site » apporte donc plus de précision sur les secteurs étudiés, et il s'agit également du paramètre explicatif des fréquences de plongeurs des oiseaux. De plus, les résultats de l'ensemble de ces modèles considèrent le secteur de Moulins comme la variable explicative du succès de pêche (Ann.3). La valeur des estimate varie fortement entre les cinq modèles pour cette variable (M1 : 19.8 ± 8.83 ; M2 : 27.02 ± 6.72 ; M3 : 33.6 ± 12.9 ; M4 : 36.72 ± 12.77 ; M5 : 29.81 ± 13.13). Les modèles incluant le paramètre des sites possèdent toutefois les plus élevées et une erreur standard similaire. **Il semble donc pertinent de retenir les modèles M3, M4 et M5 comme meilleurs modèles d'explication des succès de pêche observés.** Le débit et le vent ne sont que marginalement significatifs dans ces modèles (Ann.3). Le vent qualifié de « faible » a un effet négatif sur la fréquence de succès, diminuant celle-ci de $-9.05\% \pm 5.47$. Selon le modèle, le débit a un effet sur l'augmentation de la fréquence de succès de 0.06% à 0.08% , avec une erreur standard de 0.04 . Aucune corrélation significative n'a toutefois été relevée avec le test de Spearman ($r_d = 0.21$).

4.3 Des colonies similaires

Seules deux colonies ont pu être suivies pour le protocole nourrissage : celle de Moulins, ainsi que la gravière de l'Ecopôle du Val d'Allier. Le site d'Embraud, qui accueillait 5 couples de Sternes pierregarins en début de saison, a été dérangé pendant la couvaison et les individus ont abandonné le site. Sur ces deux colonies, les observations de terrain des nourrissages montrent que les adultes nourrissent les poussins un par un, en ramenant un poisson à la fois. Il n'est pas possible d'affirmer que chaque poussin d'une nichée est nourri au cours de l'heure d'observation à cause de leur ressemblance. Toutefois, cela semble être le cas, notamment sur les îlots ne comportant qu'une nichée. Les données ont été comparées entre elles sur la fréquence d'apports de nourriture en une heure, ainsi que le nourrissage moyen par poussin (Tab.3). Des tests de Wilcoxon et Student ont été réalisés selon la normalité des données étudiées, sous l'hypothèse nulle de moyennes égales. **Aucune différence significative n'a été relevée entre les poussins de Sternes pierregarins de la colonie de Moulins et celle de l'Ecopôle du Val d'Allier ($p\text{-value}_{\text{apports}} = 0.1$; $p\text{-value}_{\text{nourrissage}} = 0.62$).** **De même, la comparaison effectuée entre espèces sur le site de Moulins ne montre pas de résultats probants ($p\text{-value}_{\text{apports}} = 0.98$; $p\text{-value}_{\text{nourrissage}} = 0.95$).** Les sites de reproduction choisis par les adultes en début de saison offrent donc une ressource alimentaire disponible en quantités équivalentes, permettant de répondre aux besoins énergétiques des poussins. Ceux-ci semblent avoir des besoins similaires entre les Sternes pierregarins et les Sternes naines. La taille des poissons apportés aux poussins ne présente pas de différences significatives entre les espèces ($p\text{-value} = 0.24$), ni entre les colonies ($p\text{-value} = 0.37$) (Tab.3). Les résultats des comparaisons effectuées sur les proies pêchées par les adultes ne montrent pas non plus de différences entre les sites d'étude ($p\text{-value}_{sh} = 0.13$; $p\text{-value}_{sa} = 0.23$).

Tableau 4 : Informations relevées sur les dérangements de la colonie de Moulins, hors feu d'artifice

Type de dérangements	Nombre total	Durée moyenne du dérangement	Durée maximale du dérangement	Réactions
<i>Inconnu</i>	6	4.8s	7s	Envol + cris
<i>Naturel</i>	2	4.5s	5s	Envol + cris + pourchasse
<i>Musique (basses)</i>	2	16.5s	30s	Envol + cris
<i>Pétards</i>	1	10s	10s	Envol + cris

Tableau 5 : Synthèse des données chiffrées de l'étude du feu d'artifice sur la colonie de Moulins. Les tirs du feu d'artifice ont fait fuir 37% à 47% des individus de Sternes pierregarins et entraîné la perte d'un poussin ainsi que l'abandon de 92.85% des nichées. L'ensemble des Sternes naines sont revenues mais une ponte a été perdue.

	Sterne pierregarin			Sterne naine		
	Avant	Après	Perte	Avant	Après	Perte
Individus Min / Max	64 - 85	40 - 45	37% - 47%	20	20	-
Couveuses	14	1	92.85%	2	1	50%
Poussins	5	4	1 poussin	0	0	-

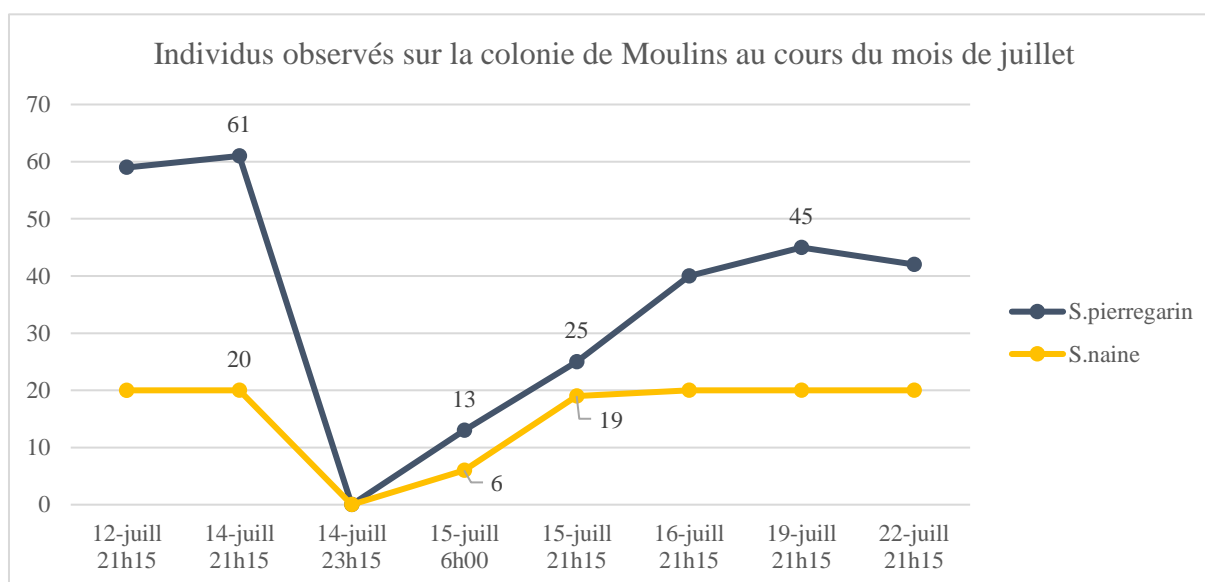


Figure 20 : Evolution des effectifs de Sternes pierregarins et naines sur le site de Moulins au cours du mois de juillet 2021. Les Sternes naines sont toutes revenues la journée suivant le feu d'artifice, tandis que le processus a été plus long pour les sternes pierregarins. Le nombre maximum comptabilisé est de 45 individus, à la place d'une soixantaine avant l'évènement.

5 Le feu d'artifice, un dérangement important

5.1 Une colonie de Moulins peu dérangée en soirée

Très peu de dérangements ont été observés au cours des différentes soirées d'observations avant et après le feu d'artifice (Tab.4). L'origine de la plupart des dérangements n'a pu être définie. Quelques dérangements naturels ont pu être observés, avec le survol des ilots par des hérons (*Ardea cinerea*) ou encore des aigrettes (*Egretta garzetta*). Les réactions étaient alors l'envol partiel de la moitié de la colonie, associé à la pourchasse de l'oiseau lorsque celui-ci passait trop près des ilots. La durée des dérangements observés n'a pas dépassé une dizaine de secondes. La faible fréquentation des berges en soirée n'a pas eu d'impact sur la colonie cette année, notamment grâce au niveau d'eau important pendant le mois de juillet empêchant l'accès aux îles.

Le soir du 14 juillet, plusieurs dérangements anthropiques ont pu être observés. Les essais de sons en prévision des festivités ont fait réagir les sternes lorsque les basses étaient fortes. Les oiseaux sont restés en vol le temps de la musique, et sont retournés sur les ilots au bout de 10 à 30 secondes, une fois celle-ci changée. Les premiers tirs de pétards par la population sur les berges ont également effrayé la colonie pendant une dizaine de secondes. **Le dérangement le plus impactant a été le tir du feu d'artifice.** La première fusée ayant le bruit d'une explosion a fait fuir l'ensemble de la colonie. Trois-quarts d'heures après la fin du feu, les oiseaux n'étaient pas encore retournés sur la colonie.

5.2 Des couvées mises à mal

La colonie de Moulins comptait entre 65 et 85 individus de sternes avant le feu d'artifice, 14 couvées de Sternes pierregarins correspondant aux pontes de remplacement dues à la crue du 28-29 juin, ainsi que 2 couvées de Sternes naines. Il n'est pas possible de préciser si ces nichées étaient des pontes de initiales ou de remplacement, certains individus n'étant pas encore installés lors de la crue. 5 poussins de Sterne pierregarin étaient également présents au sein de la colonie.

Le lendemain du feu d'artifice, une vingtaine d'oiseaux, soit $\frac{1}{4}$ de la colonie, étaient revenus au lever du soleil (Tab.5 & Fig.20). Les cinq poussins étaient toujours présents, mais l'un d'entre eux s'est retrouvé sur les berges. La peur des tirs l'a probablement poussé à fuir dans l'eau et le courant l'a déposé sur les rives. Il n'a finalement pas réussi à rejoindre les îles malgré l'aide des adultes et les nombreuses tentatives. Il n'a pas été revu les jours suivants. L'ensemble des Sternes naines a mis la journée à revenir. Les adultes sont retournés sur leur couvée dans la matinée. Un couple a fini par abandonner ses œufs au début du mois d'août. L'effectif des Sternes pierregarins n'est jamais retourné au stade d'avant le 14 juillet. Les oiseaux ont mis 3 jours à revenir sur le site et retrouver un comportement habituel, mais 37% à 47% des adultes ont disparu. Toutes les nichées ont été de nouveau couvées le lendemain en cours de journée. 10 nichées ont été abandonnées entre le 16 et le 17 juillet, puis 3 autres entre le 18 et le 19 juillet. Une seule a pu mener à bien sa nichée, donnant naissance à 3 poussins. **Ainsi la dispersion des adultes au cours de la nuit du 14 juillet a entraîné la perte de 92.85% des couveuses et 36 potentiels jeunes à l'envol.** Ces poussins auraient compensé environ 50% des pertes de la crue du mois de juin.



Figure 21 : Différence de turbidité de l'Allier en période d'étiage (haut) et en période de crue (bas).

6 Un protocole à compléter

Le protocole mis en place sur la ressource alimentaire demande à être complété. Dans un premier temps, les sites d'études devraient être décrits : largeur moyenne de la rivière, présence d'un ou plusieurs méandres, nombre et taille des ilots présents, pourcentage de végétation sur ces ilots. Ces différents paramètres permettraient de pouvoir visualiser les similitudes ou particularités des sites à l'aide d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). Ceci serait ensuite comparé aux fréquences de plongeurs et de succès, afin de déterminer si certains paramètres descriptifs des sites peuvent être explicatifs des données de pêche des sternes. L'une des variables qui semble ici influencer le succès de pêche est le débit, même si cela est de manière très faible. Il serait intéressant d'étudier également la turbidité de l'eau. En effet, lorsque l'Allier est en crue ou que son débit augmente, l'eau devient très turbide (Fig.21). Les sternes arrivant tout de même à pêcher (*comm. pers. Sylvie Lovaty*), il serait intéressant de savoir si cela influe ou non sur les succès de pêche. La méthode la plus courante pour cette mesure est l'utilisation du disque de Secchi (AQUAREF 2017). Toutefois, cela peut être complexe à mettre en place. Les mesures doivent être réalisées dans la partie la plus profonde du cours d'eau, ce qui implique d'avoir une embarcation, ou de faire les mesures à partir d'échantillons relevés à l'aide de cannes depuis les berges. Certains sites choisis pour l'étude de la ressource alimentaire se trouvent en haut de falaises plus ou moins hautes. L'accès à l'eau est donc compromis, d'autant plus que cette variable serait faite à chaque passage. Il serait également possible de mesurer la turbidité uniquement sur Moulins, comme cela est fait pour le débit, puisqu'il s'agit de la seule station hydrométrique à proximité des sites d'études. L'accès au milieu de la rivière reste toutefois problématique, et les degrés de turbidités peuvent varier entre les sites en amont et en aval de Moulins.

7 Une étude complémentaire à instaurer

La réalisation d'une étude complémentaire sur l'ichtyofaune pourrait également apporter d'autres informations intéressantes à la compréhension des sites utilisés par les sternes. Celle-ci pourrait être mise en place avec la Fédération de pêche de l'Allier ou un stagiaire spécialisé dans les milieux aquatiques. Des pêches électriques pourraient être réalisées sur chaque site d'étude ou sur des sites ciblés, faciles d'accès et correspondant à un groupe de sites particuliers (colonie, méandres, rivière droite, etc.). Cela permettrait de connaître les cortèges de poissons des différents sites, la richesse spécifique ainsi que la diversité associée. Des différences entre les sites de reproduction et de pêche pourraient ainsi potentiellement être évaluées. La mise en place de caméras sous l'eau peut également être envisagée. Elles devront toutefois être installées sous des embarcations, le risque de crue soudaine et de disparition du matériel étant trop important sur l'Allier. Cette proposition n'a pu être mise en place cette année faute de financements pour le matériel.

8 Des résultats à nuancer

Les données obtenues dans le cadre des protocoles de ressource alimentaire peuvent être analysés de plusieurs façons. Il est tout d'abord important de prendre en compte que les résultats présentés ne sont pas individualisés. Les oiseaux n'étant pas identifiables, il est impossible de savoir si un individu a été observé sur un ou plusieurs sites, s'il possède un meilleur taux de pêche que ses congénères, ou autre. Cette variable pourrait expliquer une forte proportion des succès de pêche et fréquences de plongeurs. Un biais non mesurable est donc possible dans certains résultats.

Une seule colonie s'est reproduite sur les îlots de Moulins. Les comparaisons entre sites réalisées cette année ne montrent donc pas les différences potentielles entre colonies, lorsque celles-ci sont réellement utilisées tout au long de la période de nidification. L'utilisation de ces sites jusqu'à la fin du mois de juillet aurait permis d'obtenir plus d'échantillons et probablement des résultats plus robustes. Il semblerait tout de même que Moulins, les Quériaux et Embraud possèdent des similitudes, avec un taux de succès de pêche élevé pour une fréquence de plongeurs faible. Il serait intéressant de confirmer ou infirmer cela en réitérant l'étude une année où plusieurs colonies sont installées sur des îlots naturels, ou sur plusieurs années afin de maximiser les données. La comparaison des données de Moulins avec d'autres sites de reproductions similaires (îlots situés en aval immédiat d'un pont avec radier), tels que Nevers ou Tours, permettrait d'apporter d'autres connaissances à l'étude. Les résultats pourront également être complétés avec les différences physiologiques des sites, si ce point est rajouté à l'étude.

9 Moulins, un site pas comme les autres ?

Le site du Pont de Régemortes paraît se différencier des autres sur l'accès à la ressource alimentaire. Les sternes, naines ou pierregarins, y ont plus de facilité à pêcher des poissons. Cette différence est à la fois visible dans les comparaisons entre sites, mais également entre milieux, qui proposent un plus fort échantillonnage de comparaison. L'une des hypothèses de réponse concerne la disposition du site. Les îlots se trouvent à une vingtaine de mètres du radier du pont qui semble être un site refuge et/ou nurserie pour les poissons (Fig.10). La ressource alimentaire serait donc à proximité immédiate et ne se disperserait pas le long de la rivière comme cela doit être le cas sur les autres sites. S'il avait été possible de suivre les adultes de manière sûre lors des nourrissages, une estimation du temps entre chaque apport aux poussins aurait pu être évaluée. Une durée faible incluant à la fois la distance au lieu de pêche ainsi que le temps mis par l'adulte pour obtenir un plongeur fructueux, aurait pu confirmer cette hypothèse. La mise en place de l'étude complémentaire sur l'ichtyofaune permettrait également d'apporter des précisions sur ce point.

Il est important de prendre en compte que les îlots de Moulins ne sont pas totalement naturels. La création de passes à poissons de chaque côté du pont en 1998 a permis le développement d'îlots bordés de lignes d'eau à fort courant au milieu de la rivière. Malgré des modulations dues aux crues, les îlots sont protégés par le radier du pont et restent donc en place depuis plus de 20 ans. Les sternes ont commencé à s'y installer en 1999, sans discontinuer jusqu'à aujourd'hui. S'agissant d'oiseaux philo-



Distance d'impact du feu d'artifice sur la colonie de sternes de Moulins

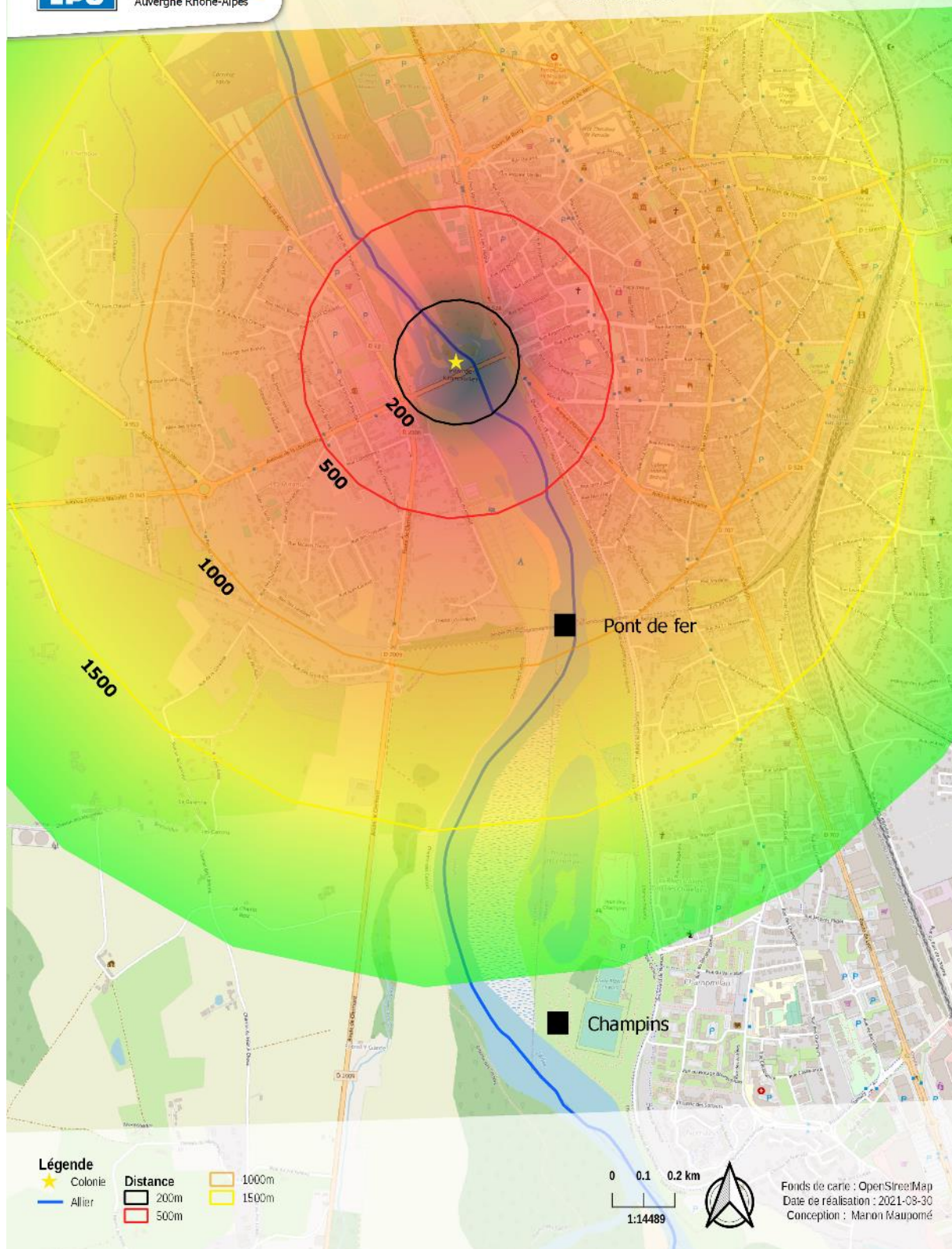


Figure 22 : Modélisation de l'impact du feu d'artifice sur la colonie de sterne de Moulins en fonction de la distance. Informations issues de Stickroth 2015.

-patriques, les poussins nés sur les îlots de Moulins retrouveront facilement leur site de naissance 2 à 3 ans après avoir pris leur envol. Cela pourrait être plus complexe pour les individus des colonies installées sur des îlots naturels, ceux-ci étant soumis aux modifications engendrées par les crues annuelles plus ou moins puissantes. De plus, des mesures de dévégétalisation sont mises en place sur le site de Moulins pour prévenir les inondations de parties sensibles de la ville. Ces actions permettent de maintenir un stade non arboré et majoritairement sableux, qui semblerait favorables aux sternes. Les oiseaux retrouvent donc chaque année un site similaire.

10 Un feu d'artifice à décaler

La colonie de Moulins fait face chaque année à de nombreux dérangements anthropiques, dont notamment le tir du feu d'artifice depuis le pont de Régemortes. L'impact observé par les bénévoles sur la colonie est important. En 2021, le site de tirs des fusées a été décalé d'une centaine de mètres et l'étude d'impact réalisée. La météo ayant été peu clémente et estivale, les biais de dérangements par la présence humaine sur les îlots ont été peu marqués en comparaison des années précédentes. Les résultats présentés résultent donc uniquement du feu d'artifice et montrent un réel impact de cet évènement sur la colonie.

Les préparatifs associés aux essais musicaux perturbent d'abord les oiseaux pendant une durée plus longue que les autres dérangements observés en soirée. Puis les bruits d'explosions des tirs de fusées font fuir l'ensemble de la colonie. Les fusées sont tirées au bord et sur l'eau, ce qui porte le bruit plus vite et plus loin. La proximité du pont provoque également une résonance des sons, les rendant encore plus forts. Les effets sont ainsi multipliés par l'environnement local du site. Les pertes notées sur la colonie sont du même ordre que les années passées : 100% de pertes de couveuses et poussins en 2019 (Lovaty 2019), respectivement 88% et 20% en 2021. Le fait d'avoir déplacé le site de tir de 100m n'a donc pas d'effet notable. Les études menées sur cette même thématique préconisent une distance de 1km à 1.5km minimum entre une colonie de reproduction et un feu d'artifice (Stickroth 2015). Dans ce cas, le stand de tir devrait être reculé à minima au Pont de Fer, au mieux au niveau des Champins (Fig.22). Si cela était mis en place, la présente étude pourrait être reconduite et comparée aux résultats de 2021. Il serait alors possible de vérifier si la distance choisie réduit bien le taux d'impact du feu d'artifice.

Il faut tout de même ajouter que les données du mois de juillet sont à reconsidérer en fonction des évènements du début de reproduction. En 2021, la colonie a été en partie détruite par la crue des 28-29 juin. L'ensemble des pontes ont été emportées et seuls 5 poussins ont survécu. Lors du feu d'artifice, les couvées étaient ainsi des pontes de remplacement. Or les adultes sont plus sensibles aux dérangements lors d'une seconde ponte (LPO Auvergne 2010). Sans crue ni dérangement humain important, les sternes élèvent de grands poussins à la date du 14 juillet. Ils sont presque volants et peuvent ainsi fuir lors de tirs comme le reste de la colonie. La météo de ce mois de juillet a également évité que des personnes aillent sur les îlots de reproduction après le feu d'artifice, empêchant ainsi la destruction des œufs. Cela ne sera peut-être pas le cas lors des prochaines années.

CONCLUSION

Toutes les études de la LPO financées par la DDT ont pu être mises en place. Si elles ne répondent pas totalement aux hypothèses attendues du fait de nombreux facteurs limitants comme la météo, l'abandon de certains sites suite à des dérangements, ou encore les crues, elles apportent tout de même des résultats qui demandent à être complétés. Les comparaisons de sites et de milieux font ressortir Moulins comme un site à part entière des autres secteurs de l'Allier. La pêche y est plus facile et plus réussie. Cela conforte nos impressions de terrain mais reste toutefois à confirmer avec une comparaison à d'autres colonies naturelles installées le long de l'Allier et de la Loire. Une étude plus précise sur les communautés de poissons de la rivière apporterait également des précisions non négligeables.

Il n'est pas possible à l'heure actuelle d'affirmer que la ressource alimentaire soit le premier facteur de sélection d'habitat de reproduction des sternes pour la colonie du pont de Régemortes, mais elle peut en expliquer une partie. Des mesures de gestion y sont réalisées et permettent aux ilots de rester favorables aux Sternes naines et pierregarins. Cette colonie est d'ailleurs la plus importante du département depuis presque vingt ans. Il s'agit également de l'unique site de reproduction de l'année 2021. Dans ces conditions, il est important de pouvoir préserver au maximum cette colonie, notamment en limitant l'impact du feu d'artifice du 14 juillet. Celui-ci doit être déplacé en amont de la colonie, si la pérennité de la colonie et la population de l'Allier veulent être conservées.

Les mesures de concertation avec les acteurs locaux devront être poursuivies et complétées, afin de pouvoir réaliser l'étude complémentaire piscicole et trouver un compromis dans l'emplacement du feu d'artifice pour les années à venir. Un lien étroit pourrait également être créé avec les structures environnementales s'occupant de colonies de sternes sur la Loire, notamment la LPO Centre-Val de Loire, la LPO Anjou ou la LPO Nièvre, qui suivent les plus grosses populations de l'axe Loire-Allier. L'étude de l'utilisation de la ressource alimentaire réalisée cette année serait intéressante à être mise en place hors de l'Allier, afin de pouvoir tirer des conclusions plus générales sur les populations continentales de sternes. Celles-ci sont encore peu étudiées scientifiquement, et beaucoup de choses sont à apprendre. Une étude globale sur l'impact des feux d'artifice sur les colonies de sternes et d'oiseaux coloniaux, mise en place sur l'ensemble du bassin Ligérien, permettrait également d'avoir un point d'appui commun sur lequel discuter avec les collectivités et mairies concernées. Les conclusions pourraient également être reprises par d'autres structures concernées par les mêmes problématiques sur le reste du territoire français.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Ilot de sable et graviers au milieu de l'Allier.....	12
Figure 2 : Freshwater Living Planex Index de 1970 à 2016 : Abondance moyenne des populations d'espèces inféodées aux milieux aquatiques	1
Figure 3 : Carte des entités paysagères de l'Allier aval	3
Figure 4 : Carte des climats de France.	5
Figure 5 : Dynamique de la rivière Allier entre Vichy et Moulins, au sein du Val d'Allier entre 1946 et 2013.....	5
Figure 6 : Carte de répartition des couples nicheurs certains (rouge), probables (orange) et possibles (jaune) de Sternes pierregarins en France	7
Figure 7 : Carte de répartition des couples nicheurs certains (rouge), probables (orange) et possibles (jaune) de Sternes naines en France	7
Figure 8 : Graphique de l'évolution du nombre de couples de Sternes pierregarins et naines entre 1973 et 2020 sur le Val d'Allier.....	9
Figure 9 : Débits maximaux mensuel entre 2000 et 2021 pour les mois de mars à juin – données issues de Hydrofrance, station de Moulins (K3450810).....	9
Figure 10 : Ilots du Pont Régemortes à Moulins.....	11
Figure 11 : Sterne pierregarin en vol et posée.....	11
Figure 12 : Sterne naine en vol et posée au sol	11
Figure 13 : Localisation des sites d'études choisis et conservés pour les protocoles ciblant la ressource alimentaire.....	13
Figure 14 : Feu d'artifice du 14 juillet 2021 sur Moulins, tiré à proximité immédiate des ilots de reproduction des sternes	19
Figure 15 : Graphique de test de comparaison des moyennes des fréquences de pêches entre les milieux étudiés.	19
Figure 16 : Comparaisons des fréquences de plongeurs des sites deux à deux à l'aide du test de Tukey.	21
Figure 17 : Fréquences des plongeurs par minute selon les sites étudiés	21
Figure 18 : Comparaison des succès par minute entre les milieux de gravière, régemortes et rivière..	21
Figure 19 : Représentation des taux de succès des plongeurs par site d'étude.....	23
Figure 20 : Evolution des effectifs de Sternes pierregarins et naines sur le site de Moulins au cours du mois de juillet 2021	25
Figure 21 : Différence de turbidité de l'Allier en période d'étiage (haut) et en période de crue (bas). 27	
Figure 22 : Modélisation de l'impact du feu d'artifice sur la colonie de sterne de Moulins en fonction de la distance.....	31

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des données choisies pour les protocoles de l'étude de la ressource alimentaire	15
Tableau 2 : Synthèse des modèles GLM explicatifs du succès de pêche.	23
Tableau 3 : Synthèse des résultats des test de comparaisons de moyennes des données issues du protocole nourrissage.	23
Tableau 4 : Informations relevées sur les dérangements de la colonie de Moulins, hors feu d'artifice	25
Tableau 5 : Synthèse des données chiffrées de l'étude du feu d'artifice sur la colonie de Moulins	25

TABLE DES EQUATIONS

Équation 1 : Formule du calcul de la déviance d'un modèle explicatif	17
--	----

BIBLIOGRAPHIE

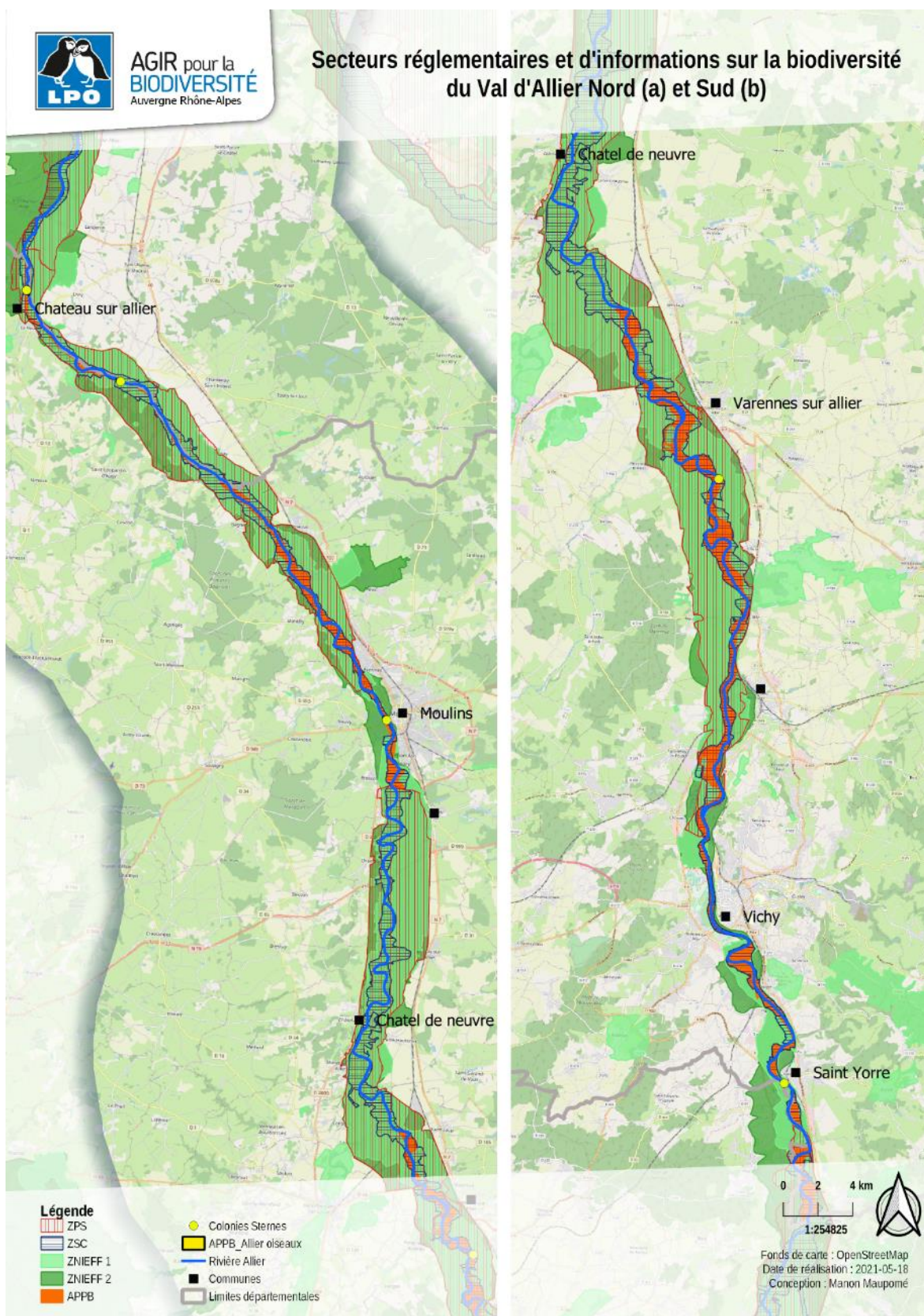
- Almond, R. E. A., M. Grooten, et T Peterson. 2020. *Living Planet Report 2020 : Bending the Curve of Biodiversity Loss*. 83p. Gland, Switzerland: WWF. <http://www.deslibris.ca/ID/10104983>.
- AQUAREF. 2017. « Opérations d'échantillonnage d'eau en cours d'eau dans le cadre des programmes de surveillance DCE ». 29p
- « Arrêté portant sur la protection du biotope des oiseaux nichant au sol sur la Rivière Allier n°1744/11 ». 2011.
- Becker, Peter H., et Jan-Dieter Ludwigs. 2004. « *Sterna hirundo* Common tern ». In *Birds of the Western Palearctic*, D. Parkin, p91-137. Oxford, UK: Oxford University Press.
- Blöschl, Günter, Julia Hall, Alberto Viglione, Rui A. P. Perdigão, Juraj Parajka, Bruno Merz, David Lun, et al. 2019. « Changing Climate Both Increases and Decreases European River Floods ». *Nature* 573 (7772): p108-11. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>.
- Bogliani, Giuseppe, Mauro Fasola, Luca Canova, et Nicola Saino. 1994. « Prey Selection by Parents and Chicks of the Little Tern *Sterna Albifrons*. » *Avocetta* 18: p8-11.
- Charrais, Julien, Patricia Detry, Pascal Da Costa, Jean René Malavoi, et Heri Andriamahefa. 2014. « Le label «Rivières Sauvages» Un nouvel outil de conservation des cours d'eau d'exception ». *Naturalité des Eaux et des Forêts*, Lavoisier eds.
- Cournez, Estelle. 2016. « Sur les traces de l'Allier, histoire d'une rivière sauvage ». Forum présenté à 21ème édition du Forum des Gestionnaires, Paris. http://forumdesgestionnaires.espaces-naturels.fr/sites/default/files/2016/presentation/10_e_cournez_cen_allier.pdf.
- Cuttriss, Anna, Grainne S. Maguire, Glenn Ehmke, et Michael A. Weston. 2015. « Breeding Habitat Selection in an Obligate Beach Bird: A Test of the Food Resource Hypothesis ». *Marine and Freshwater Research* 66 (9): p841-46. <https://doi.org/10.1071/MF14213>.
- Dänhardt, Andreas, Tido Freseman, et Peter H. Becker. 2011. « To Eat or to Feed? Prey Utilization of Common Terns *Sterna Hirundo* in the Wadden Sea ». *Journal of Ornithology* 152 (2): p347-57. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0590-0>.
- Dejaifve, P A. 2008. « Incidences de la pratique du canoë sur les colonies de sternes de l'Allier ». Rapport scientifique. Réserve Naturelle du Val d'Allier. 20p
- EPTB Loire. 2014. « Schéma d'aménagement et de gestion des eaux du bassin Allier aval - rapport environnemental ». Rapport scientifique 4. Etablissement Public Territorial Loire, Cesame. 142p
- Fasola, Mauro, et Giuseppe Bogliani. 1984. « Habitat Selection and Distribution of Nesting Common and Little Terns on the Po River (Italy) ». *Colonial Waterbirds* 7: p127-33. <https://doi.org/10.2307/1521091>.
- Geist, Juergen. 2011. « Integrative Freshwater Ecology and Biodiversity Conservation ». *Ecological Indicators* 11 (6): p1507-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.002>.
- GIEC. 2021. « Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2021: Les éléments scientifiques. » Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe

- d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique : Organisation météorologique mondiale. 34p
- HydroFrance. 2015. « HydroFrance ». Bande Hydro. 2015. <http://hydro.eaufrance.fr/>.
- « INPN ». 2021. 2021. <https://inpn.mnhn.fr/accueil/index>.
- James, Jean-Baptiste. 2001. « La reproduction des oiseaux marins de la Hague et du Nez-de-Jobourg : Recherche des causes du déclin ». GONm & DIRE. 32p
- Jeong, Kwang-Seuk, Ji-Deok Jang, Dong-Kyun Kim, et Gea-Jae Joo. 2011. « Waterfowls Habitat Modeling : Simulation of Nest Site Selection for the Migratory Little Tern (*Sterna Albifrons*) in the Nakdong Estuary ». *Ecological Modelling* 222 (17): p3149-56. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.05.032>.
- Karolewski, Krzysztof, Marcin Bocheński, Olaf Ciebiera, Damian Markulak, et Leszek Jerzak. 2014. « New Year's Eve Fireworks Impact On The Number Of Magpies On The Roosting Place ». *International Studies on Sparrows* 38 (1): p27-29. <https://doi.org/10.1515/isspar-2015-0029>.
- Langham, N. P. E. 1972. « Chick Survival in Terns (*Sterna Spp.*) with Particular Reference to the Common Tern ». *The Journal of Animal Ecology* 41 (2): p385. <https://doi.org/10.2307/3475>.
- Laucoin, Violaine, et Magalie Rambourdin. 2017. « Document d'objectifs des sites Natura 2000 du Val d'Allier 03 : Vallée de l'Allier Sud «FR8301016», Vallée de l'Allier Nord «FR8301015», Val Allier Bourbonnais «FR8310079» ». Rapport scientifique. Conservatoire d'Espaces Naturels de l'Allier. 162p
- Lovaty, Sylvie. 2019. « Bilan Sternes en Val d'Allier 2019 ». Rapport scientifique. LPO Auvergne. 12p
- . 2020. « Bilan Sternes en Val d'Allier 2020 ». Rapport scientifique. LPO Auvergne. 17p
- LPO Auvergne. 2010. *Atlas des oiseaux nicheurs d'Auvergne*. LPO Auvergne. Paris: Delachaux & Niestlé. 575p
- LPO Auvergne, et ONF. 2018. « Troisième plan de Gestion de la Réserve Naturelle du Val d'Allier – 2018-2022 ». Rapport scientifique. LPO Auvergne et ONF. 556p
- Martinović, Miloš, Ana Galov, Ida Svetličić, Davorin Tome, Luka Jurinović, Biljana Ječmenica, Tilen Basle, Luka Božič, et Jelena Kralj. 2019. « Prospecting of Breeding Adult Common Terns in an Unstable Environment ». *Ethology Ecology & Evolution* 31 (5): p457-68. <https://doi.org/10.1080/03949370.2019.1625952>.
- Michelet, Paul. 2017. « La biodiversité des milieux aquatiques continentaux en France métropolitaine : état des lieux et menaces ». *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 86: p36-39. <https://doi.org/10.3917/re1.086.0036>.
- MNHN. 2012a. « Fiche projet Sterne naine ». *Cahiers d'Habitat « Oiseaux »*, 4p
- . 2012b. « Fiche projet Sterne pierregarin ». *Cahiers d'Habitat « Oiseaux »*, 5p
- Monticelli, David, Jaime A Ramos, et José Pereira. 2006. « Habitat Use and Foraging Success of Roseate and Common Terns Feeding in Flocks in the Azores ». *Ardeola* 52 (2): p293-306.

- Nisbet, Ian C T. 2019. « Consequences of Renesting in Common Terns (*Sterna Hirundo*) : Changes in Clutch Size, Egg Mass, and Productivity ». *Waterbirds* 42 (4): p393-99. <https://doi.org/10.1675/063.042.0404>.
- « Oiseaux de France ». 2021. <https://oiseauxdefrance.org/>.
- Paiva, Vítor H., Jaime A. Ramos, Teresa Catry, Patrícia Pedro, Renata Medeiros, et Jorge Palma. 2006. « Influence of Environmental Factors and Energetic Value of Food on Little Tern (*Sterna Albifrons*) Chick Growth and Food Delivery ». *Bird Study* 53 (1): p1-11. <https://doi.org/10.1080/00063650609461410>.
- Paiva, Vitor H., Jaime A. Ramos, Jorge Martins, Ana Almeida, et Ana Carvalho. 2008. « Foraging Habitat Selection by Little Terns *Sternula Albifrons* in an Estuarine Lagoon System of Southern Portugal : Foraging Habitat Selection by Little Terns ». *Ibis* 150 (1): p18-31. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2007.00722.x>.
- Pedrerros, Eduardo, Maritza Sepúlveda, Jaime Gutierrez, Pablo Carrasco, et Renato A. Quiñones. 2016a. « Observations of the Effect of a New Year's Fireworks Display on the Behavior of the South American Sea Lion (*Otaria Flavescens*) in a Colony of Central-South Chile ». *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology* 49 (2): p127-31. <https://doi.org/10.1080/10236244.2015.1125099>.
- Petit, Stéphane. 2013. « Dynamique fluviale de la rivière Allier : principes et enjeux ». Présentation.
- Pineau et al. 2018. « Programme « SEA » Sternes En Alimentation : Rapport final ». Rapport Final. Guyane: Réserve Naturelle de l'Ile du Grand-Connetable. 31p
- Renken, Rochelle B., et John W. Smith. 1995. « Interior Least Tern Site Fidelity and Dispersal ». *Colonial Waterbirds* 18 (2): p193-98. <https://doi.org/10.2307/1521480>.
- Sadoul, Nicolas, Christophe Pin, et Olivier Scher. 2016. « Reconnaissance des poussins par classe d'âge chez les laro-limicoles coloniaux ». Journée technique, Domaine de Tartuguières.
- Shamoun-Baranes, J., A. M. Dokter, H. van Gasteren, E. E. van Loon, H. Leijnse, et W. Bouten. 2011. « Birds Flee En Mass from New Year's Eve Fireworks ». *Behavioral Ecology* 22 (6): p1173-77. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr102>.
- Shealer, David A., et Joanna Burger. 1995. « Comparative Foraging Success between Adult and One-Year-Old Roseate and Sandwich Terns ». *Colonial Waterbirds* 18 (1): p93-99. <https://doi.org/10.2307/1521403>.
- Smith, Tasha E, Marty L Leonard, et Barry D Smith. 2005. « Provisioning Rules and Chick Competition in Asynchronously Hatching Common Terns (*Sterna Hirundo*) ». *Behavioral Ecology Sociobiology* 58: p456-65.
- Stickroth, Hermann. 2015. « Auswirkungen von Feuerwerken auf Vögel – ein Überblick ». *Berichte zum Vogelschutz* 52: p115-49.

- Tickner, David, Jeffrey J Opperman, Robin Abell, Mike Acreman, Angela H Arthington, Stuart E Bunn, Steven J Cooke, et al. 2020. « Bending the Curve of Global Freshwater Biodiversity Loss: An Emergency Recovery Plan ». *BioScience* 70 (4): p330-42. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>.
- Valle, Roberto, et Francesco Scarton. 1999. « Habitat Selection and Nesting Association in Four Species of Charadriiformes in the Po Delta (Italy) ». *Ardeola* 46 (1): p1-12.
- Wengert, Greta, et Mourad Gabriel. 2003. « Waterbird Chick Mortality Associated With Pyrotechnics on Indian Island, Humboldt Bay, California ». Poster.
- WWF. 2020. « Living Planet Report - 2020: Bending the curve of biodiversity loss ». <https://f.hubspotusercontent20.net/hubfs/4783129/LPR/PDFs/FRENCH%20-%20SUMMARY.pdf>.
- Yeatman-Berthelot, Dosithée. 1994. *Nouvel atlas des oiseaux nicheurs de France (1985-1989)*. Société Ornithologique de France. 775p

Annexe n°1 : Cartographie des secteurs réglementaires présents sur le Val d'Allier



Annexe n°2 : Localisation des sites en APPB « oiseaux nicheurs »



Périmètre d'application de l'APPB des oiseaux nicheurs au sol sur le lit mineur de la rivière Allier Département de l'Allier

Annexe à l'Arrêté Préfectoral de Protection de Biotope
Oiseaux nicheurs au sol
sur le lit mineur de l'Allier



Légende

- Périmètre d'application de l'APPB
- Rivière Allier
- ▭ Limites du territoire communal
- ▭ Limites départementales

Source : DDT03
Service Environnement
Données : 2016
Edition : janvier 2017
Fond cartographique : Bdcarto IGN ©

Annexe 3 : Modèles GLM réalisés

Variables : « d » : débit, « s » : soleil, « v » : vent (v1 : faible, v2 : moyen)

10.1 Fréquence de plongeurs

Modèles	Nombre de facteurs	AIC	Δ AIC	Déviante
M1 : sites	9	424.28	0	0.32
M2 : tous	17	431.82	7.54	0.32
M3 : milieu	3	457.89	33.61	0.15
M4 : d	1	482.52	58.24	0.04
M5 : s	2	483.62	59.34	0.04
M6 : v	2	489.74	65.46	0.02
M7 : null	0	490.39	66.11	0

- **Résultats du modèle le plus explicatif « M1 : sites » :**

	Estimate	Std. Error	T value	Pr (> t)
(Intercept)	0.620000	0.221319	2.801	0.00557 **
Ecopole_ilot	1.525625	0.271059	5.628	5.87e-08 ***
Ecopole_radeau	1.175455	0.258445	4.548	9.21e-06 ***
Embraud	0.620714	0.277438	2.237	0.02633 *
Moquets	-0.007059	0.268389	-0.026	0.97904
Moulins	0.547634	0.230642	2.374	0.01849 *
Pacage	1.308571	0.323978	4.039	7.56e-05 ***
Prairie	1.064286	0.323978	3.285	0.00120 **
Queriaux	0.350471	0.268389	1.306	0.19306
Vermilleres	1.077500	0.271059	3.975	9.72e-05 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null deviance : 119.514 on 216 degrees of freedom / Residual deviance : 81.114 on 217 degrees of freedom

AIC : 424.28

10.2 Succès de pêche

Modèles Succès	Nombre de facteurs	AIC	Δ AIC	Déviante
M1 : d + v + Milieu		2162.02	0	0.13
M2 : milieux	3	2162.5	0.48	0.10
M3 : d+ site	10	2166.1	4.08	0.15
M4 : sites	9	2166.3	4.28	0.14
M5 : d + v + site	12	2167.2	5.18	0.16
M6 : tous	17	2171.2	9.18	0.16
M7 : d	1	2171.7	9.68	0.05
M8 : s	2	2176.8	14.78	0.04
M9 : null	0	2182.5	20.48	0
M10 : v	2	2185.6	23.58	0.004

- Résultats du modèle « M1 : d + v + milieux » :

	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T value</i>	<i>Pr (> t)</i>
(Intercept)	30.24612	5.80247	5.213	4.43e-07 ***
D	0.08252	0.04558	1.811	0.0716 .
Vq1	-10.07934	5.23539	-1.925	0.0555 .
Vq2	-10.559	9.80898	-1.076	0.2829
Régemortes	19.83469	8.82848	2.247	0.0257 *
Rivière	0.0903	7.9531	0.011	0.991

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null deviance : 291045 on 216 degrees of freedom / Residual deviance : 252893 on 211 degrees of freedom

AIC : 2162

- Résultats du modèle « M2 : milieux » :

	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T value</i>	<i>Pr (> t)</i>
(Intercept)	27.316	5.661	4.826	2.65e-06 ***
Régemortes	27.028	6.718	4.023	7.97e-05 ***
Rivière	4.789	6.797	0.705	0.482

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null deviance : 291045 on 216 degrees of freedom / Residual deviance : 260573 on 214 degrees of freedom

AIC : 2162.5

- Résultats du modèle « M3 : d + sites » :

	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T value</i>	<i>Pr (> t)</i>
(Intercept)	12.72988	12.68542	1.004	0.31679
<i>d</i>	0.06171	0.0429	1.439	0.15180
<i>Ecopole_ilot</i>	1.95762	15.34895	0.128	0.89864
<i>Ecopole_radeau</i>	23.77012	14.67057	1.62	0.10671
<i>Embraud</i>	17.48583	15.34369	1.14	0.25577
<i>Moquets</i>	1.55147	14.83222	0.105	0.91679
Moulins	33.61763	12.91648	2.603	0.00992 **
<i>Pacage</i>	23.79321	17.91692	1.328	0.18566
<i>Prairie</i>	7.723	17.89061	0.432	0.66643
Queriaux	24.65108	14.81963	1.663	0.09775 .
<i>Vermilleres</i>	16.39333	15.02634	1.091	0.27656

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null deviance : 291045 on 216 degrees of freedom / Residual deviance : 246113 on 206 degrees of freedom

AIC : 2166.1

- Résultats du modèle « M3 : sites » :

	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T value</i>	<i>Pr (> t)</i>
(Intercept)	17.625	12.252	1.439	0.15179
<i>Ecopole_ilot</i>	-2.937	15.006	-0.196	0.84499
<i>Ecopole_radeau</i>	18.875	14.307	1.319	0.18854
<i>Embraud</i>	18.732	15.359	1.22	0.22399
<i>Moquets</i>	2.434	14.858	0.164	0.87004
Moulins	36.719	12.768	2.876	0.00445 **
<i>Pacage</i>	25.232	17.935	1.407	0.16907

<i>Prairie</i>	7.375	17.935	0.411	0.68135
<i>Queriaux</i>	24.728	14.858	1.664	0.09756 .
<i>Vermilleres</i>	18.313	15.006	1.22	0.22371

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null deviance : 291045 on 216 degrees of freedom / Residual deviance : 248586 on 207 degrees of freedom

AIC : 2166.3

• Résultats du modèle « M3 : d + v + sites » :

	<i>Estimate</i>	<i>Std. Error</i>	<i>T value</i>	<i>Pr (> t)</i>
<i>(Intercept)</i>	19.32614	13.55764	1.425	0.1555
<i>d</i>	0.08264	0.04595	1.798	0.0736 .
<i>Vq1</i>	-9.05947	5.46843	-1.657	0.0991
<i>Vq2</i>	-5.84732	10.29613	-0.568	0.5707
<i>Ecopole_ilot</i>	-1.80756	15.77477	-0.115	0.9089
<i>Ecopole_radeau</i>	19.49862	15.07584	1.293	0.1973
<i>Embraud</i>	12.04223	15.77821	0.763	0.4462
<i>Moquets</i>	-0.9872	14.91687	-0.066	0.9473
<i>Moulins</i>	29.81497	13.13107	2.271	0.0242 *
<i>Pacage</i>	16.34297	18.51657	0.883	0.3785
<i>Prairie</i>	2.09058	18.30025	0.114	0.9092
<i>Queriaux</i>	21.69767	15.07375	1.439	0.1516
<i>Vermilleres</i>	13.7144	15.22047	0.901	0.3686

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Null deviance : 119.514 on 216 degrees of freedom / Residual deviance : 81.114 on 217 degrees of freedom

AIC : 424.28

RESUME

Le Val d'Allier est un des sites de reproduction continentaux des Sternes naines (*Sternula albifrons*) et Sternes pierregarins (*Sterna hirundo*). Les oiseaux nichent sur des îlots de sable avec peu de végétation, au milieu de la rivière. La colonie la plus importante se situe au pied du Pont de Régemortes, à Moulins (03). Une étude ciblant la capacité de pêche des adultes de sternes a été réalisée afin de comprendre si celle-ci pouvait être un facteur important de sélection d'habitat de reproduction. Les moyennes des fréquences de plongées par minute et des taux de succès de pêche par individus ont été comparées à l'aide des tests de Wilcoxon, Student et Kruskal-Wallis. Les résultats semblent être favorables à cette hypothèse. D'autres paramètres entrent toutefois en jeu, comme la configuration des sites d'étude, la répartition de la ressource alimentaire, les actions de gestion de la végétation et le dérangement anthropique. Celui-ci est continu en période estivale et plus impactant lorsqu'il concerne les festivités du 14 juillet. Le feu d'artifice de Moulins est tiré à proximité immédiate des îlots de reproduction, ce qui entraîne des pertes importantes sur les effectifs et les nichées non écloses. Les données quantitatives de l'étude d'impact des tirs de fusées ont permis de chiffrer ces impacts, dans l'objectif de faire déplacer le feu d'artifice à un minimum de 1km de la colonie.

Mots clés : *Sterna hirundo*, *Sternula albifrons*, Val d'Allier, colonie, ressource alimentaire, feu d'artifice

ABSTRACT

Val d'Allier is one of the inland breeding population of Common and Little Tern (*Sterna hirundo*, *Sternula albifrons*). Birds nest on sandy islands, with few vegetation, in the middle of the river. The biggest colony is located at the bottom of Régemortes bridge, in Moulins (03). Foraging capacity was studied to understand if it could be an influential habitat selection factor. Dive frequency and success means was compared using Wilcoxon, student and Kruskal-Wallis tests. Results seem to be favourable towards this hypothesis. Other parameters could affect it, like study sites configuration, prey distribution, vegetation management and human disturbance. This one is continuous during summer, and greater when it's related to 14th July's festivities. Moulins fireworks are fire close to island colony, causing significant losses in size group and unhatched broods. Quantitative data allowed quantified impacts, to move firework to a minimum of 1km from terns' colony.

Keywords : *Sterna hirundo*, *Sternula albifrons*, Val d'Allier, colony, prey resource, firework