

Université d'Angers
Faculté des Sciences
2 boulevard Lavoisier
49045 Angers cedex

Fédération des
Conservatoires
d'Espaces Naturels (FCEN)
199 rue de la Juine
45160 Olivet

Sélection et utilisation de l'habitat chez les Sternes naines et pierregarins en période de reproduction

Étude de certains facteurs environnementaux et paysagers influençant leur
installation sur les bancs de sable ligériens en région Centre-Val de Loire

Rapport de stage Master 2
2024



Master BEE parcours Gestion de la Biodiversité dans les
Socio-écosystèmes

Présenté par Thomas VOLPOET

Image ronde à droite : Sterne naine (Crédits : 2010 Ingo Waschkes) et photos personnelles

Université d'Angers Faculté des Sciences 2 boulevard Lavoisier 49045 Angers Cedex	Master 2 Biodiversité Ecologie-Evolution Parcours GeB
Responsable du parcours : Alain PAGANO	
Auteur Thomas VOLPOET	Organisme d'accueil Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels (FCEN)
Année universitaire 2023 – 2024	Maîtres de stage Chloé MALIK et François MICHEAU
Sélection et utilisation de l'habitat chez les Sternes naines et pierregarins en période de reproduction : Etude de certains facteurs environnementaux et paysagers influençant leur l'installation sur les bancs de sable ligériens en région Centre-Val de Loire	
<p>Résumé : La sélection de l'habitat chez les oiseaux marins coloniaux tels que les Sternes naines et pierregarins est particulièrement étudiée en contexte maritime, mais encore trop peu sur les fleuves et en France. Les Sternes sont des oiseaux emblématiques de la Loire et font l'objet de mesures de protection fortes sur le territoire en raison de la fragilité des populations. De nombreuses variables environnementales et paysagères ont un effet notable sur le choix de l'habitat de reproduction pour ces oiseaux à l'écologie de reproduction singulière. Cette étude réalisée sur la Loire moyenne en région Centre-Val de Loire vise à déterminer les variables d'influence et leur(s) potentiel(s) effet(s) sur la sélection de l'habitat. Une partie de l'étude est réservée à la compréhension de l'utilisation de l'habitat. Pour cela, plusieurs protocoles ont été élaborés, testés et réalisés sur 21 îlots afin de récolter des données sur les îlots (recouvrement de la végétation, granulométrie de surface, pente, hauteur de la strate arbustive et arborée, etc.) et autour des nids (recouvrement et hauteur de la végétation herbacée, granulométrie, etc.). Les résultats montrent que les Sternes pierregarins utilisent un large gradient de caractéristiques de l'habitat pour nicher (de 0 à 100% de végétation autour du nid, hauteur de la végétation comprise entre 0 et 20 cm (voire plus)), contrairement aux Sternes naines qui utilisent un milieu dépourvu de végétation. Le substrat le plus utilisé est composé de cailloux. Les Sternes sélectionnent des îlots qui présentent un faible recouvrement de végétation et évitent ceux avec une strate arborée trop haute. La granulométrie à l'échelle de l'îlot joue aussi un rôle important et les Sternes semblent sélectionner un substrat grossier. En raison des conditions météorologiques et hydrologiques défavorables en 2024, les résultats sont à prendre avec précaution et seront discutés en dernière partie de ce rapport. <u>Mots clés</u> : oiseaux coloniaux, sélection, habitat, végétation, fermeture du milieu.</p>	
<p>Abstract: Habitat selection in colonial seabirds such as Little Terns and Common Terns is particularly well-studied in maritime contexts but remains under-researched along rivers and in France. Terns are emblematic birds of the Loire and are the focus of strong protection measures due to the fragility of their populations. Numerous environmental and landscape variables have a notable effect on the choice of breeding habitat for these birds, which have a unique breeding ecology. This study, conducted on the middle Loire in the Centre-Val de Loire region, aims to determine the influential variables and their potential effects on habitat selection. Part of the study is dedicated to understanding habitat use. For this purpose, several protocols were developed, tested, and implemented on 21 islands to collect data on the islands (vegetation cover, surface granulometry, slope, height of the shrub and tree layers, etc.) and around the nests (herbaceous vegetation cover and height, granulometry, etc.). The results show that Common Terns use a wide range of habitat characteristics for nesting (from 0 to 100% vegetation cover around the nest, vegetation height between 0 and 20 cm or more), unlike Little Terns, which prefer vegetation-free environments. The most commonly used substrate is composed of pebbles. Terns select islands with low vegetation cover and avoid those with a tree layer that is too tall. Granulometry at the island scale also plays an important role, and terns seem to select coarse substrates. Due to unfavorable weather and hydrological conditions in 2024, the results should be interpreted with caution and will be discussed in the final part of this report. <u>Keywords</u>: colonial birds, selection, habitat, vegetation, habitat closure.</p>	

« Tout le monde aime les oiseaux. Quelle créature sauvage est plus accessible à nos yeux et à nos oreilles, aussi proche de nous et de tout le monde dans le monde, aussi universelle qu'un oiseau ? »

Sir David Attenborough, naturaliste britannique

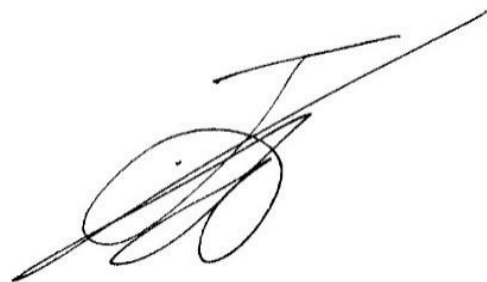
« Pour les Sternes il faut de l'eau, mais pas trop »

Julie Babin, au détour d'une conversation entre collègues

**ENGAGEMENT DE NON PLAGIAT**

Je, soussigné (e) Thomas VOLPOET,
déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :



Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement ma maître de stage Chloé MALIK. Merci beaucoup pour ta confiance, ton aide, ton accompagnement dans les débuts de mon stage. Merci aussi pour ton soutien dans les moments de doute (notamment lors de l'organisation du terrain pleine de rebondissements) et pour ta bonne humeur quotidienne ! A quand une sortie canoë pour aller observer les Sternes ? Je me souviendrai aussi longtemps de ton appel lors duquel tu m'as accepté pour ce stage, quel soulagement !

Merci aussi à François MICHEAU, mon second maître de stage, qui a pris le relais à la moitié du stage. Merci pour les points chaque semaine qui m'ont permis d'avancer sereinement, pour tes nombreux conseils et pour les différentes relectures du rapport.

Merci Stéphane HIPPOLYTE (CEN Centre-Val de Loire) pour ton aide, pour tes conseils précieux dans la construction des protocoles et pour tes nombreuses relectures du présent rapport. Merci de m'avoir accompagné pour ma toute première sortie terrain, une sortie tant espérée ! Merci aussi pour les nombreux moments de rires et de bonne humeur.

Merci Stéphane BRAUD (DREAL Centre-Val de Loire) pour mes quelques journées passées à la DREAL avec mon projet cartographique et mon analyse de la végétation des îles. Merci pour ton expertise sur la Loire, sa dynamique et sur Qgis. Merci de m'avoir accompagné sur le terrain le temps d'une journée dans le Loiret, durant laquelle nous découvrons avec surprise l'existence de certains bancs de sable. Et je garde évidemment en souvenir la seule et unique sortie terrain en canoë que nous avons pu faire !

Merci Yvonnick LESAUX (DREAL Centre-Val de Loire) pour ton accompagnement et tes conseils tout au long du stage, ainsi que pour les nombreuses relectures du rapport. Merci de m'avoir aidé dans mon terrain pour compter nos premières Sternes (et par dizaines ! Comme quoi, tout arrive...). Merci également pour ton invitation à assister à une réunion du Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel. Ce fut une découverte enrichissante !

Merci Aurélien BESNARD (CEFE de Montpellier) pour ton appui statistique, nos visios et tes nombreux conseils qui m'ont fortement aidé dans l'analyse de mes résultats. Merci pour ton temps alloué à la lecture de mes bilans et de mes quelques points d'avancements envoyés au cours du stage.

Merci Frédéric SANCHIS (DREAL Centre-Val de Loire) d'avoir pris le temps de m'expliquer les analyses statistiques envisageables sur mes jeux de données quelque peu... particuliers.

Un grand merci à toutes les personnes des structures extérieures qui m'ont gentiment accompagné sur le terrain pour que je puisse réaliser mes inventaires, qui ont pris le temps de répondre à mes nombreuses sollicitations pour organiser le terrain ou pour obtenir des données naturalistes : Manon LEDUC (LPO Indre-et-Loire), Nolwenn BAUDOUIN (CEN Centre-Val de Loire), Julie LEBRASSEUR (CEN Loir-et-Cher), Marie-des-Neiges de BELLEFROID (Loiret Nature Environnement), Jacques VION, Frédéric PELSY, Jean-François AUBEL, Valentine VERSCHELDE (Loiret Nature Environnement), Florence DELAROCHE (CEN Bourgogne), et Nicolas POINTECOUTEAU (CEN Bourgogne).

Merci aussi à mes collègues de bureau Manon VIEL et Grégory GARANDEAU qui m'ont supporté quotidiennement pendant ces 6 mois et à qui j'ai pu raconter mes quelques péripéties orléanaises ! Merci beaucoup pour nos nombreux moments de rires et d'avoir écouté mes nombreuses remarques sur les débits journaliers de la Loire.

Merci Julie BABIN pour ta bonne humeur quotidienne, tes blagues sur mes péripéties de terrain. Merci aussi pour ton aide précieuse en matière de conclusion. On pourra continuer à se dire que la météo 2024 était « conSternante » ! Quand est-ce que l'on installe un banc de sable dans le jardin de la Fédé ?

Merci Tom BERNARD pour m'avoir aidé à rédiger au mieux le post sur les réseaux sociaux et mettre en avant les Sternes ligériennes.

Merci Manon JOUVE pour ton expertise et ton aide pour me débloquer des mystères de Qgis.

Merci aussi à toutes les autres personnes de la Fédération des Conservatoires (antenne d'Olivet) qui m'ont intégré dans l'équipe dès mon premier jour : Charlotte LEMOIGNE, Agnès RAYSEGUIER, Anouk HORMAN, Sylvie VARRAY, Bruno MOUNIER, Cannelle MOINARDEAU, Dylan AMIAR, Elodie MUSZKIETA, Léa FERRAND, Renaud de LAÂGE de MEUX, Keiréna LAINE, Marine GALLIN, Lauriane BAUDU, Elodie ROUILLY, Fiona DUPLAT, Alexandra BOUGRON, François SALMON et Thomas STANNARD.

Merci à toutes et tous pour votre bonne humeur, votre bienveillance. Merci pour tous les moments d'échanges et de convivialité passés avec vous ! Que de bons souvenirs avec vous !!

Table des matières

I)	Introduction.....	1
1)	Une biodiversité en déclin.....	1
2)	La Loire : variabilité et évolution.....	1
3)	Des espèces emblématiques : la Sterne naine et la Sterne pierregarin	2
A)	Mesures de protection	3
B)	Effectifs internationaux, nationaux et régionaux.....	3
4)	Vivre en groupe	4
5)	Etat de l'art sur les variables influençant la sélection de l'habitat	5
6)	Problématique et objectifs de l'étude	7
II)	Matériel et méthodes.....	8
1)	Le secteur et les sites étudiés	8
2)	Les variables étudiées	9
3)	Les protocoles	10
3.a)	La végétation	10
3.b)	La granulométrie de surface	11
3.c)	La pente	12
3.d)	Les variables analysées par photo-interprétation	12
4)	Analyse diachronique de la végétation	13
5)	Analyses statistiques	14
III)	Résultats	16
1)	Utilisation de l'habitat.....	16
a)	Analyses descriptives bivariées	16
b)	Analyse des Correspondances Multiples (ACM)	17
2)	Sélection de l'habitat.....	18
1)	Analyse diachronique de la végétation	20
a)	Site de La Ronce (commune de Lion-en-Sullias, Loiret)	20
b)	Site de Port Gallier (commune de Poilly-lez-Gien, Loiret)	21
c)	Site du Pont Wilson (commune de Tours, Indre-et-Loire).....	22
IV)	Discussion	23
V)	Conclusion	29
VI)	Bibliographie	

Annexe 1 : Evolution du lit mineur de la Loire (Bachoc et <i>al.</i> , 2002)	
Annexe 2 : Présentation de la Sterne naine (<i>Sternula albifrons</i>)	
Annexe 3 : Présentation de la Sterne pierregarin (<i>Sterna hirundo</i>).....	
Annexe 4 : Première sélection des sites sur la Loire moyenne	
Annexe 5 : Bilan climatique du printemps 2024 (Météo France, 2024)	
Annexe 6 : Sélection finale des sites étudiés en 2024 sur la Loire moyenne.....	
Annexe 7 : Exemple de fiche terrain « îlot », utilisé pour les diagnostics.....	
Annexe 8 : Exemple de fiche terrain « nids », utilisé pour les diagnostics	
Annexe 9 : Echelle de Wentworth (originale et modifiée).....	
Annexe 10 : Cartes issues de l’analyse diachronique de la végétation sur 4 îlots abandonnés	
1) Site de La Ronce (Lion-en-Sullias) : 2006 – 2010.....	
2) Site de La Ronce (Lion-en-Sullias) 2013 – 2015 - 2020.....	
3) Site de Port Gallier (Poilly-lez-Gien) 2013 – 2015	
4) Site de Port Gallier (Poilly-lez-Gien) 2020 – 2023	
5) Site du Pont Wilson (Tours) 2015 – 2020.....	
6) Site du Pont Wilson (Tours) 2021 – 2023.....	
7) Site de Chaumont-sur-Loire 2015 – 2020 – 2022.....	
Annexe 11 : Tableau issu des analyses univariées sur la base de données des nids	
Annexe 12 : Tableau issu des analyses bivariées sur la base de données des nids	
Annexe 13 : Analyse des Correspondances Multiples (ACM)	
Annexe 14 : Odds Ratios issus des modèles GLM réalisés	
Annexe 15 : Quelques images issues de la campagne de terrain 2024	

Liste des figures et tableau

Figure 1 et 2 : Bancs de sable et îlots végétalisés situés dans le lit mineur de la Loire

Figure 3 : Effectifs de couples nicheurs de Sterne naine et pierregarin sur le bassin de la Loire de 1998 à 2019 (source : Marchadour, 2022).

Figure 4 : Occurrence des 26 variables influençant la sélection de l'habitat de reproduction chez la Sterne naine, la Sterne pierregarin, la Petite sterne, la Sterne caugek, les Goélands et la Mouette rieuse. Synthèse réalisée à partir de 30 articles scientifiques.

Figure 5 : Localisation de la région Centre-Val de Loire. (Crédit : 3dhun, sur Freepik)

Figure 6 : Localisation des sites étudiés en 2024, sur le tronçon de la Loire moyenne (région Centre-Val de Loire)

Figure 7 : Quadrat d'1 m² installé sur du sable fin lors d'un relevé granulométrique à Tours (37). (Photo personnelle)

Figure 8 : Répartition des nids de Sternes naines et pierregarins selon le recouvrement de la végétation autour du nid (en %)

Figure 9 : Répartition des nids de Sternes naines et pierregarins selon la hauteur de la végétation autour du nid (en cm)

Figure 10 : Répartition des nids de Sternes naines et pierregarins selon la granulométrie de surface.

Figure 11 : Analyse des Correspondances Multiples sur les caractéristiques de l'habitat autour des nids

Figure 12 : Graphique des prédictions de l'occupation de l'îlot en fonction du recouvrement de la végétation.

Figure 13 : Graphique des prédictions de l'occupation de l'îlot en fonction de la hauteur de la strate arborée.

Figure 14 : Graphique des prédictions de l'occupation de l'îlot en fonction de la classe granulométrique.

Figure 15 et 16 : Carte des strates de végétation sur le site de La Ronce en 2006 (gauche) et 2020

Figure 17 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site de La Ronce entre 2006 et 2020

Figure 18 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site de Port Gallier entre 2013 et 2023

Figure 19 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site du Pont Wilson entre 2015 et 2023

Figure 20 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site de Chaumont-sur-Loire entre 2015 et 2022

Tableau I : Résultats non significatifs des ANOVA avec un test Chi-carré

Préambule

Le stage a été réalisé à la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels (FCEN). Créée en 1988, la FCEN rassemble les Conservatoires d'espaces naturels (CEN). Elle a pour mission principale de représenter le réseau et de favoriser les échanges entre ses membres, afin de renforcer leurs actions sur le terrain. Le stage s'est déroulé dans les locaux de l'antenne d'Olivet (Loiret – 45), qui recense 24 salariés.

Depuis fin 2022, une coordination bassin a été lancée par la FCEN en lien avec les acteurs territoriaux (dont la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Centre-Val de Loire et le CEN Centre-Val de Loire avec comme objectifs de mettre en lien les acteurs, partager la connaissance, définir des modes de gestion et de sensibilisation satisfaisants au sujet des Sternes. Le stage s'inscrit dans cette coordination bassin ainsi que dans le plan Loire grandeur nature. Le plan Loire grandeur nature a notamment pour objectif de préserver le patrimoine naturel ligérien et partager la connaissance. Les actions sont menées en lien avec les acteurs du territoire dont les CEN du bassin de la Loire. De son côté la DREAL est en charge du renouvellement du plan de gestion du lit de la Loire au sein duquel l'enjeu Sternes est pris en compte et des opérations de gestion/restauration des milieux peuvent être mises en place. Enfin, en tant qu'animateur de l'ensemble des sites Natura 2000 de la Loire en région Centre-Val de Loire et principal gestionnaire des sites à enjeux pour les *Laridés* (mouettes, goélands, sternes), le CEN Centre-Val de Loire a co-encadré le stage avec la FCEN et la DREAL sur les volets avifaune et gestion appliquée.

La principale particularité de ce stage a été la participation d'un large panel d'acteurs, à la fois dans l'encadrement et le suivi technique mais aussi sur le terrain pour aider à la réalisation des diagnostics et pour échanger sur diverses problématiques. Ce panel d'acteurs était essentiel pour le bon déroulé du stage, afin que les attentes de chacun soient respectées et pour garantir des résultats fiables et réutilisables dans le futur.

Le stage s'est déroulé dans des conditions météorologiques et hydrologiques particulièrement défavorables à la fois pour les sternes et leur reproduction, mais aussi pour la bonne réalisation des relevés des variables sur le terrain. Des visites sur les îles ligériennes étaient prévues avant l'arrivée des sternes, mais elles n'ont pas pu être réalisées en raison de fortes crues en chaque début de mois. Au total, 4 crues successives ont été observées, avec des hauteurs d'eau particulièrement élevées pour la saison. Ces contraintes naturelles non maîtrisables nous ont obligé à adapter de manière importante les protocoles et à organiser le terrain sur un très court

intervalle de temps, afin d'être dans un compromis de travail sur la récolte des données disponibles et sur l'ensemble des colonies à suivre dont le nombre initialement prévu était plus élevé. Les données traitées dans cette étude ont été le fruit d'un travail de terrain au mois de juin, sur la région Centre-Val de Loire.

Quelques images issues de la campagne de terrain sont présentées en fin de ce rapport (Annexe 15).

Signification des abréviations

CEN : Conservatoire d'Espaces Naturels

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

CEFE : Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive

FCEN : Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels

SINP : Système d'Information de l'Inventaire du Patrimoine naturel

GISOM : Groupement d'Intérêt Scientifique Oiseaux Marins

DGPS : Differential Global Positioning System

GPS : Global Positioning System

MNT : Modèle Numérique de Terrain

QGIS : Quantum Geographic Information System (logiciel de cartographie)

SIEL : Système d'Informations des Evolutions du Lit de la Loire

SIG : Système d'Information Géographique

WMS : Web Map Service

ACM : Analyse des Correspondances Multiples

GLM : Generalized Linear Models

ANOVA : Analysis of Variance

ACP : Analyse en Composantes Principales

I) Introduction

1) Une biodiversité en déclin

Le constat d'un déclin important de la biodiversité du fait de changements environnementaux d'origine anthropique est aujourd'hui largement partagé dans la communauté scientifique et même dans la société (Collen et *al.*, 2009 ; Pimm et *al.*, 2014). Le rythme d'extinction des espèces apparenterait notre époque à un épisode d'extinctions massives, le sixième recensé dans l'histoire de la vie sur notre planète. L'extinction en cours est caractérisée par une érosion de la biodiversité sans précédent, avec des vitesses de disparitions qui seraient plus de cent fois supérieures à la moyenne « géologique », ce qui est incompatible avec le temps de réponse d'adaptation et d'évolution des espèces (Féral et Tatoni, 2021). La perte et la dégradation des habitats constituent la plus forte source de pression exercée sur la diversité biologique à l'échelle mondiale (Secrétariat de la Convention sur la Diversité Biologique, 2010). Cette perte des habitats fragilise les populations d'espèces sensibles. Parmi ces espèces, on peut noter celles appartenant au groupe des *Laro-limicoles*. Le terme *Laro-limicoles* désigne un ensemble d'oiseaux comprenant les *Laridés* (comme les Goélands, Mouettes et Sternes) ainsi que des oiseaux dits « limicoles ». Les *Laridés* sont pour la plupart des oiseaux marins coloniaux en période de reproduction, tandis que les limicoles, bien que regroupant plusieurs familles d'oiseaux adaptés aux milieux humides, présentent une diversité de comportements, certains étant coloniaux, d'autres non.

2) La Loire : variabilité et évolution

Fleuve emblématique français, la Loire s'écoule sur plus de 1000 km, ce qui fait d'elle le plus long fleuve entièrement français. Son bassin versant draine 1/5^{ème} du territoire national et traverse 9 régions et 30 départements. La Loire est subdivisée en 3 grandes hydro-régions (Wasson et *al.*, 1993) :

- la Loire amont (ou supérieure) correspondant aux hauts bassins du Massif Central, du Mont Gerbier-de-Jonc au Bec d'Allier ;
- la Loire moyenne traversant les plateaux du bassin parisien, entre le bec d'Allier et le bec de Maine, correspondant à la Loire des îles ;
- la Loire avale (ou inférieure), celle du Massif armoricain, du bec de Maine à l'océan.

Malgré la présence de barrages en amont du bassin, la Loire est aujourd'hui caractérisée par d'importantes variations de débit d'eau et de hauteurs d'eau. Ainsi, le fleuve a atteint la cote de 7,19m à l'échelle du vieux pont de Gien (45) le 2 juin 1856 alors qu'elle est descendue à -0.75m

au cours de l'étiage sévère de 1949 (commentaire pers. S. Braud), soit une amplitude de presque 8 mètres sur la période de nidification des Sternes.

Aujourd'hui le débit est ponctuellement régulé par le barrage de Villers (département de la Loire en région Auvergne-Rhône-Alpes), situé sur l'amont du fleuve, qui permet d'écarter les très fortes crues et soutenir les très faibles débits d'étiage, ce qui conduit à atténuer légèrement l'amplitude des variations sur la Loire moyenne.

Les études menées depuis cinquante ans sur la Loire ont mis en évidence des tendances générales d'évolution du fleuve. La végétalisation du lit mineur fait partie de ces tendances (Bachoc et *al.*, 2002 ; Nabet, 2016 ; Mesmin et *al.* 2024) (Annexe 1). Au cours du XX^{ème} siècle, la présence de végétation ligneuse dans la plaine alluviale a fortement augmenté, notamment sur la Loire moyenne (Cornier, 2002 ; Grivel, 2008 ; Greulich et *al.*, 2016). L'abaissement de la ligne d'eau se traduit par une émergence de plus en plus longue de certaines formes fluviales, notamment les bras secondaires moins profonds que le chenal principal. Ces annexes hydrauliques sont alors colonisées par une végétation pionnière composée principalement de Salicacées (*Salix alba* et *Populus nigra*) (Greulich et *al.*, 2016) qui évolue vers une végétation arborée. La végétalisation des corridors fluviaux correspond souvent à des années de basses eaux successives favorables à la colonisation végétale (Grivel, 2012). Pour la Loire, on peut supposer que les étiages et les basses eaux sont l'un des facteurs déterminants de la végétalisation du lit (Grivel, 2008). La déprise du pâturage au XX^{ème} siècle accentue cette évolution.

3) Des espèces emblématiques : la Sterne naine et la Sterne pierregarin

La Sterne naine (*Sternula albifrons*) (cf. fiche descriptive détaillée en Annexe 2) et la Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*) (cf. fiche descriptive détaillée Annexe 3) sont des espèces migratrices. Elles hivernent sur les côtes africaines (Guinée, Kenya, Afrique du Sud) et sur les îles des Canaries. Elles arrivent sur le bassin de la Loire à partir du mois d'avril pour se reproduire sur les alluvions du lit mineur de la Loire (plus couramment rassemblés sous le terme de « bancs de sable » ou « îlot », figures 1 et 2).



Figures 1 et 2 : Bancs de sable et îlots végétalisés situés dans le lit mineur de la Loire

Les Sternes sont des oiseaux emblématiques de la Loire en raison de leurs exigences écologiques. Aussi, en raison de leur apparente fragilité et de leur élégance, les sternes sont devenues des symboles du bassin de la Loire, et sont souvent prises en exemple pour sensibiliser le grand public à la protection des espèces. Cependant, elles restent particulièrement sensibles aux perturbations d'origine anthropique, aux conditions climatiques et aux changements brusques du niveau d'eau (LPO PACA, 2020).

A) Mesures de protection

Les Sternes sont des oiseaux protégés. Au niveau européen, elles sont inscrites à l'annexe I de la directive Oiseaux (DO 2009/147/CE). La directive Oiseaux couvre toutes les espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage et celles-ci doivent faire l'objet des mesures nécessaires pour préserver leurs populations et leurs habitats (Milieu Marin France, 2024). Les Sternes naines et pierregarins sont également classées comme « quasi menacées » (NT) sur la liste rouge régionale Centre-Val de Loire (2013), ce qui traduit une certaine préoccupation par rapport à l'évolution des populations nicheuses régionales.

B) Effectifs internationaux, nationaux et régionaux

Pour la Sterne pierregarin, les effectifs nationaux estimés à 6500 couples sur la période 2009-2012 (Dupuy et Sallé, 2022) représentent environ 5,5 % du nombre de nicheurs européens (140 000 couples, hors Russie, de 2009 à 2011, Issa et Muller, 2015) (LPO PACA, 2020). Les tendances d'évolution estiment une augmentation des effectifs de Sterne pierregarin sur le court et long terme à l'échelle nationale (Comolet-Tirman et *al.*, 2015 ; Dupuy et Sallé, 2022). La population française est divisée en trois grandes populations géographiques distinctes : une population « Manche-Atlantique », une population « méditerranéenne » et une population « continentale » essentiellement répartie le long de certaines grandes vallées alluviales (Loire et ses affluents principalement). D'après l'atlas des oiseaux nicheurs (Issa et Muller, 2015), le bassin de la Loire accueille les 2/3 des effectifs (en nombre de couples) de Sternes pierregarins de la sous population « continentale ». Ces effectifs représentent plus de 20% de la population nicheuse française.

Pour la Sterne naine, les effectifs sont beaucoup plus réduits, avec 35 000 à 55 000 couples en Europe et 1130 à 2000 couples sur le territoire français (Comolet-Tirman et *al.*, 2015 ; Dupuy et Sallé, 2022), ce qui représente environ 3,6 % de la population européenne. Les tendances d'évolution des effectifs montrent une stagnation à court et long terme (Comolet-Tirman et *al.*, 2015). Le dernier recensement national de 2009-2012 (Issa et Muller, 2015) propose une

fourchette de 1135-2105 couples nicheur en France, dont 800-900 couples sur l'axe Loire/allier, ce qui représente 43 % des effectifs français !

Cependant, l'apparente stabilité des effectifs français pour les deux espèces ne doit pas occulter certains phénomènes qui peuvent affecter significativement la dynamique des populations (LPO PACA, 2020). En effet, la proportion d'oiseaux nichant dans des sites artificiels en rapport avec ceux qui occupent des sites naturels ne cesse d'augmenter (LPO PACA, 2020). La capacité d'adaptation de ces espèces pallie en partie seulement la dégradation de beaucoup de sites naturels. De plus, les années considérées comme bonnes pour la reproduction se font plus rares, à cause notamment des crues de fin de printemps qui entraînent des pertes importantes sur les nichées. En 2019, le bassin de la Loire abritait environ 21 % des effectifs métropolitains de Sterne pierregarin et 27 % des effectifs de Sterne naine (Figure 3).

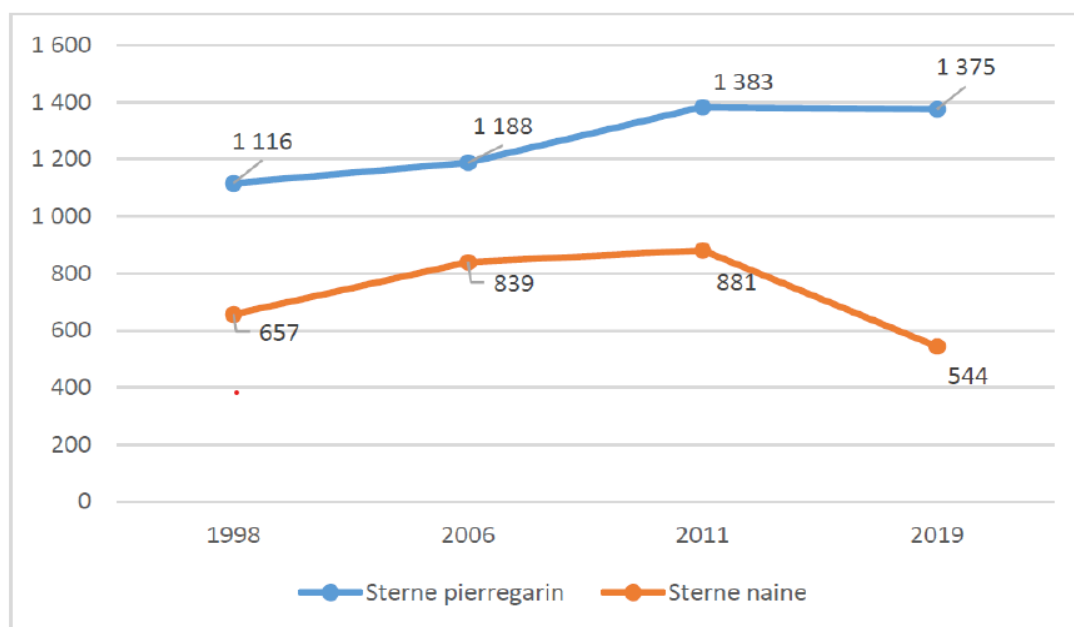


Figure 3 : Effectifs de couples nicheurs de Sterne naine et pierregarin sur le bassin de la Loire de 1998 à 2019 (source : Marchadour, 2022)

4) Vivre en groupe

Les Sternes ont un comportement singulier qui les distingue de la plupart des espèces : la vie en colonialité. Le terme « colonialité » est utilisé pour de nombreuses espèces animales notamment pour les oiseaux (Kharitonov et Siegel-Causey, 1988). Il existe plusieurs types d'agrégation des individus comme par exemple celle en période de reproduction. Cette colonialité de reproduction s'observe d'ailleurs fréquemment chez les oiseaux marins (Kharitonov et Siegel-Causey, 1988). Les deux principales caractéristiques qui définissent une reproduction coloniale sont de fait l'agrégation spatiale des individus sur des territoires de reproduction et d'élevage de la descendance et la séparation spatiale entre ces zones dédiées

à la reproduction et dédiées à l'alimentation (Wittenberger et Hunt 1985 ; Danchin et Wagner 1997 ; Danchin et *al.*, 2008).

Cette reproduction coloniale s'observe parfaitement chez les Sternes naines et pierregarins nichant sur la Loire. Ce mode de vie singulier entraîne un certain nombre de coûts et de bénéfices pour ces espèces. Parmi les bénéfices apportés, on peut noter l'augmentation de la vigilance du groupe et de la défense face aux prédateurs (par exemple : Tinbergen, 1956, Hamilton, 1971 ; Brown et Brown 1987 ; Siegel-Causey et Kharitonov 1990 ; Serrano et *al.* 2005) et le partage de l'information concernant les ressources alimentaires et la qualité des habitats de reproduction (Boulinier et *al.*, 1996, Ponchon et *al.*, 2013 ; Francesiaz et *al.*, 2017). A l'inverse, la vie en colonie augmente le risque de transmission des parasites et des maladies comme la grippe aviaire (Brown et Brown, 1996, McCoy et Boulinier, 2002), rend les individus plus visibles par les prédateurs (Clode, 1993) et accentue la compétition intra-spécifique (Moller, 1987 ; Forero et *al.*, 2002).

5) Etat de l'art sur les variables influençant la sélection de l'habitat

La qualité de l'habitat de reproduction disponible joue un rôle crucial dans le succès reproducteur et la survie des espèces de Sternes inféodées aux bancs de sable de la Loire. Les Sternes naines et pierregarins sont une bonne illustration de cette relation espèce-habitat au moment de la reproduction.

D'après une synthèse bibliographique réalisée pendant le stage, la littérature montre que pour les oiseaux coloniaux plusieurs variables environnementales sont primordiales pour la sélection d'habitat. La recherche des articles et des documents s'est réalisée sur Google, Google Scholar ainsi que sur les sites Hal open sciences et ResearchGate. Les mots clés utilisés pour cibler la recherche ont été : *Tern*, *Little tern*, *Common tern*, *Gulls*, *Nesting habitat*, *habitat selection*, *colonial birds*.

Au total, 30 études ont été sélectionnées parmi une multitude d'articles. Les espèces cibles étaient la Sterne naine et la Sterne pierregarin, mais la sélection d'articles s'est élargie à d'autres espèces d'oiseaux coloniaux ayant une écologie de reproduction similaire comme la Petite sterne (espèce américaine, *Sternula antillarum*), la Sterne caugek (*Thalasseus sandvicensis*), le Goéland leucophée (*Larus michahellis*), le Goéland railleur (*Chroicocephalus genei*) et la Mouette rieuse (*Chroicocephalus ridibundus*).

Les études étaient pour la majorité réalisées dans un contexte maritime principalement aux Etats-Unis, Angleterre, Italie, et Grèce. Ce travail a permis de dresser une liste de 26 variables d'influence, en prenant en compte l'occurrence, c'est-à-dire le nombre d'articles qui mentionnaient au moins une fois ces variables (figure 4).

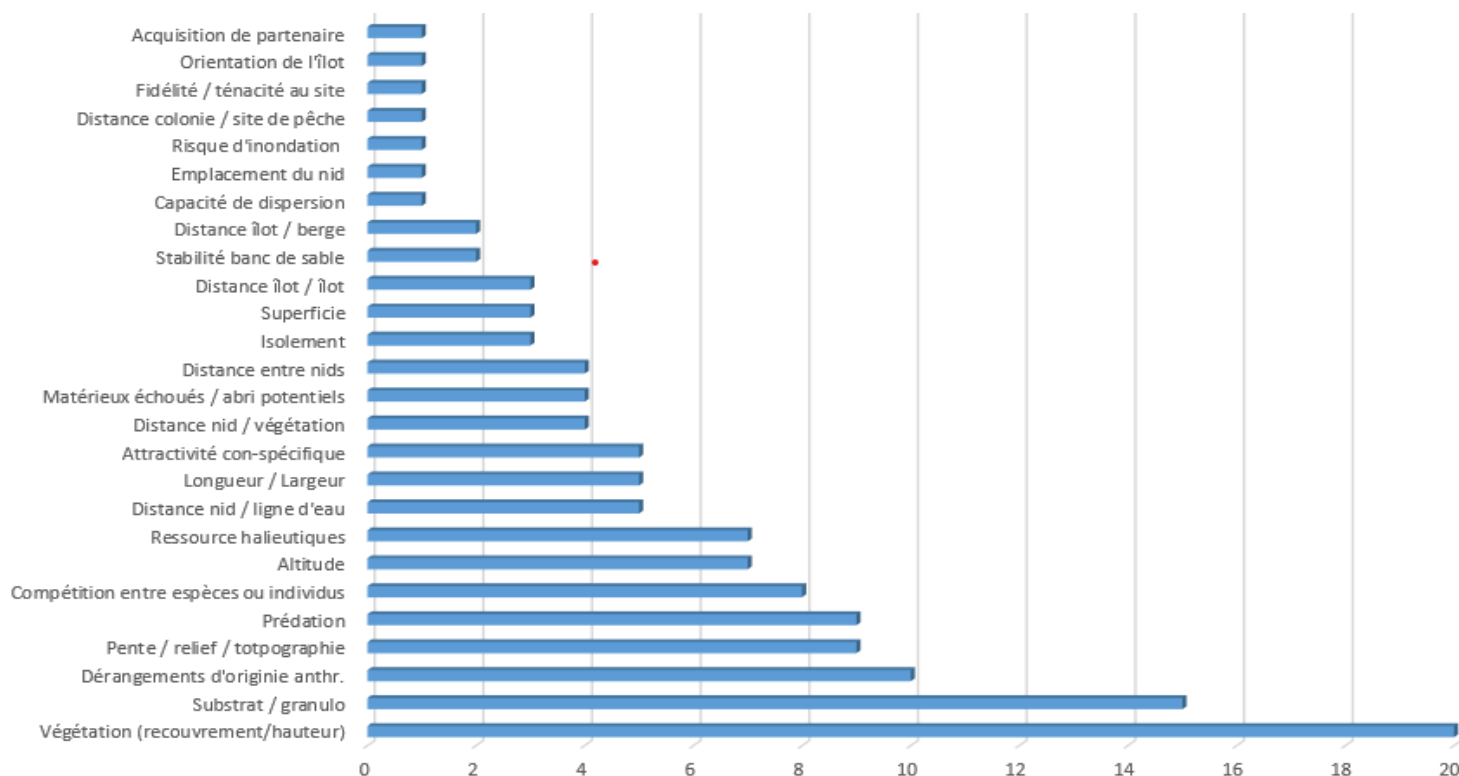


Figure 4 : Occurrence des 26 variables influençant la sélection de l'habitat de reproduction chez la Sterne naine, la Sterne pierregarin, la Petite sterne, la Sterne caugek, les Goélands et la Mouette rieuse. Synthèse réalisée à partir de 30 articles scientifiques.

La végétation est le facteur environnemental qui est le plus souvent mentionné dans les articles. Certains auteurs ont étudié l'effet de la végétation sur les oiseaux (Burger et Goshfeld, 1988 ; Goutner, 1990 ; Fasola et Canova, 1992 ; Mazzocchi et Forsys, 2005 ; Ratcliffe et *al.*, 2008). La granulométrie de surface fait également partie des variables largement mentionnées et étudiées (Goutner, 1990 ; Mazzocchi et Forsys, 2005). D'autres facteurs sont mentionnés mais restent peu étudiés chez les Sternes comme le dérangement anthropique ou encore les relations sociales inter et intra-spécifiques. Pour ces facteurs, certaines mentions dans les articles peuvent être le fruit d'observations de terrain.

La sélection du site de nidification est une décision importante car le couple sera dépendant de ce dernier durant plusieurs semaines ou mois pour que leur tentative de reproduction soit réussie (Burger et Goshfeld, 1988). Sebastián-González et *al.*, (2010) ont ainsi montré que la sélection de l'habitat par les peuplements d'oiseaux d'eau était plus stricte lors de la période de reproduction que lors de l'hivernage.

6) Problématique et objectifs de l'étude

La problématique de la sélection de l'habitat chez les Sternes est particulièrement étudiée sur le continent américain et le plus souvent en contexte maritime. Dans les autres études consultées, certaines ont été réalisées sur les côtes d'Angleterre, de Grèce et plus rarement sur les côtes françaises. Parmi les études réalisées en France et consultées dans la recherche bibliographique, seules 3 l'ont été en contexte ligérien (une en lien avec la ressource halieutique, deux sur les perspectives d'entretien des îles et bancs de sable), mais ne se situaient pas en région Centre-Val de Loire. Cette étude réalisée en 2024 est donc une première sur la Loire moyenne et est une des premières à s'intéresser précisément aux variables environnementales à l'échelle de l'habitat des Sternes sur la Loire.

Aussi, face à la fragilité des habitats permettant aux populations et méta-populations de se reproduire sur la Loire et au vu des effectifs importants, le bassin de la Loire a une forte responsabilité en ce qui concerne la conservation des Sternes.

Fort de ce double constat, de nombreux acteurs répartis dans plusieurs groupes de travail souhaitent obtenir des informations précises sur ce qui attire ou non les Sternes sur les bancs de sable de la Loire. En effet, la dynamique du milieu ligérien est très différente d'une plage en bord de mer, ne serait-ce que par rapport à la végétation qui se développe plus rapidement sur les îlots de la Loire. Il était donc pertinent de réaliser une étude sur ces îlots, en ciblant les variables qui, à l'échelle de la Loire, peuvent influencer la sélection de l'habitat par les Sternes.

L'objectif principal du stage est d'évaluer l'effet des variables environnementales sur les Sternes, au moment de leur installation pour se reproduire. Les résultats seront comparés à ceux trouvés dans la littérature, et il sera ainsi possible de comprendre s'il s'agit des mêmes variables en contexte maritime et ligérien. Ou au contraire, est-ce que les Sternes sélectionnent leur habitat de manière aléatoire, auquel cas, les variables n'auraient que peu ou pas d'effet en contexte ligérien. Le second objectif est d'étudier ce que les oiseaux utilisent dans leur environnement proche pour installer leur nid, une fois l'îlot sélectionné.

Ce stage est très appliqué puisque les résultats concernant les facteurs limitants de sélection des îlots par les Sternes naines et pierregarins serviront d'outil d'aide à la décision pour proposer des mesures de restauration adaptées dans le cadre de la politique Natura 2000 sur la Loire, afin de garantir la survie des colonies de sternes à l'échelle de la Loire moyenne.

II) Matériel et méthodes

1) Le secteur et les sites étudiés

La phase de récolte des données s'est déroulée en Région Centre-Val de Loire (figure 5), sur le tronçon de la Loire appelé « Loire moyenne ». Le secteur concerne 4 départements, à savoir de l'amont vers l'aval : le Cher (18), le Loiret (45), le Loir-et-Cher (41) et l'Indre-et-Loire (37).



Figure 5 : Localisation de la région Centre-Val de Loire. (Crédit : 3dhun, sur Freepik)

Des suivis des Sternes sont réalisés annuellement par une structure référente dans chacun des départements. Ces données sont également remontées dans le Système d'information de l'inventaire du patrimoine naturel (SINP) et dans la base de données du GISOM (Groupement d'intérêt scientifique des oiseaux marins).

Sur la base des données naturalistes disponibles, un premier travail a été de faire un choix des sites à étudier, selon plusieurs critères. Tout d'abord, il s'est avéré être pertinent d'avoir une diversité de sites selon les modalités d'occupation par les sternes : des sites dits « occupés », « abandonnés » et « vides », pour pouvoir s'assurer d'une robustesse statistique sur l'effet de chaque variable récoltée, grâce à un nombre d'échantillons suffisant. Le choix des sites occupés s'est fait selon la taille des colonies nicheuses et selon l'intérêt du site pour les structures référentes (*i.e.* un site à fort enjeu de conservation en raison de sa localisation ou de sa fréquentation). Pour les sites abandonnés, la date d'abandon ne devait pas remonter à plus de 5 ans, pour éviter le biais de la fermeture du milieu par la végétation et ainsi s'assurer de pouvoir étudier une modification récente de l'habitat. Un seul site ne répond pas à ce critère, il s'agit de « La Ronce » sur la commune de Lion-en-Sullias. Sur ce site, l'abandon est avéré depuis 2006. Il a cependant été inclus dans la liste car il s'agit d'un site de grande superficie, qui abritait des effectifs importants de Sterne naine pour le département du Loiret et qui avait fait l'objet d'études par la DREAL Centre-Val de Loire dans une optique de restauration écologique.

Enfin, les sites dits « vides » sont des sites connus historiquement par les structures comme étant visuellement favorables à l'installation des Sternes, mais sur lesquels aucune Sterne nicheuse n'a été observée. Après une analyse des données naturalistes antérieures, transmises par les structures référentes, un premier ratio de 15 sites occupés et 15 sites abandonnés/vides a été défini (Annexe 4).

En raison des conditions climatiques très atypiques du printemps 2024 (Annexe 5), cette sélection des sites a été revue de nombreuses fois, les niveaux d'eau ayant maintenu les îlots immergés. De plus, la disponibilité de l'habitat étant fortement limitée au début de la période de nidification, certaines colonies se sont installées sur des sites notés comme abandonnés et d'autres colonies ont effectué des dispersions d'échec qui n'est autre qu'un processus continu de sélection de l'habitat, pour certainement retenter des nidifications sur des îlots hors d'eau. Certains sites n'ont pas pu être étudiés non plus, en particulier les sites « vides » situés dans l'Indre-et-Loire, à cause de la crue du mois de juin atteignant des niveaux d'eau très supérieurs à ceux du module (débit hydrologique moyen interannuel d'un cours d'eau). Les sites du département du Cher (18) n'ont pu être étudiés, en raison de ces crues tardives et de grande amplitude. Au final, 14 sites « occupés » et 8 sites « abandonnés » ont pu être diagnostiqués (figure 6 et Annexe 6) et soumis aux protocoles de récoltes des données. Ces successions de crues printanières, phénomène encore inconnu sur le bassin, ont nécessité une perpétuelle adaptation de l'effort d'échantillonnage, en fonction des localisations des colonies et des îlots disponibles.

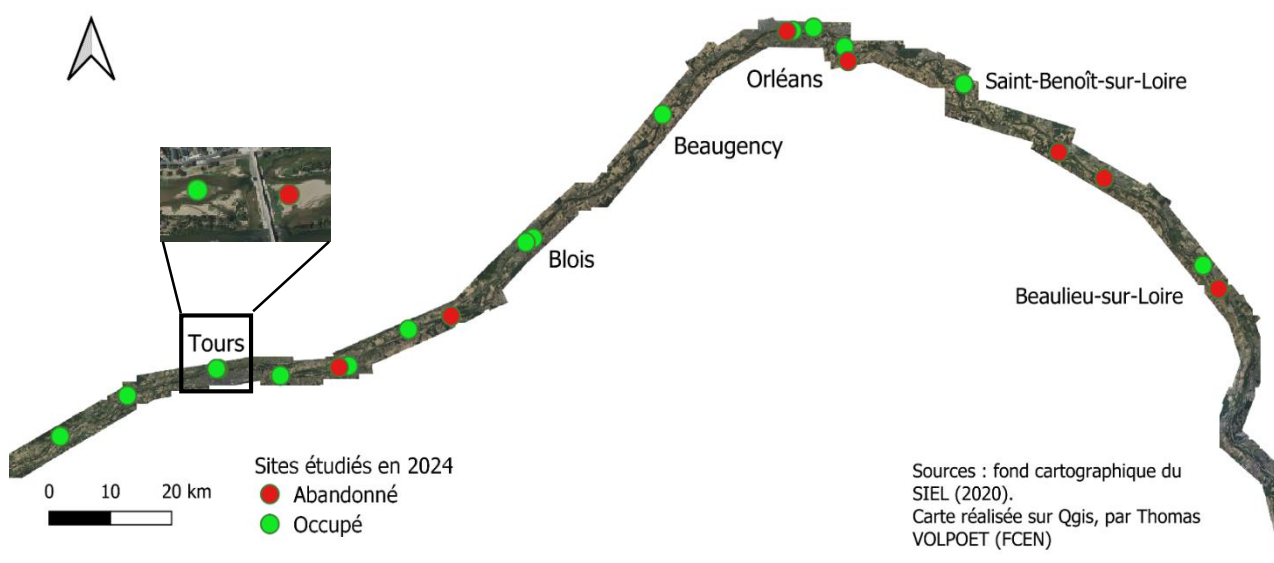


Figure 6 : Localisation des sites étudiés en 2024, sur le tronçon de la Loire moyenne (région Centre-Val de Loire)

2) Les variables étudiées

La sélection des variables s'est basée sur celles ayant le plus d'impacts supposés sur les oiseaux au moment de leur installation et qui influencent donc la sélection de l'habitat, à partir des dires des experts locaux, et combinés aux analyses des variables les plus citées dans les études mentionnées précédemment. A partir des 26 variables d'influence qui sont ressorties dans la synthèse bibliographique, une première sélection de 12 variables a été réalisée. Cependant, en raison des conditions météorologiques très défavorables au printemps 2024 (qui ont généré des

niveaux de Loire très hauts, ne permettant pas la récolte *in situ* de certaines données), cette liste a été revue à plusieurs reprises avec les encadrants du stage, pour n'en garder que 7. Le choix des variables s'est fait selon deux critères : la pertinence de la variable sur un fleuve dynamique tel que la Loire, et la faisabilité de son étude compte tenu des niveaux d'eau du fleuve et du temps disponible. Les variables retenues, puis validées par les encadrants du stage, sont :

- Végétation (hauteur et recouvrement) ;
- Granulométrie de surface ;
- Pente ;
- Longueur et largeur de l'îlot ;
- Superficie de l'îlot ;
- Distance îlot-berge ;
- Localisation de la zone de nidification sur l'îlot.

D'autres informations ont été appréhendées sur le terrain mais n'ont pas été récoltées par un protocole particulier (la présence ou l'absence de prédateurs à proximité des îlots occupés, la forme de l'îlot ou la régularité de l'écotone par exemple). Dans un souci de pertinence intellectuelle, certaines de ces données ne sont pas traitées.

3) Les protocoles

Les variables citées précédemment ont été étudiées à deux échelles différentes. La première est l'échelle inter-îlot et elle concerne l'îlot dans sa totalité. Cette échelle permet d'avoir une vue exhaustive de l'habitat de reproduction des Sternes, à l'échelle du bassin hydrographique puisqu'une vingtaine d'îlots est étudiée. La deuxième échelle, plus fine, correspond à l'environnement immédiat des nids. Pour cela, les variables ont été étudiées dans un cercle d'1,5m de diamètre (Burger et Goshfeld, 1988 ; Saliva et Burger, 1989) centré sur le nid. L'intérêt de travailler à ces deux échelles est de pouvoir comprendre réellement l'effet de chacune des variables, comprendre celle qui entre dans les modalités de sélection des sites par les Sternes au moment de leur installation et d'étudier aussi l'utilisation de l'habitat.

Toutes les informations issues des diagnostics étaient notées sur des fiches de terrain. Un modèle de fiche de recueil de données a donc été produit, affiné, testé sur le terrain et validé par l'équipe encadrante, puis saisies dans une table Excel. Les modèles de la « fiche îlot » et de la « fiche nid » sont présentés en Annexe 7 et 8.

3.a) La végétation

La variable végétation a été séparée en 2 parties : le recouvrement et la hauteur. Le recouvrement à l'échelle inter-îlot est estimé visuellement et est noté en pourcentage en respectant les classes suivantes, (d'après l'échelle de Braun-Blanquet (Braun-Blanquet,

1928)) : 0-10% ; 10-25% ; 25-50% ; 50-75% ; 75-100%. Ces classes sont faciles à estimer visuellement et à distance de l'îlot.

Toujours à la même échelle, la hauteur maximale de la végétation sur l'îlot est notée selon les classes suivantes :

- Hauteur de la végétation arbustive : 0,5 à 2 mètres ; 2 à 4 mètres (Delassus, 2015 modifié par rapport au contexte de l'étude) ;
- Hauteur de la végétation arborée : 4 à 6 mètres ; 6 à 8 mètres ; 8 mètres et plus (Delassus, 2015, modifié par rapport au contexte de l'étude).

Les classes de végétation des strates arbustive et arborée ont dû être adaptées dans le cadre de l'étude. En effet, les classes de strates de végétation sont habituellement définies pour le milieu forestier (Delassus, 2015). Sur des bancs de sable ligérien, les conditions sont totalement différentes. Les arbres supérieurs à 10 mètres sont rares voire inexistants. De plus, à l'échelle d'une Sterne nichant au sol, la strate buissonnante commence le plus souvent à moins d'un mètre et les buissons de saules ou de peupliers ne dépassent généralement pas les 4 mètres. Ces classes sont aussi adaptées en raison du peu de végétation présente sur les îlots utilisés pour la nidification.

Pour le recouvrement de la végétation à l'échelle intra-îlot, les classes sont identiques à celles utilisées pour l'échelle inter-îlot. Pour la hauteur (h) de la végétation, les classes utilisées sont les suivantes : $h = 0$ cm ; h comprise entre 1 et 5 cm ; h comprise entre 5 et 10 cm et h supérieure à 10 cm.

Pour cette variable végétation, il est attendu que les Sternes sélectionnent des îlots présentant peu voire pas de végétation et utilisent un environnement dépourvu de végétation ou de faible hauteur pour installer leur nid. Il est aussi attendu que les Sternes pierregarins soient moins sélectives dans les caractéristiques de l'habitat que les Sternes naines.

3.b) La granulométrie de surface

Le protocole de la granulométrie de surface utilisé dans le cadre de l'étude est le protocole EVHA (Malavoi et Souchon, 1989). Ce protocole permet de qualifier très rapidement le substrat alluvial d'un cours d'eau. On observe le substrat dans un quadrat d'1m² (figure 7) et on évalue visuellement, au moyen d'un gabarit à l'échelle, la taille des éléments (l'échelle granulométrique utilisée est celle de Wentworth, modifiée dans le protocole, Annexe 9).



Figure 7 : Quadrat d'1 m² installé sur du sable fin lors d'un relevé granulométrique à Tours (37). (Photo personnelle)

On utilise un code en 4 ou 6 caractères :

- Type : Bloc (B), Pierre (P), Caillou (C), Gravier (G), Sable (S) ;
- Et sous-type : Fin (F) ou Grossier (G) (sauf pour les Blocs).

Les deux premiers caractères indiquent la classe granulométrique la plus grossière (ex : PG) à condition que ce type occupe au moins 10% de la surface observée. Les deux autres indiquent la classe dominante en surface occupée (ex : PF), le substrat dominant pouvant aussi être le plus grossier (ex : PGPG). Les deux derniers caractères sont utilisés uniquement si deux classes dominantes apparaissent (ex : PGPF CG).

Malheureusement, en raison des niveaux d'eau et des débits particulièrement hauts en avril et mai 2024, il n'a pas été possible d'accéder aux îlots pour réaliser les quadrats. L'étude de la granulométrie a tout de même été réalisée, mais à distance à l'aide d'une longue vue. Il y a donc un biais à prendre en compte dans l'analyse, en particulier à l'échelle intra-îlot, car il était souvent impossible de voir la granulométrie dans le détail et d'en dégager plusieurs classes avec rigueur et certitude. Ici, il est attendu que le sable fin soit la granulométrie prépondérante dans la sélection et l'utilisation de l'habitat. Les Sternes pierregarins pourraient tolérer des classes plus grossières.

3.c) La pente

La pente a été estimée à distance de l'îlot. Une première idée était d'utiliser un Differential Global Positioning System (DGPS). Le DGPS est une version améliorée du GPS qui permet d'obtenir le positionnement horizontal et vertical avec une précision centimétrique. Il est ensuite possible de traduire les points obtenus en un Modèle Numérique de Terrain (MNT) « local » propre à chaque îlot. Cependant, au vu du temps de manipulation et de l'impossibilité de réaliser les mesures *in situ*, cette idée a été abandonnée. C'est finalement les proportions de zones pentues et plates qui ont été notées, en étant positionné à distance de l'îlot. Le recueil de cette donnée a donc dû être adapté, faute d'accès aux îlots. Il est attendu que les Sternes s'installent préférentiellement sur des îlots où la pente est faible et douce.

3.d) Les variables analysées par photo-interprétation

L'accessibilité des îlots étant totalement impossible de mars à juin en raison des niveaux d'eau et donc de la dangerosité pour naviguer en canoë, certaines variables telles que la longueur, la largeur, la superficie et la distance à la berge ont été analysées par photo-interprétation sur le logiciel Qgis (version 3.28.7).

Les orthophotographies sont fournies par le Système d'Informations des Evolutions du Lit de la Loire (SIEL), service rattaché à la DREAL Centre-Val de Loire. Les variables concernées sont les suivantes : la superficie, la largeur, la longueur, et la distance à la berge la plus proche. Ces informations sont très fluctuantes dans le temps et peuvent changer très rapidement puisqu'elles dépendent du débit de la Loire. C'est pourquoi les analyses ont été faites à partir de débits de références qui correspondent au débit mesuré à la station la plus proche de l'îlot concerné, le jour de la visite terrain. Ces débits sont retrouvés à l'aide de l'outil HydroPortail (version 3.1.4.3) du site Eaufrance.fr. Il est attendu que les îlots de grande superficie (Ratcliffe et *al.*, 2008) et proche de la berge ne soient pas sélectionnés par les oiseaux.

4) Analyse diachronique de la végétation

Un second travail a été réalisé en parallèle des diagnostics de terrain. Il s'agit d'une analyse diachronique de l'évolution de la végétation sur les îlots (Gautier et *al.*, 2016). En effet, les îlots ligériens font face à une importante et rapide fermeture par la végétation qui entraîne une réduction des habitats favorables pour les Sternes. Cette analyse, qui repose sur de la télédétection à partir de photos aériennes traitées dans un logiciel SIG (Huylenbroeck et *al.*, 2020) a été réalisée uniquement sur les îlots abandonnés. Ceci permet d'étudier finement l'évolution des surfaces végétales sur les îlots. Ces données surfaciques, couplées aux données d'effectifs antérieurs et à la date d'abandon, permettent d'estimer le seuil critique de recouvrement de la végétation qui entraîne l'abandon par les sternes.

Les données utilisées dans le cadre de cette étude sont les suivantes :

- Liste des sites abandonnés. Cette liste inclut également les sites dits « vides ».
- Données des effectifs antérieurs et date d'abandon de chacun des îlots.
- Orthophotographies couvrant le secteur de la Loire moyenne. Ces images de vue aérienne ont été fournies par la DREAL Centre-Val de Loire via le service du SIEL. Ces données correspondent à deux campagnes de prises de vue : 2015 et 2020. Elles servent de référence à l'étiage pour la Loire et ont une résolution de 50 mètres. Deux liens de flux Web Map Service (WMS) ont aussi été utilisés pour accéder à des orthophotos en ligne, des années 2000 à 2023. Un flux WMS est un service de cartographie en ligne qui permet de fournir des cartes géoréférencées via le web.
- Logiciel de cartographie utilisé est QGIS (version 3.28.7).

En ce qui concerne la méthode de traitement utilisée, il s'agit de la digitalisation, à l'aide de polygones, de toutes les formes de végétation présentes sur les îlots (Annexe 10). Un total de

235 polygones a été réalisé. Pour chacun des îlots, l'évolution a été étudiée sur plusieurs années en utilisant donc plusieurs photos aériennes (1 photo par année). L'année de référence correspondait à l'année à partir de laquelle les Sternes ont abandonné l'îlot. Les autres photos ont été sélectionnées pour étudier la végétation avant et/ou après l'abandon. De préférence, il fallait étudier la végétation pré et post abandon en retenant par exemple 2 années pré-abandon, l'année d'abandon et 2 années post-abandon. Cette sélection aurait permis d'étudier finement l'évolution de la végétation en partant de l'hypothèse qu'il s'agit du facteur déclencheur de l'abandon. Cependant, en raison d'un manque de données sur les effectifs antérieurs, les îlots retenus dans cette analyse sont pour certains abandonnés seulement depuis 2023 et ne permettent donc pas d'étudier la végétation post abandon. Aussi, l'absence de photos sur certains secteurs de la Loire n'a pas permis de sélectionner les années les plus pertinentes sur certains sites. Ainsi, sur les 8 sites répertoriés comme étant abandonnés, seuls 4 ont pu être inclus dans cette analyse.

5) Analyses statistiques

Les analyses ont été réalisées sur deux bases de données distinctes. La première correspond aux données liées aux îlots étudiés avec le critère d'occupation ou d'abandon ; la seconde correspond aux informations prises autour des nids.

Une première étape a consisté à réaliser plusieurs analyses statistiques descriptives. Des comparaisons univariées (Gjerdrum et *al.*, 2005) (Annexe 11) et bivariées ont été faites sur les deux tables de données. Ceci a permis d'avoir une idée assez générale de l'effet de chacune des variables et de détecter d'éventuels liens ou corrélations. Une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) (Annexe 12) a également été réalisée sur le jeu de données des nids pour évaluer ce que les Sternes **utilisent** dans l'habitat. La méthode de l'ACM est une méthode d'analyse des données multidimensionnelles qui permet d'explorer les relations entre plusieurs variables qualitatives en même temps (Baccini, 2010). A partir d'un tableau de données, l'ACM calcule explicitement une série de vecteurs qui représentent les combinaisons de modalités les plus significatives pour chaque variable. Ces vecteurs sont ensuite utilisés pour projeter les individus et les variables sur un plan factoriel, où les distances entre les points reflètent les relations entre les différentes variables (Baccini, 2010).

Ensuite, pour déterminer les facteurs qui influencent la présence des sternes sur un banc de sable spécifique, plusieurs Modèles Linéaires Généralisés binomiaux (GLM) (MacCullagh et Nelder, 1989 ; Ratcliffe et *al.*, 2008 ; Medeiros et *al.*, 2012 ; Maupomé, 2021) ont été construits

pour analyser la base de données comportant les îlots. Les modèles linéaires généralisés sont les plus souvent utilisés pour prédire la présence d'une espèce, et permettent d'étudier la sélection de l'habitat. Il s'agit d'une extension de la régression multiple qui permet d'intégrer des variables de réponses non-normales (variables binomiales dans le cadre de cette étude) (Constantin de Magny et *al.*, 2006 ; Gadenne, 2012). Ils peuvent servir à expliquer l'influence de variables sur une série de valeurs (effectifs par année, répartition de comptages, présence / absence ; Constantin de Magny et *al.* 2006). La variable d'occupation (codée en 0 / 1) est choisie en tant que variable réponse. Les variables explicatives correspondent aux différentes caractéristiques de l'habitat, relevées lors de la période de terrain (Medeiro et *al.*, 2012). Le lien utilisé dans les modèles est la fonction Logit. Cette fonction permet de mettre en relation la probabilité de réalisation (bornée entre 0 et 1), et la combinaison linéaire de variable explicatives. En raison du faible nombre de données par variables (21 seulement), il était délicat de construire des GLM avec plusieurs variables explicatives. C'est pourquoi, les variables ont été testées une par une.

Par la suite, une ANOVA avec un test Chi-carré est appliquée aux déviations de chaque modèle pour tester l'effet principal de chaque facteur. Le test Chi-carré est souvent utilisé dans les GLM pour évaluer l'importance des effets des variables.

Les Odds Ratio (OR) de chacun des modèles sont également calculés et affichés sous la forme de graphique (Annexe 13).

Enfin, le R^2 de McFadden, appelé aussi pseudo- R^2 , a été calculé pour les variables significatives. Le pseudo- R^2 doit s'interpréter en termes de part de déviance et non en termes de part de variance (Chakir et *al.*, 2016). Bien que compris entre 0 et 1 (comme le R^2), des simulations ont montré qu'une valeur autour de 0,3 correspond à une valeur élevée de R^2 (Domencich et McFadden, 1975).

Les packages R utilisés dans ces analyses sont : tidyverse, gtsummary, GGally, cardx, ggplot2, labelled, esquisse, ade4, explor, factoextra et ggiraphExtra. Tous les traitements sont réalisés avec le logiciel Rstudio, sous la version 4.2.2. De plus, le processus de réflexion sur les outils statistiques à choisir a été concerté avec l'équipe encadrante, puis validé.

III) Résultats

1) Utilisation de l'habitat

a) Analyses descriptives bivariées

Sur les 14 sites occupés, les effectifs étaient répartis comme suit : 146 nids de Sterne naine sur 11 sites et 427 nids de Sterne pierregarin sur 12 sites.

La première base de données a été utilisée pour étudier l'utilisation de l'habitat par les Sternes naines et pierregarins. Les variables les plus pertinentes dans cette étude de l'utilisation de l'habitat sont le recouvrement de la végétation, la hauteur de la végétation et la granulométrie.

En premier lieu, la répartition des nids des deux espèces de Sternes en fonction du recouvrement de végétation (figure 8), montre une très nette différence dans l'utilisation de l'habitat. Les Sternes naines ont utilisé presque exclusivement un environnement où le recouvrement de la végétation était de 0 à 10% (134 nids), alors que les Sternes pierregarins ont utilisé tout le gradient de recouvrement disponible, allant de 0-10% à 75-100% de recouvrement autour du nid. Une grande majorité des Sternes pierregarins (213 nids) a tout de même utilisé un environnement dépourvu de végétation pour installer le nid.

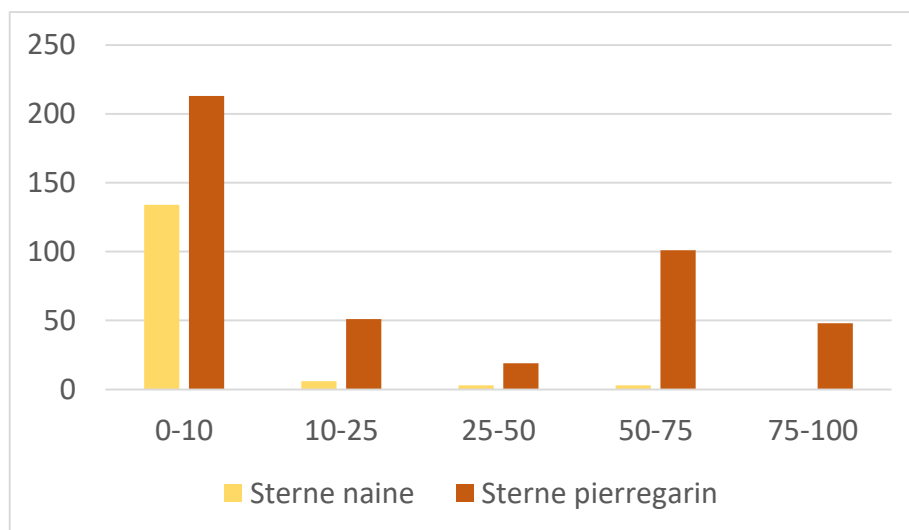


Figure 8 : Répartition des nids de Sternes naines et pierregarins selon le recouvrement de la végétation autour du nid (en %)

En ce qui concerne la hauteur de la végétation autour des nids (figure 9), on peut remarquer la même tendance que précédemment. En effet, les Sternes naines utilisent préférentiellement un environnement où la végétation est absente (119 nids), et vont être bien moins présentes au fur et mesure que la hauteur augmente. Au contraire, les Sternes pierregarins vont quant à elles utiliser un gradient plus large, qui inclut toutes les classes de hauteurs relevées. Elles sont d'ailleurs les seules à utiliser un environnement « fermé » autour du nid, avec une végétation de plus de 10 cm (voire plus de 20 pour certains nids). Cette analyse est symptomatique d'une

espèce plus tolérante à l'évolution de son milieu de nidification, qui fait donc preuve d'une plasticité écologique plus élevée que la Sterne naine.

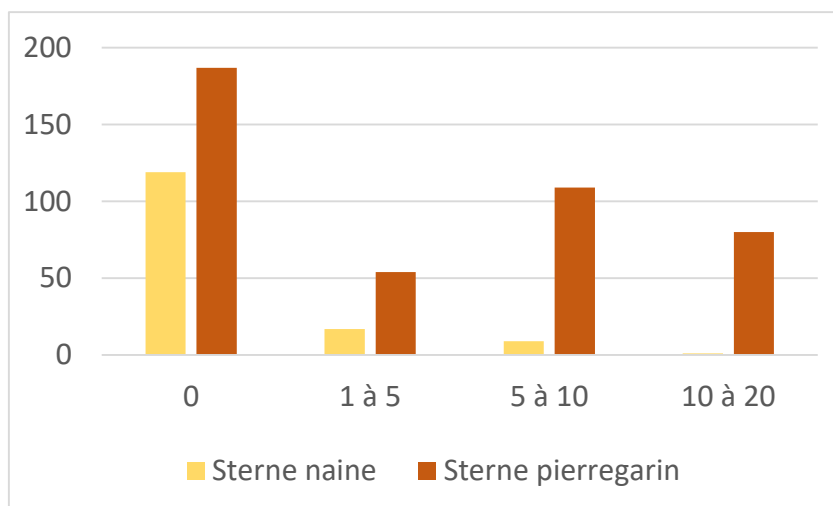


Figure 9 : Répartition des nids de Sternes naines et pierregarins selon la hauteur de la végétation autour du nid (en cm)

Enfin, l'utilisation du gradient de la granulométrie de surface est différente des graphiques précédents et présente une hétérogénéité importante (figure 10). La granulométrie la plus utilisée par les deux espèces est celle composée de « cailloux grossiers (CG) ». La granulométrie « sable fin (SF) » est aussi bien représentée, notamment chez la Sterne pierregarin. Ici, les Sternes naines ont utilisé un gradient plus large que pour la variable végétation et leurs effectifs sont concentrés dans les classes granulométriques les plus grossières.

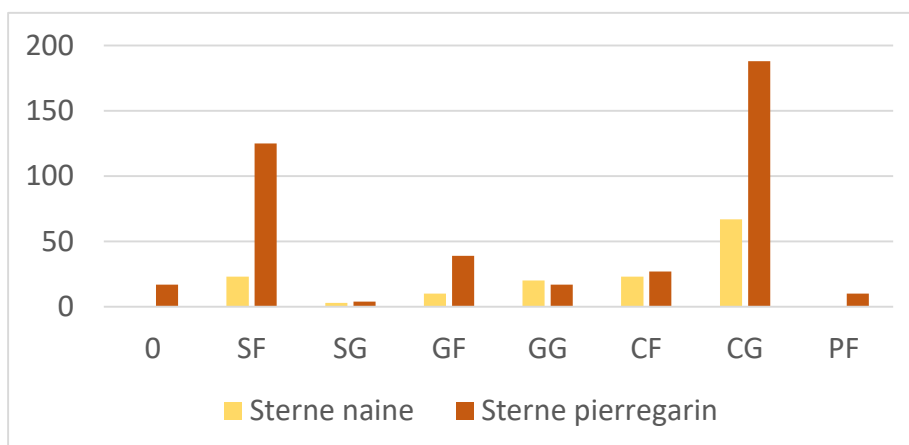


Figure 10 : Répartition des nids de Sternes naines et pierregarins selon la granulométrie de surface. (SF : sable fin ; SG : sable grossier ; GF : gravier fin ; GG : gravier grossier ; CF : cailloux fin ; CG : cailloux grossier ; PF : pierre fine. Il était parfois impossible de déterminer avec certitude la granulométrie en raison d'un couvert végétal trop important autour du nid. Ces nids sont regroupés dans la classe « 0 »)

b) Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Grâce à l'ACM (figure 11), nous remarquons qu'il y a une certaine séparation entre deux types de nids. En effet, les valeurs positives de l'axe 1 correspondent à des nids installés dans une végétation peu dense et basse (classe 1) mais dans une granulométrie très grossière (cailloux,

graviers, pierres). Ils sont localisés sur les parties amont et aval de l'îlot. A l'inverse, les valeurs négatives montrent des nids installés dans une végétation plus abondante mais sur une granulométrie beaucoup plus fine de type sable fin et situés au centre de l'îlot. Le gradient d'utilisation de l'habitat est cependant homogène et les Sternes semblent s'accommoder d'un gradient très large de caractéristiques environnementales dans leur habitat pour nicher.

2) Sélection de l'habitat

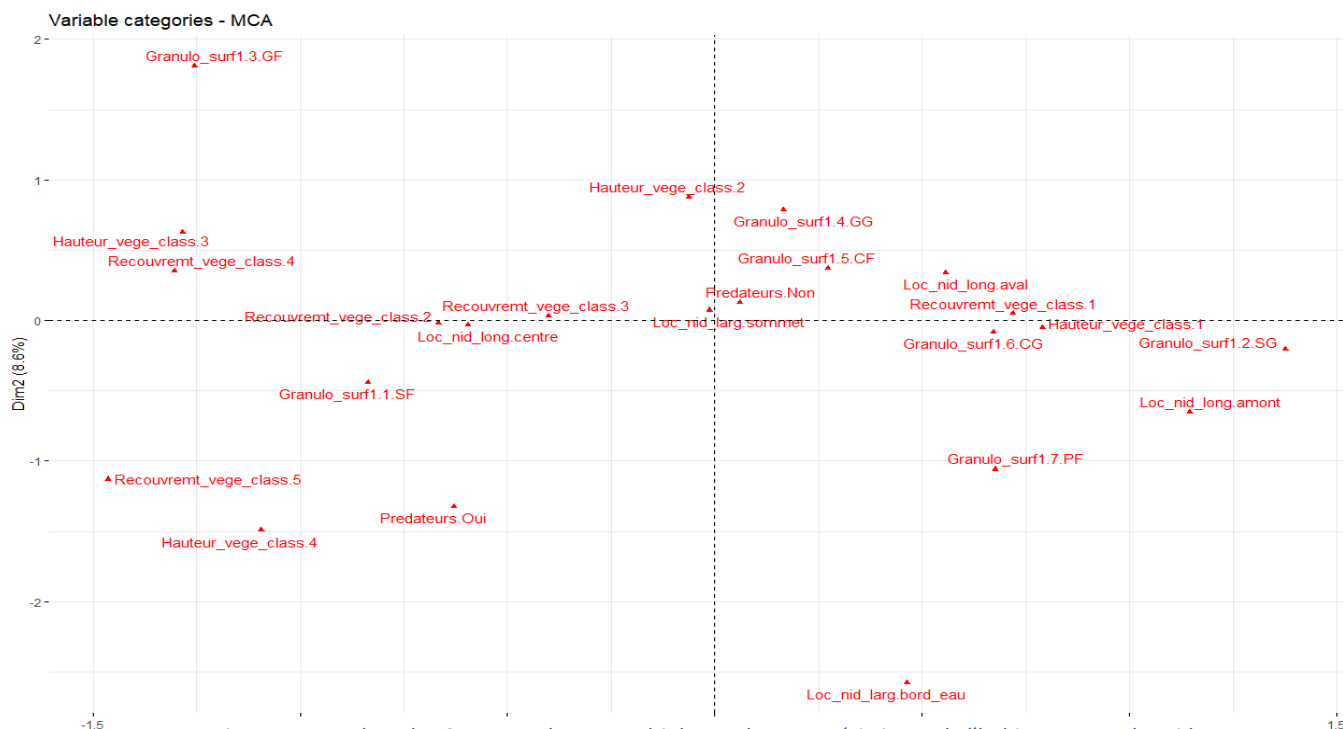


Figure 11 : Analyse des Correspondances Multiples sur les caractéristiques de l'habitat autour des nids

Premièrement, pour la variable végétation, les résultats de l'ANOVA avec un test Chi-carré révèlent une aversion significative du recouvrement de la végétation sur l'occupation ($df = 1$, $p = 0,00201$), ce qui est inférieur au seuil de significativité de 0,05. Autrement dit, plus le recouvrement de la végétation augmente, plus la probabilité que les Sternes occupent l'îlot est faible (figure 12). En effet, la probabilité est très proche de 1 quand le recouvrement est compris entre 0 et 10% et devient quasi nul lorsqu'il est entre 75 et 100%.

Aussi, le pouvoir explicatif du modèle GLM a été évalué avec le calcul du pseudo R^2 , qui s'élève à 0,3418. Cela indique que le modèle explique environ 34,2% de la variance des données.

Une seconde variable ayant aussi un effet négatif significatif sur la probabilité d'occupation est la hauteur de la strate arborée ($df = 1$, $p = 0,004301$). D'après la courbe des prédictions (figure 13), un îlot n'ayant pas de strate arborée (classe 1), a beaucoup plus de chance d'être

occupé qu'un îlot avec des arbres dépassant les 8 mètres (classe 4). Cependant, il y a tout de même 60% de chance que l'îlot soit occupé avec une hauteur d'arbre comprise entre 4 et 6 mètres. Le modèle explique environ 29,2% de la variance des données (pseudo $R^2 = 29,20$).

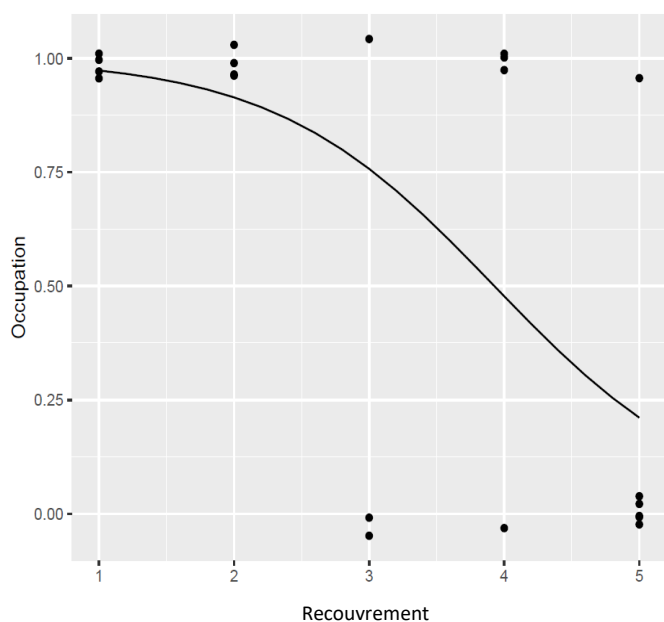


Figure 12 : Graphique des prédictions de l'occupation de l'îlot en fonction du recouvrement de la végétation. (Classe 1 : 0-10% ; classe 2 : 10-25% ; classe 3 : 25-50% ; classe 4 : 50-75% ; classe 5 : 75-100%). Pente de la régression = -1,23

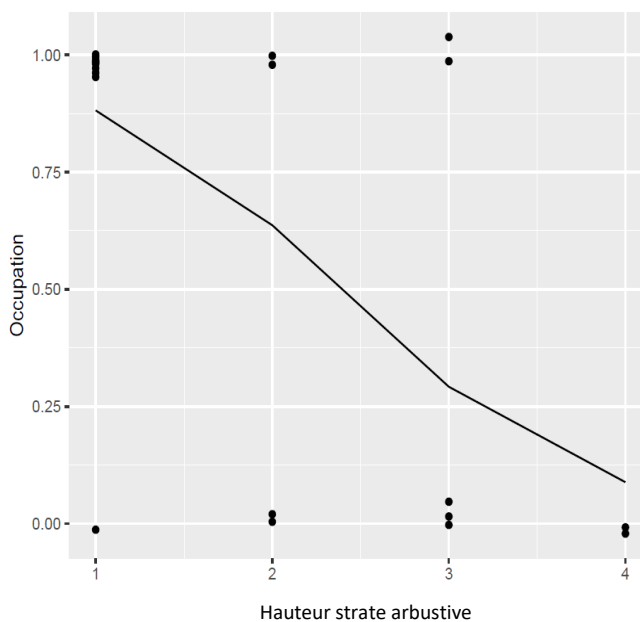


Figure 13 : Graphique des prédictions de l'occupation de l'îlot en fonction de la hauteur de la strate arborée. (Classe 1 : 0m ; classe 2 : 4-6m ; classe 3 : 6-8m ; classe 4 : 8m et plus). Pente de la régression = -1,44

Enfin, pour la variable granulométrie, l'analyse ANOVA montre cette fois-ci un effet positif significatif de la granulométrie sur la variable occupation ($df = 1$, $p = 0,007362$). D'après la courbe des prédictions (figure 14), un îlot a plus de chance d'être occupé par les Sternes si la granulométrie est grossière (type cailloux ou pierre), qu'un îlot avec une granulométrie fine (sable et gravier).

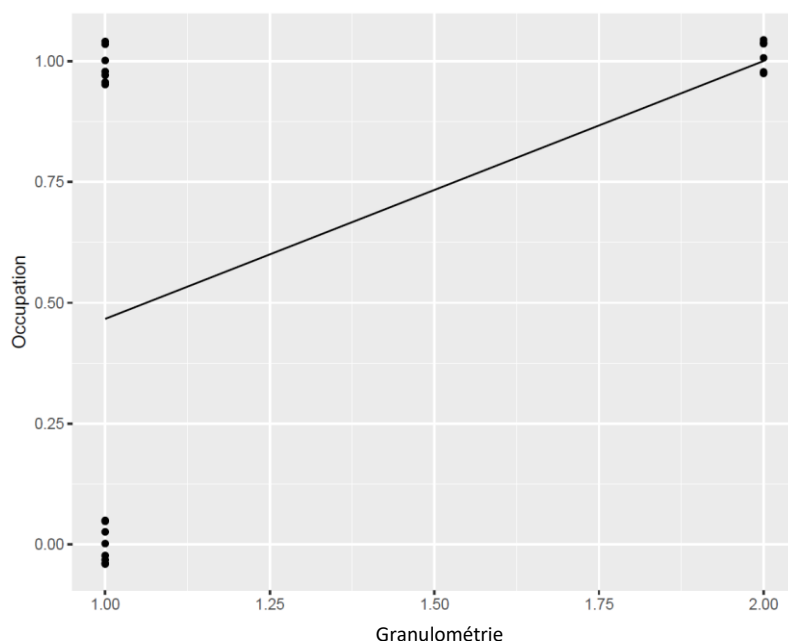


Figure 14 : Graphique des prédictions de l'occupation de l'îlot en fonction de la classe granulométrique. (Classe 1 : sables et graviers ; Classe 2 : cailloux et pierres). Pente de la régression : 18,70

Les analyses ANOVA réalisées sur les variables suivantes : (1) la régularité de l'écotone, (2) la forme de la pente, (3) l'intensité de la pente, (4) la présence ou non de talus, (5) la proportion de pente et (6) la proportion de plat, n'ont pas révélé d'effet significatif sur la probabilité d'occupation de l'îlot (tableau I).

Tableau I : Résultats non significatifs des ANOVA avec un test Chi-carré

Variable	Degré de liberté (Df)	Déviance	Valeur p (p-value)
Régularité de l'écotone	2	2,0167	0,3648
Forme de la pente	1	1,3053	0,2532
Intensité de la pente	1	0,12	0,719
Présence / absence de talus	2	4,0876	0,1295
Proportion de pente	1	0,5857	0,4441
Proportion de plat	1	3,1177	0,07745

1) Analyse diachronique de la végétation

a) Site de La Ronce (commune de Lion-en-Sullias, Loiret)

Le site de La Ronce, d'une superficie totale de 50 144 m², est l'un des sites où l'évolution de la végétation a été la plus importante (figures 15 et 16). En effet, la surface occupée par la végétation passe de 5996 m² en 2006 à 19276 m² en 2020.

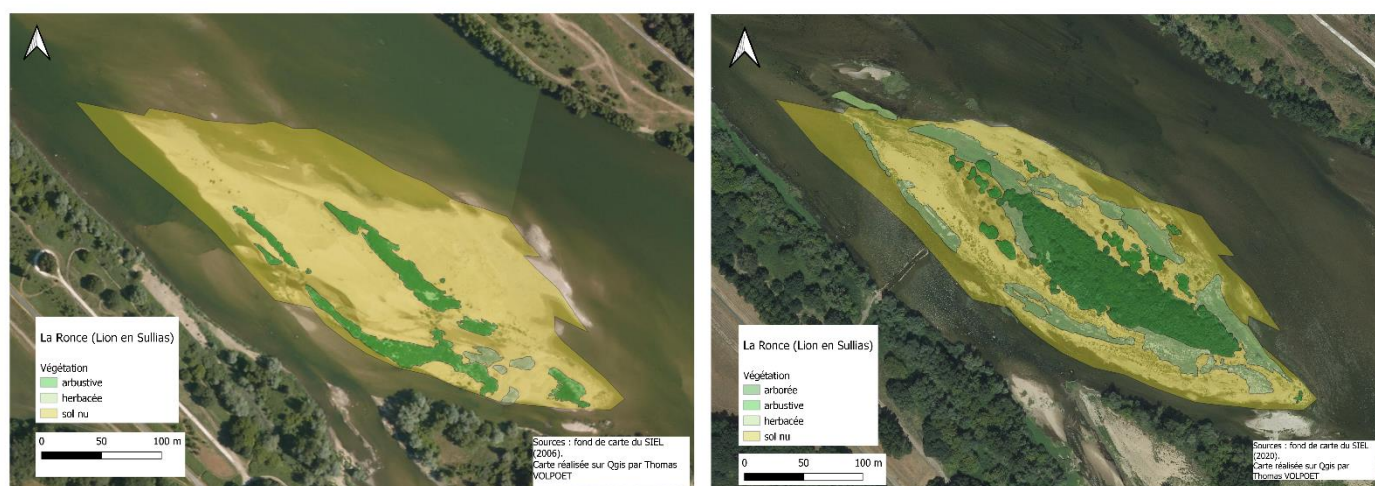


Figure 15 et 16 : Carte des strates de végétation sur le site de La Ronce en 2006 (gauche) et 2020 (droite)

L'îlot a subi deux phases d'évolution de la végétation (figure 17). La première phase s'étend de 2006 à 2013, où il y a un fort développement de la strate herbacée et de la strate arbustive. De 2006 à 2010, une partie de la strate arbustive a évolué en strate arborée (hauteur supérieure à 4 mètres). Cette nouvelle strate, située sur la partie centrale, couvre plus de 18% de l'îlot. En 2013, seule la strate arbustive est présente. Il est difficile de connaître les raisons de cette disparition soudaine de la strate arborée car aucune restauration écologique n'a été faite cette année-là. La deuxième phase d'évolution montre une avancée importante de la strate arborée qui atteint les 17 000 m² en 2015, ce qui représente 36% de l'îlot.

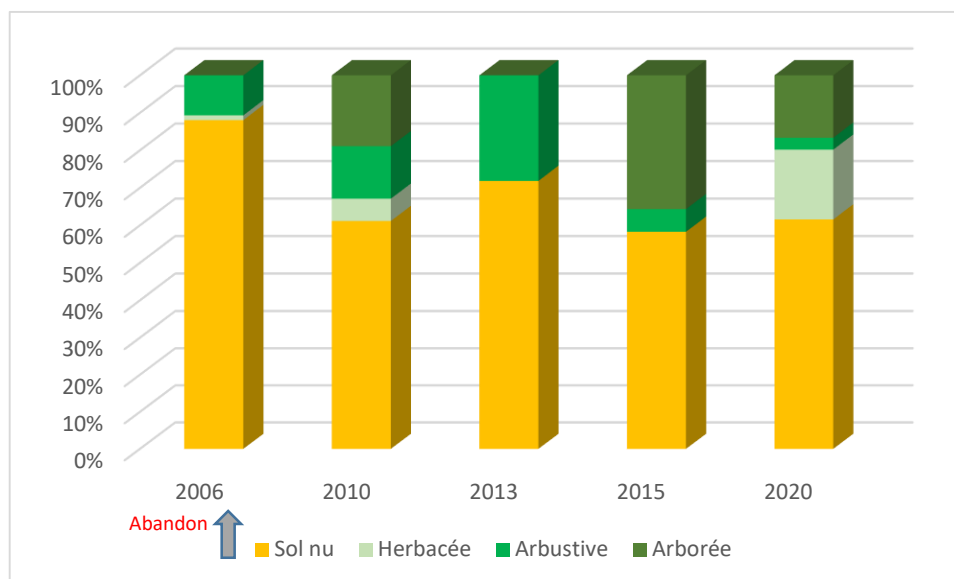


Figure 17 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site de La Ronce entre 2006 et 2020

Des travaux de restauration écologique réalisés en 2019 entraînent une diminution de cette surface arborée, et laissent place à un nouveau développement de la strate herbacée en 2020. D'après les données naturalistes à disposition depuis 2003, l'îlot était particulièrement intéressant pour les Sternes naines, avec 20 couples en 2003 et 2006 et 14 couples en 2005. En 2006, 7 couples de Sterne pierregarin se sont également installés.

b) Site de Port Gallier (commune de Poilly-lez-Gien, Loiret)

Sur le site de Port Gallier, l'évolution de la végétation a été régulière au fil des années (figure 18), contrairement au site de La Ronce. Il y a un développement progressif de la strate herbacée et de la strate arbustive sur toute la période. En 2020, la surface occupée par ces deux strates représentait 24% l'îlot. En 2023, date à laquelle les Sternes abandonnent le site, il y a un développement de la strate arborée, mais qui reste peu étendue puisqu'elle couvre moins de 5% de la surface disponible.

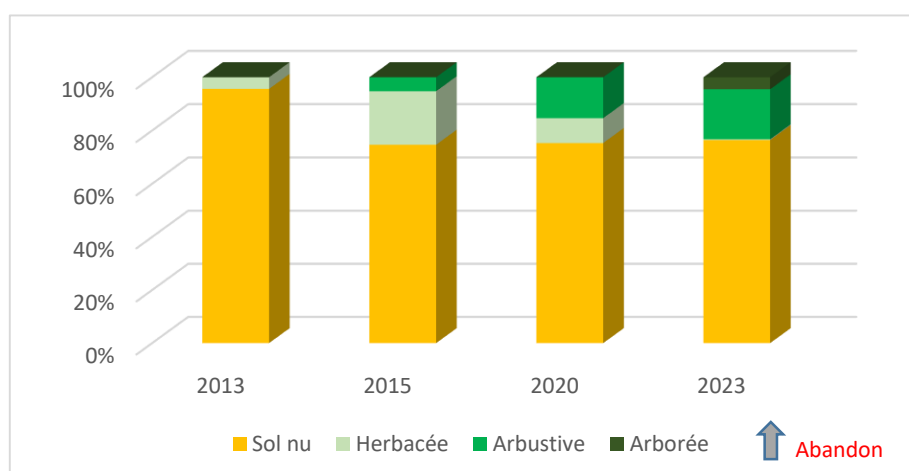


Figure 18 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site de Port Gallier entre 2013 et 2023

La strate arbustive quant à elle entraîne une disparition de la strate herbacée et est encore bien présente.

D'après les données naturalistes à disposition depuis 2003, l'îlot abritait des colonies de petite à moyenne taille (maximum 28 couples nicheurs en 2020). Cependant, l'occupation n'était pas régulière puisque le site n'a abrité aucun couple en 2016 et 2018. Ici, l'espèce la plus abondante était la Sterne pierregarin.

c) Site du Pont Wilson (commune de Tours, Indre-et-Loire)

Tout comme sur le site de Port Gallier, la végétation sur le site du Pont Wilson a évolué de façon régulière dans le temps en ce qui concerne la succession des strates (figure 19). Les deux strates dominantes sont la strate herbacée et la strate arbustive et sont essentiellement concentrées sur la partie Ouest de l'îlot. En 2021 et 2023, qui correspondent aux années sans nidification, la végétation herbacée et arbustive couvrait entre 24 et 26 % de l'îlot.

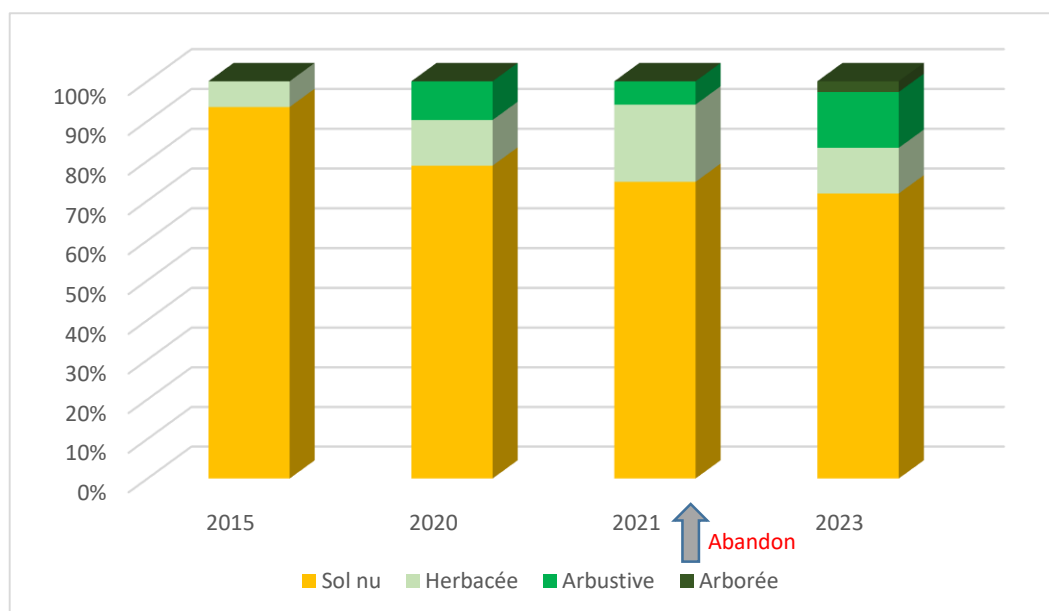


Figure 19 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site du Pont Wilson entre 2015 et 2023

Enfin, sur le site de Chaumont-sur-Loire (figure 20), la végétation appartient presque exclusivement à la strate herbacée. En 2020, elle couvrait près de 30% de l'îlot pour se réduire à 12% en 2022. Cet îlot, bien qu'abandonné depuis 2 ans, ne présente pas une végétation très développée comparée aux autres îlots étudiés.

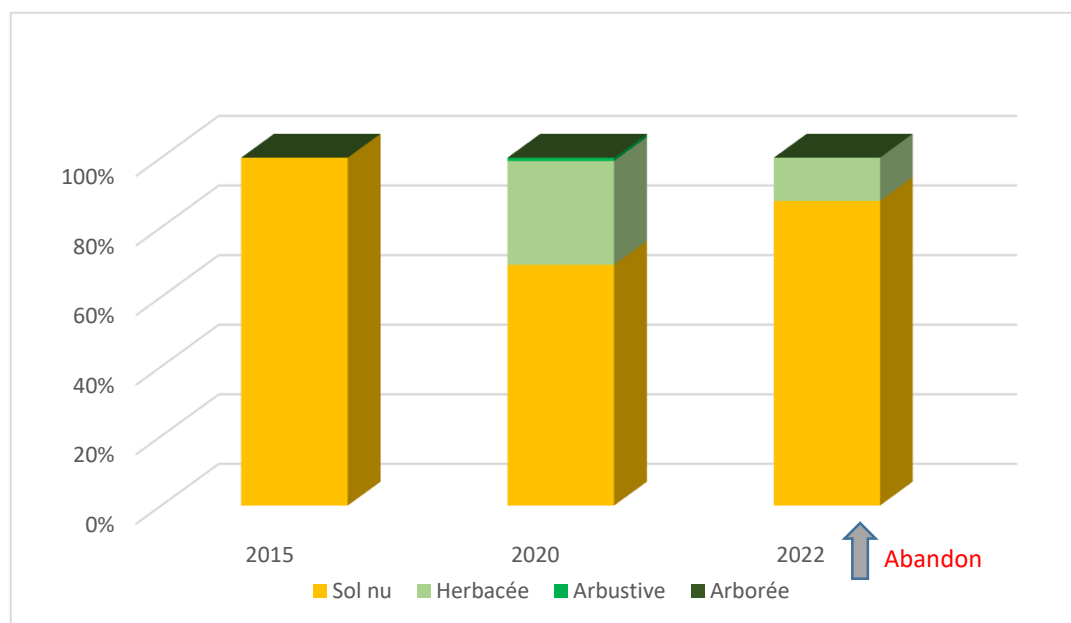


Figure 20 : Evolution de la proportion des strates de végétation par rapport à la surface totale de l'îlot, sur le site de Chaumont-sur-Loire entre 2015 et 2022

Cette analyse réalisée sur 4 îlots de la Loire, montre qu'il existe bien une fermeture du milieu qui ne peut être contredite. Cependant, l'évolution de la végétation et la succession des strates reste différente selon le site. De plus, bien que les îlots soient abandonnées, ils ne font pas face à la même dynamique de végétation ni à la même couverture végétale. On peut donc penser que la végétation n'est pas le principal facteur provoquant l'abandon, notamment sur le site de Chaumont-sur-Loire.

IV) Discussion

La compréhension des mécanismes de sélection de l'habitat est cruciale pour les efforts de conservation des espèces. En effet, pour élaborer des plans de gestion efficaces, il est essentiel de savoir non seulement quels habitats sont utilisés par les espèces, mais aussi pourquoi et comment ces habitats sont sélectionnés (Jones, 2001). Une espèce peut dépendre de conditions spécifiques présentes dans certains types d'habitats, et la perte ou la dégradation de ces habitats pourrait avoir des effets dévastateurs sur les populations. L'étude de l'utilisation et de la sélection de l'habitat chez les oiseaux est une longue tradition (Grinnell 1917 ; Kendeigh, 1945 ; Svardson, 1949 ; Hildén, 1965 ; Block et Brennan, 1993 (Jones, 2001)). Cependant, certains

auteurs ont montré que la première difficulté dans ce genre d'étude est de définir correctement les termes clés et de bien poser le cadre conceptuel.

L'une des principales préoccupations dans les études de sélection de l'habitat est la distinction conceptuelle entre l'utilisation de l'habitat et la sélection de l'habitat. D'après Jones (2001), les ornithologues font preuve d'une certaine incohérence en particulier dans la terminologie des termes utilisés lorsqu'il s'agit de différencier la sélection de l'habitat et l'utilisation de l'habitat en écologie aviaire. Cette différence significative dans la terminologie a nécessité d'être rigoureux sur l'interprétation des résultats présentés dans ce rapport. La distinction entre les deux termes a été un point délicat dans cette étude, car elle n'a été prise en compte qu'après la période de terrain. Les termes doivent être correctement définis au début de l'étude. Cette erreur semble cependant être relativement récurrente en écologie aviaire. En effet, la distinction entre l'utilisation de l'habitat et la sélection de l'habitat est souvent floue (Jones, 2001). L'utilisation de l'habitat fait référence à la manière dont les espèces exploitent les ressources disponibles dans un habitat particulier, tandis que la sélection de l'habitat implique un choix délibéré entre différents habitats en fonction des préférences de l'espèce et des conditions environnementales (Jones, 2001).

De plus, lorsque l'on étudie la sélection de l'habitat au sens strict, il est nécessaire de prendre les coordonnées GPS des nids ainsi que des points aléatoires non occupés (en même nombre) sur le site étudié, afin de réaliser une analyse spatiale. Mais en raison du contexte dans lequel s'est réalisée l'étude cette année, il était impossible d'obtenir des coordonnées précises de chacun des nids. C'est pourquoi il n'a pas été possible d'étudier la sélection de l'habitat à l'échelle la plus fine (micro-habitat).

Un autre point critique dans l'étude de la sélection d'habitat est le critère utilisé pour retenir les sites à étudier. Ici, les sites ont été sélectionnés sur l'unique critère de l'occupation ou de l'abandon par les oiseaux. Cette méthode de sélection mériterait d'être revue et modifiée pour les prochaines études sur la Loire. En effet, plusieurs auteurs se sont intéressés aux différents critères de sélection existants et à leur pertinence scientifique. Les biais de sélection des sites peuvent induire des « fausses alarmes » ou des échecs dans la détection de déclin réels ou d'abandons de sites (McClure et Rolek, 2023). Parmi un des effets observables, il y a l'effet du zéro manquant (Didham et *al.*, 2020 ; McClure et Rolek, 2023). Ce phénomène se produit lorsque les chercheurs surveillent uniquement les sites occupés lors des relevés initiaux (Didham et *al.*, 2020) ou dont on sait historiquement qu'ils étaient occupés. Un tel échantillonnage risque de déclencher de fausses alarmes, car il permet de détecter l'abandon de

sites initialement occupés, mais ignore le potentiel de colonisation de sites initialement inoccupés.

Une méthode fiable est d'étudier les sites en comparant ceux utilisés et ceux disponibles (Jones, 2001). Pour ce faire, de nombreux auteurs ont comparé les caractéristiques des sites de nidification avec les caractéristiques de l'habitat sur des sites aléatoires qui ont été sélectionnés sans référence aux limites du territoire (par exemple, Pampush et Anthony, 1993 ; Linder et Anderson, 1998). Ces habitats choisis aléatoirement correspondent aux habitats disponibles. Ce type de comparaison semble être plus approprié que les comparaisons entre les habitats utilisés et non utilisés (Jones, 2001).

Pour réaliser l'étude présentée dans ce rapport, un travail à plusieurs échelles spatiales a été abordé : échelle paysagère, échelle inter-habitat et échelle intra-habitat. D'après certains auteurs, le fait de travailler à plusieurs échelles est recommandé, et semble même être indispensable dans les études de la sélection de l'habitat. Il existerait en effet une hiérarchie dans la sélection chez les animaux (Owen, 1972).

Le concept d'ordre de sélection a été implicitement reconnu dans la littérature écologique. Johnson (1980) a proposé une hiérarchie en quatre ordres de la sélection de l'habitat (Jones, 2001). Selon ce cadre, le premier ordre de sélection correspond à la sélection de la répartition géographique de l'espèce, le deuxième ordre à la sélection de l'habitat au sein de cette répartition, le troisième ordre à la sélection de l'habitat au sein d'un territoire ou d'une zone de résidence, et le quatrième ordre à la sélection de micro habitats particuliers (Jones, 2001 ; Johnson, 1980). Aussi, la sélection d'habitat mesurée à une seule échelle est souvent insuffisante pour prédire la sélection d'habitat à une autre échelle. En conséquence, les études menées à plusieurs échelles fournissent une caractérisation plus complète des modèles d'utilisation de l'habitat que celles menées à une seule échelle et tendent à expliquer davantage la variation observée (Poizat et Pont, 1996 ; Mayor et al., 2009). Les études menées à une seule échelle peuvent aussi extrapoler de manière incorrecte la sélection pour des caractéristiques particulières à travers les échelles (Wiens, 1989 ; Schneider, 1994 ; Mayor et al., 2009).

En ce qui concerne les résultats sur l'utilisation de l'habitat, on remarque aisément que les Sternes pierregarins utilisent un gradient de caractéristiques bien plus large que les Sternes naines. Elles ont une plasticité écologique plus importante (LPO PACA, 2020). Pour la granulométrie, on remarque un décalage par rapport à ce qui était attendu, avec une forte utilisation du substrat grossier pour les deux espèces. Nous pouvons penser que les zones de substrat plus fin n'étaient pas disponibles au moment de l'installation des oiseaux en raison des niveaux d'eau élevés. Avec l'ACM, nous pouvons remarquer que les nids sont plutôt

homogènes entre eux et qu'ils sont presque identiques, ce qui correspond aux résultats attendus. L'utilisation de l'habitat par les Sternes naines et pierregarins n'est pas particulièrement étudié, ou bien n'est pas précisé comme tel dans les articles (Jones, 2001). Il n'est donc pas évident de comparer nos résultats obtenus avec ceux d'autres études.

Les résultats des tests statistiques montrant un effet significatif du recouvrement de la végétation sur la sélection de l'habitat par les Sternes sont cohérents avec les articles consultés dans la littérature. En effet, les Sternes sélectionnent préférentiellement des îlots dépourvus de végétation ou avec un très faible recouvrement (maximum 30%) (Burger et Goshfeld, 1988 ; Goutner, 1990 ; Fasola et Canova, 1992 ; Mazzocchi et Forys, 2005 ; Ratcliffe *et al.*, 2008 ; Medeiros *et al.*, 2012). Pour Lopes *et al.*, (2015), il existe une relation négative entre le pourcentage de recouvrement de végétation et le nombre de couples reproducteurs de Sterne naine. Ces résultats rejoignent donc ceux trouvés dans cette présente étude.

La hauteur des arbres a également un effet significatif sur la sélection de l'habitat. Par exemple, il a été montré que les Sternes naines s'éloignent de la végétation haute et dense (Medeiros *et al.*, 2012). Cependant, l'effet de la strate arborée en elle-même est très peu étudiée, il est donc difficile de conclure, même si nous pouvons penser que les arbres sont plus susceptibles d'abriter des prédateurs et donc de décourager les Sternes de nicher.

Enfin, la granulométrie, bien que significative dans notre étude, n'est pas en cohérence totale avec la littérature. En effet, les auteurs mentionnent plutôt une sélection de la granulométrie fine (sables et graviers notamment) pour les deux espèces (Goutner, 1990 ; Mazzocchi et Forys, 2005). Cependant, il apparaît dans une étude que les nids de Sternes situés dans un substrat plus grossier ont plus de chance de succès que ceux situés sur du sable fin par exemple (Medeiros *et al.*, 2012).

Il aurait été intéressant de réaliser une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur la base de données contenant les variables des îlots, afin de voir si des variables sont corrélées entre elles et si le jeu de données permet d'obtenir d'autres tendances sur la sélection de l'habitat par les Sternes.

D'après les résultats, les variables telles que la régularité de l'écotone ou la forme de l'îlot n'ont pas montré d'effet significatif sur la sélection. En effet, il semblerait que l'aspect général de l'îlot ait peu d'effet sur la probabilité de nidification des Sternes (Hartman *et al.*, 2016). Cependant, les Sternes sélectionneraient des sites ayant des pentes très faibles et une majorité de zone à plat (Whittingham *et al.*, 2002 ; Mazzocchi et Forys, 2005 ; Hartman *et al.*, 2016).

En raison de l'impossibilité d'aller sur les îlots, les variables superficie, longueur, largeur et distance à la berge ont dû être calculées à la main sur le logiciel Qgis. Or, ces valeurs sont totalement dépendantes des niveaux d'eau et il était difficile d'être précis dans les mesures malgré plusieurs tentatives. C'est pourquoi, par souci de précision et de pertinence scientifique, ces variables n'ont pas été testées dans les modèles de sélection.

L'analyse diachronique de la végétation sur les îlots a été réalisée pour estimer un éventuel seuil limite de recouvrement de la végétation, à partir duquel l'abandon par les oiseaux est inévitable. Cette analyse s'inscrivait au départ dans une analyse paysagère à large échelle, comme il est conseillé de faire lorsque l'on s'intéresse à la sélection de l'habitat (Jones, 2001). Sur le site abandonné de La Ronce, en 2020, la végétation recouvrait 39% de la surface de l'îlot. Cette valeur est proche de celle trouvée dans une autre étude, où les auteurs mentionnent un seuil limite de 30% pour la Sterne naine, plus exigeante en ce qui concerne la végétation (Medeiros et *al.*, 2012). Ce seuil pourrait expliquer l'abandon du site de La Ronce par les Sternes naines. Les valeurs obtenues sur les trois autres îlots traités dans cette analyse n'ont pas permis d'être aussi certain sur l'effet du recouvrement de la végétation. De plus, plusieurs biais sont apparus au cours de cette analyse, ce qui empêche de conclure plus précisément. D'abord, les traitements de digitalisation ont été particulièrement chronophages. Le temps nécessaire n'a pas été estimé correctement, et la totalité des sites abandonnés n'ont pas pu être analysés. A ceci s'ajoute, pour certains sites, l'absence d'informations concernant les effectifs antérieurs. Or, la date de l'abandon et les tailles de colonies pré-abandon étaient nécessaires pour sélectionner au mieux les sites.

D'autres biais concernant les orthophotos utilisées sont ressortis lors de l'analyse. Sur certaines d'entre elles, il était parfois très difficile de différencier la strate arbustive de la strate arborée en raison de la résolution de l'image qui ne permettait pas de zoomer. Il est donc probable que certaines zones de végétations aient été mal interprétées. Enfin, les campagnes de prise de vue aérienne n'étant pas réalisées sur tous les départements chaque année, certains secteurs n'étaient pas couverts. Il n'a donc pas toujours été possible d'étudier certaines années à cause de ce manque de données, même s'il s'agissait d'années très intéressantes d'un point de vue du nombre de couples nicheurs. Enfin, le fait de n'avoir étudié que 4 sites n'a pas permis de tirer les conclusions espérées. Cette question devrait faire l'objet d'une étude à part entière pour pouvoir analyser convenablement les îlots.

Il serait également intéressant d'élargir l'échelle d'analyse en incluant certaines composantes du paysage ligérien, comme les degrés de fermeture du milieu et les hauteurs de ripisylves. De nouvelles analyses plus poussées comme les calculs de métriques paysagères (Eveillard-

Buchoux et *al.*, 2019 ; Pagenaud et *al.*, 2022) pourraient être menées pour comprendre dans quelle mesure le paysage à large échelle peut influencer les Sternes lors de leur arrivée et de leur installation. Parmi ces métriques, on peut par exemple calculer la proportion de la couverture du sol (Proportion of Land Cover), la taille moyenne des taches de végétation (Mean Patch Size), ou l'indice de connectivité fonctionnelle (Functional Connectivity Index).

Afin de tester d'autres modèles de sélection de l'habitat, il aurait été pertinent d'étudier d'autres variables, qu'elles soient environnementales ou propres aux individus. Parmi les 26 variables trouvées dans la littérature, la majorité n'a pu être étudiée en raison de la météo et du temps disponible pour réaliser les diagnostics. On peut penser que la disponibilité en nourriture (Martin, 1986 ; Fasola et Canova, 1991 ; Ratcliffe et *al.*, 2008) ainsi que les dérangements d'origine anthropique (Medeiros et *al.*, 2006 ; Lopes, 2014) jouent un rôle fondamental dans le choix de l'habitat et il serait pertinent d'étudier précisément ces variables dans le futur. Les dérangements liés aux activités humaines sont d'ailleurs particulièrement présents sur la Loire avec par exemple les activités de loisirs tout le long de la saison estivale. Il serait donc pertinent d'étudier cette variable pour comprendre les impacts que peuvent avoir ces activités sur les colonies. De plus, ces variables n'ont encore jamais fait l'objet d'une telle étude dans le lit mineur de la Loire moyenne. Une façon de déterminer l'importance et l'effet des caractéristiques de l'habitat dans la sélection chez les oiseaux est de mener des expériences où les caractéristiques de l'habitat sont manipulées, puis il faut surveiller les réponses des individus à la manipulation (Wiens, 1985, Gochfeld et Burger, 1987).

Une autre variable qui semble jouer un rôle prépondérant est l'attraction sociale entre les individus. Complexe à mettre en œuvre pour une première étude, elle n'a pas pu être évaluée cette année mais les résultats fournis pourraient être pertinents dans le cadre de la conservation des espèces de Sternes à l'échelle du bassin de la Loire. L'attraction sociale (appelée aussi attraction conspécifique) est un caractère selon lequel les animaux s'installent à proximité d'autres membres de leur espèce (Schlossberg et Ward, 2004 ; Swift et *al.*, 2023). Ce comportement est particulièrement visible chez les espèces coloniales, comme les *Laridés* dont les Sternes, où les individus s'installent à proximité les uns des autres, parfois à « portée de bec » (Fasola et Canova, 1992) et évitent de vivre seul (Burger, 1988). Chez ces espèces, les mâles établissent souvent un territoire et s'affichent ensuite pour obtenir une partenaire (Tinbergen, 1960 ; Nisbet, 1973). Les femelles à la recherche d'un partenaire s'installent et s'affichent à côté de mâles solitaires pour déterminer leur intérêt. Ainsi, les mâles et les femelles doivent être attirés par des groupes contenant des oiseaux célibataires, plutôt que seulement des couples, pour augmenter leurs chances de trouver un partenaire (Burger, 1988). De plus, il a été montré que les sternes ont tendance à s'installer sur un site où il y a déjà un grand nombre

d'individus (Burger, 1988), ce qui leur garantit une protection accrue contre les prédateurs (Hamilton, 1971).

Les oiseaux sélectionnent leurs habitats spécifiques grâce à une série de choix à différentes échelles spatiales (Partridge, 1978 ; Cody, 1985 ; Blondel, 1986, Fasola et Canova, 1991). La sélection s'effectue en réponse à certaines caractéristiques, stimuli externes ou « facteurs immédiats » (Fasola et Canova, 1991).

Pour aller plus loin, d'autres auteurs estiment que les biais cognitifs et l'apprentissage qui permettent le codage de l'information spatiale rentrent également en jeu (Beardsworth et *al.*, 2021). La stratégie d'orientation pour la localisation de l'habitat diffère si l'habitat dispose de points de repères visibles ou à l'inverse difficiles à distinguer dans un milieu changeant tel qu'une rivière à fort débit (Beardsworth et *al.*, 2021). Enfin, des traits de caractères comme la fidélité aux sites – appelée philopatrie - (Austin, 1949 ; Palestis, 2014 ; Francesiaz, 2016), la capacité de dispersion (Francesiaz, 2016) ou encore l'allocation en énergie (Ruiz et *al.*, 2000, Nilsson et Råberg, 2001) sont des informations encore très peu étudiées chez les oiseaux marins coloniaux mais qui pourraient expliquer en partie le choix de l'habitat de reproduction.

V) Conclusion

Les oiseaux coloniaux ont une écologie de reproduction singulière, très différente de la majorité des espèces : la vie en groupe. De quelques dizaines à plusieurs centaines d'individus, les oiseaux forment des colonies au moment de la reproduction, nichant parfois à quelques centimètres les uns des autres. Cette vie en groupe, souvent observée chez les oiseaux marins et particulièrement chez les *Laridés*, dont les Sternes font partie, entraîne des coûts et des bénéfices non négligeables. Chez ces oiseaux, la sélection de l'habitat est cruciale car elle garantit le succès reproducteur. La sélection de l'habitat chez les Sternes est très étudiée en écologie aviaire mais reste peu développée en France, à tel point que cette étude est l'une des premières à être mise en place en contexte fluvial.

Bien que les conditions météorologiques de cette année 2024 aient été très défavorables pour la reproduction des Sternes et pour la réalisation des diagnostics, plusieurs variables environnementales ont toutefois pu être étudiées et analysées. Les variables sélectionnées ont toutes été mentionnées dans la littérature scientifique comme ayant un effet important sur la sélection ou non de l'habitat de reproduction des Sternes.

Grâce à cette étude, il a été montré que les Sternes sélectionnaient significativement des îlots avec un (très) faible recouvrement de végétation, avec une strate arborée absente ou peu développée et avec une granulométrie plutôt grossière.

Aussi, les Sternes ont utilisé un large gradient de caractéristiques de l'habitat pour installer leur nid. Les Sternes naines ont utilisé préférentiellement un environnement sans végétation (ou avec une végétation très basse et clairsemée) tandis que les Sternes pierregarins utilisaient tout le gradient de recouvrement (de 0 à 100%) et de hauteur (0 à 20cm). L'utilisation du substrat était quelque peu différente, avec une nette préférence pour un substrat composé de cailloux pour les deux espèces cette fois, suivi par du sable fin. La répartition des nids pour les deux espèces était mixte en ce qui concerne la granulométrie.

De plus, d'après les résultats obtenus avec la première phase de l'analyse diachronique de la végétation sur les îlots, on peut penser qu'un recouvrement de plus de 30% de végétation devient un réel obstacle à l'installation des oiseaux. Ceci corrobore avec la littérature scientifique consultée. Un autre obstacle majeur pourrait également être la présence de strates de végétation hautes (strate arbustive et arborée), qui entraîneraient une impression de fermeture encore plus importante pour les oiseaux. Ces strates sont aussi susceptibles d'abriter des prédateurs, qu'ils soient aériens ou terrestres.

De nombreuses thématiques mériteraient d'être approfondies à l'issue de ce stage, et des techniques innovantes, non perturbatrices pour les espèces, mériteraient d'être testées. Parmi ces nouvelles techniques, il y a par exemple le suivi et l'étude des colonies nicheuses par drone (Sardà-Palomera et *al.*, 2012 ; Chabot et *al.*, 2015 ; Hodgson et *al.*, 2016 ; Rush et *al.*, 2018 ; Mustafa et *al.*, 2018 ; Valle et Scarton, 2018 ; Magness et *al.*, 2019). La dynamique des acteurs mise en place sur le bassin de la Loire pour la préservation de ces espèces emblématiques pourrait être mise à profit pour susciter de nouvelles études sur le sujet.

VI) Bibliographie

- Austin, O. L., 1949. Site tenacity, a behaviour trait of the Common Tern (*Sterna hirundo* Linn.). *Bird Banding* 20: 1-39.
- Baccini, A. 2010. Statistique Descriptive Multidimensionnelle (pour les nuls). Institut de Mathématiques de Toulouse. <https://www.math.univ-toulouse.fr/~baccini/zpedago/asdm.pdf>
- Bachoc, A., Guillou, S., Maman, L., Bacchi, M., Berton, J.-P., et Fauconnier, J.-M., 2002. Restauration et Entretien du lit de la Loire et de ses affluents. Guide méthodologique 1ère partie. PLAN LOIRE GRANDEUR NATURE. Direction Régionale de l'Environnement Centre. Service de Bassin Loire-Bretagne. Décembre 2002
- Beardsworth, C.E., Whiteside, M.A., Laker, P.R., Nathan, R., Orchan, Y., Toledo, S., van Horik, J.O. et Madden, J.R., 2021, Is habitat selection in the wild shaped by individual-level cognitive biases in orientation strategy?. *Ecology Letters*, 24: 751-760. <https://doi.org/10.1111/ele.13694>
- Block, W. M., et Brennan, L. A., 1993. The habitat concept in ornithology: Theory and applications. *Current Ornithology* 11:35-91.
- Blondel, J., 1986 - Biogéographie évolutive. Masson, Paris, 221 pp.
- Boulinier, T., Danchin, E., Monnat, J., Doutrelant C., et Cadiou B., 1996. Timing of Prospecting and the Value of Information in a Colonial Breeding Bird Timing of prospecting and the value of information in a colonial breeding bird. *Journal of Avian ...* 27:252–256.
- Braun-Blanquet J., 1928. Pflanzensozologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Julius Springer Verlag., Berlin, 330p.
- Brown C. R., et M. B. Brown., 1987. Group-living in cliff swallows as an advantage in avoiding predators. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 21:97–107.
- Brown, C. R., and M. B. Brown., 1996. Coloniality in the cliff swallow: the effect of group size on social behavior. University of Chicago Press.
- Burger, J., & Gochfeld, M., 1988. Nest-Site Selection and Temporal Patterns in Habitat Use of Roseate and Common Terns. *The Auk*, 105(3), 433-438. <https://doi.org/10.1093/auk/105.3.433>
- Chabot, D., Craik, S. R., & Bird, D. M., 2015. Population Census of a Large Common Tern Colony with a Small Unmanned Aircraft. *PLOS ONE*, 10(4), e0122588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0122588>
- Chakir, R., Laurent, T., Ruiz-Gazen, A., Thomas-Agnan, C., & Vignes, C., 2017. Prédiction de l'usage des sols sur un zonage régulier à différentes résolutions et à partir de covariables facilement accessibles : *Revue économique*, Vol. 68(3), 435-469. <https://doi.org/10.3917/reco.683.0435>
- Clode, D., 1993. Colonially breeding seabirds: Predators or prey? *Trends in Ecology and Evolution* 8:336–338.

Cody, M. L., 1985. Habitat selection in birds. Academic Press, New York, 558 pp.

Collen, B., Loh, J., Whitmee, S., McRae, L., Amin, R. et Baillie, J. E. M., 2009. Monitoring change in vertebrate abundance : the living planet index. *Conservation Biology : The Journal of the Society for Conservation Biology*, 23(2):317327.

Comolet-Tirman, J., Siblet, J.-P., Witté, I., Cadiou, B., Czajkowski, M. A., Deceuninck, B., Jiguet, F., Landry, P., Quaintenne, G., Roché, J. E., Sarasa, M., & Touroult, J., 2015. Statuts des populations d'oiseaux nicheurs en France. *Alauda Revue internationale d'Ornithologie*, 83(1), 43.

Constantin de Magny, G., Desruisseaux, M., et Petit, M., 2006. Les modèles linéaires généralisés. In *Halieutique et environnement océanique : Le cas de la pêche palangrière à l'espadon depuis l'île de la Réunion* (IRD Editions, Vol. 1, p. 119-171). https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/ed-06-08/010037482.pdf

Cornier T., 2002. La végétation alluviale de la Loire entre le Charolais et l'Anjou : essai de modélisation de l'hydrosystème. Thèse de Doctorat en écologie végétale, Université François Rabelais, Tours, 227 pages.

Danchin E., et R. H. Wagner., 1997. The evolution of coloniality: the emergence of new perspectives. *Trends in Ecology & Evolution* 12:342–347.

Danchin E., L.-A. Giraldeau et R. H. Wagner., 2008. Animal Aggregations: Hypotheses and Controversies. Pages 503–545 *Behavioral Ecology*. Oxford Uni. Oxford.

Delassus L., 2015 - Guide de terrain pour la réalisation des relevés phytosociologiques. Brest : Conservatoire botanique national de Brest, 25 p., annexes (document technique).

Didham, R. K., Basset, Y., Collins, C. M., Leather, S. R., Littlewood, N. A., Menz, M. H. M., Müller, J., Packer, L., Saunders, M. E., Schönrogge, K., Stewart, A. J. A., Yanoviak, S. P., et Hassall, C. (2020). Interpreting insect declines : Seven challenges and a way forward. *Insect Conservation and Diversity*, 13(2), 103-114. <https://doi.org/10.1111/icad.12408>.

Domencich T. A. et McFadden D. [1975]. *Urban Travel Demand-A Behavioral Analysis*. NorthHolland Publishing Co.

Dupuy J., et Sallé L., (coord.) 2022. Atlas des oiseaux migrateurs de France. Vol. 1 : des Phasianidés aux Procellariidés. Vol. 2 : des Ciconiidés aux Emberizidés. Muséum national d'histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze ; LPO, Rochefort, 1122p. (Inventaires & biodiversité ; 21).

Eveillard-Buchoux, M., Beninger, P. G., Chadenas, C., et Sellier, D., 2019. Small-scale natural landscape features and seabird nesting sites : The importance of geodiversity for conservation. *Landscape Ecology*, 34(10), 2295-2306. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00879-8>

Fasola, M., et Canova, L., 1991. Colony site selection by eight species of gulls and terns breeding in the «Valli di Comacchio» (Italy). *Bolletino Di Zoologia*, 58(3), 261-266. <https://doi.org/10.1080/11250009109355763>

Fasola, M., et Canova, L., 1992. Nest Habitat Selection by Eight Syntopic Species of Mediterranean Gulls and Terns. *Colonial Waterbirds*, 15(2), 169. <https://doi.org/10.2307/1521450>

Féral, J., et Tatoni, T., 2011. Érosion de la biodiversité. In Jeandel, C., & Mosseri, R. (Eds.), *Le climat à découvert*. CNRS Éditions. doi :10.4000/books.editions-cnrs.11390.

Forero, A. M. G., J. L. Tella, K. A. Hobson, M. Bertellotti, et G. Blanco., 2002. Conspecific Food Competition Explains Variability in Colony Size: A Test in Magellanic Penguins. *Ecology* 83:3466–3475.

Francesiaz, C., 2016. Sélection d'habitat et dynamique spatio-temporelle des colonies chez deux espèces de laridés : la Mouette rieuse et le Goéland railleur [Thèse]. Université de Montpellier. 406 p.

Francesiaz, C., Farine, D., Laforge, C., Bechet, A., Sadoul, N., Besnard, A., 2017. Familiarity drives social philopatry in an obligate colonial breeder with weak interannual breeding-site fidelity. *Animal Behaviour*, 124, 125-133.

Gadenne, H., 2012. Les effets des changements climatiques et des changements d'usages sur les oiseaux d'eau migrateurs : Une approche mécaniste chez un oiseau emblématique, la Cigogne blanche.

Gautier, E., Grivel, S., Garcia, C., Dépret, T., Virmoux, C., et Brunstein, D., 2016. Analyse comparée de la dynamique des îles fluviales de trois grands cours d'EAU - Lena, napo et loire. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 67, 125-141.

Gjerdrum, C., Elphick, C. S., et Rubega, M. (s. d.). NEST SITE SELECTION AND NESTING SUCCESS IN SALT MARSH BREEDING SPARROWS: THE IMPORTANCE OF NEST HABITAT, TIMING, AND STUDY SITE DIFFERENCES.

Gochfeld M, et Burger J., 1987. Nest-site selection a comparison of Roseate and Common terns (*Sterna dougallii* and *S. hirundo*) in a Long Island, New York colony. *Bird Behav.* 7:58-66.

Goutner, V., 1990. Habitat Selection of Little Terns in the Evros Delta, Greece. *Colonial Waterbirds*, 13(2), 108-114.

Greulich S., Guitton H., et Lacroix, P., 2016. Habitats et végétation de la plaine inondable. In, F. Moatar, & N. Dupont (Eds), *La Loire fluviale et estuarienne - un milieu en évolution* (p. 174-185), Versailles, France: Quae.

Grinnell J., 1917. Field tests of theories concerning distributional control. *American Naturalist* 51:115-128.

Grivel S., 2008. La Loire des îles, du Bec d'Allier à Gien : rythmes d'évolution et enjeux de gestion. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, 517 pages.

Grivel S., Gautier E., 2012. Mise en place des îles fluviales en Loire moyenne, du 19e siècle à aujourd'hui. *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne]. Environnement, Nature, Paysage, article 615, mis en ligne le 24 juillet 2012. URL : <http://cybergeo.revues.org/25451> ; DOI 10.4000/cybergeo.25451

Hamilton W. D., 1971. Geometry for the selfish herd. *J. Theor. Biol.* 31:295-311.

Hartman, C. A., Ackerman, J. T., Takekawa, J. Y., & Herzog, M. P., 2016. Waterbird Nest-Site Selection is Influenced by Neighboring Nests and Island Topography. *The Journal of Wildlife Management*, 80(7), 1267-1279. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21105>

Hildén O., 1965. Habitat selection in birds: A review. *Annales Zoologici Fennici* 2:53-75.

- Hodgson, J. C., Baylis, S. M., Mott, R., Herrod, A., et Clarke, R. H., 2016. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*, 6, 22574.
- Issa, N., & Muller, Y., 2015. Atlas des oiseaux de France métropolitaine : Nidification et présence hivernale (Vols. 1-2). Delachaux et Niestlé.
- Johnson D.H., 1980. The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology* 61:65-71.
- Kendeighs C., 1945. Community selection birds on the Heldenberg Plateau of New York. *Auk* 62: 418-436.
- Kharitonov S. et Siegel-Causey, D., 1988. Colony formation in seabirds. *Current ornithology*.
- Linder K. A., et Anderson S. H., 1998. Nesting habitat of Lewis' Woodpeckers in southeastern Wyoming. *Journal of Field Ornithology* 69:109-116.
- Lopes C., Ramos J.A., et Paiva V.H., 2015. Changes in vegetation cover explain shifts of colony sites by Little Terns (*Sternula albifrons*) in coastal Portugal. *Waterbirds* 38: 260-268.
- Lopes, C. S., 2014. The role of vegetation cover and diet in explaining long-term changes in the breeding population of Little Terns (*Sternula albifrons*) in Ria Formosa, Algarve.
- LPO PACA, 2020. Bilan 2020 du suivi de la colonie de Sternes pierregarins *Sterna hirundo* à l'embouchure du Var (Alpes-Maritimes) (p. 12) [Bilan de suivi scientifique].
- Magness, D. R., Eskelin, T., Laker, M., & Renner, H. M., 2019. Evaluation of small unmanned aerial systems as a census tool for Aleutian Tern *Onychoprion aleuticus* colonies. *Marine Ornithology*, 47, 11-16.
- Malavoi, J. R., & Souchon, Y., 1996. Dynamique fluviale et dynamique écologique. *La Houille Blanche*, 82(6-7), 98-107. <https://doi.org/10.1051/lhb/1996076>
- Marchadour, B., 2022. Observatoire de l'avifaune nicheuse des grèves du bassin de la Loire [Diaporama].
- Martin T. E., 1986. Competition in breeding birds: on the importance of considering processes at the level of the individual. *Curr.Ornithol.* 4: 181-210.
- Maupomé, M., 2021. Etudes des colonies de Sternes du Val d'Allier. Mémoire de Master 2. 64p.
- Mayor S.J., Schneider D.C., Schaefer J.A., Mahoney S.P., 2009. Habitat selection at multiple scales. *Ecoscience* 16:238–247
- Mazzocchi A. B., et Forys E. A., 2005. Nesting Habitat Selection of the Least Tern on the Gulf Coast of Florida.
- McClure, C., et Rolek, B. (2023). Pitfalls arising from site selection bias in population monitoring defy simple heuristics. *Methods in Ecology and Evolution*, 14, 1-11. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.14120>

McCoy, K. D., et T. Boulinier. 2002. Local adaptation of the ectoparasite *Ixodes uriae* to its seabird host. *Evolutionary Ecology Research* 4:441–456.

McCullagh, P., et Nelder, John. A., 1989. *Generalized Linear Model* (2^e, révisée éd., Vol. 37). Chapman & Hall.

Medeiros, R., Ramos, J. A., Pedro, P., et Thomas, R. J., 2012. Reproductive Consequences of Nest Site Selection by Little Terns Breeding on Sandy Beaches. *Waterbirds*, 35(4), 512-524. <https://doi.org/10.1675/063.035.0402>

Mesmin E., Gautier E., Arnaud-Fassetta G., Foucher M., Martins G., et Gob F., 2024. Characterization of periods of high and low hydrological activity in the Loire River, France, between the 14th and mid-19th centuries. *Journal of Hydrology*, vol. 633, pp. 130932.

Milieu Marin France, 2024. Directive Oiseaux. <https://www.milieumarinfrance.fr/directive-oiseaux>

Moller, A. P., 1987. Advantages and disadvantages of coloniality in the swallow, *Hirundo rustica*. *Animal Behaviour* 35:819–832.

Mustafa, O., Barbosa, A., Krause, D. J., Peter, H. U., Vieira, G., & Rümmler, M. C., 2018. State of knowledge: Antarctic wildlife response to unmanned aerial systems. *Polar Biology*, 41, 2387-2398.

Nabet, Grivel S., Gautier E., 2016. Influence of fluvial engineering works and topo-sedimentary response at different hydrological events, the middle Loire River. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, vol. 22, no. 2, pp. 211 – 225.

Nilsson, J. Å., and L. Råberg., 2001. The resting metabolic cost of egg laying and nestling feeding in great tits. *Oecologia* 128:187–192.

Owen, M. 1972. Some factors affecting food intake and selection in white-fronted geese. *Journal of Animal Ecology* 41:79-92.

Pagenaud, A., Ravache, A., Bourgeois, K., Mathivet, M., Bourguet, É., Vidal, É., & Thibault, M., 2022. Nest-site selection and its influence on breeding success in a poorly-known and declining seabird : The Tahiti petrel *Pseudobulweria rostrata*. *PLOS ONE*, 17(4), e0267408. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0267408>

Palestis, B.G., 2014. The role of behavior in tern conservation, *Current Zoology*, Volume 60, Issue 4, Pages 500–514, <https://doi.org/10.1093/czoolo/60.4.500>

Pampush G. J., et Anthony R. G., 1993. Nest success, habitat utilization and nest-site selection of Long-billed Curlews in the Columbia Basin, Oregon. *Condor* 95:957-967.

Partridge, L., 1978. Habitat selection. In: J. R. Krebs et N. B. Davies (eds), *Behavioural ecology an evolutionary approach*. Sunderland, Massachussets, pp. 351-376.

Petit, M., et Huynh, F. (Éds.), 2006. *Halieutique et environnement océanique : Le cas de la pêche palangrière à l'espadon depuis l'île de la Réunion*. IRD Ed.

Pimm S. L., Jenkins C. N., Abell R., Brooks T. M., Gittleman J. L., Joppa L. N., Raven P. H., Roberts C. M. et Sexton J. O., 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*, 344(6187): 1246752.

Poizat, G. et D. Pont, 1996. Multi-scale approach to species–habitat relationships: Juvenile fish in a large river section. *Freshwater Biology*, 36: 611–622.

Ponchon, A., D. Grémillet, B. Doligez, T. Chambert, T. Tveraa, J. González-Solís, et T. Boulinier., 2013. Tracking prospecting movements involved in breeding habitat selection: Insights, pitfalls and perspectives. *Methods in Ecology and Evolution* 4:143–150.

Ratcliffe, N., Schmitt, S., Mayo, A., Tratalos, J., et Drewitt, A., 2008. Colony habitat selection by Little Terns *Sternula albifrons* in East Anglia : Implications for coastal management. *Seabird Journal*, 21, 55-63. <https://doi.org/10.61350/sbj.21.55>

Ruiz, X., L. Jover, V. Pedrocchi, D. Oro, J. González-Solís, X. Ruiz, et D. González-Solís., 2000. How costly is clutch formation in the Audouin’s Gull *Larus audouinii*? *Journal of Avian Biology* 31:567–575.

Rush, G. P., Clarke, L. E., Stone, M., & Wood, M. J., 2018. Can drones count gulls? Minimal disturbance and semiautomated image processing with an unmanned aerial vehicle for colony-nesting seabirds. *Ecology and Evolution*, 8, 12322-12334.

Saliva, J. E., & Burger, J., 1989. Effect of Experimental Manipulation of Vegetation Density on Nest-Site Selection in Sooty Terns. *The Condor*, 91(3), 689. <https://doi.org/10.2307/1368121>

Sardà-Palomera, F., Bota, G., Viñolo, C., Pallarés, O., Sazatornil, V., Brotons, L., Gomáriz, S., & Sarda, F., 2012. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *Ibis*, 154, 177-183.

Schlossberg, S. R., et Ward, M. P., 2004. Using Conspecific Attraction to Conserve Endangered Birds. 21(4).

Sebastián-González, E., J. A. Sánchez-Zapata, and F. Botella. 2010. Agricultural ponds as alternative habitat for waterbirds: Spatial and temporal patterns of abundance and management strategies. *European Journal of Wildlife Research* 56:11–20.

Secrétariat de la Convention sur la diversité biologique (2010) 3ème édition des Perspectives mondiales de la diversité biologique. Montréal, 94 pages.

Serrano D., Oro D., et Ursu E., 2005. Colony Size Selection Determines Adult Survival and Dispersal Preferences : Allee Effects in a Colonial Bird 166.

Siegel-Causey D. et Kharitonov S.P., 1990. The evolution of coloniality. *Current ornithology* 7, 285–330.

Svardson G., 1949. Competition and habitat selection in birds. *Oikos* 1:157-174.

Swift, Rose J., Michael J. Anteau, Kristen S. Ellis, Megan M. Ring, Mark H. Sherfy, et Dustin L. Toy. 2023. “ Conspecific Density and Habitat Quality Affect Breeding Habitat Selection: Support for the Social Attraction Hypothesis.” *Ecosphere* 14(5): e4524. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4524>

Tinbergen N., 1956. On the function of territory in gulls. *Ibis* 98:401-411.

UICN France, 2013. Liste rouge des oiseaux nicheurs de la région Centre. https://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/6-oiseaux-nicheurs_2013_cle047818.pdf

Valle, R., & Scarton, F., 2018. Uso dei droni nel censimento degli uccelli acquatici nidificanti nel Nord Adriatico. Bollettino del Museo di Storia Naturale di Venezia, 69, 69-75.

Wasson J.G, J. Bethemont, J.N. Degorce, B. Dupuis, T. Joliveau. 1993. Approche écosystémique du bassin de la Loire : éléments pour l'élaboration des orientations fondamentales de gestion Phase I : atlas. [Rapport de recherche] irstea, 81 p.

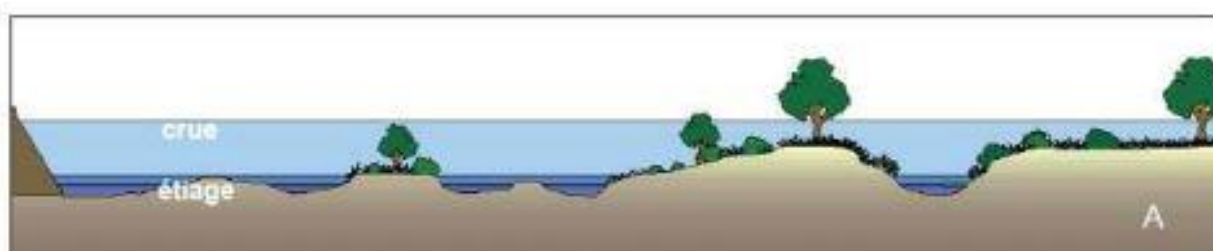
Whittingham, M. J., Percival, S. M. et Brown A. F. 2002. Nest-site selection by golden plover: why do shorebirds avoid nesting on slopes? – J. Avian Biol. 33: 184–190.

Wiens J. A., 1985. Habitat selection in variable environments: shrub-steppe birds, p. 227-25 1. In M.L. Cody [ed.], Habitat selection in birds. Academic Press, New York.

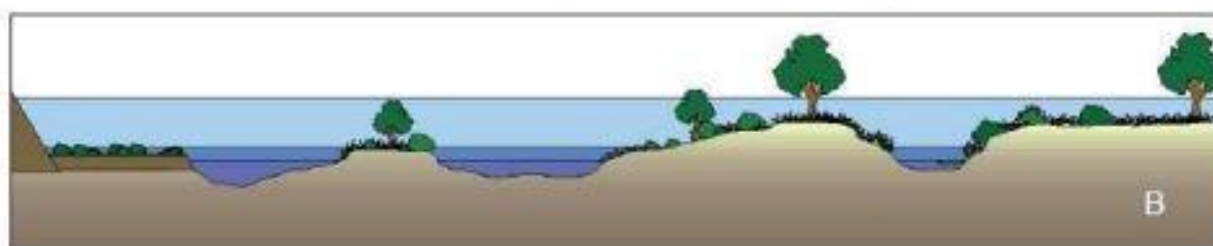
Wiens J., 1989. Spatial scaling in ecology. Funct Ecol 3:385–397

Wittenberger J., et G. Hunt., 1985. The adaptive significance of coloniality in birds. Avian biology.

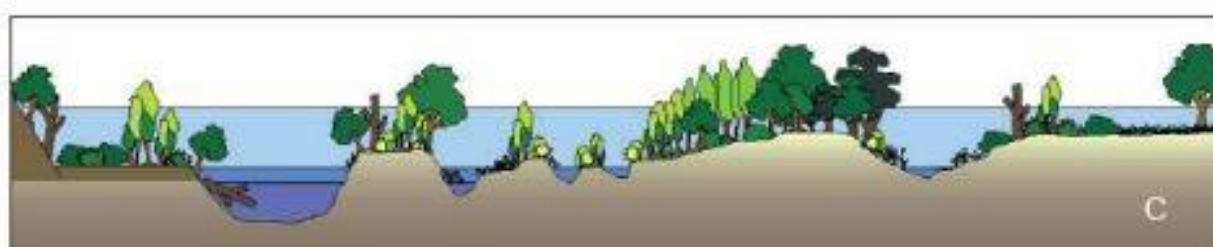
Annexe 1 : Evolution du lit mineur de la Loire (Bachoc et *al.*, 2002)



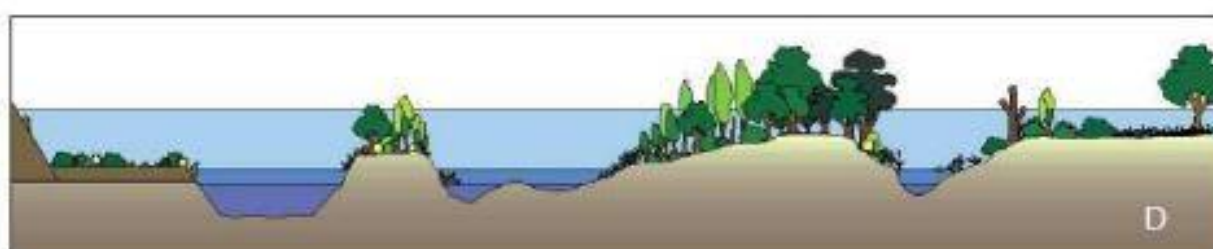
1750 : État du lit avant l'implantation des ouvrages de navigation



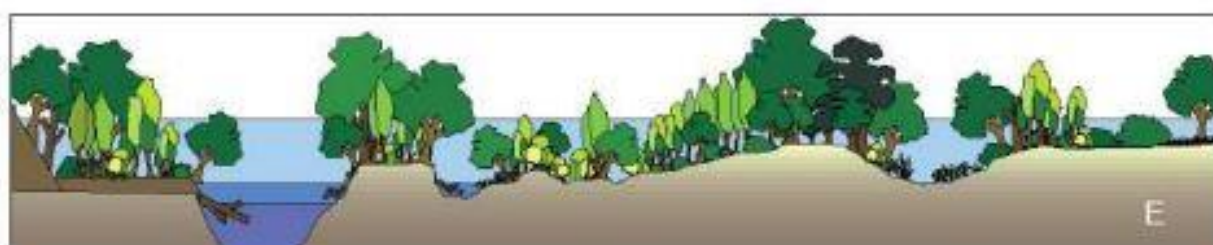
1850 : Implantation des ouvrages destinés à favoriser la navigation



1993 : État du lit de la Loire avant le Plan Loire Grandeur Nature



1998 : Le lit de la Loire après les travaux de restauration et d'entretien



Annexe 2 : Présentation de la Sterne naine (*Sternula albifrons*)

Source de la fiche : Cahiers d'Habitat « Oiseaux » - MEEDDAT- MNHN – Fiche projet

Description de l'espèce : C'est la plus petite des sternes européennes. Elle se distingue principalement chez l'adulte par un bec jaune vif à pointe noire, et par un front blanc, tranchant sur le reste de la calotte noire. Les pattes sont jaune orangé. En vol, l'oiseau se caractérise par sa petitesse et la rapidité de ses battements d'aile, notamment lorsqu'elle fait du



surplace pour pêcher. Aucun dimorphisme sexuel ne permet de distinguer les mâles des femelles.

Comportement : D'ordinaire grégaire, la Sterne naine niche en colonies plus ou moins importantes. Tout au long de son cycle annuel, l'espèce se rencontre en petits groupes allant de quelques individus à quelques centaines (rarement). Les nicheurs reviennent sur les sites de reproduction dès le début du mois d'avril, un peu plus tard dans le nord de la France, et quittent à nouveau ces sites à partir de fin juillet pour rejoindre les zones d'hivernage. Des oiseaux erratiques peuvent s'observer en fin de printemps, et correspondent à des oiseaux ayant échoué leur reproduction.

Reproduction : Le couple est monogame, mais ne semble pas réellement uni au-delà de la période de reproduction. Le nid est une simple excavation creusée dans le sol meuble (sable, graviers), parfois garni de débris végétaux, de cailloux ou de coquillages. Les deux sexes semblent participer à son élaboration, bien que la part de la femelle soit prépondérante. Un à trois œufs, rarement plus, de couleur crème pâle et marqués de noir ou de gris foncé, sont pondus de mi-mai à fin mai, puis incubés pendant une période de 18 à 22 jours. La femelle couve majoritairement au début, mais les deux sexes y participent ensuite également. Les jeunes, semi-nidifuges, restent quelques jours au nid et prennent leur envol au bout d'une vingtaine de jours. Ensuite, les jeunes restent avec les parents environ deux à trois mois, nourris par ces derniers.

Régime alimentaire : Principalement piscivore, la Sterne naine se nourrit parfois également d'invertébrés, notamment des petits crustacés et des insectes. La pêche se déroule après un vol sur place énergique au-dessus de l'eau, suivi d'un plongeon.

Annexe 3 : Présentation de la Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*)

Source de la fiche : Cahiers d'Habitat « Oiseaux » - MEEDDAT- MNHN – Fiche projet

Description de l'espèce : Sterne de taille moyenne, au plumage globalement clair. Chez l'adulte, le manteau et les ailes sont gris clair. Le cou, le ventre et les sous-caudales sont blanc pur. Les rémiges primaires sont grises foncé. Le bec est rouge vif, parfois orangé avec la pointe noire. Les pattes sont rouge orangé chez les adultes, plus claires (rosées) chez les jeunes.



Comportement : Hautement migratrice, la Sterne pierregarin quitte totalement ses sites de reproduction à partir de la mi-août et dans le courant du mois de septembre. Quelques rares observations hivernales sont effectuées chaque année en France. Les premiers migrants arrivent en France de la fin mars au début du mois d'avril. Lors du nourrissage des jeunes, les adultes peuvent effectuer jusqu'à quatre nourrissages par heure pouvant représenter jusqu'à 790 g de proies par jeune jusqu'à l'envol de celui-ci. Les oiseaux ont besoin d'une eau suffisamment claire pour repérer en vol les proies qu'ils capturent lors de plongées en piqués. Les oiseaux se nourrissent principalement dans un rayon de trois à dix kilomètres du site de nidification.

Reproduction : L'espèce est coloniale et grégaire en période de reproduction. Les couples s'installent souvent très près les uns des autres, souvent fidèles à leurs sites de nidification. Le long des fleuves, les couples s'installent presque exclusivement sur les îles de sable plus ou moins colonisées par la végétation. Le nid est généralement constitué d'une simple excavation ou dépression sur le substrat ou plus rarement dans la végétation. De un à trois œufs de couleur crème tachetés de brun gris sont déposés. Les pontes de quatre œufs (de la même femelle) sont très rares, au-delà les œufs surnuméraires sont attribués à la ponte d'une autre femelle dans le même nid. L'incubation commence dès la ponte du dernier œuf.

Régime alimentaire : Essentiellement piscivore, l'espèce se nourrit de poissons (Ablettes, Gardons, etc.) pêchés majoritairement en vol et piqués. Les proies sont capturées en surface, la profondeur des plongées étant en moyenne située entre 20 et 30 cm, mais pouvant atteindre 50 cm de profondeur.

Annexe 4 : Première sélection des sites sur la Loire moyenne

	Nom de l'îlot / Lieu-dit	Commune	Occupation
Loiret	Les Boutrons	Saint Benoît sur Loire	Occupé
	Alboeuf	Bou	Occupé
	Pont Thinat	Orléans	Occupé
	Cabinet Vert	Saint-Jean-de-Braye	Occupé
	Pont Georges V	Orléans	Abandonné
	Pont de Beaugency	Beaugency	Occupé
	Pont de Jargeau	Jargeau	Abandonné
	Les Iles	Bonny sur Loire	Occupé
	Port Gallier	Poilly lez Gien	Abandonné
	La ronce	Lion-en-Sullias	Abandonné
	Ile à Jamot	Beaulieu-sur-Loire	Abandonné
	Le coin tournant	Sandillon	Abandonné
Indre-et-Loire	Le Ponceau	Cinq-Mars-la-Pile	Occupé
	La grande Bretèche	Tours	Occupé
	Ilot de Mosne	Mosne (la Poterie)	Occupé
	Ilots de la Noiraye	Amboise	Occupé
	Pont Wilson	Tours	Abandonné
	Ile du Bourg / de la Bonde	Bréhémont	Occupé
	Le petit Lussault	Nazelle négron	Abandonné
	Ilot Saint Brice 1	Montlouis-sur-Loire	Occupé
	La Grande Maison	Limeray	Vide
	Ilot du Gros Ormeau	Vernou sur Brenne	Vide
	Sans nom	Vouvray	Vide
	Ile aux Boeufs	Chapelle-aux-Naux	Vide
	Sans nom	Berthenay amont	Vide
Loir-et-Cher	Ilot de l'ancien barrage	La Chaussée-Saint-Victor	Occupé
	Ilot des Tuileries	Blois	Occupé
	"Ile aval APPB"	Chaumont-sur-Loire	Abandonné
Cher / Nièvre	Les Buteaux_Léré	Léré	Occupé
	Belleville-Centrale nucléaire	Belleville-sur-Loire	Occupé

Annexe 5 : Bilan climatique du printemps 2024 (Météo France, 2024)



Communiqué
Lundi 3 juin 2024

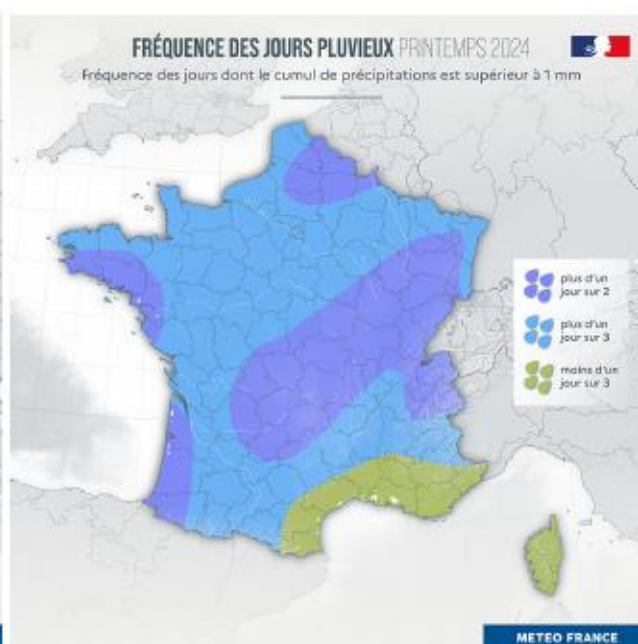
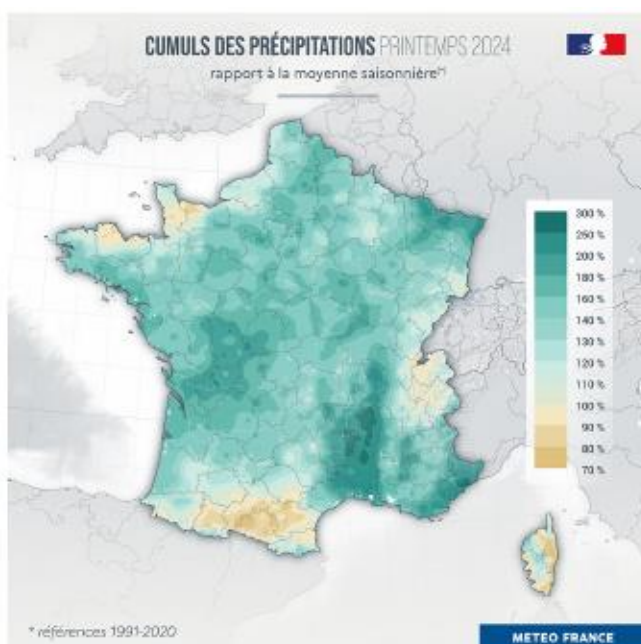
Bilan climatique du printemps 2024 (mars-avril-mai) : le 4^e printemps le plus arrosé jamais enregistré

Ce qu'il faut retenir :

- Le printemps le plus pluvieux depuis 2008 :

De nombreux épisodes pluvieux, souvent abondants, ont concerné le pays au cours des mois de mars, avril et mai. Avec une anomalie de +45 % en précipitations (normales 1991 - 2020), le printemps 2024 se classe au 4^e rang des printemps les plus pluvieux (depuis le début des mesures en 1959), derrière les printemps 2001 (+57 %), 1983 (+52 %) et 2008 (+47 %).

Partout, il a beaucoup plu et souvent, entraînant par endroits des inondations et des coulées de boue (en **Bourgogne**, dans le **Centre-Ouest**, en Lorraine et en Alsace, dans l'Aisne, etc.). Sur le Poitou, les Charentes, le nord de l'Alsace et la Lorraine ainsi que sur les Cévennes ardéchoises ou encore la Côte d'Azur, il est tombé deux fois plus de pluies que la normale. Sur l'ensemble de la saison, il a parfois plu jusqu'à 10 à 15 jours de plus que la normale, à l'exception des régions méditerranéennes et pyrénéennes, et du littoral de la Manche.



- Mars 2024 : un mois marqué par des précipitations très abondantes :

En mars 2024, les précipitations ont été abondantes sur l'ensemble du territoire, plus particulièrement des Cévennes à la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, où de nombreux records de pluviométrie ont été enregistrés. A l'échelle nationale, l'excédent de pluies atteint environ 85% (par rapport aux normales 1991-2020), soit le 5e mois de mars le plus arrosé depuis le début des mesures en 1958. [...]

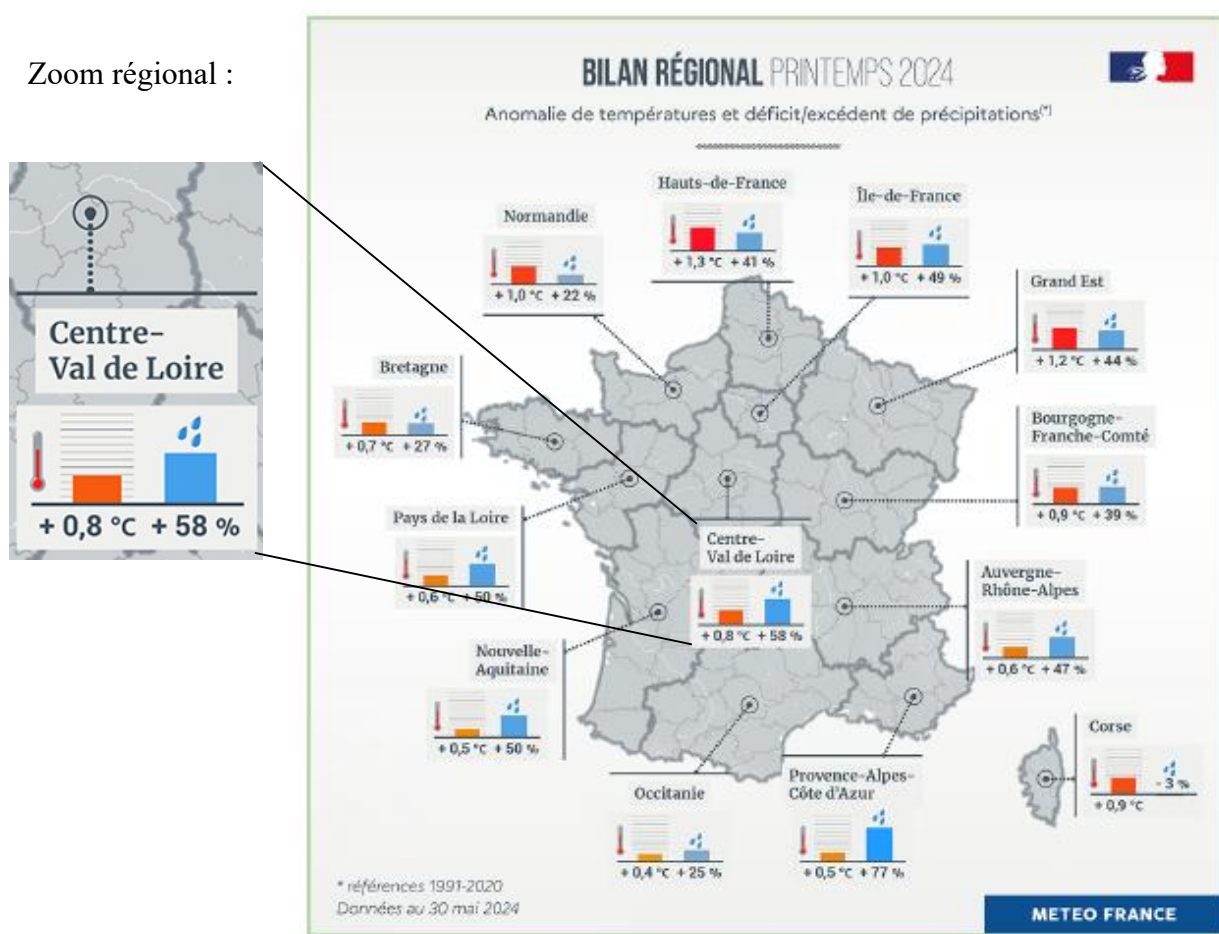
- Avril 2024 : un mois coupé en deux, entre pics de chaleur et épisode de fraîcheur :

Avril 2024 a laissé une impression d'un mois coupé en deux, avec des pics de chaleur précoces pendant les deux premières semaines, suivis d'une baisse très nette des températures et des perturbations successives pendant la seconde quinzaine. [...]

- Mai 2024 : très arrosé et conforme aux normales saisonnières de températures :

Mai 2024 a vu des pluies particulièrement abondantes, avec un excédent de près de 60 % à l'échelle du pays (par rapport aux normales 1991-2020). Il est ainsi le 5e mois de mai le plus pluvieux (128 mm de précipitations à l'échelle du mois et du pays), derrière mai 2013, mai 1981, mai 1983, mai 1984. [...]

Zoom régional :



Document PDF complet en ligne *via* le lien suivant :

<https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/Bilan%20du%20printemps%202024.pdf>

Annexe 6 : Sélection finale des sites étudiés en 2024 sur la Loire moyenne

	Nom de l'îlot / Lieu-dit	Commune	Occupation
Loiret	Les Boutrons	Saint Benoît sur Loire	Occupé
	Alboeuf	Bou	Occupé
	Pont Thinat	Orléans	Occupé
	Cabinet Vert	Saint-Jean-de-Braye	Occupé
	Pont Georges V	Orléans	Abandonné
	Pont de Beaugency	Beaugency	Occupé
	Les Iles	Bonny sur Loire	Occupé
	Port Gallier	Poilly lez Gien	Abandonné
	La ronce	Lion-en-Sullias	Abandonné
	Ile à Jamot	Beaulieu-sur-Loire	Abandonné
	Le coin tournant	Sandillon	Abandonné
	Le Ponceau	Cinq-Mars-la-Pile	Occupé
Indre-et-Loire	La grande Bretèche	Tours	Occupé
	Ilot de Mosne	Mosne (la Poterie)	Occupé
	Ilots de la Noiraye	Amboise	Occupé
	Pont Wilson	Tours	Abandonné
	Ile du Bourg / de la Bonde	Bréhémont	Occupé
	Le petit Lussault	Nazelle négron	Abandonné
	Ilot Saint Brice 1	Montlouis-sur-Loire	Occupé
	Ilot de l'ancien barrage	La Chaussée-Saint-Victor	Occupé
Loir-et-Cher	Ilot des Tuileries	Blois	Occupé
	"Ile aval APPB"	Chaumont-sur-Loire	Abandonné

Annexe 7 : Exemple de fiche terrain « îlot », utilisé pour les diagnostics

Fiche terrain de relevés naturalistes - Caractéristiques physiques des bancs de sables de la Loire			
Version 2024			
Département			Observateurs :
Commune			Date et heure :
Nom de l'îlot			Coordonnées GPS :
(Code de l'îlot)			N°photo(s) :
Variable	Echelle	Unité / indicateur	Donnée brute
Recouvrement de la végétation	Echelle : îlot	En %	0 à 10 / 10 à 25 / 25 à 50 / 50 à 75 / 75 à 100%
Proportion de la strate arbustive	Echelle : îlot	En %	
<u>Hauteur</u> maximale de la strate arbustive	Echelle : îlot	En mètre	0,5 à 2 / 2 à 4 mètres
Proportion de la strate arborée	Echelle : îlot	En %	
<u>Hauteur</u> maximale de la strate arborée	Echelle : îlot	En mètre	4 à 6 / 6 à 8 / 8m et +
Type de végétation basse	Echelle : îlot	Famille / taxon	
Type végétation buissonnante	Echelle : îlot	Famille / taxon	
Granulométrie de surface	Echelle : îlot	Code EVHA	
Superficie	Echelle : îlot	m²	
Longueur	Echelle : îlot	mètre	
Largeur	Echelle : îlot	mètre	
Forme générale de l'îlot	Echelle : îlot	rond, rectangle, oval, etc.	
Régularité de l'écotone	Echelle : îlot	pas découpé, très découpé	
Forme de la pente	Echelle : îlot	régulière, irrégulière, talus, pente forte, pente faible	
Relief	Echelle : îlot	% pente - % plat	
Distance îlot-berge	Echelle : îlot	m	

Remarques (colonies mixtes, autres espèces présentes, etc.) :

Annexe 8 : Exemple de fiche terrain « nids », utilisé pour les diagnostics

Variable	Echelle	Unité / indicateur	Donnée brute
Espèce observée	Echelle : nid		
Recouvrement de la végétation	Echelle : 1,5m autour du nid	En %	0 à 10 / 10 à 25 / 25 à 50 / 50 à 75 / 75 à 100%
Hauteur de la végétation	Echelle : 1,5m autour du nid	En centimètre	0 cm / 1 à 5 cm / 5 à 10 cm / 10 cm et +
Type de végétation basse	Echelle : 1,5m autour du nid	Famille / taxon	
Type végétation buissonnante	Echelle : 1,5m autour du nid	Famille / taxon	
Granulométrie de surface	Echelle : 1,5m autour du nid	Code EVHA	
Localisation du nid	Echelle : nid	Où se situe le nid sur l'îlot ? Ex : tête, queue, nord, sud, etc. Noter en longueur et largeur	
Prédateurs potentiels	Echelle : nid	<u>Présence</u> ou <u>absence</u> de goélands ou de cygnes nichant à proximité	

Variable	Echelle	Unité / indicateur	Donnée brute
Espèce observée	Echelle : nid		
Recouvrement de la végétation	Echelle : 1,5m autour du nid	En %	0 à 10 / 10 à 25 / 25 à 50 / 50 à 75 / 75 à 100%
Hauteur de la végétation	Echelle : 1,5m autour du nid	En centimètre	0 cm / 1 à 5 cm / 5 à 10 cm / 10 cm et +
Type de végétation basse	Echelle : 1,5m autour du nid	Famille / taxon	
Type végétation buissonnante	Echelle : 1,5m autour du nid	Famille / taxon	
Granulométrie de surface	Echelle : 1,5m autour du nid	Code EVHA	
Localisation du nid	Echelle : nid	Où se situe le nid sur l'îlot ? Ex : tête, queue, nord, sud, etc. Noter en longueur et largeur	
Prédateurs potentiels	Echelle : nid	<u>Présence</u> ou <u>absence</u> de goélands ou de cygnes nichant à proximité	

Annexe 9 : Echelle de Wentworth (originale et modifiée)

Echelle de Wentworth originale :

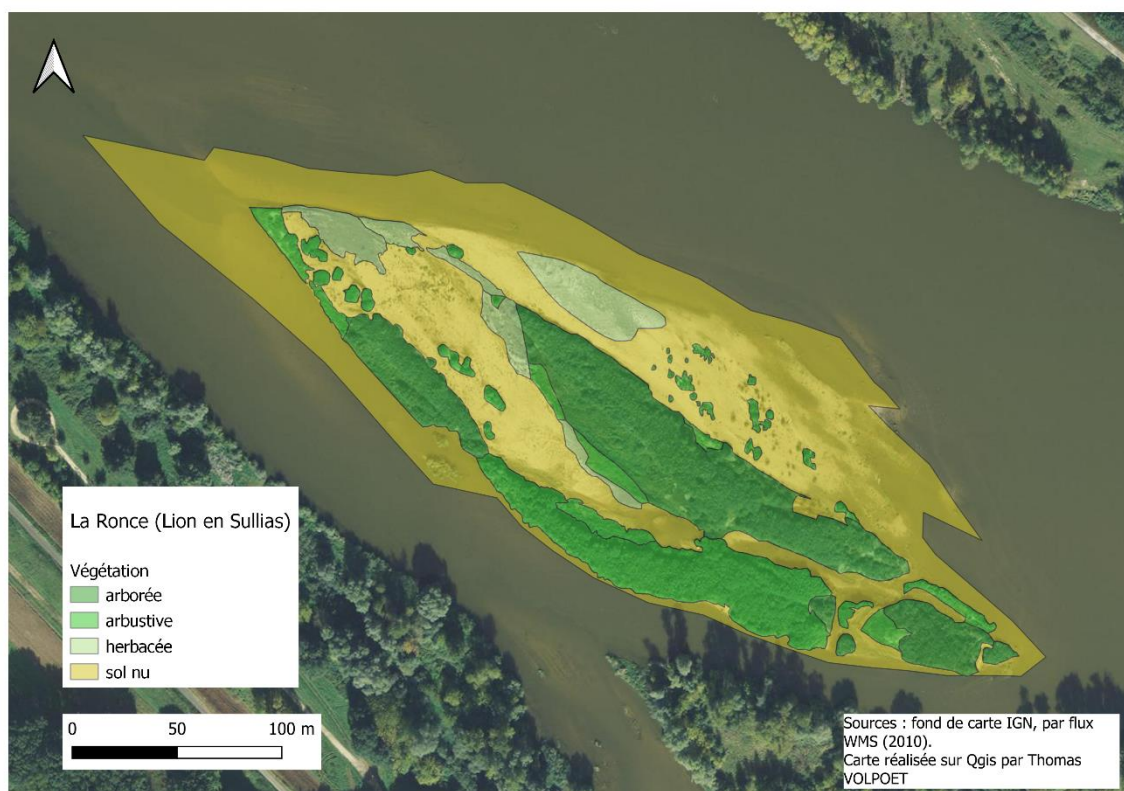
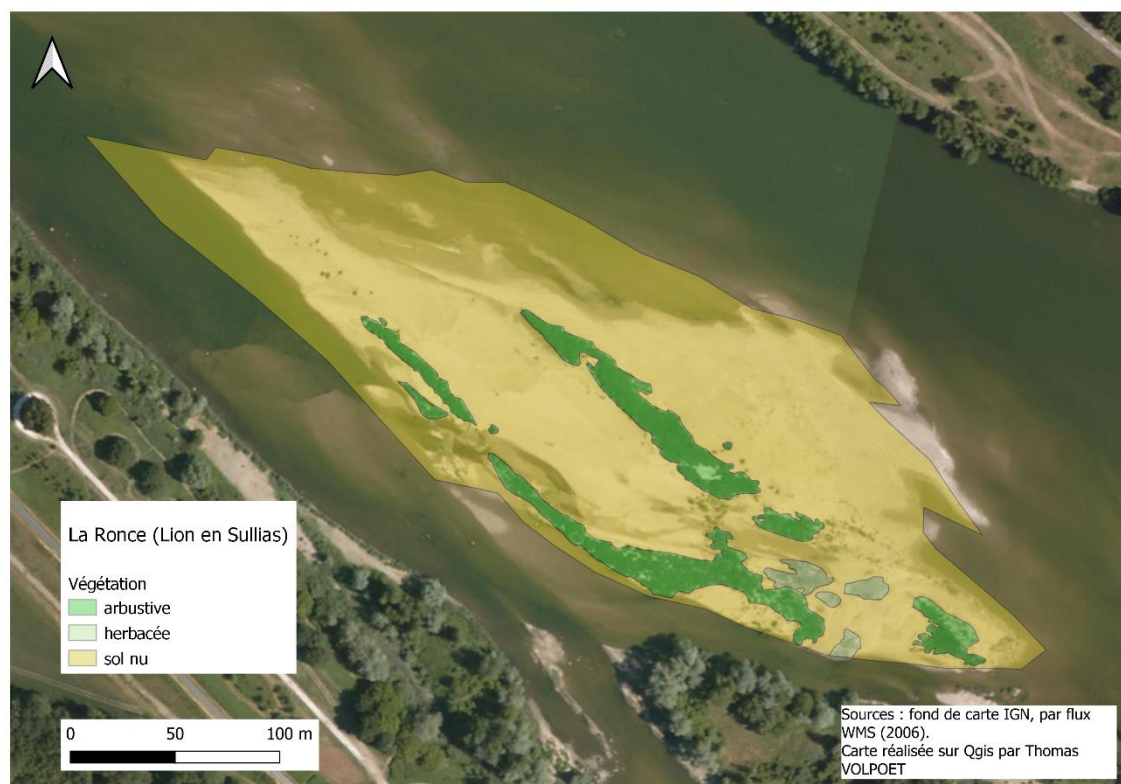
Classe de taille de Wentworth	Diamètre en mm
Blocs	256-4096
Pierres	64-256
Cailloux	4-64
Graviers	2-4
Sables très grossiers	1-2
Sables grossiers	0,5-1
Sables moyens	0,25-0,5
Sables fins	0,125-0,25
Sables très fins	0,0625-0,125
Limons grossiers	0,031-0,0625
Limons moyens	0,0156-0,031
Limons très fins	0,0039-0,0078
Argile	0,00006-0,0039

Echelle de Wentworth modifiée dans le cadre du protocole EVHA de Malavoi et Souchon (1989) :

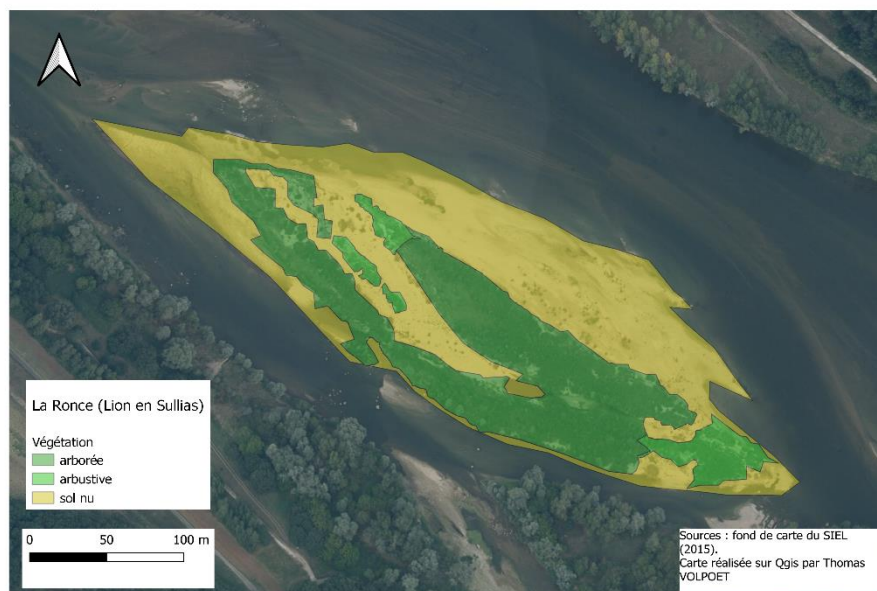
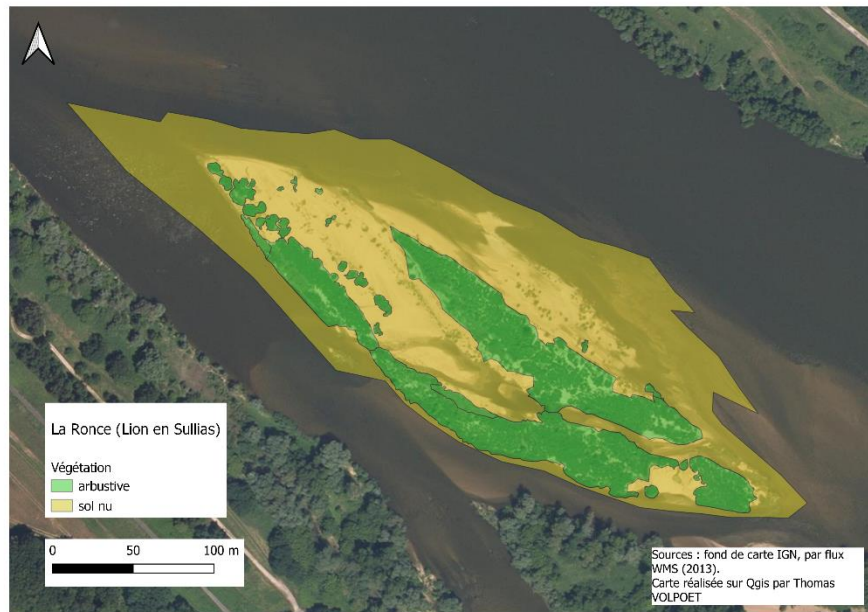
Nom de la classe granulométrique	Diamètre en mm perpendiculaire au plus grand axe	Code utilisé
Rochers	> 1024	R
Blocs	256-1024	B
Pierres Grossières	128-256	PG
Pierres Fines	64-128	PF
Cailloux Grossiers	32-64	CG
Cailloux Fins	16-32	CF
Graviers Grossiers	8-16	GG
Graviers Fins	2-8	GF
Sables Grossiers	0,5-2	SG
Sables Fins	0,0625-0,5	SF
Limons	0,0039-0,0625	L
Argiles	< 0,0039	A

Annexe 10 : Cartes issues de l'analyse diachronique de la végétation sur 4 îlots abandonnés

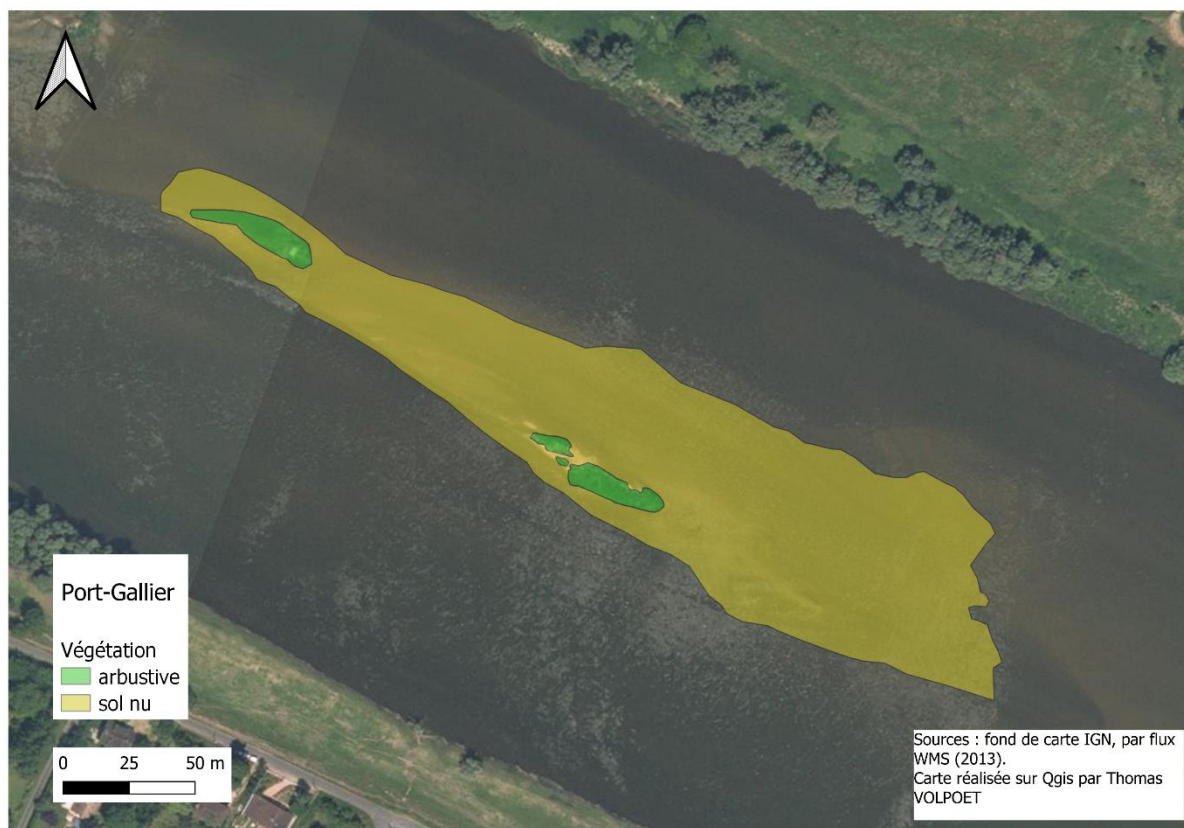
1) Site de La Ronce (Lion-en-Sullias) : 2006 – 2010



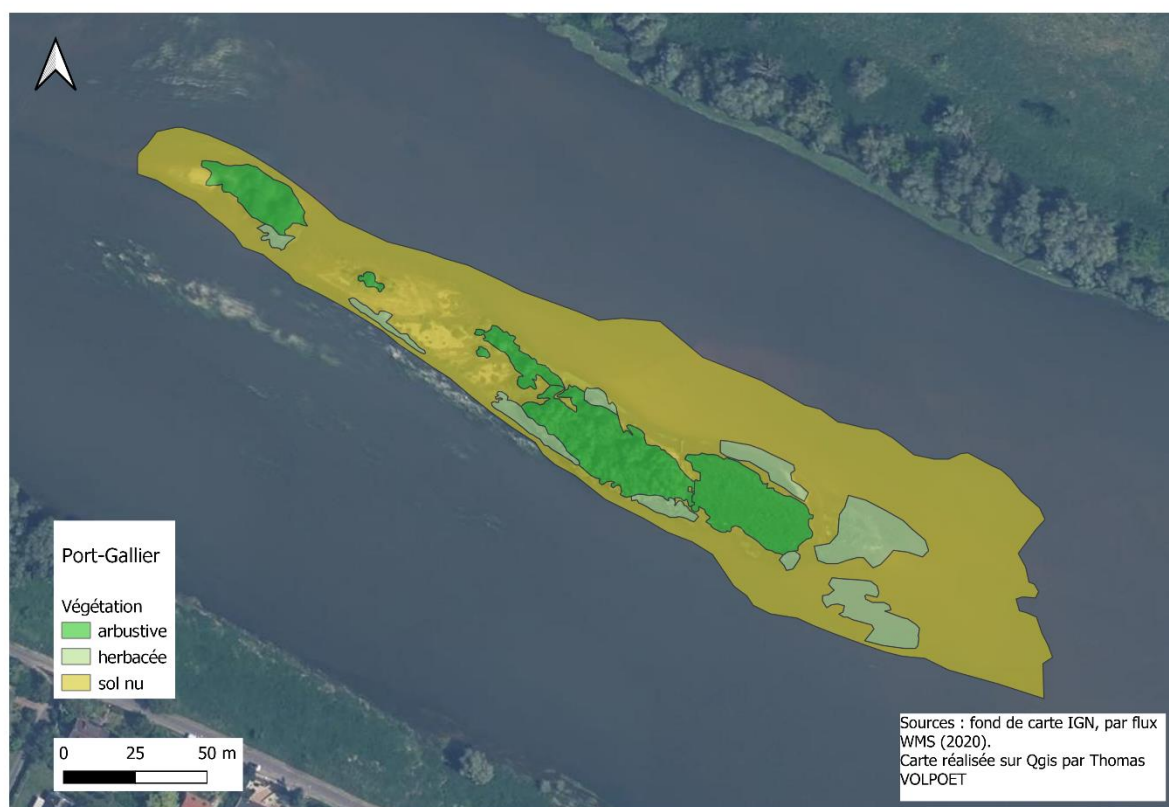
2) Site de La Ronce (Lion-en-Sullias) 2013 – 2015 - 2020



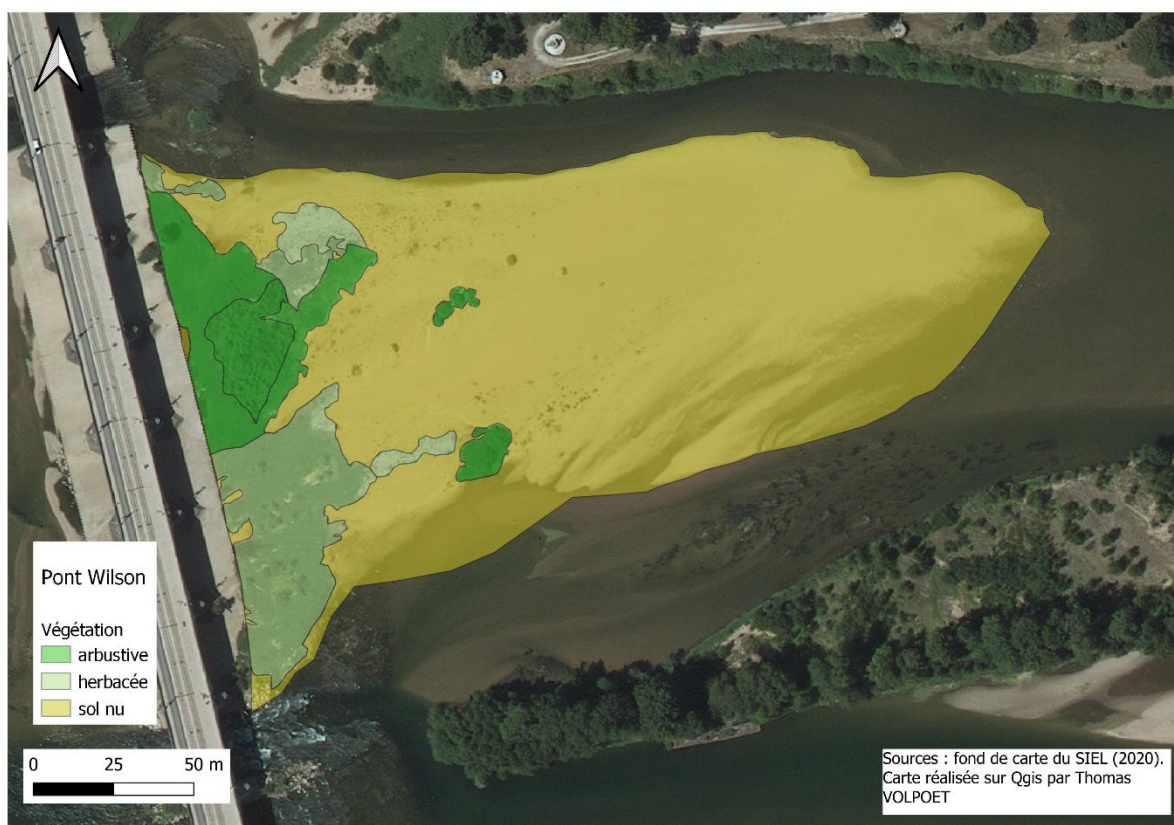
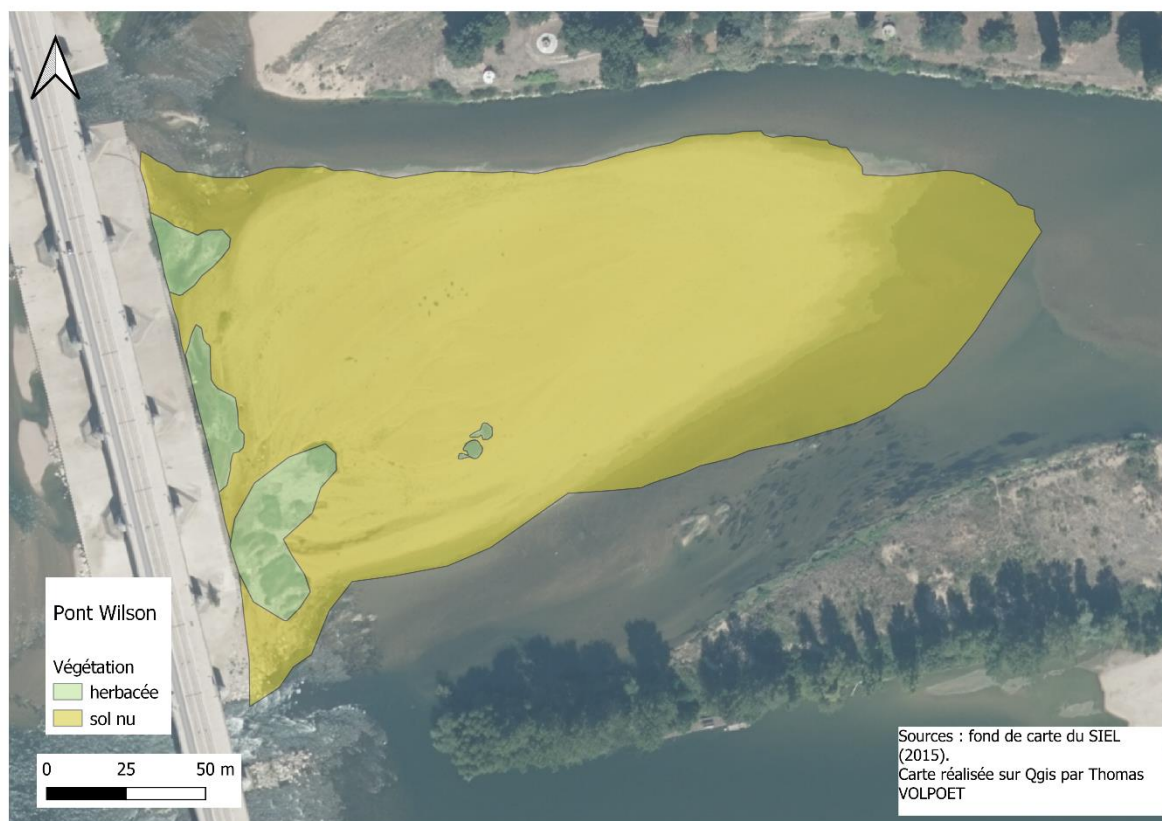
3) Site de Port Gallier (Poilly-lez-Gien) 2013 – 2015



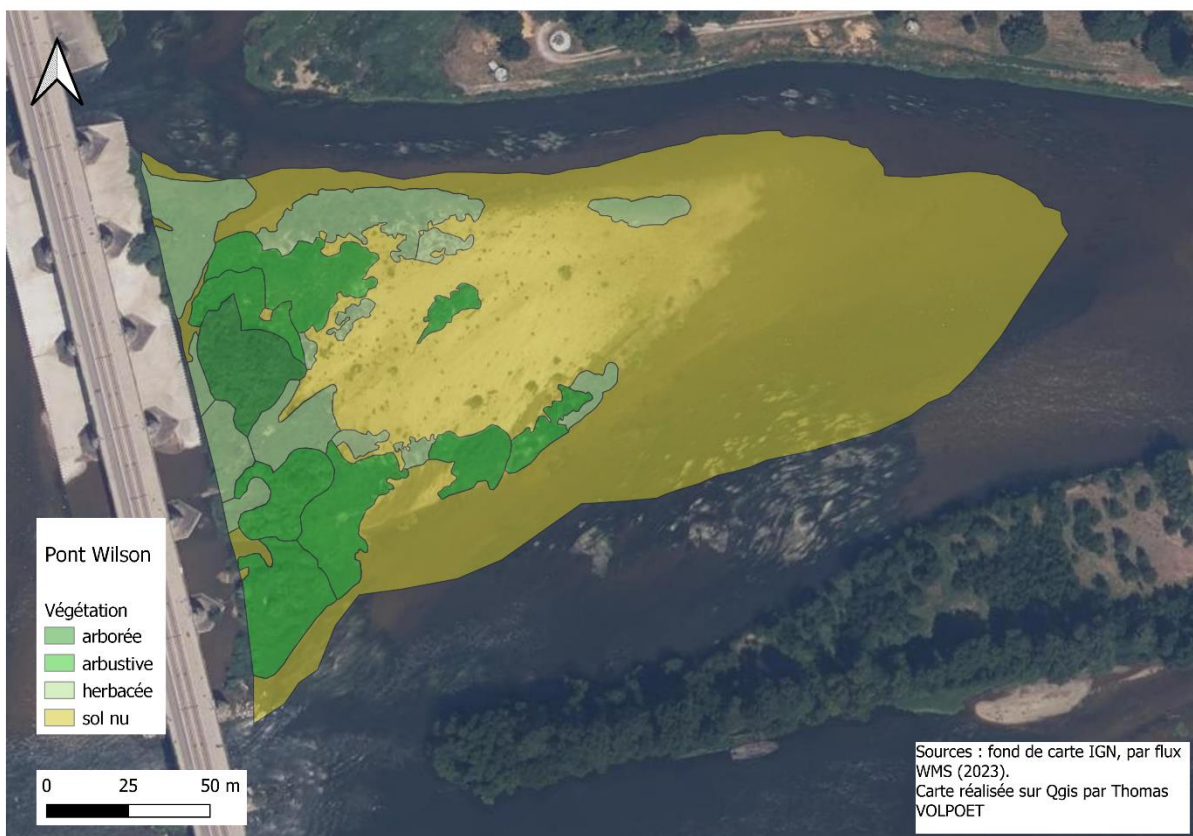
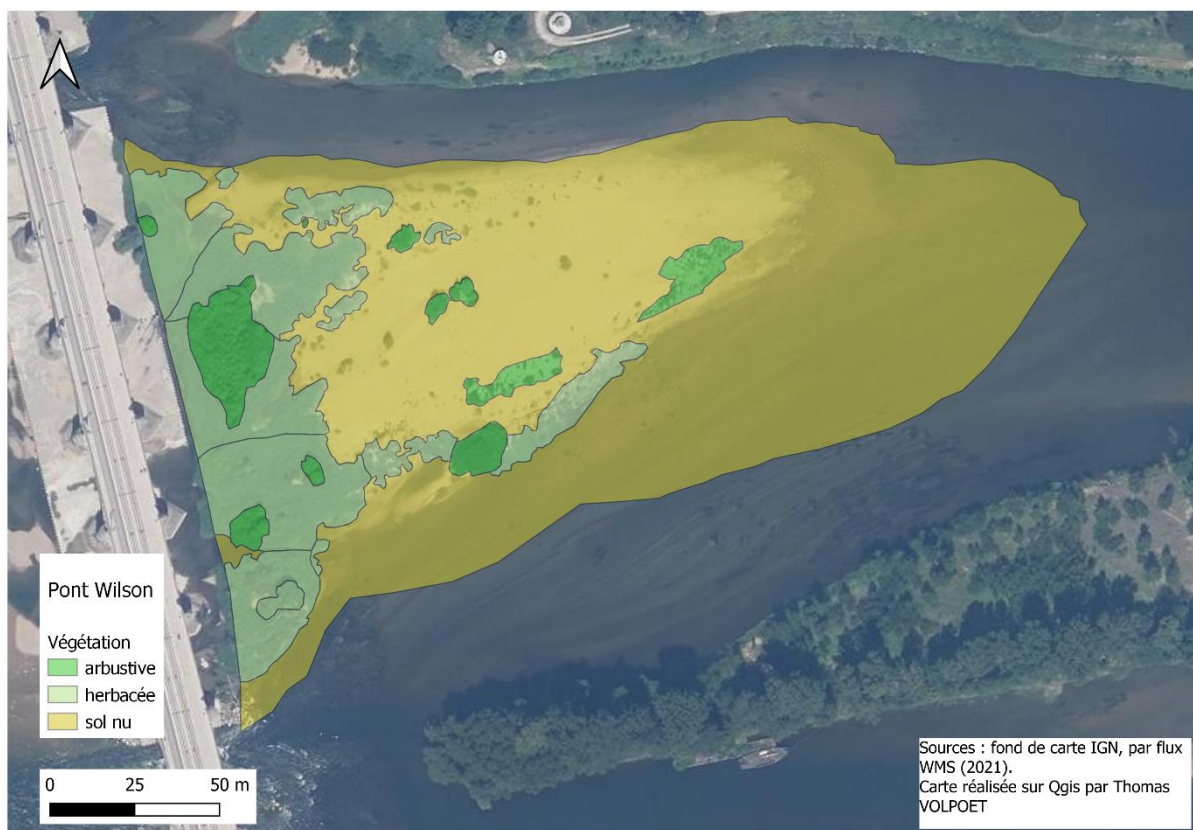
4) Site de Port Gallier (Poilly-lez-Gien) 2020 – 2023



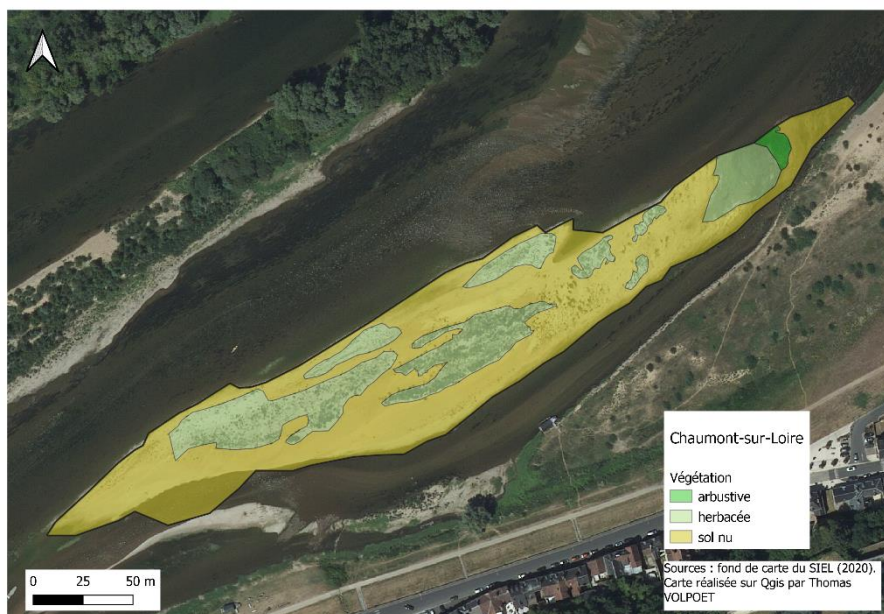
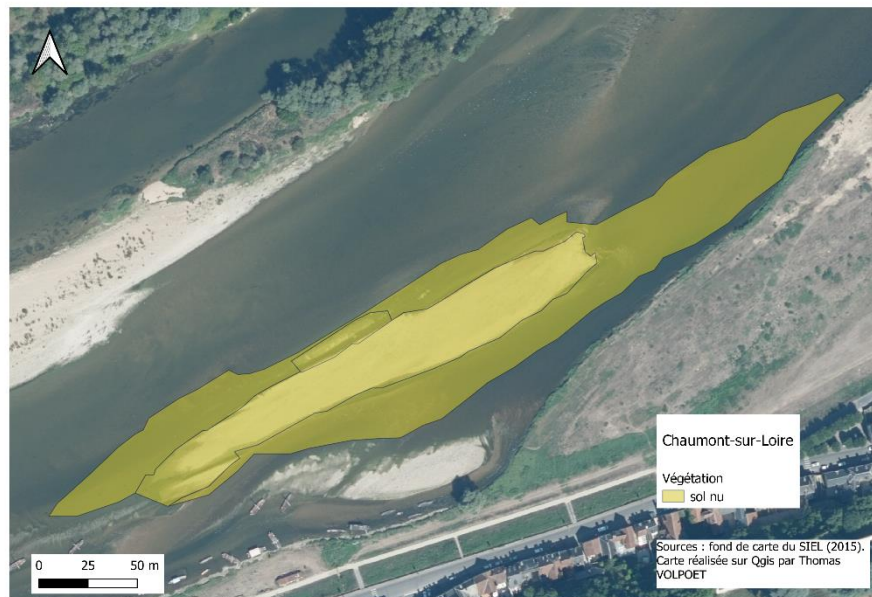
5) Site du Pont Wilson (Tours) 2015 – 2020



6) Site du Pont Wilson (Tours) 2021 – 2023



7) Site de Chaumont-sur-Loire 2015 – 2020 – 2022



Annexe 11 : Tableau issu des analyses univariées sur la base de données des nids

Characteristic	N = 573 ¹
Espèce	
SN	146 (25%)
SP	427 (75%)
Recouvrement de la végétation (%)	
0-10	346 (60%)
10-25	56 (9.8%)
25-50	21 (3.7%)
50-75	103 (18%)
75-100	47 (8.2%)
Hauteur de la végétation	
1	306 (53%)
2	70 (12%)
3	117 (20%)
4	80 (14%)
Granulométrie de surface	
0	17 (3.0%)
1-SF	148 (26%)
2-SG	7 (1.2%)
3-GF	49 (8.6%)
4-GG	37 (6.5%)
5-CF	50 (8.7%)
6-CG	255 (45%)
7-PF	10 (1.7%)
Présence de prédateurs sur l'îlot	
Non	523 (91%)
Oui	50 (8.7%)

¹ n (%)

Annexe 12 : Tableau issu des analyses bivariées sur la base de données des nids

Characteristic	SN N = 146 ¹	SP N = 427 ¹	Overall N = 573 ¹	p-value ²
Recouvrement de la végétation (%)				<0.001
0-10	134 (38.7%)	212 (61.3%)	346 (100.0%)	
10-25	6 (10.7%)	50 (89.3%)	56 (100.0%)	
25-50	3 (14.3%)	18 (85.7%)	21 (100.0%)	
50-75	3 (2.91%)	100 (97.1%)	103 (100.0%)	
75-100	0 (0%)	47 (100.0%)	47 (100.0%)	
Hauteur de la végétation				<0.001
1	119 (38.9%)	187 (61.1%)	306 (100.0%)	
2	17 (24.3%)	53 (75.7%)	70 (100.0%)	
3	9 (7.69%)	108 (92.3%)	117 (100.0%)	
4	1 (1.25%)	79 (98.8%)	80 (100.0%)	
Granulométrie de surface				
0	0 (0%)	17 (100.0%)	17 (100.0%)	
1-SF	23 (15.5%)	125 (84.5%)	148 (100.0%)	
2-SG	3 (42.9%)	4 (57.1%)	7 (100.0%)	
3-GF	10 (20.4%)	39 (79.6%)	49 (100.0%)	
4-GG	20 (54.1%)	17 (45.9%)	37 (100.0%)	
5-CF	23 (46.0%)	27 (54.0%)	50 (100.0%)	
6-CG	67 (26.3%)	188 (73.7%)	255 (100.0%)	
7-PF	0 (0%)	10 (100.0%)	10 (100.0%)	
Localisation du nid (transect de longueur)				0.002
amont	27 (34.6%)	51 (65.4%)	78 (100.0%)	
aval	29 (16.3%)	149 (83.7%)	178 (100.0%)	
centre	90 (28.4%)	227 (71.6%)	317 (100.0%)	
Localisation du nid (transect de largeur)				>0.9
bord_eau	4 (25.0%)	12 (75.0%)	16 (100.0%)	
sommet	142 (25.5%)	415 (74.5%)	557 (100.0%)	
Présence de prédateurs sur l'îlot				0.3
Non	130 (24.9%)	393 (75.1%)	523 (100.0%)	
Oui	16 (32.0%)	34 (68.0%)	50 (100.0%)	

¹ n (%)

² Pearson's Chi-squared test; Fisher's exact test

Annexe 13 : Analyse des Correspondances Multiples (ACM)

Histogramme des valeurs propres

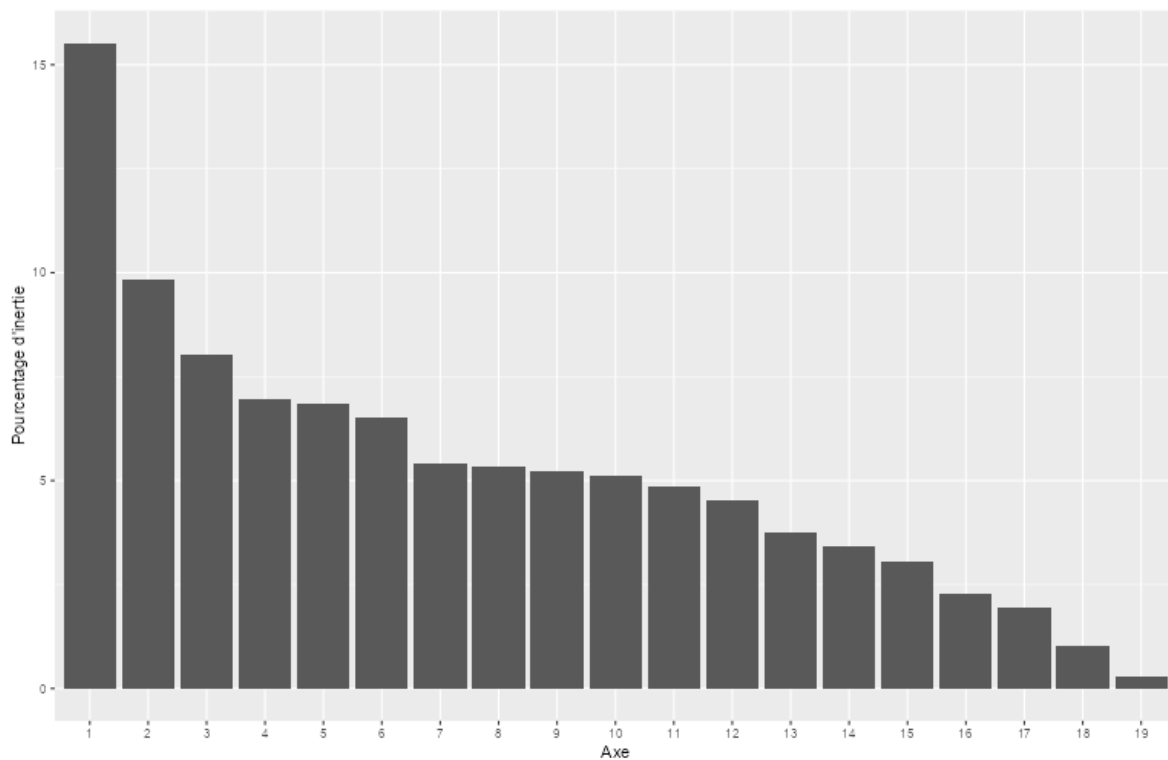
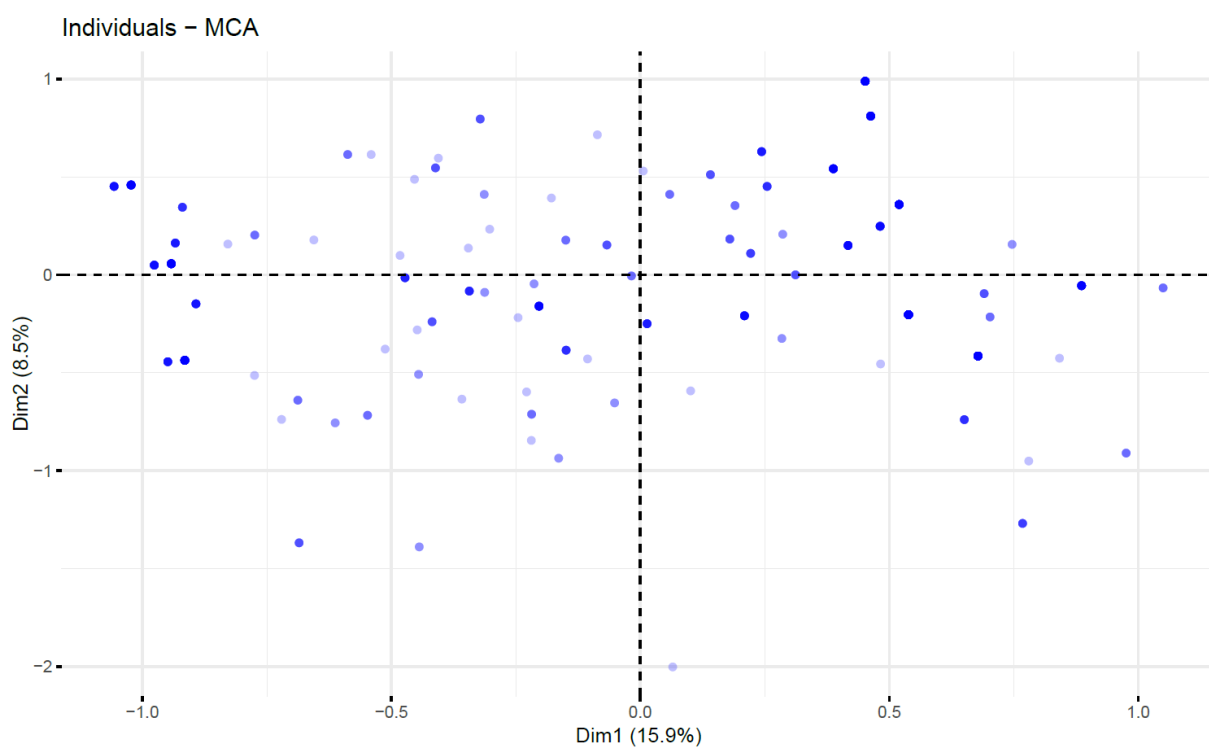
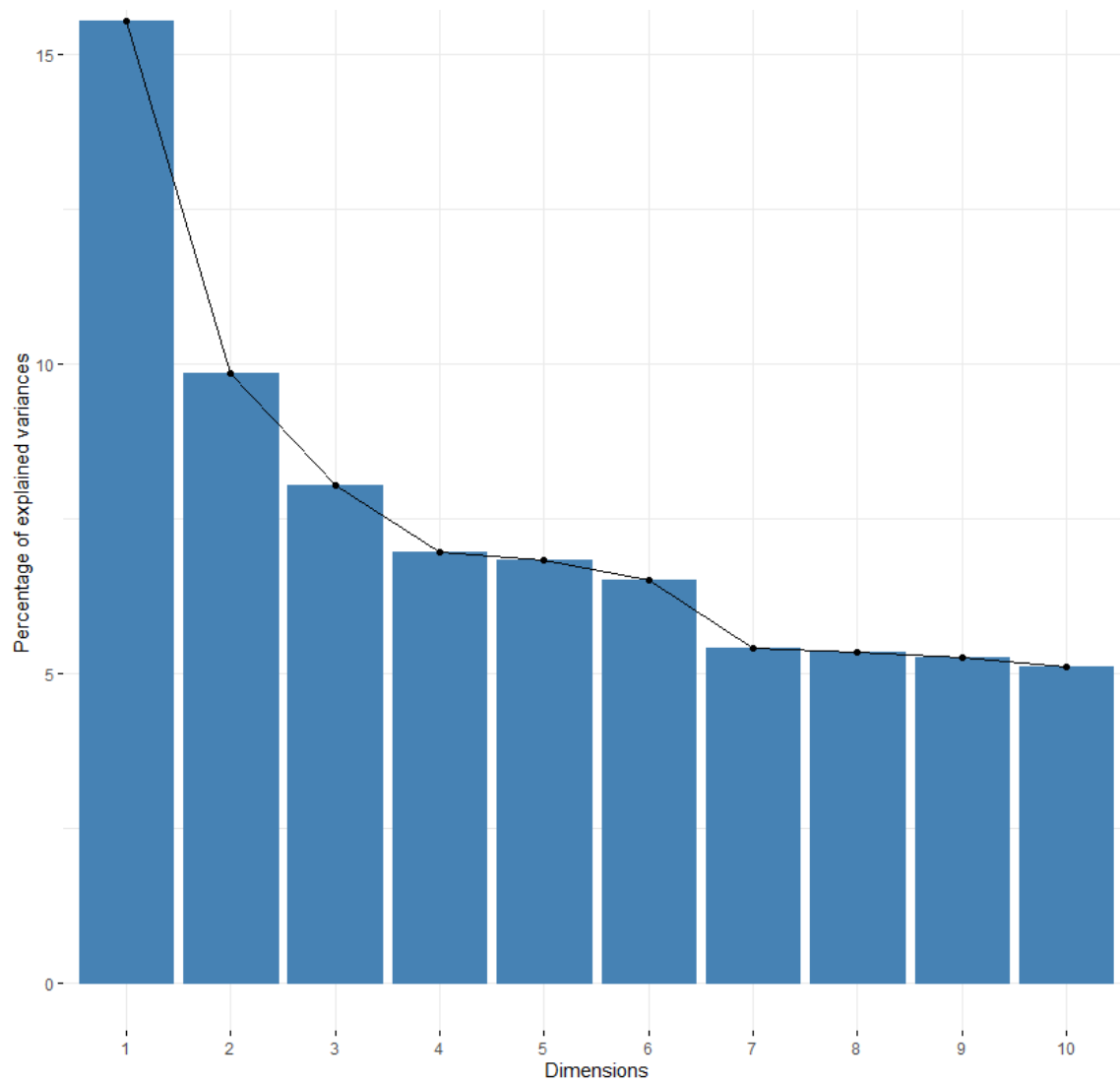
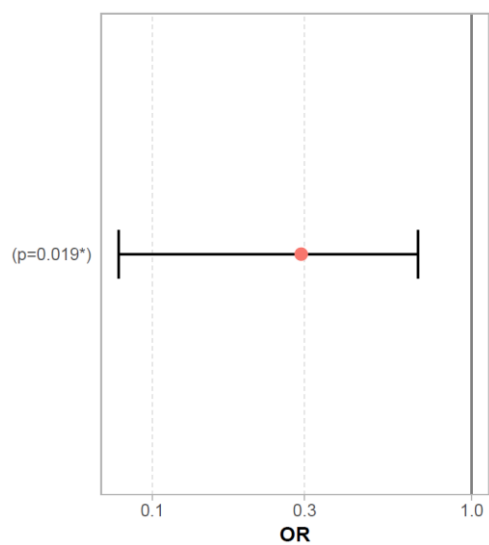


Tableau des valeurs propres

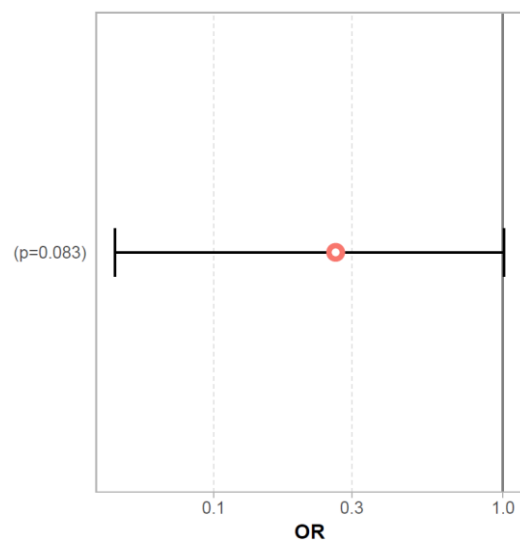
Axe	%	Cum. %
1	15.5	15.5
2	9.8	25.4
3	8.0	33.4
4	7.0	40.4
5	6.8	47.2
6	6.5	53.7
7	5.4	59.1
8	5.3	64.4
9	5.2	69.7
10	5.1	74.8
11	4.9	79.7
12	4.5	84.2
13	3.8	88.0
14	3.4	91.4
15	3.0	94.4
16	2.3	96.7
17	2.0	98.7
18	1.0	99.7
19	0.3	100.0



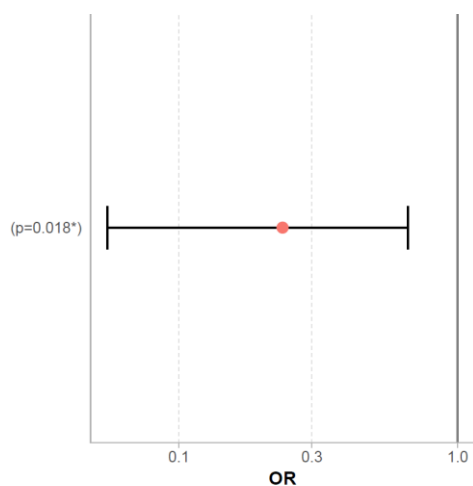
Annexe 14 : Odds Ratios issus des modèles GLM réalisés



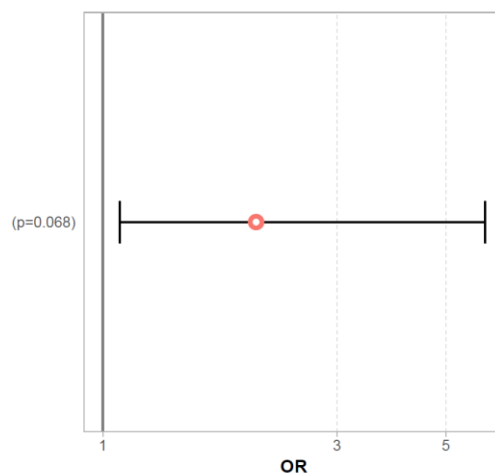
● $p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Recouvrement de la végétation



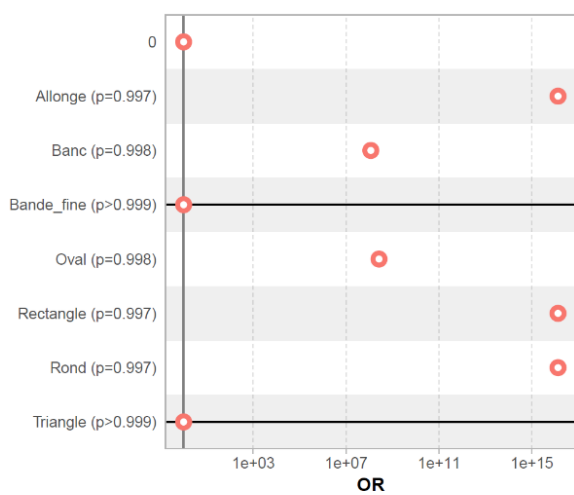
$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Hauteur de la strate arbustive



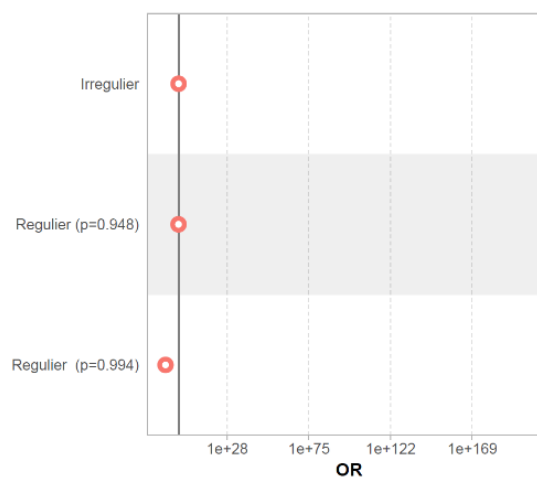
● $p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Hauteur de la strate arborée



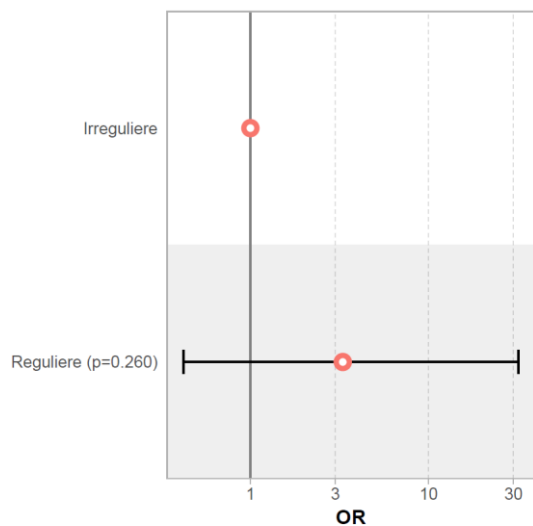
$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Granulométrie



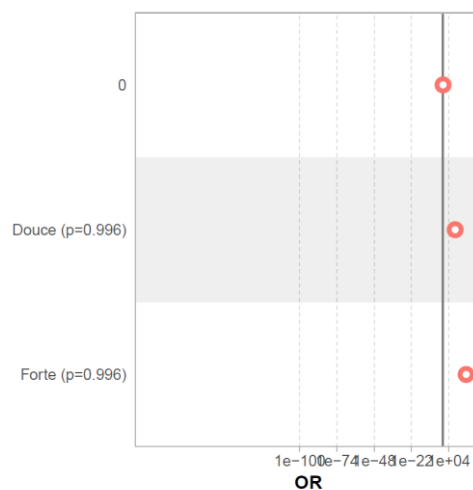
$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Forme de l'îlot



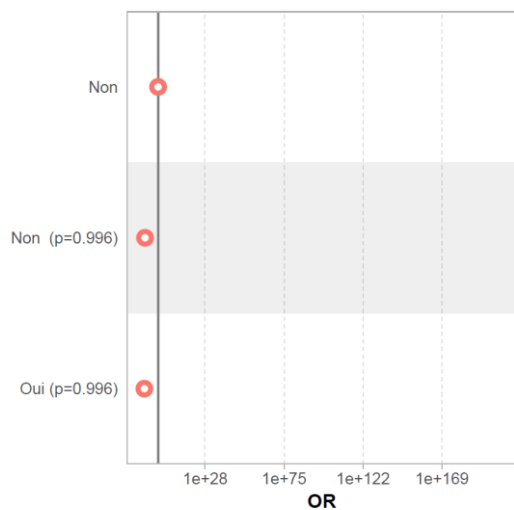
$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Régularité de l'écotone



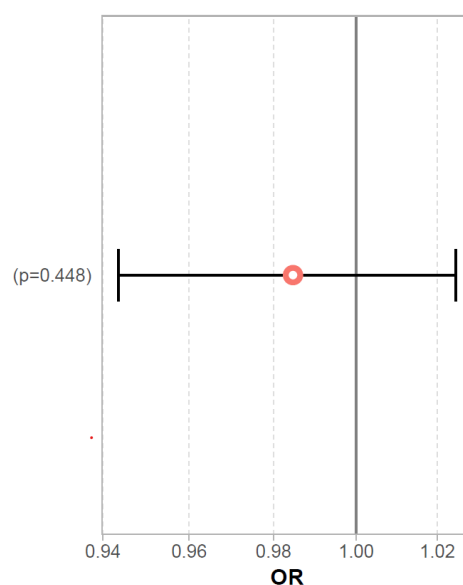
$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Forme de la pente



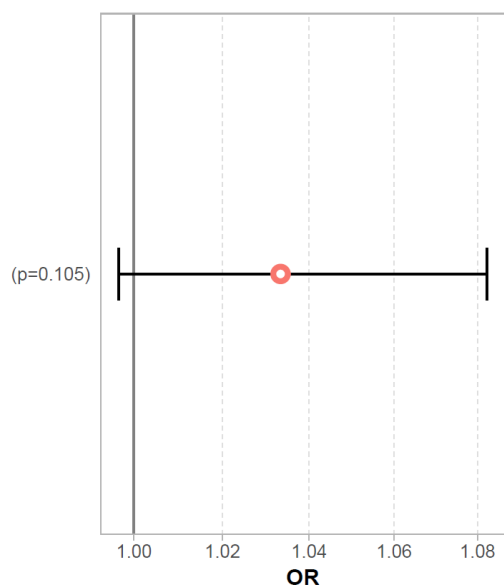
$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Intensité de la pente



$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Présence ou absence de talus sur l'îlot



$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Proportion de pente



$p \leq 0.05$ ● $p > 0.05$
Proportion de plat

Annexe 15 : Quelques images issues de la campagne de terrain 2024

(Photos personnelles)



Sternes pierregarin en train de couvrir



Banc de sable à Chaumont-sur-Loire (41)



Banc de sable à Bonny-sur-Loire (45)



Visite d'un îlot en canoë, en vue d'une restauration écologique



*Œufs de Sterne naine ou pierregarin à
Tours (37)*



Accouplement de Sternes pierregarin