

Rapport de stage 2ème année - M2-IEGB

1er mars - 31 aout 2015

Etienne Debenest

Etude de la population de Guifettes moustacs *Chlidonias hybrida* en Brenne



Sous la direction de :

Laura VAN INGEN
Chargée d'étude faune
Réserve Naturelle Nationale de Chérine

Maison de la Nature et de la Réserve
36290 Saint-Michel-en-Brenne

Vincent BRETAGNOLLE
Directeur de recherche
Centre d'Etude Biologique de Chizé - CNRS

79360 Villiers en Bois



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ



Association des étudiants du Master IEGB

« L'originalité de la Brenne... c'est avant tout un mélange de paysages particuliers et impressionnants, une intégration de bois, haies, landes et étangs... »

Patrick Duriez, 1982

REMERCIEMENTS

De nombreuses personnes sont intervenues pendant mon stage et il est toujours délicat de déterminer l'ordre des remerciements. Je remercie chaleureusement toutes celles et tous ceux qui ont suivi de près ou de loin cette étude et qui y ont contribué, par leurs questions, leur intérêt, à enrichir son contenu et la connaissance de la *Guifette moustac* en Brenne.

En premier lieu, j'exprime ma gratitude à mes deux tuteurs :

- Laura VAN INGEN (RNN Chérine) pour son implication et son investissement durant ces 6 mois. Même avec l'arrivée de son petit deuxième elle a su rester très disponible et son soutien a été précieux.
- Vincent BRETAGNOLLE (CEBC-CNRS) pour sa disponibilité, et son implication dans cette étude. Ces conseils et sa volonté d'étudier la *Guifette moustac* en Brenne m'ont apporté une grande motivation dans ce travail.

Je remercie l'ensemble de l'équipe de la réserve de Chérine :

- Joël DEBERGE et Tony WILLIAMS pour m'avoir transmis leurs connaissances sur l'écologie des espèces et sur la Brenne.
- Monsieur le Directeur, Jacques TROTIGNON, toujours présent pour répondre à mes questions et pour la relecture de mes rendus.
- Julien VEQUE, Rémy VIOUX, Christian LAVERDAN-GODIN, pour leur aide sur le terrain, toujours là pour m'indiquer la présence de *Guifettes baguées*.
- Cécile DANIEL, Myriam DEVAUTOUR, Jérémy LEMAIRE, mes chers collègues et amis de bureau avec qui j'ai passé de bons moments à Chérine et ailleurs...

J'ai une pensée toute particulière pour Christophe BONENFANT (CNRS Lyon) à qui j'exprime tout mon respect pour sa connaissance des analyses de CMR sur MARK, et pour sa pédagogie et sa volonté de transmettre son précieux savoir. Malgré le fait que nous ne nous soyons jamais rencontré, il a su rester présent de longues heures au téléphone pour triturer les modèles de survie. Merci à lui !

Pour la même thématique, je remercie Pierre-Yves HENRY du CRBPO, qui m'a initié à l'utilisation de MARK et U-CARE.

Je remercie également toutes les personnes d'Indre Nature, notamment Thomas CHATTON et Gilles DEZECOT, du PNR de la Brenne, en particulier Thibault MICHEL et Vincent SAURET.

Merci à François BOURGUEMESTRE de la fédération départementale des chasseurs de l'Indre, qui m'a fourni les filets pour la capture de Guifette adulte et pour ses anecdotes pleines d'humour sur la Brenne.

Je remercie toutes les personnes que j'ai pu rencontrer sur le terrain, propriétaires, chasseurs, pisciculteurs et élus qui ont toujours porté un intérêt pour mes activités et qui se sont montrés très cordiaux avec moi, notamment pour l'accès aux différentes propriétés privées.

Remerciement tout particulier à mon tuteur, Olivier DURIEZ, pour l'intérêt qu'il a manifesté pour mon travail, ses réponses et ses remarques qui m'ont permis d'avancer dans les bonnes directions pour conduire cette étude.

A mes collègues, colocataires et amis que j'ai rencontrés ou retrouvés au CNRS de Chizé, je les remercie pour leur soutien et leur curiosité. Ils ont su être là pour m'aider techniquement et moralement lors de ces longues heures d'analyse, et de rédaction.

Enfin, j'ai une pensée toute spéciale pour ma famille et mes amis qui sont venus découvrir la Brenne et partager des moments de bonheur simple avec la Nature, Rudy PIERRE (Le Brenou), Pierre DE BOUET DU PORTAL, Maxime LARGEAU, Vincent PAILLAUD, Mathieu GARCIA, Loïc BOVIO, Marie FUSEAU, Delphine JOUVIN et Mélanie BOUYSSOU.

Je quitte la Brenne avec nostalgie. Je garderai dans mes souvenirs les cerfs qui émergent dans la lumière des matins brumeux, le silence qui s'installe sur un étang lorsqu'un Faucon pèlerin surgit, les vols des oiseaux dans le ciel flamboyant d'un soir d'été.

Je termine ces remerciements en adressant quelques lignes à mes chères Guifettes moustacs. Continuez vos jeux dans l'eau lorsque les ornithos sont face à vous dans un observatoire à 40°C. Chères Guifettes baguées, je vous informe que les piquets installés méthodiquement dans les étangs ne sont pas décoratifs. Ils vous sont réservés afin que vous puissiez vous poser... et nous faciliter la lecture de vos bagues... sans quoi toute cette étude tombe à l'eau ! Quant aux jeunes cessez de changer de nids, et surtout profitez de la richesse de la nourriture en Brenne... la migration est longue jusqu'en Afrique, il faut tenir le coup !!!

MES MISSIONS

Durant ce stage de six mois, j'intègre l'équipe de la Réserve Naturelle Nationale de Chérine, sous la responsabilité de Laura Van Ingen (Chargée d'étude Faune) pour la partie terrain en Brenne. Parallèlement pour la partie recherche et analyses de données, je suis sous la responsabilité de Vincent Bretagnolle (Directeur de recherche) au CEBC-CNRS. Mon travail consiste à coordonner les suivis de la Guifette moustac en Brenne et à analyser le fonctionnement de la métapopulation de l'espèce à l'échelle de la Brenne. Tous les protocoles d'études ayant déjà été établis, je dois suivre scrupuleusement les lignes directrices de ces suivis. Ainsi, mes missions sont de plusieurs ordres :

- **Analyses bibliographiques** et rapports d'étude sur la Guifette moustac. L'objectif est de réunir et d'étudier les informations aujourd'hui disponibles sur l'espèce en Brenne et à l'échelle internationale afin de cibler les différents axes d'étude. Il s'agit également de prendre connaissance des études réalisées sur les autres Sternidés coloniaux et sur le fonctionnement des métapopulations.
- **Prise de contact avec les propriétaires d'étangs** afin, d'une part, d'obtenir les autorisations pour réaliser les comptages des colonies sur les étangs privés et, d'autre part, d'installer des piquets permettant la pose des guifettes afin de faciliter la lecture des bagues sur les tarses. Ce travail est réalisé concertation avec les propriétaires pisciculteurs, car les Grands Cormorans utilisent également les piquets en bois pour se poser. Ainsi, je dois négocier et proposer des solutions avec des piquets adaptés à la pose des Guifettes.
- **Coordination du comptage des colonies** : ce protocole a débuté en 1982. Mon rôle est de coordonner le comptage avec les personnes qui interviennent sur ce suivi (Laura Van Ingen, Jacques Trotignon, Julien Vèque, Joël Deberge de la RNN de Chérine, Tony Williams de la LPO Indre, Thomas Chatton d'Indre Nature et Vincent Sauret du PNR de la Brenne).
- **Coordination du suivi des Guifettes baguées** : les Guifettes sont baguées en Brenne depuis 2001 et un protocole standardisé sur la méthode des relectures a été mis en place. Ainsi je dois réaliser entièrement le suivi des individus bagués et également gérer la base de données des contrôles de Guifettes.

- **Etude de la dynamique spatio-temporelle des colonies de Guifettes moustacs en Brenne :** d'après la base de données des suivis réalisés depuis 1982, l'objectif est d'étudier la dynamique des colonies de Guifettes en Brenne dans l'espace et dans le temps et de comprendre les déterminants des apparitions et disparitions de colonies.
- **Etude des paramètres démographiques de la Guifette moustac :** avec la base de données de baguage et de contrôle mise en place depuis 2001, l'objectif est d'analyser les taux de survie juvéniles et adultes, l'âge de la première reproduction et les phénomènes de dispersion juvéniles et adultes. A l'heure actuelle, très peu d'analyses propres à l'étude des données de baguages ont été réalisées, car il est nécessaire d'avoir un nombre de contrôles relativement important. Après environ 15 ans de baguage de Guifettes, le nombre d'individus contrôlés permet de réaliser plusieurs analyses sur cette population.
- **Analyses croisées des données de comptages et de capture-marquage-recapture (CMR) (Partie non développée dans ce rapport) :** cette mission complète les deux points précédents. Après avoir caractérisé la dynamique spatio-temporelle des colonies de Guifettes et analysé des paramètres démographiques de l'espèce, les flux d'individus pourront être explorés en fonction des dynamiques des colonies. Cette dernière analyse permettra de comprendre s'il existe des liens entre la mobilité des colonies et la dispersion individuelle des Guifettes.

Pour ces deux dernières missions, je participe à une formation d'analyse de données de CMR avec Pierre-Yves Henry du CRBPO. L'ensemble de ces analyses se déroulera au CEBC-CNRS sous la tutelle de Vincent Bretagnolle et avec l'appui technique de Christophe Bonenfant du CNRS de Lyon.

Parallèlement, je vais également participer à d'autres suivis réalisés en Brenne, notamment les comptages de Butor étoilé (du 1^{er} mars au 15 mai), de marouettes (du 1^{er} avril au 30 juin) et de Busard des roseaux (du 15 mars au 30 juin).

SOMMAIRE

| | |
|---|--------------|
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 1.1. État de l'art | 1 |
| 1.2. Contexte de l'étude | 4 |
| 1.2.1. Structures d'accueil | 4 |
| 1.2.2. Les moyens financiers, techniques et humains..... | 5 |
| 1.3. Programme et réalisation | 5 |
| 2. MATERIEL & METHODES | 6 |
| 2.1. Modèle d'étude | 6 |
| 2.2. Site d'étude | 6 |
| 2.3. Suivi des colonies de <i>Guifettes moustacs</i> en Brenne | 6 |
| 2.4. Programme de baguage coloré des <i>Guifettes moustacs</i> | 7 |
| 2.5. Méthode d'analyse de données | 8 |
| 2.5.1. Dynamique spatio-temporelle | 8 |
| 2.5.2. Etude des paramètres démographiques individuels | 9 |
| 3. RESULTATS | 11 |
| 3.1. Description de la dynamique spatio-temporelle de la <i>Guifette moustac</i> en Brenne | 11 |
| 3.1.1. Evolution de la population de <i>Guifettes moustacs</i> en Brenne et en Europe | 11 |
| 3.1.2. Evolution du succès reproducteur depuis 2000..... | 12 |
| 3.1.3. Etude des processus d'apparition et d'extinction de colonies en Brenne..... | 13 |
| 3.2. Description des paramètres démographiques des <i>Guifettes moustacs</i> | 14 |
| 3.2.1. Estimation des taux de survie adultes et juvéniles..... | 14 |
| 3.2.2. Facteurs affectant la survie juvénile..... | 15 |
| 3.2.3. Dispersion des individus | 15 |
| 4 - DISCUSSION | 16 |
| 4.1. Variations des effectifs de <i>Guifettes moustacs</i> en Brenne | 16 |
| 4.2. Effet des facteurs locaux (succès reproducteur) sur les variations d'effectifs | 17 |
| 4.3. Déplacements des colonies et dispersion natale | 18 |
| 4.4. Perspective de conservation de l'espèce et de gestion des espaces | 19 |
| 5 - CONCLUSION | 20 |
| Bibliographie | |

LISTE DES FIGURES ET DES TABLEAUX

- Figure 1 : Evolution du nombre de couples de Guifettes en Brenne de 1972 à 2004
- Figure 2 : Illustration des différents prédateurs de Guifettes moustacs
- Tableau 1 : Planning prévisionnel
- Figure 3 : Aire de répartition de la Guifette moustac
- Figure 4 : Localisation de la Brenne et représentation de la ZPS « Brenne » et du PNR de la Brenne
- Figure 5 : Schéma de représentation d'un étang traditionnel de Brenne
- Figure 6 : Les différents stades de nidification de la Guifette moustac
- Figure 7 : Les différentes couleurs de bagues utilisées entre 2002 et 2009
- Tableau 2 : Les différents calculs effectués sur chaque maille
- Tableau 3 : Tests de Goodness-of-fit pour le modèle CJS des Guifettes moustacs
- Figure 8 : Carte définissant les trois états/secteurs pour le modèle multi états de Mark
- Figure 9 : Exemple des probabilités de transition (ϕ) entre trois états.
- Tableau 4 : Tests de Goodness-of-fit pour le modèle Multi états des Guifettes moustacs
- Figure 10 : Evolution du nombre de couples de Guifettes en Brenne de 1982 à 2014
- Figure 11 : Evolution du nombre de colonies de Guifettes en Brenne de 1982 à 2014
- Figure 12 : Relation entre le nombre de colonies et le nombre de couples
- Figure 13 : Relation entre le nombre de couples et les précipitations au Sahel
- Figure 14 : Variations d'effectifs de Guifettes moustacs sur différentes populations d'Europe
- Figure 15 : Evolution du succès reproducteur en Brenne entre 2000 et 2014
- Figure 16 : Relation entre le succès reproducteur et la taille des colonies
- Figure 17 : Taille moyenne des colonies par périodes
- Figure 18 : Durée de vie moyenne des colonies par périodes
- Figure 19 : Nombre cumulé de nouveaux étangs utilisés par les Guifettes moustacs de 1982 à 2014
- Figure 20 : Résidus issus de la droite de régression du nombre cumulé de nouveaux étangs utilisés par année
- Figure 21 : Etude de la colonisation des étangs
- Figure 22 : Etude de l'extinction des colonies
- Figure 23 : Evolution de la distance moyenne du barycentre des colonies de la Brenne au colonies en fonction du temps
- Figure 24 : Evolution de la survie adulte au cours du temps
- Figure 25 : Evolution de la survie juvénile au cours du temps
- Figure 26 : Relation entre la survie juvénile et la pluviométrie en Brenne
- Figure 27 : Relation entre la survie juvénile et la taille des colonies
- Figure 28 : Nombre d'individus bagués et contrôlés par secteurs
- Figure 29 : Résumés des probabilités de transitions entre les différents états
- Figure 30 : Cartographie des reprises de Guifettes moustacs

1. INTRODUCTION

1.1. État de l'art

De nos jours, nous connaissons une perte de biodiversité qui s'avère être potentiellement la sixième crise d'extinction sur Terre (Pimm *et al.*, 1995; Barnosky *et al.*, 2011). Bien que le taux d'extinction des espèces soit souvent incertain, il existe une réelle menace sur la diversité biologique principalement due à la perte et à la destruction d'habitats (He & Hubbell, 2011). Ainsi, les activités anthropiques sont les principales causes de cette extinction (Sala *et al.*, 2000). En effet, les activités humaines ont engendré la destruction et la fragmentation des habitats, l'introduction d'espèces exotiques, et la surexploitation (Teysseère, 2004 ; Fischer & Lindenmayer, 2007). Aujourd'hui, le développement qu'il soit agricole ou aquacole n'est plus en adéquation avec le contexte de crise économique, d'insécurité alimentaire et de déclin de la biodiversité (Brussaard *et al.*, 2010). Il est donc crucial de concilier les diversités de production avec la diversité des espèces qui vivent dans ces écosystèmes exploités, afin de limiter l'uniformité génétique de la production.

La perte de biodiversité dans les écosystèmes de zones humides est beaucoup plus marquée que dans les milieux terrestres (Sala *et al.*, 2000). Les zones humides couvrent moins de 9 % de la surface de la Terre et sont, en grande partie dégradées (Zelder & Kercher, 2005). La biodiversité des zones humides et, plus largement, celle des milieux d'eau douce, est menacée par plusieurs facteurs : la surexploitation ; la pollution de l'eau ; la modification de l'écoulement ; la destruction ou la dégradation des habitats ; l'eutrophisation ; le réchauffement planétaire ; et l'invasion par les espèces exotiques (Brinson & Malvarez, 2002 ; Dudgeon *et al.*, 2006 ; Fennessy, 2014). Ainsi, des fonctions clés de ces écosystèmes peuvent être impactées et dégradées. Les zones humides ont différentes fonctions socio-économiques liées d'une part à la production (pisciculture, agriculture, eau potable), et d'autre part aux valeurs sociales, culturelles et paysagères qu'elles procurent (Bernard, 2008).

Au vu des différentes menaces pesant sur la diversité biologique, la recherche en écologie a nettement progressé ces dernières décennies et elle s'intéresse aujourd'hui davantage aux habitats et aux populations fragmentées (Marzluff & Ewing, 2001). La notion de paysage, au sens écologique, correspond à un ensemble d'écosystèmes en interaction. Un paysage a une structure, il est dynamique et il a des fonctions écologiques (Forman & Collinge, 1997). Ces notions d'habitats et de populations nécessitent de s'intéresser aux changements d'utilisation de l'espace. Au niveau agro-environnemental, les habitats fragmentés sont constitués par l'isolement des prairies au milieu de matrices agricoles intensives ou par la fermeture de certaines prairies (Fischer & Lindenmayer, 2007). Dans les régions piscicoles continentales, cette notion est moins visible, mais il existe une grande hétérogénéité de gestion des étangs entre ceux voués à la production intensive de poisson et les étangs gérés de manière extensive (Bernard, 2008).

Dans les zones humides continentales, la pisciculture joue un rôle primordial sur la gestion des étangs (Bernard, 2008). Les activités humaines, et notamment la pisciculture, l'agriculture, ou les activités de chasse ont façonné le paysage qui est encore de nos jours en constante évolution. Ainsi, avec un contexte socio-économique essentiellement tourné vers la pisciculture, l'agriculture et la chasse, les zones humides continentales sont des régions anthropisées et qui ont besoin de l'intervention humaine pour ne pas disparaître (Bernard, 2008). En France, la filière piscicole est encore traditionnelle, bien qu'une « intensification » de la production soit observée ces dernières années du fait des traitements et du nourrissage artificiel des poissons. S'ajoute à cette mosaïque d'étangs, une agriculture en pleine évolution. En effet, l'intensification agricole se développe, provoquant la disparition de prairies au profit des cultures annuelles. La filière agricole, comme la filière piscicole, sont également touchées par la déprise depuis les années 1990 et 2000. Des prairies anciennes, des landes et des étangs ne sont plus entretenus, ce qui entraîne une fermeture du milieu (DOCOB Brenne, 2012). Afin de conserver ces écosystèmes, la France a adhéré en 1986 à la convention relative aux zones humides d'importance internationale, plus connue sous le nom de convention de Ramsar, créée en 1971 (Ramsar & Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2011). Récemment, il a été montré que les actions de conservation sur les sites Ramsar permettaient une meilleure gestion et qualité des habitats que sur des sites non protégés (Klejin *et al.*, 2014). Au niveau de la biodiversité des zones humides en France, 50 % des oiseaux d'eau et 30 % des plantes menacées dépendent de ces écosystèmes (Ramsar & Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, 2011).

Au XII^{ème} siècle, de nombreux étangs ont été créés à l'intérieur des terres pour pallier au déficit de poissons dans les régions continentales. Les principales régions d'étangs telles que la Brenne, la Dombes, le Forez ou la Sologne ont été créées à cette époque. Dans l'Indre, un territoire de plus de 100 000 ha a été continuellement façonné par l'homme. Plus de 2 200 étangs ont été créés (aujourd'hui 4 800 étangs) principalement pour la pisciculture (Mansons *et al.*, 2012). Ce territoire est néanmoins en perpétuelle évolution, passant d'un paysage de labours, de landes et d'étangs en 1830, aux cultures de l'herbe et des céréales dans les années 1950, pour finir à la fin du XX^{ème} siècle avec quelques prairies pâturées, des friches et bien sûr des étangs (Trotignon, 2015a ; 2015b). Ce type de paysage, caractérisé par un maillage d'étangs et de prairies, procure des habitats de nidification et d'alimentation à un cortège d'espèces patrimoniales (Naugle *et al.*, 2000).

A l'échelle d'une zone humide, les étangs sont des « hot-spots » de biodiversité (Oertli *et al.*, 2002). Afin de conserver cette région, la Brenne, un site NATURA 2000 de 60 000 ha a été mis en place sous la base d'une Zone de Protection Spéciale (ZPS) et d'une Zone Spéciale de Conservation (ZSC). Actuellement, la gestion effectuée sur les étangs de la Brenne est individuelle et liée aux activités socio-économiques propres à chaque propriétaire. Ainsi, les étangs sont gérés soit pour la pisciculture « intensive », soit pour la chasse,

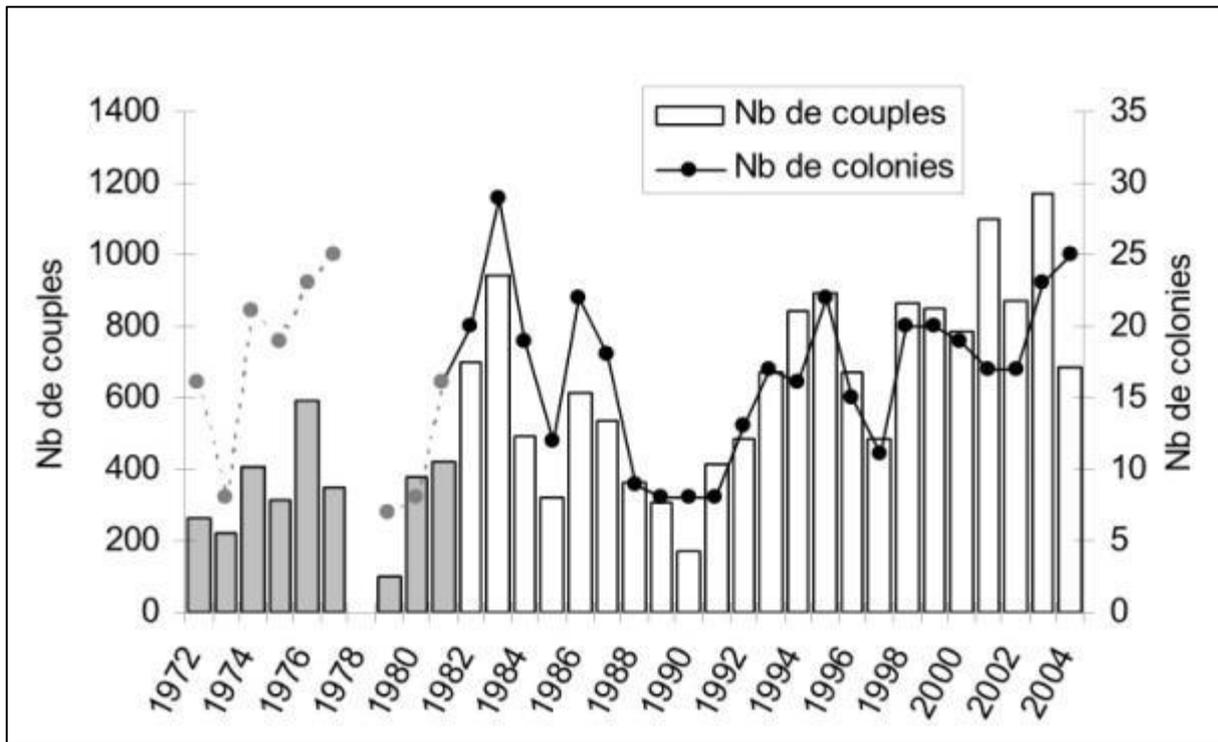


Figure 1 : Evolution du nombre de couples nicheurs et du nombre de colonies de Guifettes moustacs en Brenne entre 1972 et 2004 (Latraube, 2006).



Figure 2 : Illustration des prédateurs des Guifettes moustacs. De haut en bas de gauche à droite, une Corneille noire prédatant des œufs (© NHPA SuperStock), un Héron cendré prédatant un poussin de Guifette (© Patrick Gaultier), un Milan noir houspillé par les Guifettes (© Michel et Beatrice Esbault) et une femelle d'Epervier d'Europe prédatant une Guifette adulte (© Yves Baptiste).

soit mis en réserve naturelle ou simplement sans gestion. Néanmoins, des contrats NATURA 2000, sont passés avec les acteurs locaux (pisciculteurs), afin d'adopter des pratiques piscicoles favorables pour la conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire (Docob Brenne, 2012).

Au sein de cette zone humide continentale caractérisée par un maillage d'étangs relativement important, la Guifette moustac, *Chlidonias hybrida*, est une espèce hautement patrimoniale de la Brenne puisque ce site accueille près de 30 % des effectifs nationaux (Figure 1) (Latraube, 2006 ; Trotignon, 2015). En France, en 2014, les effectifs de Guifettes moustacs étaient de 3 744 couples répartis sur six principaux sites de reproduction : la Grande Brière (46.7 %), la Brenne (23 %), le Lac de Grand-Lieu (16.1 %), les Dombes (5.9 %), la Sologne (7 %) et le Forez (0.8 %) (Trotignon, 2015). C'est un oiseau grégaire qui niche en colonies plus ou moins importantes (Perennou *et al.*, 1996 ; Dehorter, 2000). Cet oiseau occupe les étangs en phase de comblement, donc très riches en végétation aquatique où il peut nicher (Vansteenwegen, 1998). Cette espèce dépend également d'habitats d'alimentation assez variés, incluant notamment des prairies, en plus des étangs (Cramp, 1985 ; Gwiazda & Ledwon, 2014). Cet oiseau migrateur ne séjourne en France que de mi-avril à début septembre pour ensuite hiverner en Afrique de l'Ouest sub-sahélienne (Cramp, 1985). Le nombre de couples reproducteurs fluctue fortement selon les années, que ce soit à l'échelle nationale ou à l'échelle de la Brenne (Dehorter, 2000). En effet, il a été mis en évidence, notamment en Brenne, que les colonies sont très mobiles (Dehorter, 2000 ; Latraube, 2006). Ainsi, la conservation de cette espèce ne peut s'effectuer par la simple mise en réserve (Mortreux, 2004). Il est crucial de comprendre l'écologie comportementale des Guifettes moustacs en Brenne et pour cela il est indispensable d'étudier la notion de métapopulation.

Une métapopulation est définie comme des ensembles de groupes d'individus spatialement séparés (patches, colonies) connectés les uns aux autres par des phénomènes de dispersion (Hanski & Gilpin, 1997). Plusieurs études sur d'autres Sternidés font état des connaissances sur les fonctionnements de métapopulations de cette famille d'oiseaux coloniaux (Akçakaya *et al.*, 2003 ; Collins & Doherty, 2006 ; Devlin *et al.*, 2008 ; Breton *et al.*, 2014). Par exemple, chez la Sterne de Dougall, la métapopulation est définie par différents patches où il y a des phénomènes de colonisation-extinction et entre lesquelles il y a des mouvements entre ces patches (Spendelov *et al.*, 1995). Pour la Guifette moustac, une métapopulation peut être conditionnée par la distribution des colonies d'une part et celle des prédateurs d'autre part comme les Corneilles noirs *Corvus corone* pour les oeufs, le Milan noir *Milvus migrans* et le Héron cendré *Ardea cinerea* pour les poussins, et le Faucon pèlerin *Falco peregrinus* et l'Épervier d'Europe *Accipiter nisus* pour les adultes (Figure 2). Cependant, en Brenne, les colonies sont fortement dépendantes de la gestion des étangs. La pratique de « l'assec » des étangs (asséchés pour la pêche traditionnelle), tous les 5 à 10 ans, rend inutilisable le site pour la reproduction cette année-là, mais favorise son installation durant l'année de la remise en eau (Latraube, 2006). Ainsi, les phénomènes de dispersion sont différents de ceux d'une

métapopulation « classique » puisqu'ils sont liés à l'apparition et l'extinction totale de colonies. Ces dynamiques sont conditionnées par l'évolution des habitats de nidification liée à la gestion des étangs (Latraube *et al.*, 2005).

En Brenne, la population de Guifettes moustacs est suivie par comptage systématique des colonies depuis 1982 coordonnée par la Réserve Naturelle de Chérine. Ce travail a permis de décrire les tendances et la répartition spatiale de la population depuis plus de 30 ans (Latraube *et al.*, 2005). Depuis 2002 un programme de baguage coloré (sous la responsabilité de Vincent Bretagnolle en 2002, puis de Franck Latraube en 2006 et enfin de Laura Van Ingen en 2010) a été mis en place afin de décrire notamment le fonctionnement de la métapopulation (Van Ingen, 2014a). Ces deux suivis ont permis de montrer que : (1) les colonies sont, en général, très temporaires, avec un maximum de 3 ans de présence sur le même site (2) l'abondance de Guifettes sur un étang est conditionnée par la présence de prairies et d'autres étangs en périphérie immédiate (3) la taille des plans d'eau et la présence de plantes émergées semblent influencer l'installation des colonies (Dehorter, 2000 ; Mortreux, 2004 ; Van Ingen, 2014b).

Afin d'étudier les mécanismes de fonctionnement de la population de Guifette moustac en Brenne, il est primordial d'appréhender le phénomène de mobilité des colonies. La première thématique de recherche consiste à décrire la dynamique spatio-temporelle des colonies de Guifettes en Brenne. Il sera indispensable d'approfondir les mécanismes à l'origine des phénomènes d'apparition et d'extinction des colonies. Dans un deuxième temps, les paramètres démographiques des Guifettes moustacs seront décrits grâce aux collectes de données de baguage et de contrôle sur cette espèce, et plus particulièrement les taux de survie et les phénomènes de dispersion juvéniles et adultes. Cette analyse sera axée sur les paramètres individuels. Enfin, il sera nécessaire d'identifier des propositions de gestion de l'espace en Brenne afin de conserver les populations de Guifettes moustacs.

1.2. Contexte de l'étude

1.2.1. Structures d'accueil

La Brenne est un territoire très peu urbanisé avec une quasi-absence d'industrie. Cet isolement est un avantage pour la biodiversité du fait des conflits existant avec la croissance urbaine au niveau des zones humides (Findlay & Bourdages, 2000 & Eppink *et al.*, 2004). En quelques mots, avec 4 800 étangs, un Parc Naturel Régional de 166 000 ha, un site Natura 2000 de 60 000 ha et une Réserve Naturelle Nationale de 370 ha, la Brenne est la 4^{ème} zone humide française d'importance internationale (DOCOB Brenne, 2012).

C'est au milieu de ce site que la Réserve naturelle nationale de Chérine (RNN Chérine) a été classée en 1985 et 2011. Elle s'étend sur 370 ha. Elle est gérée par l'Association Chérine et la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO). Les principaux enjeux sont le maintien de la diversité des espèces et des habitats présents et la préservation des étangs par une pratique piscicole extensive ainsi que la restauration de leur

Tableau 1 : Planning prévisionnel

| Missions | Tâches | Recherches bibliographiques | Réunions de travail | Suivis sur le terrain | Analyse des résultats | Rédaction |
|-------------|--------|--|--|--|--|---|
| | | Études sur les analyses de données de baguages des espèces coloniales Études de métapopulations | Bilan du stage et présentation des résultats | Recherche de Guifettes baguées | Formation pour l'analyse de données de CMR | Pré-rapport |
| | | Écologie de la Guifette moustac et des espèces semblables | Présentation du stage et des objectifs | Comptage des colonies de Guifettes | Dynamique spatio-temporelle des colonies | Rapport de stage : Méthode |
| | | Biodiversité des zones humides, | | Suivis autres espèces (Butor étoilé, Marouettes, Busard des roseaux) | Paramètres démographiques (Etude CMR) | Rapport de stage : Résultats |
| | | | | Baguage des Guifettes | Couplage des deux analyses | Rapport de stage : Discussion, conclusion |
| | | | | | | Synthèse de données pour les propriétaires des étangs |
| Mars S01 | | | | | | |
| Mars S02 | | | | | | |
| Mars S03 | | | | | | |
| Avril S01 | | | | | | |
| Avril S02 | | | | | | |
| Avril S03 | | | | | | |
| Mai S01 | | | | | | |
| Mai S02 | | | | | | |
| Mai S03 | | | | | | |
| Juin S01 | | | | | | |
| Juin S02 | | | | | | |
| Juin S03 | | | | | | |
| Juillet S01 | | | | | | |
| Juillet S02 | | | | | | |
| Juillet S03 | | | | | | |
| Aout S01 | | | | | | |
| Aout S02 | | | | | | |
| Aout S03 | | | | | | |

| | |
|--|-------------------------|
| | À la Réserve de Chérine |
| | Au CEBC-CMRS |
| | Au CRBPO |

végétation. La réserve de Chérine œuvre également sur le contrôle des espèces exotiques envahissantes (Jussie,...) et des espèces posant problème (Sangliers, Grands Cormorans,...).

Afin de répondre à ces enjeux, des études permettant de mieux connaître les écosystèmes et les espèces sont réalisées, comme pour la Guifette moustac. Les comptages des colonies de Guifettes moustacs en Brenne sont effectués depuis 1982 et s'inscrivent dans une démarche de veille régulière à long terme de l'espèce. Dans un but de conservation de l'espèce, la RNN de Chérine et le CEBC-CNRS ont engagé un programme de recherche lancé en 2002, basé sur le marquage et le baguage coloré des adultes et des poussins. Le baguage coloré des Guifettes moustacs s'inscrit dans le cadre du programme personnel de Laura Van Ingen (officiellement PROG PERS) dont l'autorisation est délivrée par le Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux (CRBPO) tous les 5 ans. À ce jour, plus d'un millier de Guifettes moustacs a été bagué en Brenne, et nous sommes dans le 3^{ème} renouvellement de ce PROG PERS pour la période 2012-2016. Les objectifs de ce programme sont d'étudier le fonctionnement et la dynamique de la population, les phénomènes de dispersion, le comportement individuel et d'évaluer les mesures de conservation (Cf Annexe 1 : Détail du Programme de baguage coloré des Guifettes moustac en Brenne). Ainsi, avec l'importance de ce programme, la RNN de Chérine, associée au CEBC-CNRS, en partenariat avec la LPO Brenne, et le CRBPO, va fournir des travaux qui deviendront une référence précieuse pour la compréhension et la préservation de la Guifette moustac.

En 2015, après plus de 30 ans de suivi des colonies et près de 15 ans de baguage de Guifettes, la Réserve Naturelle Nationale de Chérine et le CEBC-CNRS ont choisi de proposer un stage afin de combiner l'analyse des données de baguage à celle des suivis de dynamique de population de Guifettes dans l'espace (en Brenne) et dans le temps (depuis 1982) et d'en identifier les conséquences en matière de gestion des étangs piscicoles. Cette étude doit apporter des réponses aux questions portées dans le programme de baguage concernant le fonctionnement de la métapopulation de l'espèce.

1.2.2. Les moyens financiers, techniques et humains

Les six mois de stage sont entièrement financés par les fonds propres de la RNN de Chérine, ce qui correspond à 3000 € d'indemnités auxquelles s'ajoute environ 1 000€ de frais kilométriques. La réserve met à disposition des véhicules pour le terrain ainsi que du matériel optique. L'équipe de la réserve apporte également son concours à la réalisation du comptage des colonies. La structure prend en charge l'intégralité de l'hébergement lors de mes déplacements au CEBC-CNRS. Le CEBC CNRS a quant à lui mis à disposition ses locaux (bibliothèque, ordinateur, restaurant, logement etc.) et l'encadrement pour les analyses et la rédaction.

1.3. Programme et réalisation

Un planning prévisionnel des tâches de chaque mois est détaillé dans le tableau 1.

Figure 3 : Aire de répartition de la Guifette moustac (IUCN red list, 2015)

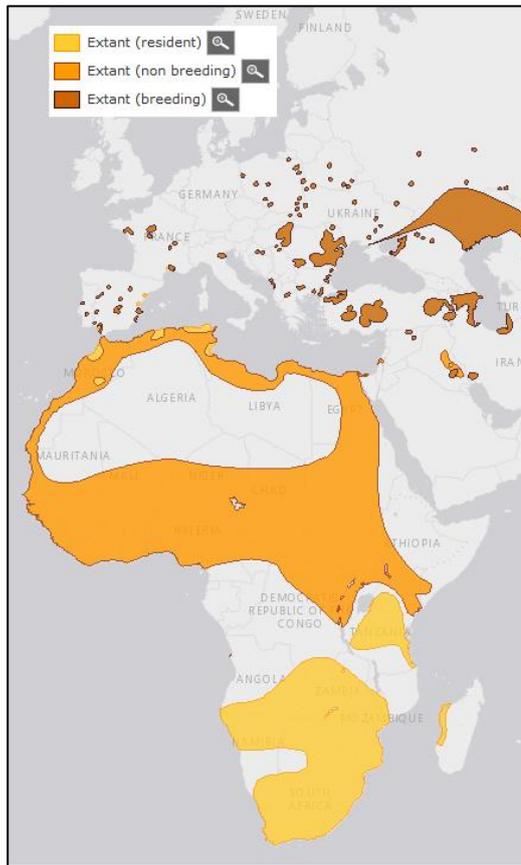


Figure 4 : Localisation de la Brenne et représentation de la ZPS « Brenne » et du PNR de la Brenne

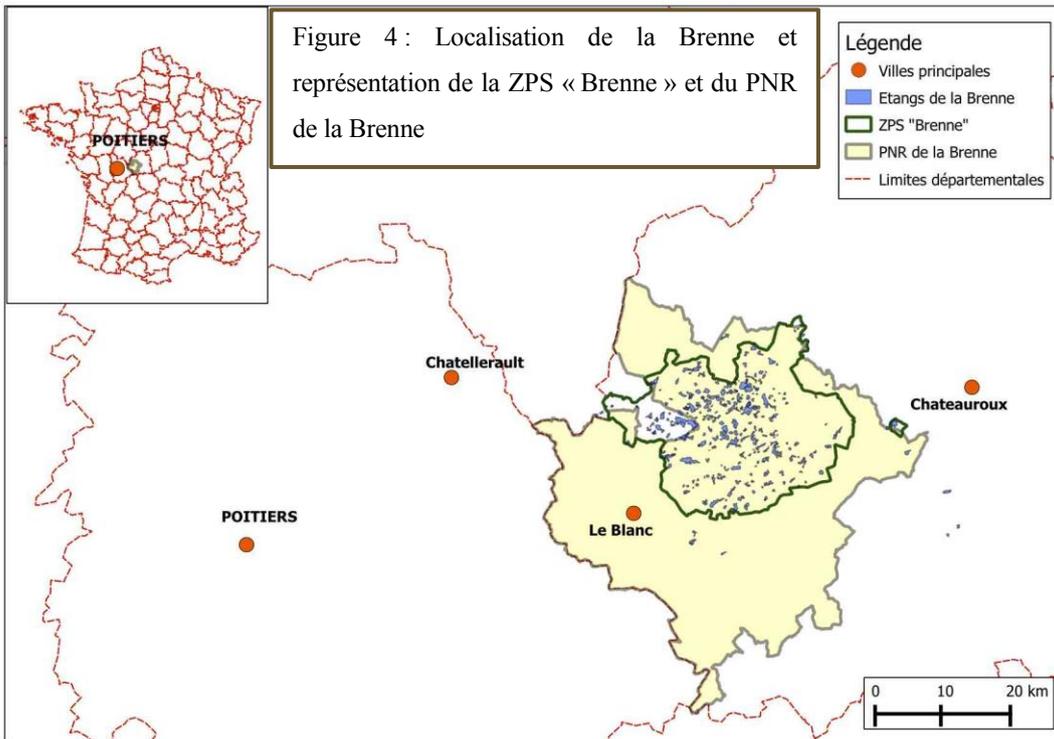
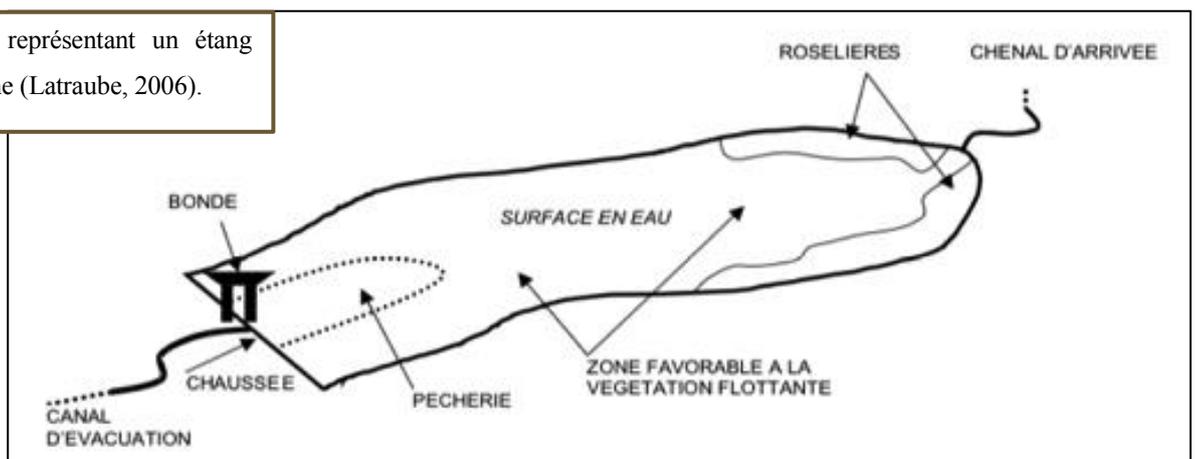


Figure 5 : Schéma représentant un étang traditionnel de Brenne (Latraube, 2006).



2. MATERIEL ET METHODE

2.1. Modèle d'étude

La Guifette moustac, *Chlidonias hybrida* (Pallas, 1811), est une petite sterne de 22 à 24 cm, pesant entre 89 et 96 g (Latraube, 2006 ; MNHN, 2010). Il existe un dimorphisme sexuel au niveau du bec, plus long chez les mâles que chez les femelles (Ledwon, 2011). Elle est considérée comme une espèce « à surveiller » sur le territoire national (Rocamora & Yeatman-Berthelot, 1999). Elle figure en annexe I de la Directive Oiseaux et en annexe II de la Convention de Berne (MNHN, 2010).

L'aire de distribution de la Guifette moustac (Figure 3) est relativement vaste (Paléarctique, Afrique de l'Est et Océanie), mais elle est divisée en trois sous-espèces correspondant aux différents continents (MNHN, 2010). Cette espèce est inféodée aux marais d'eau douce, à faible profondeur d'eau avec une végétation flottante importante pour y construire son nid (Paillisson *et al.*, 2006 ; 2007). En Brenne, les Guifettes construisent leur nid sur divers types de végétation aquatique, flottante ou émergée (Trotignon *et al.*, 1994). Les Guifettes moustacs, comme de nombreux sternidés, nichent en colonies où la distance entre les nids varie de 1 à 50 mètres (Latraube, 2006). Généralement, 2 à 3 œufs sont pondus et incubés entre 18 et 21 jours par les deux parents. Les jeunes sont volants à partir de 23 jours. Ils sont semi-nidifuges et peuvent quitter le nid au bout de 4 à 10 jours (Cramp, 1985). La Guifette moustac est éclectique du point de vue du régime alimentaire. Elle est opportuniste et se nourrit de petits poissons, d'insectes, d'amphibiens, de vers voire de gammarès (Cramp, 1985). D'après les études réalisées en Brenne, les Guifettes peuvent s'éloigner parfois jusqu'à 6 km de leur nid pour s'alimenter (Latraube, 2006).

2.2. Site d'étude

La Brenne est une zone humide située au sud du département de l'Indre, bordée par les villes de Châteauroux, Châtellerault et Le Blanc (Figure 4). Cette région continentale est caractérisée par la présence d'étangs, sur près de 10 000 ha d'eau (Trotignon, 2015a). La plupart des étangs ont une structure similaire (Figure 5), mais du fait de la privatisation, la gestion est devenue souvent différente d'un étang à un autre. En général, les étangs sont asséchés (mis en *assec*) tous les 7 à 10 ans afin de procéder à l'entretien des digues et de la pêche. Cette pratique permet également la minéralisation de la matière organique et le développement de végétation aquatique lors de sa remise en eau l'année suivante (Trotignon, 2015).

2.3. Suivi des colonies de Guifettes moustacs en Brenne

Les colonies de Guifettes moustac font l'objet d'un recensement depuis 1972, mais les données standardisées (recensement exhaustif) ne datent que de 1982. Tous les étangs susceptibles d'accueillir des Guifettes sont visités, tous les 10 jours en moyenne, de mai à août pour le dénombrement des colonies. A chaque visite, le nombre de couples en phase de reproduction est recensé depuis la rive des étangs. Il existe néanmoins quelques biais de comptage du fait de la végétation aquatique qui peut cacher des nids voire même des oiseaux.

Les différents stades de nidification

i = installation

0 = couveuse

1 = nid avec petit(s) poussin(s)
0 à 10 jours



2 = nids avec poussins de taille moyenne
11 à 20 jours



3 = nids avec poussins de grande taille
21 à 30 jours



Figure 6 : Les différents stades de nidification de la Guifette moustac (Van Ingen, 2014b)



Figure 7 : A gauches les différentes couleurs de bagues posées entre 2002 et 2009 (de haut en bas Vert, Blanc, Bleu, Jaune Orange, Rouge, Violet, Noir). Au milieu un adulte bagué couleur (Jaune-Blanc/Blanc-Métal). A droite un adulte bagué avec un code alphanumérique A58-Métal © Laura Van Ingen.

Il en résulte une sous-estimation du nombre de couples. Les effectifs sont divisés en quatre classes correspondant à quatre stades différents de la reproduction (Figure 6). Cette méthode est utilisée afin de caractériser plus finement la phénologie de reproduction de l'espèce dans le temps. Cependant, la reproduction étant étalée sur plusieurs mois et avec la dispersion rapide des juvéniles il est difficile de suivre le nombre de nids avec des jeunes jusqu'à la fin de la nidification.

In fine, ces données sont compilées dans une base générale. Dans ce fichier, les informations suivantes sont résumées : le nom des étangs, l'année, le nombre de couples reproducteurs, le nombre d'installations, le nombre maximal de couples comptés sur l'étang à un instant t et le nombre de couples ayant réussi la reproduction.

Au début des années 2000, un bilan des connaissances a permis d'obtenir une chronologie propre de chaque étang en fonction de l'occupation par les Guifettes. Au sein de cette base, nous pouvons analyser le nombre d'années d'utilisation consécutive des étangs, le nombre de séquences d'occupation (Dehorter, 2000 ; Trotignon *et al.*, 2004 ; Mortreux, 2004).

2.4. Le programme de baguage coloré des Guifettes moustacs

Le programme de baguage coloré a commencé en 2002, seulement quelques individus ayant été bagués en 2001, comprenant une phase de test pour les captures. Entre 2002 et 2009, des combinaisons de une à trois bagues colorées ont été placées sur les tarses des oiseaux (adultes ou poussins) en plus d'une bague métal du MNHN (Figure 7). Cependant, faute de disponibilités des bagueurs, aucune Guifette moustac n'a pu être baguée en 2008. Etant donné l'utilisation quasi totale des combinaisons de couleurs possibles et le constat de décoloration ou perte des bagues couleur, un autre système de marquage coloré a été utilisé à partir de 2010. En plus d'une bague métal, les oiseaux ont été équipés d'une bague en plastique type PMMA (Plyméthacrylate de méthyle) de couleur verte avec un code alphanumérique blanc. Le code commence par une lettre suivie de deux chiffres. Ainsi, depuis 2002, chaque individu marqué avec des bagues de couleur a une combinaison propre permettant de connaître la provenance des individus ainsi que leur âge exact lorsqu'ils ont été bagués au stade poussin.

Les opérations de capture se sont déroulées la nuit à l'aide d'un phare relié à une batterie permettant de voir facilement les poussins sur la végétation flottante. Les conditions météorologiques optimales correspondent à une nuit douce sans lune, ni vent, ni précipitation. Plusieurs mesures sont effectuées sur chaque oiseau, à savoir la longueur du bec, du tarse, de l'aile pliée ainsi que la détermination de la masse corporelle. Une nouvelle technique de capture, essentiellement ciblée sur les adultes, a été testée cette année. Il s'agit d'utiliser un filet japonais vertical idéalement de 18 mètres et de positionner au centre une forme de prédateur connu tel que le Milan noir ou le Busard des roseaux. Cette technique est décrite plus précisément en Annexe 2.

Pour les contrôles visuels, depuis 2011, la pression d'observation est détaillée avec le temps passé à la recherche d'oiseaux bagués, le nombre de visites, le nombre d'individus présents, contrôlés, bagués et relus

(Van Ingen, 2014b). Afin de faciliter la relecture des bagues, des piquets sont plantés dans les étangs au mois d'avril afin de voir les tarses des Guifettes qui les utilisent comme reposoir. En règle générale, une bague PMMA peut être relue à une distance maximale de 80 mètres et une combinaison couleur à environ 120 mètres. Lorsque les combinaisons couleur sont incomplètes, il est nécessaire de relire une partie ou la totalité de la bague métal. Il est ainsi nécessaire que les oiseaux ne soient pas à plus de 20 mètres de l'observateur.

2.5. Méthode d'analyse de données

2.5.1. Dynamique spatio-temporelle des colonies

L'analyse de la population de Guifettes moustacs a été élaborée en quatre étapes. L'évolution du nombre de couples nicheurs a d'abord été analysé sur la période considérée (jusqu'en 2014) ainsi que le nombre de colonies présentes. L'objectif est ici de décrire et d'analyser la dynamique temporelle de la population. Le succès reproducteur des Guifettes (enregistré depuis 2000) est également étudié : rapport entre le nombre de couples ayant produit des jeunes à l'envol et le nombre de couples total pour une colonie donnée. Pour chacune des relations linéaires que nous présentons (la variable étudiée en fonction de l'année), nous vérifions au préalable la normalité de la distribution des données (test de Shapiro-Wilk pour la normalité des données ; test de Breuch Pagan pour l'homoscédasticité des variables ; test de Durbin-Watson pour l'indépendance des variables) (Package lmtest de R). Les variables décrivant cette dynamique seront également analysées deux à deux afin d'évaluer si elles sont corrélées entre elles.

Ensuite, nous étudierons les paramètres à l'origine des variations d'effectifs de la population. Pour cela, les conditions climatiques au Sahel sont un facteur déterminant pour les populations d'oiseaux migrateurs européens, en particulier la pluviométrie affectant les espèces aquatiques comme la Guifette. Nous avons utilisé l'indice de précipitation au Sahel disponible sur le site (http://research.jisao.washington.edu/data_sets/sahel/). Ces données sont recueillies sur toute la zone sahélienne entre 1900 et 2013 à partir du réseau historique de climatologie mondiale (NOAA). Les données ont été préalablement ajustées afin de mieux analyser les années en déficit de pluviométrie (JISAO, 2013).

Enfin, dans un troisième temps, nous nous sommes intéressés aux processus d'apparition et d'extinction des colonies pour celles dont l'effectif est supérieur à 60 couples. Sur un étang donné, une colonie est considérée comme une entité pérenne tant qu'elle reste sur un même étang plusieurs années de suite, quel que soit son effectif. La « durée de vie » d'une colonie est définie par le temps d'utilisation de l'étang qui doit être de plusieurs années consécutives. Pour chaque colonie est noté si l'étang était en assec l'année précédente la colonisation ou suivant l'extinction. En effet, après un assec une végétation aquatique se développe permettant aux Guifettes de nicher (Bernard, 2008). Il est précisé si une colonie éteinte est reportée dans un rayon de 2km l'année précédente. Ensuite des fréquences sont calculées et elles renseignent sur le nombre d'étangs en assec ou occupés par des colonies de Guifette. Cependant, le nombre d'étang en assec ou occupés n'est pas aléatoire, c'est pourquoi nous avons calculé, pour chaque année, deux chiffres analogues (effectifs théoriques

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|----------|----------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| | Années | Effectifs maille 1 | Effectifs Brenne | Log Effectifs Maille 1 | Log Effectifs Brenne | Taux de croissance maille 1 | Taux de croissance Brenne | Pondération |
| | – | – | – | LN(B1...3 +1) | LN(C1...3+1) | D2-D1 D3-D2 | E2-E1 E3-E2 | F1/Valeur Absolue(G1) |
| 1 | 1982 | 139 | 612 | 4,9416 | 6,4183 | – | – | – |
| 2 | 1983 | 46 | 751 | 3,8501 | 6,6227 | -1,0914 | 0,20437 | -5,3407 |
| 3 | 1984 | 85 | 425 | 4,4543 | 6,0544 | 0,60419 | -0,5682 | 1,0631 |

Tableau 2 : Les différents calculs effectués sur chaque maille avant de calculer les pentes

| | Test 3.SR | Test 3.SM | Test 2.CT | Test 2.CL | Somme des tests | |
|------------|----------------------|--|-----------------|----------------------------|---------------------|-----------|
| Définition | Transients | Différence de recapture entre les 1 ^{er} années et les adultes | Trap-dépendance | Différence de recapture | Général | Sans 3.SR |
| χ^2 | 71.2611 | 30.7998 | 14.8089 | 30.82 | 147.69 | 76.43 |
| df | 10 | 11 | 11 | 17 | 49 | 39 |
| p | 1.59 ^{e-10} | 0.0012 | 0.21 | 0.02 | 7.9 ^{e-12} | 0.0003 |
| \hat{c} | | | | | 3.01 | 1.96 |

Tableau 3 : Tests Goodness-of-fit pour le modèle CJS des Guifettes moustacs

attendus), qui sont comparés aux effectifs observés. Ainsi, pour chacune de ces deux variables (étangs en assec, étangs occupés à moins de 2 km), le « disponible » est comparé à l'observé, sous forme de probabilités.

Enfin, la répartition spatiale des Guifettes en Brenne est étudiée. Plusieurs étapes sont nécessaires. Dans un premier temps, des mailles de 5 km ont été créées (31 mailles) recouvrant l'ensemble des étangs utilisés au moins une fois par l'espèce depuis 1982 (N=134). Cette représentation cartographique permet d'observer la répartition spatiale de l'espèce sur le site d'étude. Pour chaque maille, nous calculons le taux de croissance annuel ($LOG(Effectifs + 1)_{t+1} - LOG(Effectif + 1)_t$). Comme ce taux de croissance dépend, en partie, du nombre de couples en Brenne, et comme ils ont beaucoup varié, ce taux de croissance est corrigé en tenant compte du taux de croissance de la Brenne dans son ensemble, en prenant le rapport $(\frac{Taux\ de\ croissance\ (Maille)_t}{Taux\ de\ croissance\ (Brenne)_t})$. Cette pondération permet d'apprécier l'écart entre un taux local (un étang, une maille) et le taux global. Pour finir, nous mettons en relation cette pondération en fonction du temps afin de calculer une pente (Tableau 2). Une fois ces calculs effectués, des cartes de répartition sont générées permettant d'apprécier l'évolution spatiale des variations interannuelles des colonies au cours de la période étudiée. Afin d'affiner l'étude de la répartition des colonies dans l'espace, le barycentre est calculé sur l'ensemble des étangs utilisés au moins une fois par les Guifettes. Nous étudions l'évolution temporelle de la distance entre ce barycentre « période » et le même barycentre calculé chaque année uniquement sur les étangs occupés une année donnée.

L'ensemble de ces analyses a été réalisé avec le logiciel R 3.0.2 avec les packages de base ainsi que quelques graphiques grâce à aux packages ggplot2 et gplots.

2.5.2. Etude des paramètres démographiques individuels

Pour les paramètres démographiques individuels de la Guifette, les données de capture-marquage-recapture (CMR) obtenues de 2002 à 2015 sont traitées en exploitant uniquement les données de baguage des poussins, puisque nous connaissons précisément leur âge à chaque contrôle effectué. Les baguages adultes ne représentent que 94 individus et 44 (soit 46.81%) contrôles visuels, et sont ainsi exclus de l'analyse. Deux types d'analyses vont être développées : d'abord les taux de survie des juvéniles et des adultes puis la dispersion individuelle des Guifettes.

Nous utilisons le modèle Cormack-Jolly-Seber (CJS) (Lebretons *et al.*, 1992) du logiciel MARK 5.1 (White & Burnham, 1999), afin d'estimer les probabilités annuelles de survies (ϕ) et de recaptures (p) juvéniles (juv) et adultes (ad). Le modèle initial est le modèle (ϕ_t, p_t) où les probabilités de survies et de recaptures sont dépendantes du temps. Le test Goodness-of-fit (GOF) est réalisé sur le programme U-CARE 2.3.2 (Choquet *et al.*, 2005). Le test de GOF a détecté dans notre modèle une surdispersion des données ($\chi^2_{49} = 149.69, p = 7.9e^{-12}$), principalement due à un excès d'individus transients ou capturés une fois ($\chi^2_{10} = 71.26, p = 1.59e^{-10}$). Afin de corriger cette effet, nous appliquons le modèle a2 de MARK différenciant, pour la survie et la recapture, les juvénile des adultes ($\phi(a2-t/t), p(a2-t/t)$) (Lebreton *et al.*, 1992) (Tableau 3).

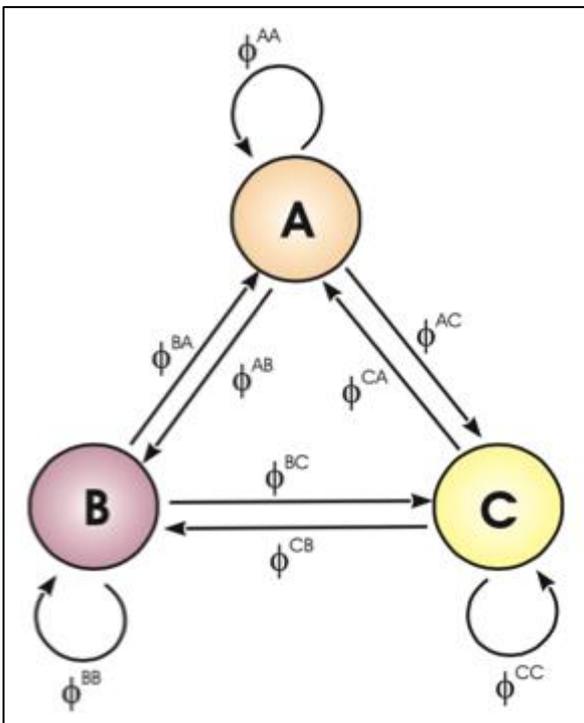


Figure 9 : Exemple des probabilités de transition (ψ) entre trois états.

| | Test 3G | Test M | JMV Model | AS Model |
|------------|-----------------------------|--------------------------|-----------|----------|
| Définition | Equivalence comportementale | Equivalence de recapture | Générale | Réduit |
| χ^2 | 83.563 | 37.378 | 120.941 | 144.106 |
| df | 33 | 23 | 56 | 126 |
| p | 0.000 | 0.030 | 0.000 | 0.129 |
| \hat{c} | | | 2.1597 | |

Tableau 4 : Tests Goodness-of-fit pour le modèle multi-états des Guifettes moustacs

Le modèle reste significatif avec un $\hat{c}=1.96$. Nous avons ajouté également une différence temporelle de recapture sur les deux classes d'âge. En effet, l'effort de contrôle est plus faible de 2003 à 2007 qu'entre 2008 et 2015 ($\phi(a2-t/t)$, $p(a2-efcapt/efcapt)$). La surdispersion est liée à l'excès d'individus transients.

Pour tester des hypothèses biologiques en intégrant des paramètres comme le temps, l'effet de la pluie, ou la taille des colonies, nous avons procédé par étapes en réduisant au minimum le nombre d'hypothèses. Nous avons sélectionné celles qui semblaient les plus pertinentes (Conditions climatiques au Sahel ou en Brenne). La pluviométrie au Sahel est susceptible d'influencer la survie juvénile et adulte des Guifettes dans leurs quartiers d'hivernage. C'est ce qui a été observé sur d'autres espèces d'oiseaux migrateurs européens (Mihoub *et al.*, 2010 ; Limañana *et al.*, 2012). Pour finir, d'autres covariables populationnelles peuvent être pertinentes à mettre en relation, c'est le cas notamment de la taille des colonies (moyenne annuelle du nombre de couples par colonies). Ces différentes covariables sont ajoutées séparément ou par effet additif au modèle précédent en différenciant toujours la survie juvénile de la survie adulte.

La sélection de modèles est basée sur le Critère d'Information Akaike (AIC) (Burnham & Anderson, 2002). Le modèle avec l'AIC le plus faible est le modèle qui s'adapte le mieux à notre jeu de données. Nous utilisons également le QAICc qui évalue le poids d'AIC entre les modèles. Afin d'établir l'importance de l'effet des covariables sur la survie, une analyse de déviance est réalisée (Anodev ; Skalski, 1996). L'Anodev compare la déviance du modèle de survie constante (Dcst), du modèle en fonction du temps (Dtps) et du modèle avec une covariable (Dcov) : $R^2 Anodev = \frac{Dcst - Dcov}{Dcov - Dtps}$. Ce calcul permet d'obtenir un coefficient de corrélation et fournit une estimation de la variable temporelle et de la survie expliquée par les covariables (Grosbois *et al.*, 2008).

Pour la dispersion individuelle, nous utilisons le modèle « Multistats ». Au préalable, les différents états de dispersion sont définis, correspondant à des secteurs à l'échelle de la Brenne. Pour cela, une carte regroupant l'ensemble des données de baguages et de contrôles est réalisée afin de localiser des secteurs (Figure 8). Au vu du nombre de données et de la complexité de l'analyse, nous estimons que seulement trois états sont à définir (Etat A à l'ouest, B au nord et C à l'est). Par la suite, chaque individu est codé de manière à identifier l'état dans lequel il se trouve l'année du contrôle. Pour les oiseaux observés sur plusieurs états la même année nous choisissons en fonction du site où il est à priori nicheur ou cantonné (Exemple d'histoire de capture : 0A0AAB0C). Avec trois états, cela amène à étudier 9 probabilités de transition (psi) (Figure 9). Les tests GOF révèlent une équivalence comportementale et à la recapture significative (Test.3G : $\chi^2_{33} = 83.563$, $p = 0.000$; Test.M : $\chi^2_{23} = 37.378$, $p = 0.030$). Le test global du model JMV montre une surdispersion des données ($\chi^2_{56} = 120.941$, $p = 0.000$), avec un $\hat{c} = 2.1597$ (Tableau 4). Les modèles sélectionnés précédemment sont repris en laissant les probabilités de transition constante au cours du temps ($\phi(a2-t/t)$, $p(a2-efcapt/efcapt)$, $\psi(.)$). Les probabilités de transition seront surestimées par rapport à un modèle sans surdispersion des données (Pradel *et al.*, 2003).

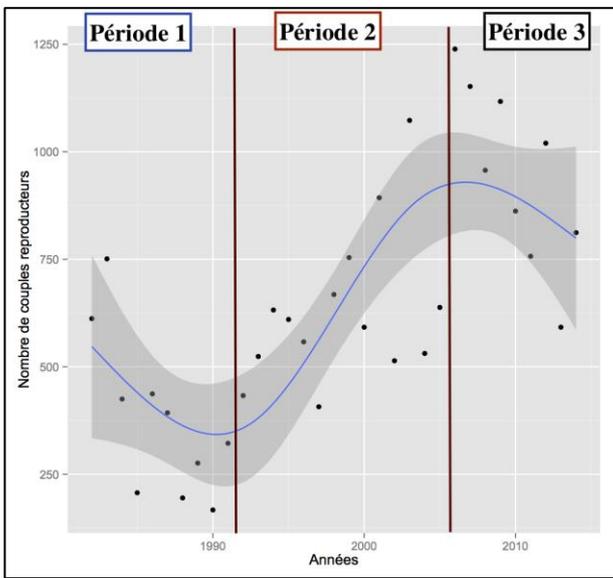


Figure 10 : Evolution du nombre de couples de Guifettes en Brenne de 1982 à 2014. La courbe correspond à la meilleure représentation des variations de ces effectifs.

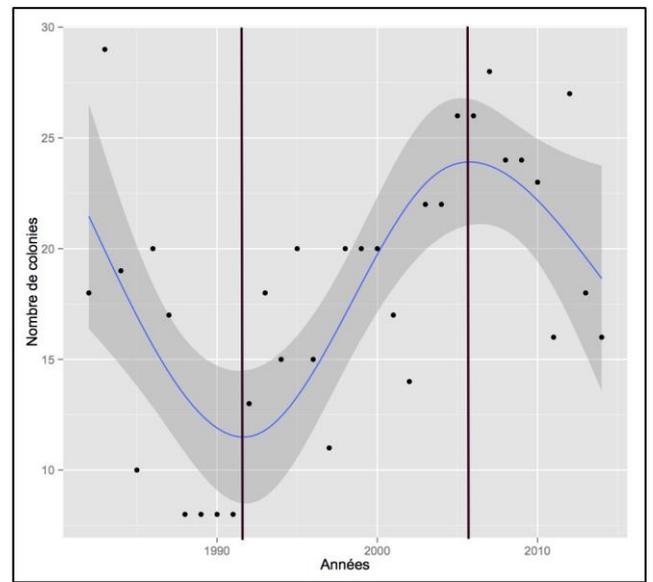


Figure 11 : Evolution du nombre de colonies de Guifettes en Brenne de 1982 à 2014. La courbe correspond à la meilleure représentation des variations de ce nombre de colonies.

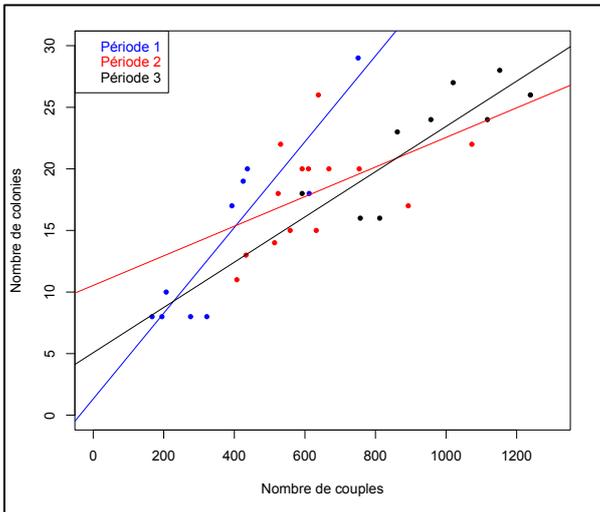


Figure 12 : Relation entre le nombre de couples et le nombre de colonies de Guifettes. Les droites correspondent aux régressions linéaires par période.

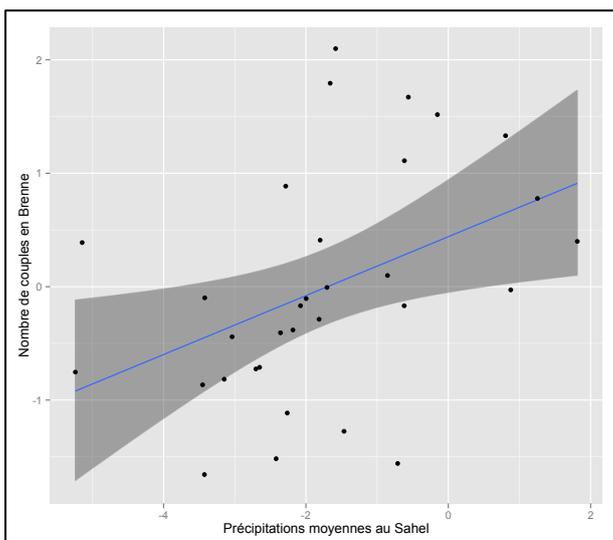


Figure 13 : Relation entre le nombre de couples de Guifettes en Brenne et les précipitations moyennes au Sahel.

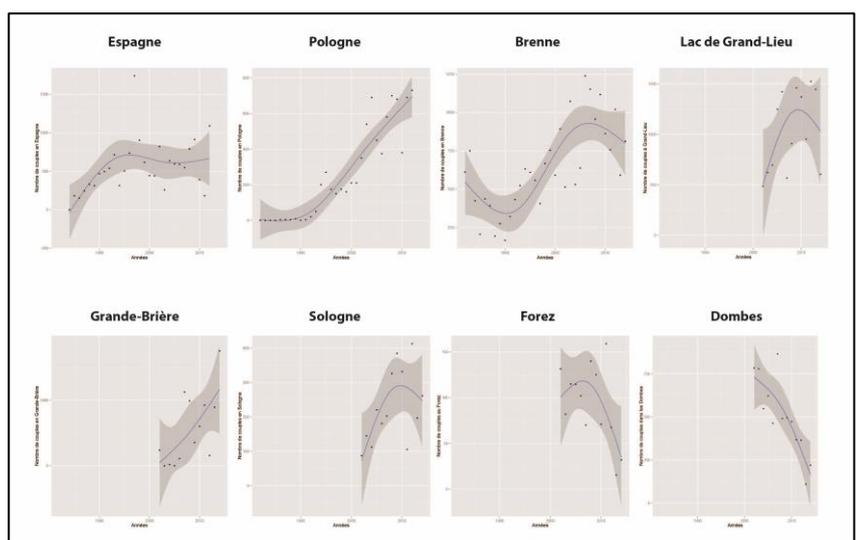


Figure 14 : Différents graphiques des populations de Guifettes moustacs en Europe. De gauche à droite et de haut en bas, la population de Guifettes sur la côte méditerranéenne en Espagne (Dies Jambrino, 2013), en Pologne (Ledwon *et al.*, 2013), et sur les principales populations françaises (Trotignon, 2015).

3. RESULTATS

3.1. Description de la dynamique spatio-temporelle de la *Guifette moustac* en Brenne

3.1.1. Evolution de la population de *Guifettes moustacs* en Brenne et en Europe

Tout d'abord, la variation du nombre de couples de *Guifettes* en Brenne, entre 1982 et 2014, est représentée sur la figure 10. Cette évolution n'est pas monotone, mais elle est caractérisée par de fortes variations d'effectifs et elle peut être modélisée par un polynôme de degré 3. Trois périodes sont distinguables. Entre 1982 et 1991, il y a une diminution passant de 612 à 322 couples (pente= -45.59 ± 15.03). Une phase d'augmentation progressive est observable, entre 1991 et 2006, passant de 433 à 1232 couples (pente= $+30.13 \pm 11.76$). Enfin, à partir de 2006, une seconde diminution des effectifs de *Guifettes* est constatée passant de 1232 à 812 (pente= -60.37 ± 17.63). Ainsi, ces trois périodes montrant des cinétiques radicalement opposées, et pour la suite des analyses, les périodes déterminées ci-dessus seront analysées séparément. Les *Guifettes moustacs* établissent plusieurs colonies en Brenne chaque année (moyenne entre 1982 et 2014 : 18 ± 6). L'évolution temporelle du nombre de colonies est représentée sur la figure 11, afin de la comparer au nombre de couples. Les phases de croissance et de décroissance sont comparables au graphique précédent, mais elles sont plus accentuées. Une relation entre le nombre de couples et le nombre de colonies de *Guifettes* est identifiable. Sur la figure 12, les trois périodes sont séparées : des droites de régression sont obtenues indépendamment. Durant les périodes de diminutions d'effectifs, la relation entre le nombre de couples et le nombre de colonies est plus forte (Période 1 : Pente= 0.348 ± 0.056 ; Période 3 : Pente= 0.0184 ± 0.0047) que lors de la phase d'augmentation (Période 2 : Pente= 0.011 ± 0.0059). Néanmoins, les pentes des deux phases de diminutions ne sont pas identiques ce qui suggère peut-être une différence du mécanisme de diminution du nombre de couples entre ces deux périodes.

Voyons à présent les causes de variations d'effectifs de *Guifettes* en Brenne en s'intéressant particulièrement à l'écologie de l'espèce. Les *Guifettes* passent la moitié de l'année en Afrique subsaharienne, durant l'hiver (Cramp, 1985). Le nombre de couples de *Guifettes* en Brenne est lié positivement à la quantité de précipitation au Sahel (t.value=2.54, $p=0.0165$, Pente= 0.26 ± 0.10) (Figure 13). En détaillant cette relation en fonction des trois périodes de variations des effectifs, seulement pour les deux premières périodes, la pluviométrie au Sahel est corrélée aux effectifs en Brenne (Période 1 : t.value=-2.47, $p=0.038$, Pente= -0.30 ± 0.12 ; Période 2 : t.value=2.12, $p=0.047$, Pente= 0.23 ± 0.10). En revanche, pour la période de diminution des effectifs à partir de 2006, le nombre de couples est indépendant des précipitations dans cette région d'Afrique (Période 3 : t.value=-0.46, $p=0.66$, Pente= -0.12 ± 0.26). Ainsi, les *Guifettes moustacs* semblent sensibles aux variations pluviométriques dans leurs quartiers d'hivernage, au Sahel. Sur la figure 14 sont comparés les effectifs de *Guifettes* en Brenne avec ceux des autres

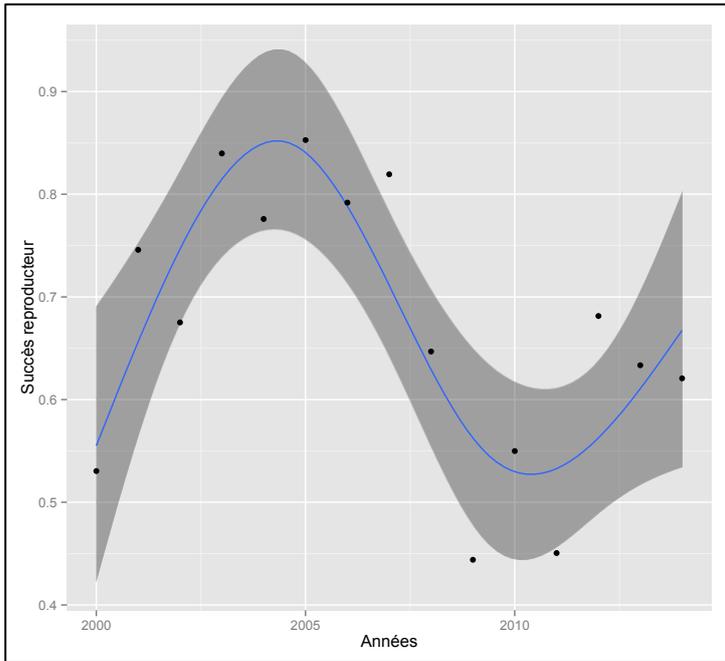


Figure 15 : Evolution du succès reproducteur des Guifettes en Brenne entre 2000 et 2014.

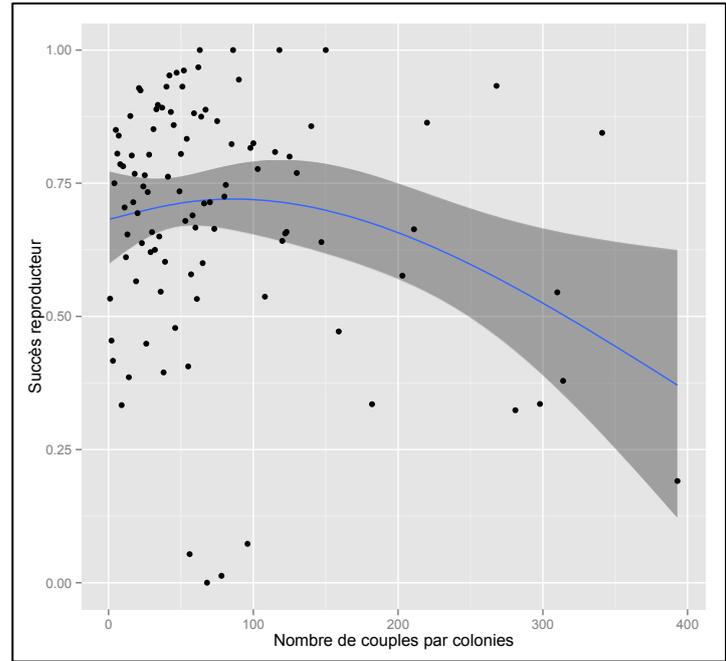


Figure 16 : Relation entre le succès reproducteur et la taille des colonies. La courbe de régression a pour fonction $y=0.68+7.78x-4.20x^2$

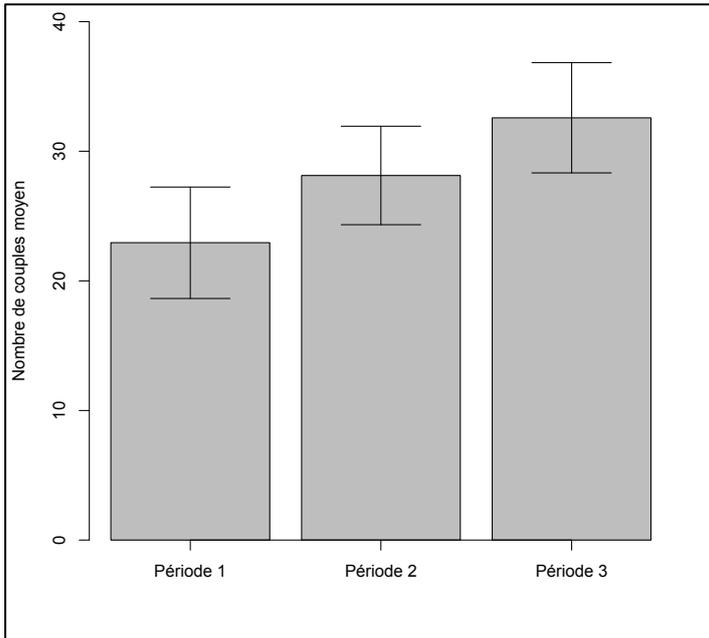


Figure 17 : Taille moyenne des colonies de Guifettes en fonction des 3 périodes de variation d'effectifs.

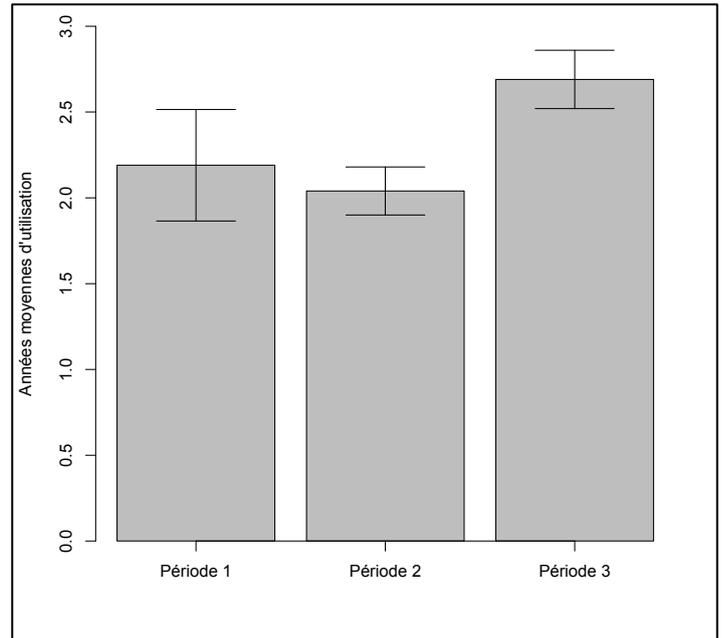


Figure 18 : Durée de vie moyenne des colonies de Guifettes en fonction des 3 périodes.

populations françaises et européennes, nous constatons que quatre d'entre elles ont la même cinétique que la Brenne dans les années 2000. En revanche, en Espagne, il y a une augmentation du nombre de couples puis un plateau à partir de 1995 (entre 500 et 700 couples). En Pologne, la population a fortement augmenté entre 1990 et 2005, mais semble se stabiliser. Ainsi, il semble qu'il y ait une stabilisation des effectifs de Guifettes sur toutes les populations d'Europe depuis le milieu des années 2000 à l'exception de quelques populations dont la Brenne qui sont en diminution depuis 2006. Les conditions météorologiques au Sahel ne semblent pas être à l'origine de la diminution du nombre de couples à cette période. Il paraît donc nécessaire d'étudier des paramètres locaux, propres à la Brenne pour expliquer cette évolution.

3.1.2. Evolution du succès reproducteur depuis 2000

Nous cherchons à comprendre les raisons de la diminution des effectifs de Guifettes en Brenne à partir de 2006. Pour cela, le succès reproducteur est analysé par année depuis 2000, car ces informations ne sont pas disponibles les années précédentes (Figure 15). Cette variable n'est pas constante dans le temps, mais varie selon un polynôme d'ordre 3. Le pic du nombre de couples ayant produit des jeunes à l'envol est, en 2005, de 85% de couples avec succès. Ce taux élevé est situé l'année précédant le pic d'effectifs en Brenne (2006=1239 couples). Par la suite, une diminution du succès reproducteur est observable passant de 0.85 en 2005 à 0.45 en 2009 et 2011. Récemment, il apparaît que le nombre de couples produisant des jeunes à l'envol semble remonter et il atteint 0.62 en 2014. Nous avons mis en relation le nombre de couples en Brenne depuis 2000 avec le succès de reproduction, mais il n'y aucune corrélation entre ces deux variables.

La variation du succès de reproduction peut être liée à d'autres facteurs notamment le nombre moyen de couples par colonies ou la « durée de vie » d'une colonie. La figure 16 représente le succès reproducteur en fonction du nombre de couples par colonies. La relation observée est non linéaire. Pour les colonies de moins de 100 couples, la relation n'est pas significative, mais ce n'est pas le cas pour les autres. Une diminution du succès de reproduction est observable pour les colonies de plus de 100 couples. Le succès reproducteur est d'autant plus faible que la colonie est importante ($t.value=-2.745$, $p=0.0115$, $Pente=-0.0013\pm 0.00046$). De plus, c'est durant la période 3, à partir de 2006, que les colonies sont les plus grandes (Figure 17), avec en moyenne 32.58 ± 8.46 couples/colonies. De la même manière, nous avons testé le succès de reproduction en fonction de la durée de vie des colonies. La droite n'est pas significative, mais il semble y avoir une relation négative entre ces deux variables ($t.value=-1.276$, $p=0.22$, $Pente=-0.12\pm 0.09$). Entre 2006 et 2014, les colonies présentes en Brenne sont plus âgées que sur les autres périodes (2.69 ± 0.34 années consécutives) (Figure 18).

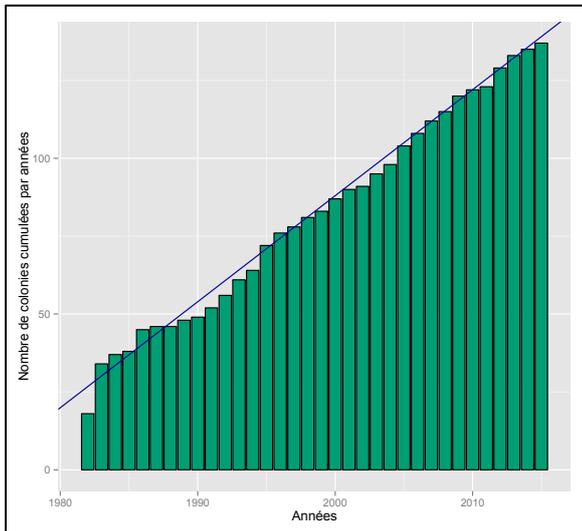


Figure 19 : Nombre cumulé de nouveaux étangs utilisés par les Guifettes entre 1982 et 2014 (en vert). La droite en bleu correspond à la droite de régression linéaire de pente 3.404 ± 0.05 ($t.value=64.23, p=2^{-16}$) et d'intercept -22.29 ± 1.00 .

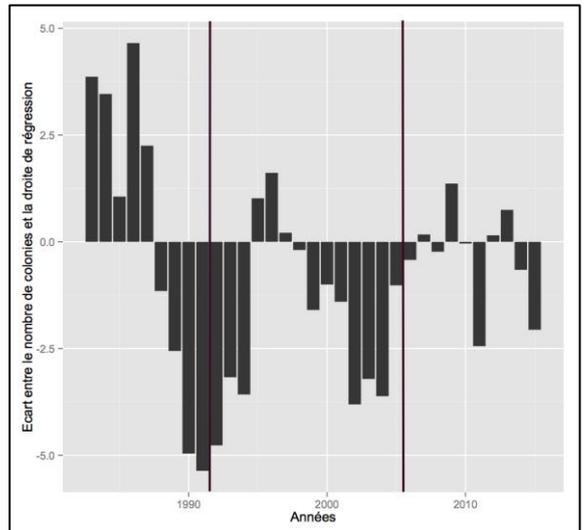


Figure 20 : Résidus issus de la droite de régression du nombre cumulé de nouveaux étangs utilisés par année.

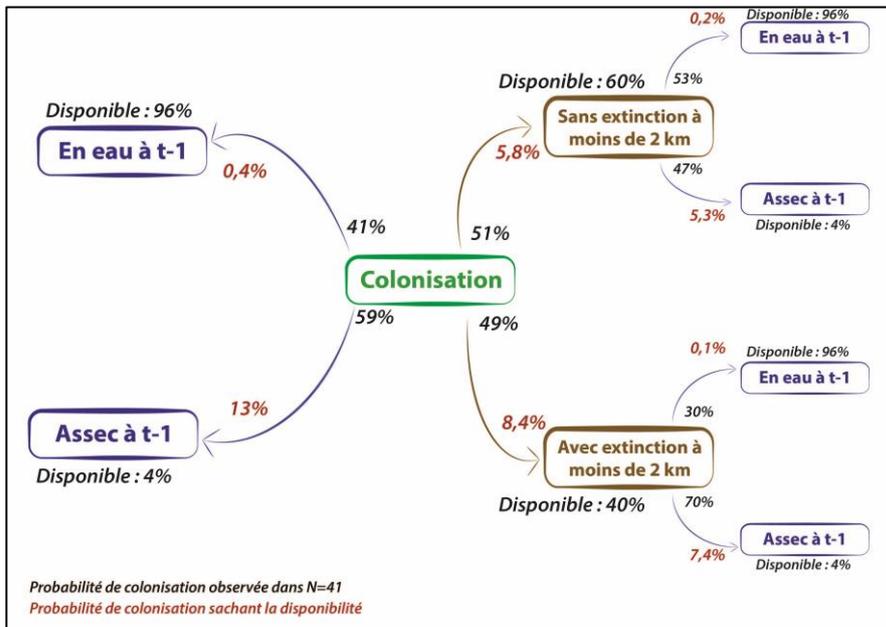
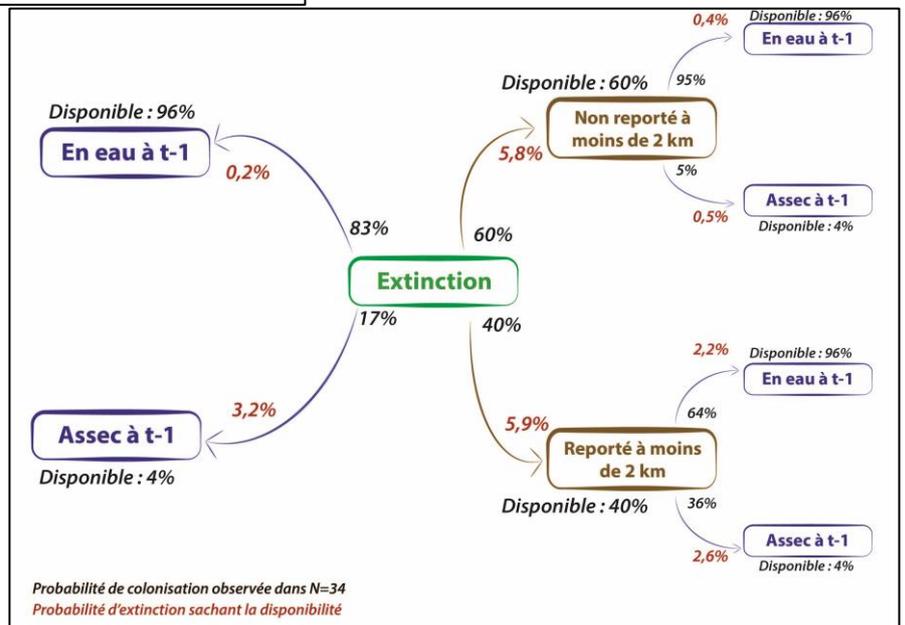


Figure 21 : Etude de la colonisation des étangs (N=41). Les valeurs correspondent au pourcentage de cas identifiés.

Figure 22 : Etude de l'extinction des colonies (N=34). Les valeurs correspondent au pourcentage de cas identifiés.



Ainsi, il semblerait que l'une des raisons pour lesquelles la population a diminué depuis 2006 en Brenne soit liée à une chute du succès reproducteur. Celui-ci est notamment dû au nombre de couples par colonie important durant la deuxième partie des années 2000. Cependant, ce déficit de succès reproducteur n'est très probablement pas la seule cause du déclin de l'espèce qui est observable en Brenne. Les colonies sont très mobiles en Brenne (Dehorter, 2000). Ainsi, il est possible que l'évolution de la population soit également liée aux mécanismes à l'origine de la création et de l'extinction des colonies.

3.1.3. Etude des processus d'apparition et d'extinction de colonies en Brenne

La Brenne est caractérisée par un très grand nombre d'étangs (environ 4800) et les *Guifettes* en utilisent près de 3%. Cette espèce colonise de nouveaux étangs régulièrement comme l'ont montré plusieurs études (Mortreux, 2004 ; Latraube, 2006). Grâce à la base de données de 33 ans de suivi en Brenne, nous pouvons étudier l'évolution du nombre de nouveaux étangs colonisés par les *Guifettes*, entre 1982 et 2015, sur la figure 19. En 1982, 18 étangs étaient occupés par l'espèce. En 2015, ce sont 137 étangs qui ont été au moins utilisés une fois par l'espèce. La colonisation de nouveaux étangs cumulés par an correspond à une droite (de régression linéaire $y=3.404x-22.28$).

Nous étudions les résidus issus de la droite de régression sur la figure 20. Une variation similaire à celle du nombre de couples est constatée, caractérisée à première vue par une diminution du nombre de nouveaux étangs colonisés. En période d'augmentation des effectifs, le nombre de nouveaux étangs semble légèrement augmenter. Durant la dernière période, les résidus sont proches de 0 ce qui signifie que le nombre de nouveaux étangs utilisés par l'espèce est à l'heure actuelle toujours en augmentation.

Désormais, nous cherchons à comprendre les mécanismes qui sont à l'origine de l'apparition de colonies de *Guifettes*. Les figures 21 et 22 représentent les probabilités de colonisation en fonction des paramètres liés à l'assec ou à l'extinction d'une colonie dans un rayon de 2km. L'assec est déterminant dans la colonisation d'un étang. De la même manière pour les colonies qui s'éteignent, cela est principalement dû au fait que l'étang passe en assec, mais que celle-ci ne se déplace pas, généralement, dans un rayon à moins de 2 km. Ainsi pour résumer cette étude de colonisation-extinction, lorsqu'une colonie apparaît à l'instant t , elle utilise majoritairement un étang qui était en assec à $t-1$. Cette nouvelle colonie n'est pas liée à une extinction locale d'une colonie, sauf dans le cas où cette extinction est due à un assec.

Nous avons réalisé des cartes de répartition des colonies de *Guifettes* en Brenne selon les différentes périodes étudiées (Annexe 3). Sur la première période entre 1982 et 1991, les colonies sont essentiellement réparties au centre de la Brenne. Les zones en augmentation sont au centre, au sud-ouest et une à l'extrême est de la Brenne. A l'exception de cette dernière maille, il n'y a aucune maille avec des colonies aux extrémités nord, ouest ou est de la Brenne. La seconde période de 1992 à 2005, présente une

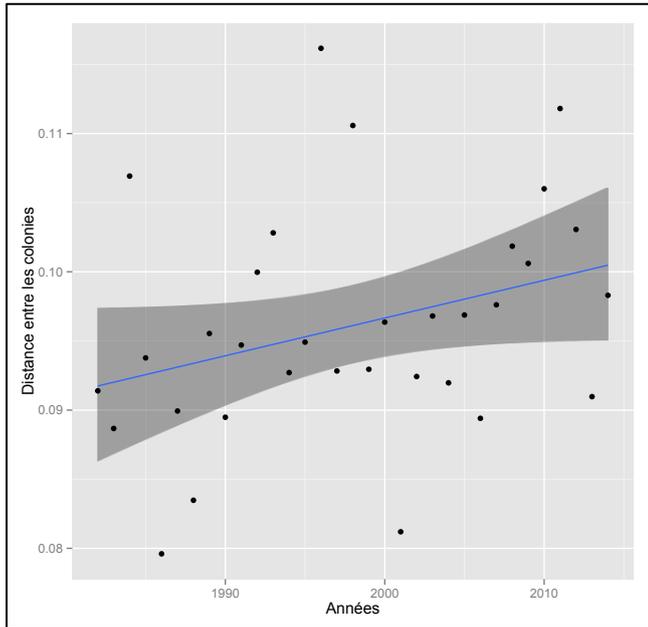


Figure 23 : Evolution de la distance moyenne du barycentre des colonies de la Brenne et des colonies par années en fonction du temps.

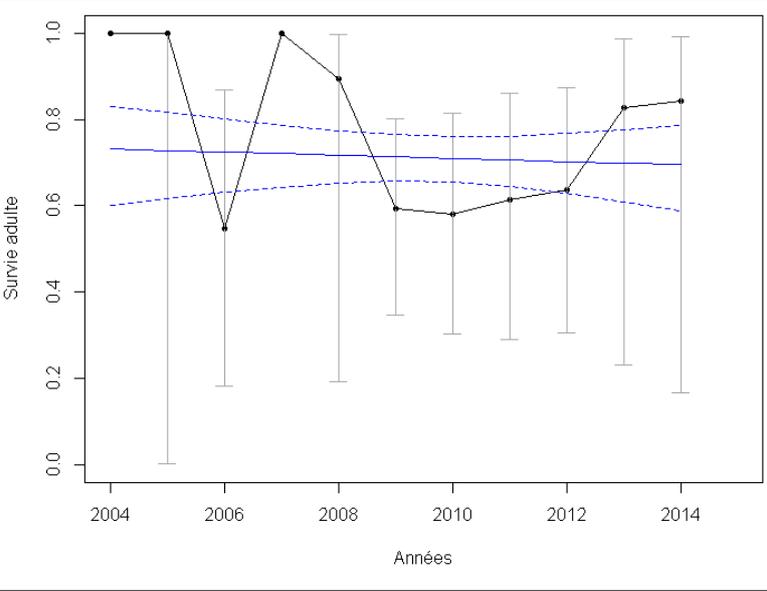


Figure 24 : Evolution de la survie adulte au cours du temps. La courbe noire correspond aux valeurs observées par le modèle temps avec leur intervalle de confiance à 95%. La courbe bleue correspond aux valeurs de survie adulte prédites par le modèle avec la covariable temporelle linéaire.

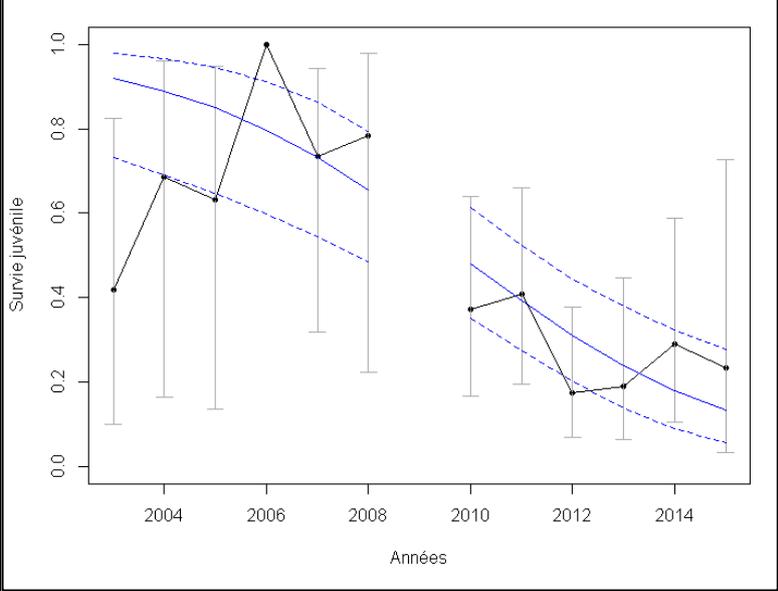


Figure 25 : Evolution de la survie juvénile au cours du temps. La courbe noire correspond aux valeurs observées par le modèle temps avec leur intervalle de confiance à 95%. La courbe bleue correspond aux valeurs de survie juvéniles prédites par le modèle avec la covariable temporelle linéaire. La valeur manquante entre 2008 et 2009 correspond à l'absence de baguage juvénile en 2008.

pente fortement positive du taux de croissance. Cette maille légèrement au nord correspond aux étangs de la réserve de Chérine sur la commune de St-Michel-en-Brenne. Le centre de la Brenne est majoritairement en décroissance. En revanche, il y a un étalement des colonies de *Guifettes* au nord, à l'est et à ouest de la Brenne. Pour la dernière période entre 2006 et 2014, les colonies sont en augmentation sur l'ensemble de la Brenne. Il s'agit notamment des mailles au sud-est sur la commune de Migné, mais également le nord-est avec des diminutions sur les mailles à l'Ouest de la Brenne. L'évolution temporelle de la distance, entre les colonies de *Guifettes* et un point considéré comme le centre de la Brenne, est représentée sur la figure 23. Comme ce que nous suggérons précédemment, la distance entre les colonies et le centre de la Brenne augmente ($t.value=3.125$, $p=0.00384$, $Pente=0.031\pm 0.0098$).

En synthèse de ces analyses nous pouvons indiquer que la colonisation de nouveaux étangs par les *Guifettes moustacs* est très fréquente, suggérant que les individus se dispersent fortement. Néanmoins, nous n'avons pas pu mettre en évidence les mécanismes sous-jacents à cette dispersion. Les effets d'apparition et d'extinction de colonies sont probablement liés à l'habitat, puisque ce sont les étangs après assec qui sont majoritairement colonisés. En revanche, aucun lien direct entre l'apparition et l'extinction locale d'une colonie n'a pu être mis en évidence.

3.2. Description des paramètres démographiques des *Guifettes moustacs*

3.2.1. Estimation des taux de survie adultes et juvéniles

Entre 2002 et 2015, 1076 poussins ont été bagués avec des combinaisons couleur individuelles sur 28 colonies différentes en Brenne. Parmi ces oiseaux, 249 (23.14%) poussins ont été contrôlés en Brenne. Rappelons que le modèle de base que nous avons sélectionné, corrigeant l'excès d'individus transients, est le modèle à deux classes d'âge à la fois sur la probabilité de survie et sur la recapture. Dans ce modèle, les survies adultes et juvéniles sont dépendantes du temps et deux périodes sont différenciées pour les probabilités de recapture correspondant à des efforts de recapture différents ($\phi(a2-t/t) p(a2-efcapt/efcapt)$).

Le modèle s'adaptant le mieux aux données révèle un taux survie adulte constant au cours du temps de 0.72 (95%CI = 0.67 , 0.78) (Figure 24). Néanmoins, bien que la prédiction de la survie adulte soit constante nous observons une diminution en 2010 ($\phi=0.58$, 95%CI=0.30 , 0.81). Les taux de survie des juvéniles varient au cours du temps. Les variations temporelles de la survie juvénile sont représentées sur la figure 25. La survie juvénile diminue passant de 0.78 (95% CI = 0.22 , 0.98) en 2007 à 0.18 (95% CI = 0.07 , 0.38) en 2012.

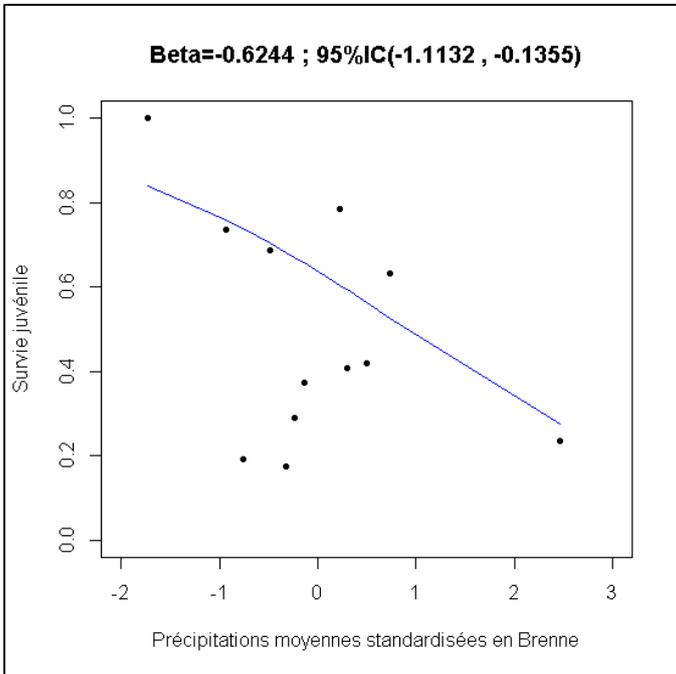


Figure 26 : Relation entre la survie juvénile et les quantités de précipitations en Brenne. La ligne bleue correspond aux valeurs prédites par le modèle avec la covariable de pluviométrie en Brenne. Les points noirs sont les valeurs de survie du modèle temps mis en relation avec la pluie en Brenne. Les valeurs titres correspondent à la pente de la droite bleue et à son intervalle de confiance à 95%..

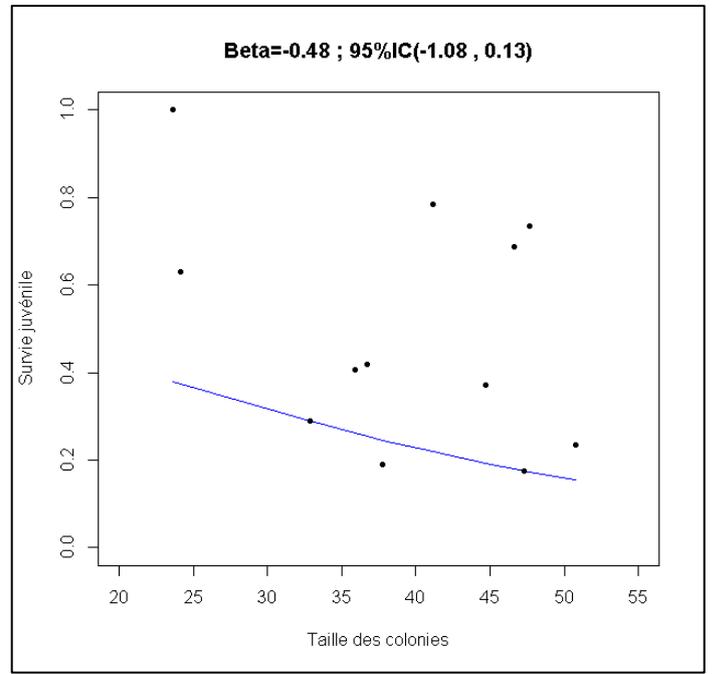


Figure 27 : Relation entre la survie juvénile et la taille des colonies. La ligne bleue correspond aux valeurs prédites par le modèle avec la covariable de la taille des colonies. Les points noirs sont les valeurs de survie du modèle temps mis en relation avec la taille moyenne des colonies. Les valeurs titres correspondent à la pente de la droite bleue et à son intervalle de confiance à 95%.

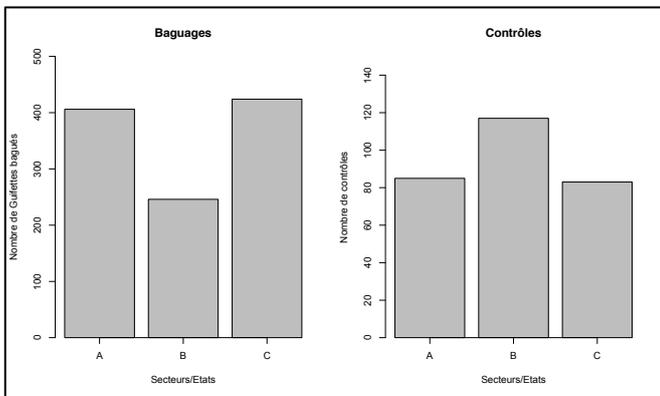


Figure 28 : A droite, nombre d'individus bagués par secteurs. A gauche, nombre d'individus contrôlés par secteurs.

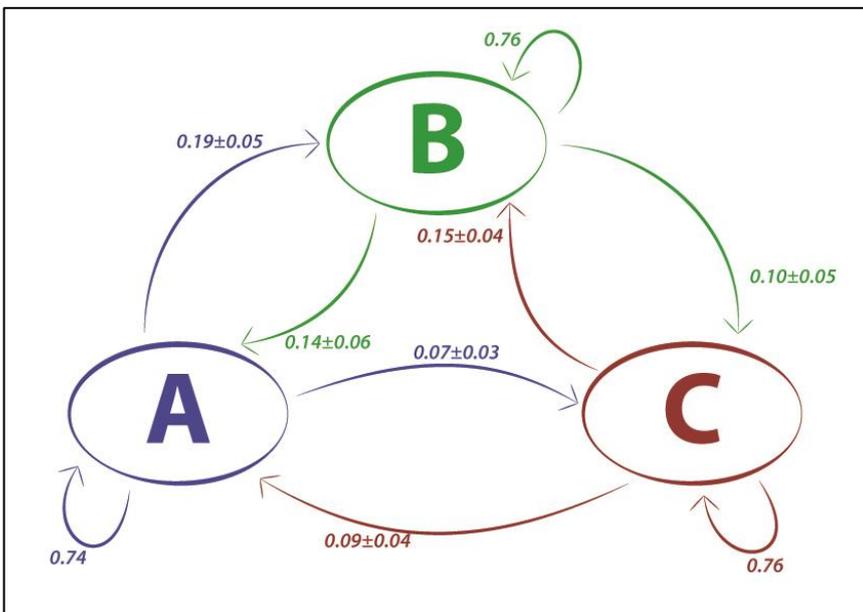


Figure 29 : Résumé des probabilités de dispersion entre les différents états. Les valeurs correspondent aux transitions (psi) entre les états avec leur écart-type correspondant.

3.2.2. Facteurs affectant la survie juvénile

Il est nécessaire d'expliquer les variations temporelles de la survie juvénile. Pour cela, trois covariables sont ajoutées, soit une à une ou par effet additif. Rappelons que nous disposons de deux variables environnementales (pluviométrie en Brenne et au Sahel) ainsi que d'une variable populationnelle (moyenne annuelle de la taille des colonies).

Dans un premier temps, avec l'analyse de déviance, la pluviométrie au Sahel n'explique que 1% de la variabilité temporelle de la survie juvénile. La pluviométrie en Brenne ainsi que la taille des colonies expliquent par contre plus de 10% (Résultats des ANODEV en annexe 4). Le modèle s'ajustant le mieux aux données correspond à celui qui additionne les deux autres covariables, l'effet de la pluviométrie en Brenne et de la taille des colonies (anodev=21.62%). En étudiant tout d'abord la survie juvénile en fonction de la pluviométrie en Brenne nous constatons qu'il y a une relation linéaire négative entre ces deux variables (pente=-0.6244 95%CI=-1.1132 , -0.1355) (Figure 26). La survie juvénile diminue également avec l'augmentation du nombre de couples dans les colonies (pente=-0.0446 95%CI=-0.088 , -0.0016) (Figure 27).

3.2.3. Dispersion des individus

L'ensemble des baguages et des contrôles de Guifette effectués en Brenne depuis 2002 est représenté sur la figure 28. Nous avons tracé trois ellipses de manière à définir trois états, ou secteurs, en Brenne. Ces ellipses ont été tracées de telle manière à ce que le nombre de baguages ou de contrôles sur chaque site soit relativement homogène (Cf Matériel et Méthode page 10). Sur la figure 28, le nombre de baguages de l'état A et C est élevé, comparé à l'état B. C'est l'inverse pour les contrôles avec légèrement plus de contrôles sur le secteur B que sur les deux autres.

La figure 29 représente les probabilités de transition (psi) entre deux secteurs. Pour les trois secteurs, les probabilités de transition se sont révélées significatives dans le modèle. Le nombre d'oiseaux philopatrics semble relativement identique pour les trois secteurs compris entre 0.74 et 0.76. La fidélité des oiseaux sur les secteurs semble relativement équivalente. Néanmoins, les transitions entre les sites ne sont pas homogènes. Il y a un effet assez symétrique entre les transitions de A vers B (0.19 ± 0.10 , 95%CI=0.11, 0.31) et de C vers B (0.15 ± 0.04 , 95%CI=0.08, 0.25) et vice versa. En revanche, les probabilités de transition entre A et C sont relativement faibles entre 0.07 et 0.09.

Pour conclure, les mouvements entre les secteurs sont surtout identifiés entre le nord et l'est ou entre le nord et l'ouest de la Brenne et très peu entre l'est et l'ouest de la zone d'étude.

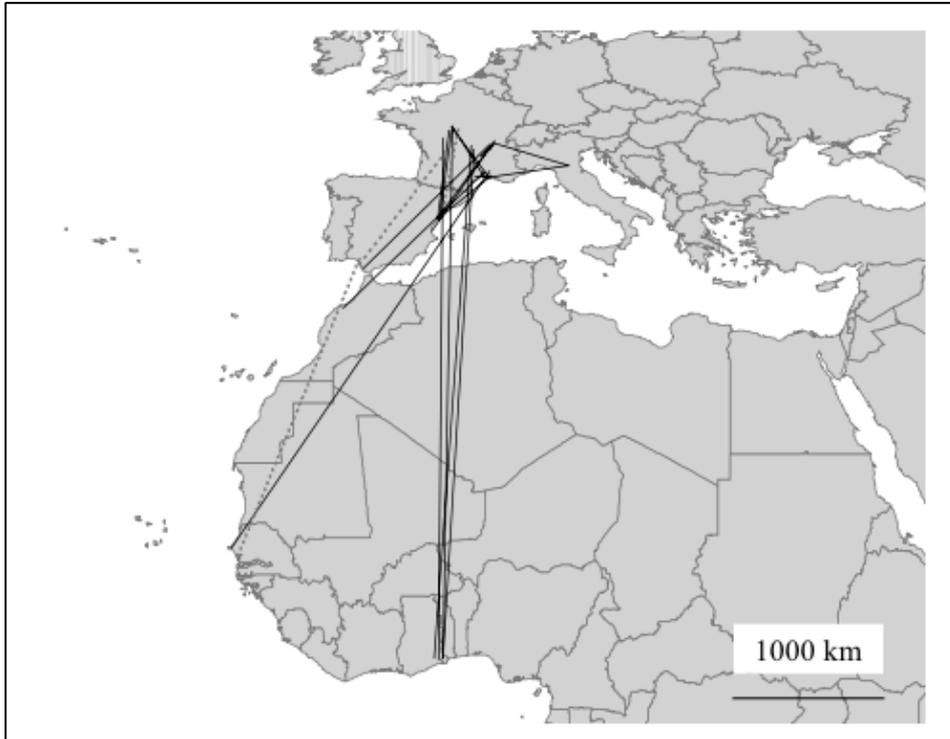


Figure 30 : Cartographie des reprises de Guifettes moustacs (en noir reprises de bagues françaises ; en pointillés reprises de bagues espagnoles). (Latraube, 2006)

4 – DISCUSSION

4.1. Variations des effectifs de Guifettes moustacs en Brenne

D'après les présents résultats, il est apparu que la population de Guifettes moustacs en Brenne a fortement varié entre 1982 et 2014. Un facteur potentiel identifié comme responsable de cette variation pourrait être la pluviométrie au Sahel. Cette hypothèse semble confirmée par la comparaison des effectifs de Brenne à ceux des autres populations d'Europe qui présentent toutes des variations similaires, suggérant donc une cause commune et globale, la qualité des milieux d'hivernage.

Comme beaucoup d'autres oiseaux migrateurs, notamment le Faucon crécerellette *Falco naumani* ou le Busard cendré *Circus pygargus*, la diminution des effectifs observés dans le courant des années 2000 est liée à un déficit de la pluviométrie dans les zones sahéliennes (Thiollay, 2006 ; Mihoub *et al.*, 2010 ; Limiñana *et al.*, 2012). Chez le Faucon crécerellette, la survie juvénile est fortement corrélée à la pluviométrie au Sahel (Mihoub *et al.*, 2010). Les quantités de précipitation dans cette région sont un élément déterminant dans l'abondance d'insectes en particulier les criquets (Sanchez-Zapata *et al.*, 2007). En général, la période des précipitations s'étend de juin à septembre (JISAO, 2013). Cette période correspond à la saison de reproduction de nombreux insectes (Shanahan *et al.*, 2009). Dans le cas de grande sécheresse au Sahel, l'abondance de nourriture diminue, ce qui engendre, *a posteriori*, une diminution des populations des espèces européennes hivernantes dans cette région du monde (Mihoub *et al.*, 2010). Rien n'indique cependant que les guifettes se nourrissent de criquets, elles fréquentent en effet les zones humides, dont la hauteur en eau est probablement dépendante de la pluviométrie.

Dans le cas de la Guifette moustac, les quartiers d'hivernages sont dans les mêmes régions que les espèces citées précédemment. Grâce à la base de données du CRBPO, en 2006 des individus, bagués en France, ont été repris sur les sites d'hivernage en Afrique, au sud du Ghana et à l'ouest du Sénégal (Figure 30) (Latraube, 2006). Néanmoins, ce qui est étonnant dans notre étude c'est que la pluviométrie au Sahel n'est pas significative. Une forte diminution de la survie juvénile a pourtant été relevée durant la période étudiée. Il est possible qu'en plus des conditions météorologiques en Afrique Sahélienne, la diminution de la survie des juvéniles soit liée à la migration. C'est ce qui a été montré pour les Hironnelles de rivages où la survie individuelle est influencée par les conditions sur les routes migratoires d'automne (Cowley & Siriwardena, 2015). Ainsi, il existe visiblement un enjeu de conservation de la Guifette moustac en Afrique sahélienne, puisque c'est cette région qui détermine, au moins en partie, les variations des effectifs de l'ensemble des populations d'Europe. Il est donc impératif d'identifier précisément les zones d'hivernage de la Guifette moustac, afin de mesurer leur état de conservation. Cette étude apporterait de solides connaissances sur l'écologie de l'espèce dans ses quartiers d'hivernage et permettrait de répondre à des questions plus précises concernant l'évolution des populations dans le paléarctique occidentale.

4.2. Effets des facteurs locaux (succès reproducteur) sur les variations d'effectifs

Les variations de la population de Guifettes moustacs ne reposent pas uniquement sur les conditions météorologiques au Sahel. Le déficit de succès de reproduction peut aussi être un facteur important de la diminution du nombre de couples en Brenne à partir de 2006. Ce déficit peut être dû à plusieurs paramètres que l'on peut qualifier de facteurs locaux, intrinsèques à l'écosystème de Brenne.

La mauvaise qualité des étangs de nidification, voire leur disparition, engendre une augmentation du nombre de couples par colonie (Benmergui & Broyer, 2005). Ainsi, bien que l'effet de groupe soit bénéfique pour la défense contre les prédateurs (Lima & Dill, 1990 ; Gamberale & Tullberg, 1998), il se retrouve contrebalancé par un effet négatif de la densité produisant une plus forte compétition entre les individus (Danchin *et al.*, 2005). C'est ce que suggère notre résultat sur le succès reproducteur diminuant lorsque le nombre de couples augmente sur une colonie. La taille optimale serait entre 60 et 120 couples par colonies. Cette observation est confortée par la survie juvénile qui apparaît plus faible les années où la taille des colonies est forte. Il apparaît également que la survie des adultes est légèrement plus faible en Brenne quand Pologne (Brenne=0.72 Pologne=0.79) (Ledwon *et al.*, 2013). De manière plutôt contre intuitive, les grandes colonies de Guifettes ne seraient pas idéales pour la conservation de cette espèce, en tous cas en Brenne. C'est ce qui a récemment été montré sur la Sterne pierregarin *Sterna hirundo*, où le succès reproducteur est négativement lié à la taille de la colonie et non pas à la densité de couples (Szostek *et al.*, 2014).

Le déficit de succès reproducteur peut être également lié à la diminution des ressources alimentaires et à l'augmentation de la concurrence entre les individus (Palestis, 2014). Les Guifettes sont des oiseaux opportunistes (Cramp, 1985). Les poussins ont besoin à la fois de calcium et de protéines pour grandir (Van der Winden *et al.*, 2005), éléments contenus dans les poissons et les insectes. Ainsi, les adultes doivent exploiter plusieurs types d'habitats, les étangs et les prairies. La qualité et la structure des milieux autour d'une colonie sont déterminantes pour le bon succès reproducteur (Van der Winden *et al.*, 2005). Ainsi, avec l'intensification de l'agriculture et également le réchauffement climatique, une diminution de la biomasse en insectes est observée ce qui engendre un déficit alimentaire pour la bonne croissance des poussins (Harvell *et al.*, 2002 ; Britschgia *et al.*, 2006).

Enfin, les conditions météorologiques peuvent également jouer un rôle important sur le succès de reproduction, mais également sur la survie juvénile. En effet, la survie juvénile des Guifettes moustacs est d'autant plus faible que la pluviométrie en Brenne est élevée. Néanmoins, l'effet des pluies hivernales et de début de printemps ajouté à l'ensoleillement, permettent le remplissage des étangs, et le développement de la végétation aquatique ainsi que celui des insectes et sont essentielles à l'écosystème qu'utilisent les Guifettes. En revanche, les orages d'été, souvent très localisés, peuvent causer d'importants dégâts sur une colonie et la détruire partiellement ou totalement (Deberge, *comm.pers.*).

Ainsi, nous avons mis en évidence que l'un des paramètres de variation de la population en Brenne était le succès reproducteur. Celui-ci varie en fonction de nombreux facteurs notamment l'habitat de reproduction et d'alimentation, mais également en fonction du nombre de couples par colonies.

4.3. Déplacements des colonies et dispersion natale

La répartition spatiale de la population de Guifettes a évolué à l'échelle de la Brenne, localisée initialement au centre de cette région et évoluant progressivement vers sa périphérie. Notons cependant qu'il existe un biais lié à cette observation. En effet, jusque dans les années 1990, l'essentiel du suivi de la population était concentré au centre de la Brenne avec peu d'attention à la recherche de colonies sur la périphérie. Ainsi, il est assez probable que des colonies isolées aient été ignorées, d'autant qu'il y avait moins d'ornithologues qu'aujourd'hui. D'ailleurs, cela signifierait que la population totale était à l'époque encore plus importante. Un fait est néanmoins certain et non biaisé par ces paramètres : les colonies de Guifettes ont « déserté » le centre de la Brenne et aujourd'hui elles sont nettement plus réparties sur la périphérie (Deberge & Williams, *comm. pers.*).

La distribution spatiale des Guifettes n'est pas pour autant aléatoire, mais principalement conditionné par l'évolution de leur habitat de nidification jusqu'au milieu des années 90. La destruction importante de la végétation aquatique sur les étangs a été observée par l'intervention de bateaux faucardeurs et d'herbicides (Bernard, 2008). Malgré la destruction des habitats favorables à la nidification de l'espèce, la pratique de l'assec, permet de conserver une végétation flottante éphémère (Van Ingen 2011). Les Guifettes, bien que principalement philopatricque (Ledwoń *et al.*, 2013), semblent s'être adaptées à cette pratique de gestion. Cependant, cette philopatrie est relative en Brenne, puisque les colonies sont très mobiles. En effet, l'installation de colonie sur les étangs est principalement annuelle puisque la végétation favorable ne reste généralement pas plus d'une année (Van Ingen, 2011).

Ainsi, bien que les mouvements des colonies de Guifettes en Brenne soient complexes à caractériser, les colonies peuvent être réparties en deux catégories. (1) les colonies sur des étangs où l'habitat de nidification est relativement stable dans le temps. Ces étangs sont connus, puisqu'ils accueillent en général des colonies sur plusieurs années consécutives en effectifs parfois importants. (2) les colonies sur des étangs où la végétation flottante est éphémère et liée à un assec ou à une extinction locale l'année précédente. Ce cas de figure offre, à l'espèce, l'occasion de coloniser de nouveaux étangs une toute première fois. Ces différentes catégories permettent d'anticiper des mesures de conservation dans l'objectif de conserver la Guifette moustac en Brenne.

Dans les deux cas de figure, les phénomènes de dispersion existent à la fois à l'échelle individuelle, mais aussi à l'échelle d'une colonie entière. En effet, lorsque la dispersion se produit plusieurs couples reproducteurs peuvent aller ensemble sur un nouveau site (Russel & Rosales, 2010). Les espèces qui nichent dans des habitats éphémères, comme la Guifette moustac, ont tendance à avoir une faible fidélité au site (étang), mais une forte cohésion sociale, permettant aux colonies de rapidement trouver de nouveaux emplacements (Renken & Smith, 1995; Ward *et al.*, 2011). Les mouvements qui en résultent ont de fortes conséquences pour la dynamique de la population au niveau local (colonisation-extinction de colonies) comme à l'échelle du site d'étude (mouvement important des colonies). Ainsi, les colonies sont interconnectées par la dispersion à la fois individuelle et de groupes d'individus ce qui nécessite une approche à l'échelle de la métapopulation pour une conservation efficace de l'espèce (Devlin *et al.*, 2008; Ratcliffe *et al.*, 2008).

4.4. Perspective de conservation de l'espèce et de gestion des espaces

La conservation de la Guifette moustac en Brenne passe par une conservation de ses habitats de reproduction et d'alimentation. Dans un premier temps, il est nécessaire d'identifier les étangs utilisés régulièrement par les Guifettes (étangs utilisés plus de 10 années pas nécessairement consécutives depuis 1982 et utilisés ces 5 dernières années). Cette liste doit permettre de diriger des mesures de gestion afin de conserver les habitats sur ces sites (Annexe 5). Néanmoins, les colonies présentes sur ces étangs peuvent disparaître temporairement. Par exemple, l'étang Purais, de la Réserve de Chérine a été utilisé 23 fois en 27 ans, avec une moyenne de 143 ± 113 couples de Guifettes par année. Depuis, 5 ans, plus de 200 couples sont comptés sur ce site. En 2015, plusieurs couples ont commencé à s'installer, mais tous ont échoué suite à une forte prédation et un dérangement par les Corneilles noires et les Milans noirs. Les 140 couples en installation ont dû se reporter sur d'autres sites en Brenne. Ce scénario est validé grâce aux lectures de bague où un individu se cantonnant sur l'étang Purais a été observé nicheur en fin de saison sur un étang à près de 10 km. Cet exemple n'est pas le premier cas d'observation d'individus en échec, se reportant sur d'autres étangs (Van Ingen, 2011). Ainsi, même en pratiquant une conservation de l'habitat de la Guifette, les colonies en Brenne vont continuellement se déplacer pour des raisons naturelles tels que les conditions météorologiques ou, dans ce cas, la prédation. Une colonie peut également décider de s'installer temporairement sur un autre site du fait des ressources alimentaires particulièrement abondantes une année (Palestis, 2014).

De nombreuses colonies de Guifettes moustacs sont temporaires et une grande partie d'entre elles sont prévisibles puisqu'elles apparaissent sur des étangs qui étaient en assec. Il est impératif de connaître à l'avance les étangs en assec afin d'anticiper l'arrivée probable d'une colonie (plus d'une chance sur deux). De plus, si un étang en assec est proche d'une colonie où l'étang passera en assec, il est fortement probable que ces oiseaux investissent le nouveau site l'année suivante (Annexe 6). Il est donc indispensable de conserver cette pratique traditionnelle permettant d'éviter le comblement des sites suite au développement de matières organiques. Ce mouvement des colonies peut-être bénéfique pour l'espèce puisqu'il limite l'adaptation des prédateurs aux colonies (Palestis, 2014). Ainsi, une cartographie des étangs en assec et des colonies de Guifettes pour une année n et la prévision des assec à l'année $n+1$, permettrait d'anticiper l'installation de l'espèce sur certains étangs.

L'augmentation des prédateurs des nids et des adultes pose également beaucoup de questions sur la gestion à adopter. Il est difficile de justifier la réduction des populations d'espèces prédatrices sans preuve directe de préjudice pour les colonies locales ou d'autres espèces protégées (Holt, 1994). Dans le cas de prédation répétée, l'abattage n'est pas une solution viable à long terme (Palestis, 2014). Un mélange de stratégies de gestion est à adopter afin de préserver les espèces patrimoniales, comme la Guifette moustac, et leurs habitats en périodes de reproduction. Les réserves sont des points clés mais il est essentiel d'élargir cette conservation à l'échelle du site d'étude afin d'être en adéquation avec l'écologie de l'espèce (Dudgeon *et al.*, 2006). En parallèle, les études scientifiques doivent être communiquées davantage afin d'appliquer efficacement des mesures de conservation.

5 – CONCLUSION

La présente étude permet d'identifier et de quantifier un certain nombre de paramètres et processus démographiques concernant la population de Guifettes moustacs en Brenne. Les 15 ans de baguage ajoutés aux 30 ans de suivis ont permis de caractériser finement la dynamique spatiale et temporelle aussi bien des colonies que des individus.

L'évolution des effectifs de Guifettes en Brenne varient fortement entre 1982 et 2014, passant de 200 à 1200 couples. Les variations de la population étaient en partie liées à la pluviométrie dans les quartiers d'hivernages au Sahel. Depuis les années 2000. Au contraire de la plupart des populations de Guifettes du Paléarctique, qui sont soit stable soit en déclin, en Brenne, le déficit du succès reproducteur est, en partie, à l'origine de la diminution qui est constatée depuis 2006. Depuis 2000, le succès de reproduction est en diminution et lié au nombre de couples présents sur une colonie de Guifette. Ainsi, les colonies avec un nombre de couples important (supérieur à 120 couples) ont un succès de reproduction plus faible (inférieur à 0.70). La répartition des colonies a beaucoup évolué en Brenne mais nous n'avons pas réussi à expliciter les mécanismes sous-jacents aux mouvements à large échelle des colonies. A plus petite échelle, les étangs en sortie d'assec sont très fréquemment colonisés, et ce d'autant plus qu'une colonie est déjà située à proximité.

Les analyses de captures-recaptures ont permis de montrer que la survie des Guifettes adultes était constante mais que celle des juvéniles avait diminué fortement depuis les années 2000. Les facteurs identifiés comme en partie responsable de cette diminution sont les précipitations en Brenne ainsi que la taille moyenne des colonies.

Ainsi, des actions de conservation de l'espèce peuvent être mise en place en Brenne, mais il est nécessaire de distinguer différentes catégories d'étangs. La conservation des massifs de végétation aquatique et l'identification de prédateurs doivent être adoptées sur les étangs régulièrement utilisés par les Guifettes (Annexe 5 : catégorie 1) et une conservation temporaire de la végétation aquatique ainsi que des activités humaines devraient être mise en place sur les étangs en sortie d'assec.

Pour finir, bien que la plupart des actions de recherche et de conservation prennent place sur les lieux de reproduction, la plus grande menace pour de nombreuses populations de stemidés migrateurs, et notamment la Guifette moustac, est peut-être la mortalité sur les aires d'hivernage, plutôt que la faible productivité sur les lieux de reproduction (Nisbet & Spindelov, 1999; Wendeln & Becker, 1999; Shealer *et al.*, 2005; Cabot & Nisbet, 2013). Les nouvelles technologies, telles que les GPS, ont contribué à suivre les voies de migration et ont permis d'identifier plus facilement les sites d'hivernages et de halte migratoire. Récemment, des émetteurs satellites à énergie solaire de 2,2 grammes ont été posés sur les Sternes de Dougall *Sterna dougallii* afin de suivre leurs déplacements jusque sur les sites d'hivernages (ACRI, juillet 2015). Ce type de dispositif permettrait de répondre aux questions que nous nous posons actuellement, à savoir où sont les sites d'hivernage et de haltes migratoires précisément, et quelles sont les stratégies de sélection de l'habitat de reproduction et d'alimentation en Brenne ?

BIBLIOGRAPHIE

- ACRI (Juil. 2015). Roseate Terns being tracked with the smallest-ever satellite transmitter. *Avian Research and Conservation Institute*.
- AKCAKAYA, H. R., ATWOOD, J. L., BREININGER, D., COLLINS, C. T. & DUNCAN, B. (2003). Metapopulation Dynamics of the California Least Tern. *The Journal of Wildlife Management*, **67**(4), 829-842.
- BARNOSKY, A. D., MATZKE, N., TOMIYA, S., WOGAN, G. O. U., SWARTZ, B., QUENTAL, T. B., MARSHALL, C., MCGUIRE, J. L., LINDSEY, E. L., MAGUIRE, K. C., MERSEY, B. & FERRER, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, **471**, 51-57.
- BENMERGUI, M. & BROYER, J. (2005). La Guifette moustac: démographie et qualité des habitats. *Gibier Faune Sauvage*, **269**, 14-19.
- BERNARD, C. (2008). L'étang, l'homme et l'oiseau. Incidences des modes de gestion des étangs piscicoles sur les ceintures de végétation et l'avifaune nicheuse en Sologne, Brenne, Territoire de Belfort, Champagne humide. Thèse, Ecole Normale Supérieure des Lettres et des Sciences Humaines de Lyon, 632.
- BRINSON, M. M. & MALVAREZ, A. I. (2002). Temperate freshwater wetlands : types, status, and threats. *Environnemental Conservation*, **29**(2), 115-133.
- BRETON, A. R., NISBET, I. C. T., MOSTELLO, C. S. & HATCH, J. J. (2014). Age-dependent breeding dispersal and adult survival within a metapopulation of Common Terns *Sterna hirundo*. *Ibis*, **156**, 534-547.
- BRITSCHGIA, A., SPAAR, R. & ARLETTAZ, R. (2006). Impact of grassland farming intensification on the breeding ecology of an indicator insectivorous passerine, the Whinchat *Saxicola rubetra*: Lessons for overall Alpine meadow land management. *Biological Conservation*, **130**, 193-205.
- BRUSSAARD, L., CARON, P., CAMPBELL, B., LIPPER, L., MAINKA, S., RABBINGE, R., BABIN, D. & PULLEMAN, M. (2010). Reconciling biodiversity conservation and food security: scientific challenges for a new agriculture. *Biodiversity conservation and food security*, **2**, 34-42.
- BURNHAM, K.P. & ANDERSON, D.R. (2002). Model selection and Multimodel Inference : a Practical Information-Theoretic Approach. *New York: Springer-Verlag*, 353.
- CABOT, D. & NISBET, I. (2013). Terns. *London: Harper Collins Publishers*, 461.
- CHOQUET, R., REBOULET, A-M., LEBRETON, J-D., GIMENEZ, O. & PRADEL, R. (2005). U-CARE 2.2 User's Manuel. *CEFE, Montpellier, France*.
- COLLINS, C. T. & DOHERTY, P. F. (2006). Survival estimates for Royal Terns in southern California. *Journal of Field Ornithology*, **77**(3), 310-314.

- COWLEY, E. & SIRIWARDENA, G. M. (2015). Long-term variation in survival rates of Sand Martins *Riparia riparia*: dependence on breeding and wintering ground weather, age and sex, and their population consequences. *Bird Study*, **52**, 237-251.
- CRAMP, S. (1985). The Birds of the Western Palearctic. *Oxford University Press*, New York **Vol. IV**, 960.
- DANCHIN, E., GIRALDEAU, L-A. & CEZILLY, F. (2005). Ecologie comportementale. *Sciences Sup, Dunod*, 664.
- DEHORTER, O. (2000). Evaluation et analyse de la base de données sur les guifettes moustacs collectées en Brenne. Rapport d'étude sous la responsabilité du CEBC, CNRS.
- DEVLIN, C. M., DIAMOND, A. W., KRESS, S. W., HALL, C. S. & WELSH, L. (2008). Breeding dispersal and survival of arctic terns (*Sterna paradisaea*) nesting in the gulf of maine. *The Auk*, **125**(4), 850-858.
- DIES JAMBRINO, I. (2013). (<http://bdb.cma.gva.es/ficha.asp?id=12185>).
- DOCOB. (2012). Document d'objectifs des sites Natura 2000 « Brenne » et « Grande Brenne ». 97.
- DUDGEON, D., ARTHINGTON, A. H., GESSNER, M. O., KAWABATA, Z-I., KNOWLER, D. J., LEVEQUE, C., NAIMAN, R. J., PRIEUR-RICHARD, A-H., SOTO, D., STIASSNY, M. L. J. & SULLIVAN, C. A. (2006). Freshwater biodiversity : importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, **81**, 163-182.
- EPPINK, F. V., VAN DEN BERGH, J. C.J.M. & RIETVELD, P. (2004). Modelling biodiversity and land use: urban growth, agriculture and nature in a wetland area. *Ecological Economics*, **51**, 201-216.
- FENNESSY, M. S. (2014). Wetland Ecosystems and global change. *Handbook of Global Environmental Pollution*, **1**, 255-261.
- FINDLAY, C. S. & BOURDAGES, J. (2000). Reponse time of wetland biodiversity to road construction on adjacent lands. *Conservation Biology*, **14**(1), 86-94.
- FISCHER, J. & LINDENMAYER, D.B. (2007). Landscape modification and habitat fragmentation: a synthesis. *Global Ecology and Biogeography*, **16**, 265-208.
- FORMAN, R. T.T. & COLLINGE, S. K. (1997). Nature conserved in changing landscapes with and without spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, **37**, 129-135.
- GAMBERALE, G. & TULLBERG B. S. (1998). Aposematism and gregariousness: the combined effect of group size and coloration on signal repellence. *The Royal Society*, **265**, 889-894.
- GROSBOIS, V., GIMENEZ, O., GAILLARD, J.M., PRADEL, R., BARBRAUD, C., CLOBERT, J., MØLLER, A.P. & WEIMERSKIRCH, H., (2008). Assessing the impact of climate variation on survival in vertebrate populations. *Biological Reviews (Cambridge)*, **83**, 357– 399.

- GWIAZDA, R. & LEDWON, M. (2014). Sex-specific foraging behaviour of the Whiskered Tern during the breeding season. *Ornis Fennica*, **91**, 1-8.
- HANSKI, I. A. & GILPIN, M. E. (1997). Metapopulation, Biology, Ecology, Genetic, and Evolution. *Academic Press*, 512.
- HE, F. & HUBBELL, S. P. (2011). Species–area relationships always overestimate extinction rates from habitat loss. *Nature*, **473**, 368-371.
- HOLT, D.W. (1994). Effects of short-eared owls on common tern colony desertion, reproduction, and mortality. *Waterbirds*, **17**, 1-6.
- JISAO (2013). Sahel Precipitation Index (20-10N, 20W-10E), 1900 - October 2013. doi:10.6069/H5MW2F2Q.
- KLEJIN, D., CHERKAOUI, I., GOEDHART, P. W., VAN DER HOUT, J. & LAMMERTSMA D. (2014). Waterbirds increase more rapidly in Ramsar-designated wetlands than in unprotected wetlands. *Journal of Applied Ecology*, **51**(2), 289-298.
- LATRAUBE, F., TROTIGNON, J. & BRETAGNOLLE, V. (2005). Biologie de la reproduction de la Guifette moustac *Chlidonias hybrida* en Brenne (France). *Alauda*, **73**(4), 425-429.
- LATRAUBE, F. (2006). Biologie de la reproduction de la Guifette moustac (*Chlidonias hybrida*) en Brenne. Ecole Pratique des Hautes Etudes, Sciences de la Vie et de la Terre, 107.
- LEBRETON, J.-D., BURNHAM, K.P., CLOBERT, J. & ANDERSON, D.R. (1992). Modeling survival and testing biological hypothesis using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecological Monographs*, **62**, 67–118.
- LEDWON, M. (2011). Sexual size dimorphism, assortative mating and sex identification in the Whiskered Tern *Chlidonias hybrida*. *Ardea*, **99**(2), 191-198.
- LEDWON, M., NEUBAUER, G. & BETLEJA, J. (2013). Adult and pre-breeding survival estimates of the Whiskered Tern *Chlidonias hybrida* breeding in southern Poland. *Journal Ornithology*, **154**, 633-643.
- LIMA, S. L. & DILL, L. M. (1990). Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology*, **68**, 619-640.
- LIMINANA, R., SOUTULLO, A., ARROYO, B. & URIOS, V. (2012). Protected areas do not fulfil the wintering habitat needs of the trans-Saharan migratory Montagu's harrier. *Biological Conservation*, **145**, 62-69.
- MANSON, J., PELLE, B., AIRAULT, V., TROTIGNON, J., BOYER, P., CHATTON, T. & ISSA, N. (2012). Document d'objectifs des sites Natura 2000 FR2410003 « Brenne » et FR2400534 « Grande Brenne ». DREAL Centre, PNR de la Brenne, LPO Indre & Indre Nature.
- MARZLUFF, J. M. & EWING, K. (2001). Restoration of fragmented landscapes for the conservation of birds : a general farmword and specific recommendations for urbanizing landscapes. *Restoration Ecology*, **9**(3), 280-292.

- MIHOUB, J-B., GIMENEZ, O., PILARD P. & SARRAZIN F. (2010). Challenging conservation of migratory species : Sahelian rainfalls drive first-year survival of the vulnerable Lesser Kestrel *Falco naumani*. *Biological Conservation*, **143**(4), 839-847.
- MNHN (2010). Guifette moustac, *Chlidonias hybrida* (Pallas, 1811). *Cahiers d'Habitat « Oiseaux » - MEEDDAT – MNHN – Fiche projet*, 4.
- MORTREUX, S. (2004). Définir une gestion des habitats pour favoriser l'accueil d'une population de Guifettes moustac *Chlidonias hybrida*. Rapport de DESS Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables, sous la responsabilité du CEBC, CNRS.
- NAUGLE, D. E., JOHNSON, R. R., ESTEY, M. E. & HIGGINS, K. F. (2000). A Landscape approach to conserving wetland bird habitat in the prairies pothole region of eastern south Dakota. *Wetlands*, **20**(4), 588-604.
- NISBET, I.C.T. & SPENDELOW, J.A. (1999). Contribution of research to management and recovery of the roseate tern: Review of a twelve-year project. *Waterbirds*, **22**, 239–252.
- OBERTLI, B., AUDERSET, J. D, CASTELLA, E., JUGE, R., CAMBIN, D. & LACHAVANNE, J-B. (2002). Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological conservation*, **104**, 59-70.
- PAILLISSON, J-M., REEBER, S., CARPENTIER, A. & MARION, L. (2006). Plant-water regime management in a wetland: consequences for a floating vegetation-nesting bird, whiskered tern *Chlidonias hybridus*. *Biodiversity and Conservation*, **15**, 3469-3480.
- PAILLISSON, J-M., REEBER, S., CARPENTIER, A. & MARION, L. (2007). Reproductive parameters in relation to food supply in the whiskered tern (*Chlidonias hybrida*). *Journal of Ornithology*, **148**, 69-77.
- PALESTIS, B. G. (2014). The role of behavior in tern conservation. *Current Zoology*, **60**(4), 500-514.
- PERENNOU, C., SADOUL, N., PINEAU, O., JOHNSON, A. & HAFNER, H. (1996). Gestion des sites de nidification des oiseaux d'eau coloniaux. *Conservation des zones humides méditerranéennes*, Tour du Valat, Arles (France), 114 p.
- PIMM, S. L., RUSSELL, G. J., GITTLEMAN, J. L. & BROOKS, T. M. (1995). The future of biodiversity. *Science*, **269**, 347-350.
- PRADEL, R., WINTREBERT, C. M. A. & GIMENEZ, O. (2003). A Proposal for a Goodness-of-Fit Test to the Arnason-Schwarz Multisite Capture-Recapture Model. *Biometrics*, **59**, 43-53.
- RAMSAR & MINISTERE DE L'ECOLOGIE ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE (2011). Les zones humides d'importance internationale en France. *Nature et Paysage*, 60.
- RATCLIFFE, N., NEWTON, S., MORRISON, P., MERNE, O., CADWALLENDER, T. & FERDERIKSEN, M. (2008). Adult survival and breeding dispersal of roseate terns within the northwest European metapopulation. *Waterbirds*, **31**, 320-329.

- RENKEN, R.B. & SMITH J.W. (1995). Interior least tern site fidelity and dispersal colony. *Waterbirds*, **18**, 193–198.
- ROCAMORA, G. & YEATMAN-BERTHELO, D. (1999). Oiseaux menaces et à surveiller en France. Listes rouges et recherche de priorités : populations, tendances, menaces, conservation. *Société d'Etudes Ornithologique de France / Ligue pour la protection des oiseaux*, Paris, France, 560.
- RUSSEL, G.J. & ROSALES, A. (2010). Interior least tern site fidelity and dispersal. *Waterbirds*, **18**, 193–198.
- SALA, O. E., CHAPIN, F. S., ARMESTO, J. J., BERLOW, E., BLOOMFIELD, J., DIRZO, R., HUBER-SANWALD, E., HUENNEKE, L. F., JACKSON, R. B., KINZIG, A., LEEMANS, R., LODGE, D. M., MOONEY, H. A., OESTERHELD, M., POFF, N. L., SYKES, M. T., WALKER, B. H., WALKER, M. & WALL, D. H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. *Science*, **287**, 1770-1774.
- SANCHEZ-ZAPATA, J.A., DONAZAR, J.A., DELGADO, A., FORERO, M.G., CEBALLOS, O. & HIRALDO, F. (2007). Desert locust outbreaks in the Sahel: resource competition, predation and ecological effects of pest control. *Journal of Applied Ecology*, **44**, 323–329.
- SKALSKI, J.R. (1996). Regression of abundance estimates from mark-recapture surveys against environmental covariates. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**, 196–204.
- SPENDELOW, J. A., NICHOLS, J. D., NISBET, I. C. T., HAYS, H. & CORMONS, G. D. (1995). Estimating Annual Survival and Movement Rates of Adults within a Metapopulation of Roseate Terns. *Ecology*, **76** (8), 2415-2428.
- SHANAHAN, T.M., OVERPECK, J.T., ANCHUKAITIS, K.J., BECK, J.W., COLE, J.E., DETTMAN, D.L., PECK, J.A., SCHOLZ, C.A. & KING, J.W. (2009). Atlantic forcing of persistent drought in west Africa. *Science*, **324**, 377–380.
- SHEALER, D.A., SALIVA, J.E. & PIERCE, J. (2005). Annual survival and movement patterns of roseate terns breeding in Puerto Rico and the U.S. Virgin Islands. *Waterbirds*, **28**, 79–86.
- SZOSTEK, K. L., BECKER, P. H., MEYER, B. C., SUDMANN, S. R. & ZINTL, H. (2014). Colony size and not nest density drives reproductive output in the Common Tern *Sterna hirundo*. *Ibis*, **156**, 48-59.
- TEYSSÉDRE A. (2004). Vers une sixième grande crise d'extinctions ?. Biodiversité et changements globaux, 24-49.
- THIOLLAY, J-M. (2006). The decline of raptors in west Africa : long-term assessment and the role of protected areas. *Ibis*, **148**, 240-254.
- TROTIGNON, E. (2015a). Paysages de Brenne, Histoire comparée des paysages de Saint-Michel-en-Brenne et Lingé 1837-2013. Département de l'Indre, D.A.T.E.E.R. & Réserve Naturelle Nationale de Chérine.
- TROTIGNON, E. (2015b). Histoire d'un paysage. L'exemple de la Réserve Naturelle de Chérine 1837-2013. Département de l'Indre, D.A.T.E.E.R. & Réserve Naturelle Nationale de Chérine.

- TROTIGNON, J., WILLIAMS, T. & HEMERY, G. (1994). Reproduction et dynamique des colonies de la population des guifettes moustacs *Chlidonias hybrida* de la Brenne. *Alauda*, **62**(3), 89-104.
- TROTIGNON, J. (2004). Histoire de la destruction végétale des étangs de la Brenne. Ses conséquences sur la nidification des trois oiseaux menacés (Grèbe à cou noir, Butor étoilé et Guifette moustac). 60.
- TROTIGNON, J. (2015). Suivi de la nidification des Guifettes en France. Année 2014. Groupe Guifettes France. 31.
- VAN INGEN, L. (2011). Les enseignements tirés du baguage des Guifettes moustacs (*Chlidonias hybrida*) en Brenne : Bilan 2011. 21.
- VAN INGEN, L. (2014a). Bilan de Programme Personnel pour des recherches faisant appel au baguage. Programme de marquage et de baguage coloré des Guifettes moustacs en Brenne. 7.
- VAN INGEN, L. (2014b). Les enseignements tirés du baguage des Guifettes moustacs (*Chlidonias hybrida*) en Brenne : Bilan 2014. 21.
- VAN DER WINDEN, J. (2005). Fish and amphibians as calcium source for Black Terns *Chlidonias niger* feeding in acid bogs. *Vogelwelt*, **126**, 235-241.
- VANSTEENWEGEN, C. (1998). L'histoire des oiseaux de France, Suisse et Belgique. *Delachaux et Niestlé (Eds.)*, Paris, 335.
- WARD, M.P., SEMEL, B., JABLONSKI, C., DEUSTCH, C., GIAMMARIA, V., MILLER, S. & MCGUIRE, B. (2011). Consequences of using conspecific attraction in avian conservation: A case study of endangered colonial waterbirds. *Waterbirds*, **34**, 476–480.
- WENDELN, H. & BECKER, P.H. (1999). Significance of ring removal in Africa for a common tern *Sterna hirundo* colony. *Ringling & Migration*, **19**, 210–212.
- WHITE & BURNHAM (1999). Program MARK: Survival estimation from populations of live animals. *Bird Study*, **46**, 120–138.
- ZELDER, J. B. & KERCHER, S. (2005). Wetland resources : Status, trends, ecosystem services and restorability. *Annual Review of Environment and Resources*, **30**, 39-74.

Annexe 1 :

BILAN DE PROGRAMME PERSONNEL POUR DES RECHERCHES FAISANT APPEL AU BAGUAGE

Année 2014

Numéro du Programme Personnel : 432

Titre du Programme Personnel : Programme de marquage et de baguage coloré des Guifettes moustacs en Brenne.

Responsable du Programme (un seul nom) :

Nom : VAN INGEN

Prénom : Tanya, Laura

Adresse : 10, le Temple 36300 ROSNAY

Téléphone : 06 77 35 94 97

Mobile : 06 77 35 94 97

Adresse-électronique : rncherine.laura@orange.fr

Programme effectué dans le cadre suivant (à rayer ou compléter) :

Privé

~~Diplôme universitaire~~

Institut de Recherches : CEBC

~~Convention avec des Collectivités~~

Association de naturalistes : Chérine

Collaborateurs et Intervenants

1) Nom des bagueurs CRBPO (+ e-mail) :

Olivier Dehorter (2001) : Dehorter@mnhn.fr , Franck LATRAUBE (2002 – 2009) : francklatraube@yahoo.fr , et Tony Williams (2002 – 2012) : lpo.brenne@aliceadsl.fr

2) Nom des observateurs et aides techniques : Vincent Bretagnolle, Jacques Trotignon, Tony Williams, Joël Deberge, Julien Vèque, Rémy Vioux.

3) Si un comité de pilotage du programme personnel est prévu, avec répartition des tâches de gestion du programme (p. ex. gestion des données, gestion des marques, analyse des données, etc), indiquer le nom et les coordonnées du responsable pour chacune des tâches:

Généralités

Région géographique précise : Centre (Indre, 36)

Espèce(s) concernée(s) : Guifette moustac

Détails du programme

Année de début du suivi: 2001

Durée de prévue pour la poursuite du suivi: pas de durée prévue

Objectifs de l'étude

1 Objectif(s) dépendant des informations de capture et recapture (p. ex. démographie) :

(a) les objectifs maintenus : connaître les taux de survie et de transition des adultes et poussins en Brenne et en dehors de cette zone géographique lorsque des contrôles sont effectués, connaître la fidélité des oiseaux à leur lieu de reproduction, connaître la longévité des oiseaux ;

2 Objectif(s) dépendant des informations de capture seules (p. ex. age-ratio, condition corporelle, effectifs) :

(a) les objectifs maintenus : connaître les conditions corporelles des oiseaux en fonction des données météo disponibles ;

3 Objectif(s) connexe(s) ne nécessitant pas la capture :

(a) les objectifs maintenus : estimer le devenir de la population (croissance, baisse ou stagnation) en fonction des données issues des comptages du nombre de couples produisant des jeunes à l'envol ;

(c) les objectifs nouveaux : Déterminer le nombre de jeunes à l'envol par couple.

Justification de la pertinence de l'étude

Pertinence scientifique : Très peu de données connues ou publiées sur les taux de survie et de transition des Guifettes moustacs alors que les Guifettes noires sont beaucoup plus étudiées, Possibilité de faire des comparaisons entre espèces et entre sites si le programme de marquage coloré des Guifettes moustacs est étendu sur le reste de la France

Pertinence pour la conservation : Compréhension de l'utilisation spatio-temporelle des étangs de la Brenne par les Guifettes moustacs (détermination des étangs prioritaires pour la nidification de l'espèce) et, à une plus vaste échelle, de l'utilisation de l'espace au niveau national (échanges entre le lac de Grand Lieu et la Sologne avec la Brenne), voire européen (échanges avec les pays Bas, l'Espagne, l'Italie, la Pologne ou la Hongrie),

Intégration de ces données pour la protection et/ou la conservation des sites favorables à l'espèce, en période de reproduction et de migration.

Nature des données nécessaires à la réalisation:

Captures et recaptures : Poursuivre la pression de baguage et de contrôle des Guifettes moustacs en Brenne et étendre ce programme à d'autres régions françaises,

Obtenir des informations sur l'espèce dans d'autres pays européen (Espagne notamment),

Affiner les connaissances sur la longévité de l'espèce (pour comparaison, la longévité enregistrée chez la guifette noire est de 17 ans),

Obtenir des données sur les quartiers d'hivernage de l'espèce (avec des géolocateur par exemple) pour mieux appréhender les taux de survie des oiseaux en Brenne et intégrer les données obtenues dans les programmes de conservation de la Guifette moustac

Captures seules : Comprendre l'influence des données météo (niveau d'eau, quantité de nourriture disponible,...) sur les conditions corporelles des oiseaux,

Comptages : Evaluer le succès de reproduction par couple pour être en mesure de déterminer le taux d'accroissement de la population en Brenne

Bilan des effectifs bagués, contrôlés (contrôles visuels compris) et repris pour chaque année depuis le début du programme personnel (éventuellement par classe d'âge et/ou de sexe) :

| Classe(s) | Année | Baguages | Contrôles | Reprises |
|-----------|-------|----------|-----------|----------|
| 1A | 2001 | 12 | 0 | 0 |
| +1A | 2001 | 67 | 0 | 0 |
| 1A | 2002 | 53 | 0 | 0 |
| +1A | 2002 | 12 | 0 | 0 |
| 1A | 2003 | 219 | 0 | 0 |
| +1A | 2003 | 18 | 2 | 0 |
| 1A | 2004 | 168 | 1 | 0 |
| +1A | 2004 | 21 | 3 | 0 |
| 1A | 2005 | 90 | 12 | 0 |
| +1A | 2005 | 7 | 5 | 0 |
| 1A | 2006 | 96 | 9 | 0 |
| +1A | 2006 | 17 | 3 | 0 |
| 1A | 2007 | 86 | 23 | 0 |
| +1A | 2007 | 8 | 5 | 0 |
| 1A | 2008 | 0 | 65 | 0 |
| +1A | 2008 | 0 | 14 | 0 |
| 1A | 2009 | 124 | 51 | 0 |
| +1A | 2009 | 6 | 14 | 0 |
| 1A | 2010 | 126 | 32 | 0 |
| +1A | 2010 | 2 | 6 | 0 |
| 1A | 2011 | 112 | 3 | 0 |
| +1A | 2011 | 2 | 33 | 0 |
| 1A | 2012 | 84 | 0 | 0 |
| +1A | 2012 | 1 | 33 | 0 |
| 1A | 2013 | 100 | 5 | 0 |
| +1A | 2013 | 0 | 23 | 0 |
| 1A | 2014 | 101 | 3 | 0 |
| +1A | 2014 | 1 | 27 | 0 |

Moyens de capture (si de nouvelles méthodes sont envisagées, justifiez de leur nécessité et l'expérience que vous acquise sur ces méthodes) :

Epuisette + phare (captures nocturnes)

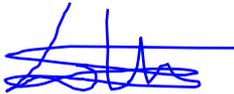
Méthodes et protocoles utilisés (pour chacun des objectifs, en justifiant les modifications par rapport à la demande initiale ou au précédent bilan)

Valorisation des données : Vincent Bretagnolle(CEBC) et Christophe Bonenfant (CNRS Lyon), utilisation du logiciel Mark.

Date, nom et signature du responsable du programme personnel

Le 09/02/2015,

VAN INGEN Tanya Laura

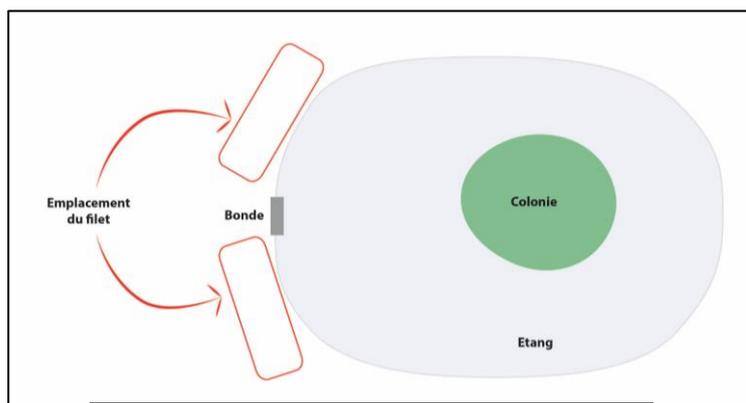
A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Tanya Laura Van Ingen', written over a horizontal line.

Annexe 2 : Technique de capture d'adultes de Guifettes moustacs au filet

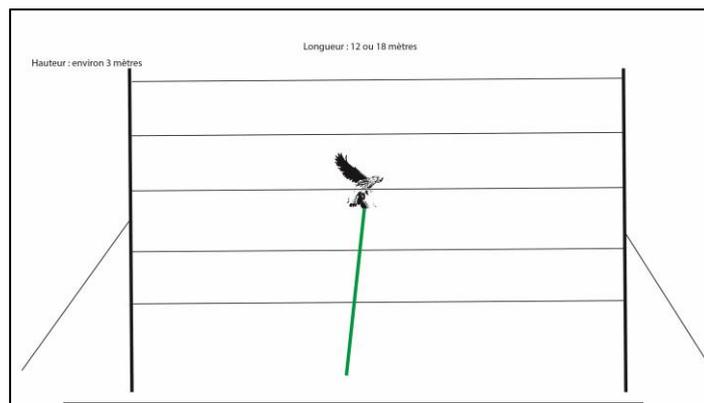
| Matériel | Nombre de personnes | Min : 1 Max : 5 |
|--|---|--------------------|
| 2 perches de 3 mètres minimum | Temps de montage | 10 minutes |
| 4 haubans et sardines. | Temps d'ouverture du filet | Max 45 minutes |
| 1 filet de 12m ou 18m (Maille 16 à 30mm) | Astuces : <ul style="list-style-type: none"> • Tout repose sur la ressemblance de la forme à celle d'un prédateur réelle • Pour maximiser les chances de captures, la forme doit être au plus près du filet. | |
| 1 piquet | | |
| 1 forme de Corneille, Busard des roseaux, Milan noir | | |
| Matériel de baguage pour la biométrie | | |

Principe

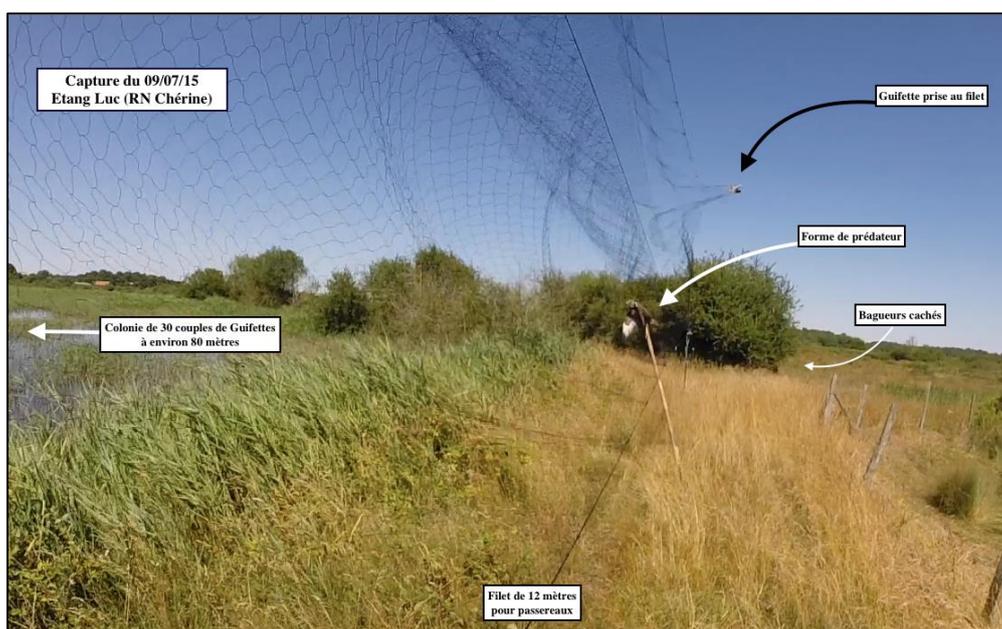
- Filet sur une digue proche d'une colonie.
- Choisir une colonie avec des individus assez territoriaux.
- Monter le filet et mettre la forme du prédateur au milieu et à une bonne hauteur pour qu'elle soit bien visible par les Guifettes.
- Les bagueurs se cachent à proximité du filet pour surveiller si un oiseau est capturé.
- Si la capture fonctionne, une ou plusieurs Guifettes viennent houpiller la forme et finissent par arriver dans le filet.



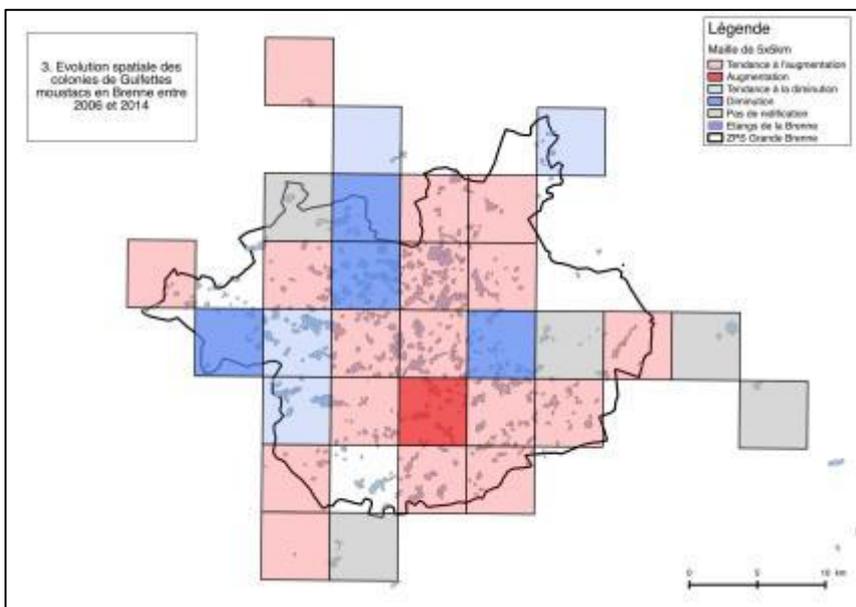
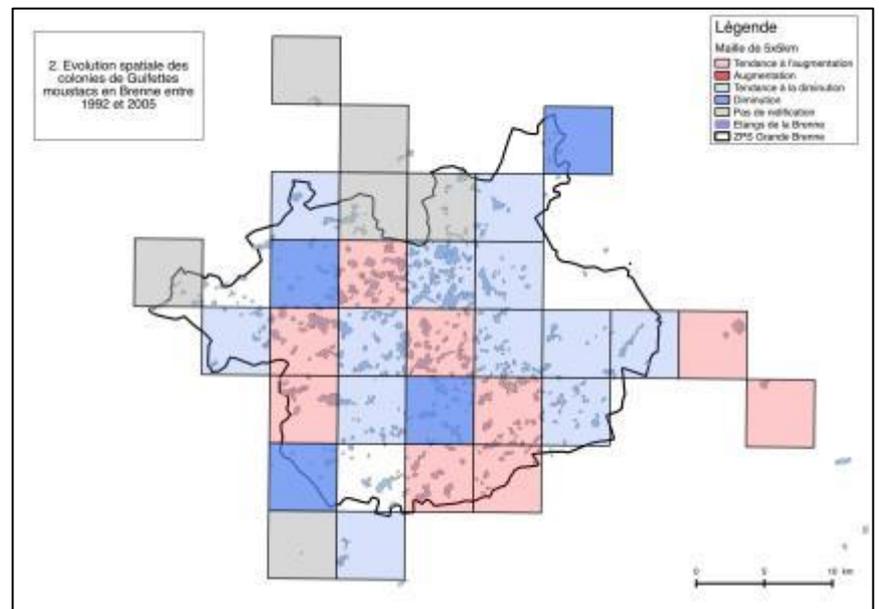
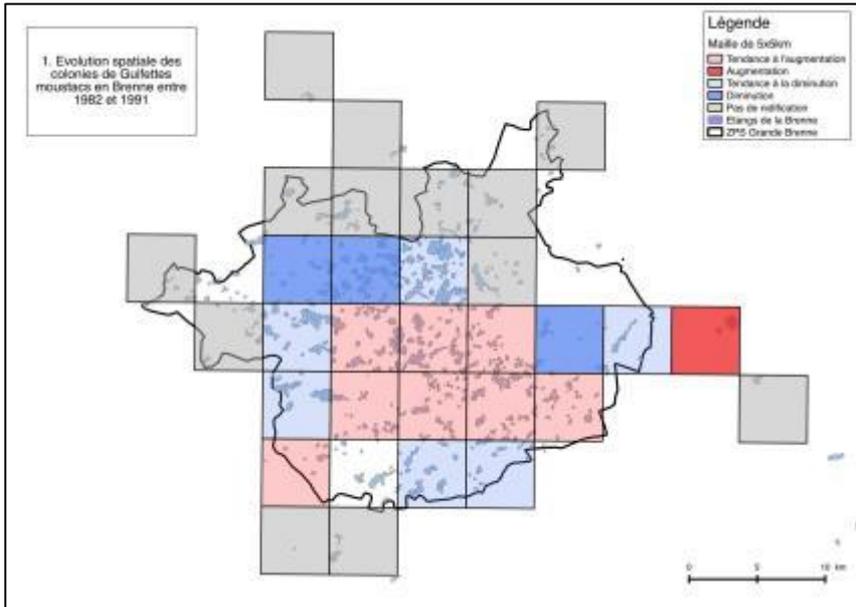
Emplacement du filet à l'échelle d'un étang



Emplacement de la forme par rapport au filet



Annexe 3 : Carte de répartitions temporelles des Guifettes moustacs en Brenne



Annexe 4 : Tableau récapitulatifs des différents modèles lancés sous Mark

| Modèles juvéniles : Phi(a2-cov/.) p(a2-efcapt/efcapt) | AIC | Déviante | ANODEV |
|---|----------------|-----------------|---------------|
| Cov = pp_Brenne | 1231.29 | 261.38 | 0.14 |
| Cov = pp_Sahel | 1238.83 | 268.92 | 0.01 |
| Cov = Taille_col | 1233.60 | 263.69 | 0.10 |
| Cov = pp_Brenne+pp_Sahel | 1233.28 | 261.35 | 0.14 |
| Cov = pp_Sahel+Taille_col | 1235.24 | 263.31 | 0.11 |
| Cov = pp_Brenne+Taille_col | 1228.74 | 256.80 | 0.22 |
| Cov = pp_Brenne+pp_Sahel+Taille_col | 1230.59 | 256.63 | 0.22 |

| Modèles adulte : Phi(a2-cov/cov) p(a2-efcapt/efcapt) | AIC | Déviante | ANODEV |
|---|----------------|-----------------|---------------|
| Cov = pp_Brenne | 1232.31 | 260.37 | 0.16 |
| Cov = pp_Sahel | 1240.85 | 268.92 | 0.01 |
| Cov = Taille_col | 1235.61 | 263.67 | 0.10 |
| Cov = pp_Brenne+pp_Sahel | 1232.93 | 256.94 | 0.21 |
| Cov = pp_Sahel+ Taille_col | 1237.94 | 261.95 | 0.13 |
| Cov = pp_Brenne+ Taille_col | 1232.15 | 256.16 | 0.23 |
| Cov = pp_Brenne+pp_Sahel+ Taille_col | 1233.39 | 253.34 | 0.27 |

Pp_Brenne=Moyenne des précipitations annuelles standardisées en Brenne (Station Chateauroux, Météo France, InfoClimat.fr).

Pp_Sahel=Moyenne des précipitations annuelles standardisées au Sahel (Ensembles de 5 Station Sahéliennes, InfoClimat.fr).

Taille_col=Moyenne annuelle du nombre de couples par colonies.

RESUME

La Brenne accueille environ un tiers des effectifs nationaux de Guifettes moustacs *Chlidonias hybrida*. La population de cette espèce est suivie depuis 1982, par comptage du nombre de couples par colonies. Depuis 2002, un programme de baguage coloré a été mis en place afin d'étudier les paramètres démographiques et individuelles de l'espèce. Après plus de 30 ans de suivi de l'espèce, nous avons pu montrer que les effectifs de Guifettes variaient fortement dans le temps et ils sont aujourd'hui en déclin en Brenne depuis 2006. Les principaux facteurs responsables de cette évolution sont liés aux conditions météorologiques dans les quartiers d'hivernages au Sahel mais également du fait de la diminution du succès reproducteur constaté depuis 2006. Pour ce qui est des 15 années de baguages, nous avons pu montrer que la survie des adultes était relativement constante au cours du temps mais que celle des juvéniles avait chuté depuis le début des années 2000. Les paramètres responsables de cette diminution ont été identifiés comme propre à la Brenne (précipitations & taille des colonies). Cette étude permet de mettre en évidence de nombreuses caractéristiques de la population de Guifettes moustacs en Brenne mais également à l'échelle de toutes les populations européennes. Cette étude va permettre de proposer des mesures de gestion utiles pour la conservation de cette espèce emblématique.

Mots Clés : Guifette moustac *Chlidonias hybrida*, Brenne, Population, Capture-Marquage-Recapture, Conservation, Survie.

ABSTRACT

Brenne has about one third of the national population of Whiskered Terns *Chlidonias hybrida*. The population of this species has been monitored since 1982 by counting the number of pairs per colony. Also, since 2002, a colored ringing program was set up to study the demographic and individual parameters of the species. After more than 30 years of monitoring, we showed that Terns numbers varied greatly over time and are now in decline in Brenne (since 2006). The main drivers seem related to the weather in the wintering areas in the Sahel but also the decrease in reproductive success observed since 2006. The 15 years of ringing showed that adult survival was relatively constant over time but that juvenile survival declined since the early 2000s. Parameters responsible for this decline were identified: precipitation and colony size. This study helps to highlight many characteristics of the population of Whiskered Terns in Brenne but also across all the European populations. This study will allow proposing appropriate management measures for the conservation of this iconic species.

Keywords : Whiskered Tern *Chlidonias hybrida*, Brenne, Population, Capture-Mark-Recapture, Conservation, Survival.