



Juin
2017

ETUDE DE LA SENSIBILITE A L'EOLIEN DE LA BIODIVERSITE EN AQUITAINE

Evaluation des enjeux dans les projets éoliens via l'amélioration des connaissances et des méthodologies vis à vis des oiseaux et des chiroptères

Rapport

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



faune-aquitaine.org



AGIR pour la
BIODIVERSITÉ
AQUITAINE

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier l'ADEME et la fondation d'entreprise LISEA Biodiversité qui par leur contribution financière ont permis la réalisation de cette étude.

Merci à Ondine Filippi-Codaccioni pour sa contribution à la genèse de ce projet.

Merci également aux personnes qui ont participé à ce projet par leur aide sur le terrain ou dans l'identification des fichiers ultrasons : Amandine Theillout, Denis Vincent, Yohan Charbonnier, Annabelle Roca, Mathieu Sannier et Victoria Buffet et merci à Geoffroy Marx pour sa relecture.

Nous sommes également reconnaissants envers les personnes qui ont accepté d'héberger un enregistreur à ultrason et d'en assurer la maintenance : Yannig Bernard, Frédéric Dupuy, David Lambottin, Jérôme Fouert-Pouret et la Réserve Naturelle Nationale du Courant d'Huchet.

Merci enfin à tous les contributeurs de la base de données Faune-Aquitaine qui en mettant en commun leurs observations naturalistes ont permis un bon en avant dans la connaissance de la biodiversité.

CITATION DE CE RAPPORT

LPO Aquitaine 2017 Etude de la sensibilité à l'éolien de la biodiversité en Aquitaine. 134 pages.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1405C0062

Étude réalisée par Aurélien Besnard, Jean-Paul Urcun, Anaëlle Bissonnet, Aritz Arzak, Virginie Couanon, Antonin Viguier et Laurent Couzi pour ce projet financé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Aurélien Besnard

Coordination technique - ADEME : Yolène Berrou

Direction/Service : Direction Productions et Energies Durables /
Service Réseaux et Energies Renouvelables

|

TABLE DES MATIERES

Résumé	9
1. Contexte du projet.....	10
2. Modélisation de la distribution des chiroptères.....	12
2.1. Introduction	12
2.2. Méthodes	12
2.2.1. Données espèces	12
2.2.2. Données environnementales.....	13
2.2.3. Choix et description de la méthode de modélisation	14
2.3. Résultats	15
2.4. Conclusion	19
3. Modélisation de la distribution des oiseaux.....	20
3.1. Méthodes	20
3.1.1. Données espèces	20
3.1.2. Données environnementales.....	24
3.1.3. Choix et description de la méthode de modélisation	24
3.2. Résultats	25
3.3. Conclusion	33
4. Synthèse spatiale des enjeux en termes de biodiversité	34
4.1. Introduction	34
4.2. Méthodes	34
4.2.1. Choix et description de la méthode.....	34
4.2.2. Données espèces	35
4.2.3. Indices de sensibilité	35
4.3. Résultats	39
4.3.1. Oiseaux nicheurs et hivernants.....	39
4.3.2. Chiroptères	40
4.3.3. Oiseaux et chiroptères	42
5. Etude de la phénologie d'activité des chiroptères	44
5.1. Introduction	44
5.2. Méthodes	45
5.2.1. Protocole de mesure de l'activité en altitude	45
5.2.2. Protocole de mesure de l'activité journalière et saisonnière	45
5.2.3. Matériels	45
5.2.4. Analyse des enregistrements	46
5.3. Résultats	47
5.4. Conclusion	52
5.5. Résultats protocole phénologie.....	54

5.5.1.	Météorologie des sites d'études	56
5.5.2.	Phénologie d'activité des chiroptères.....	57
5.5.3.	Synthèses des phénologies d'activité	62
5.5.4.	Migration.....	63
5.5.5.	Variabilité inter-nuit	65
6.	Localisation des couloirs de migration pour l'avifaune à partir des données de science participative.....	66
6.1.	Introduction	66
6.2.	Méthodes	67
6.2.1.	Données de sciences participatives.....	67
6.2.2.	Sélection des données	67
6.2.3.	Cartographie	68
6.2.4.	Phénologie.....	69
6.3.	Résultats et discussion	70
6.3.1.	Pression d'observation	70
6.3.2.	Couloirs de migration	71
6.3.3.	Groupe 1 : Couloir de migration marin/côtier.....	71
6.3.4.	Groupe 2 : Couloir de migration étroit non côtier.....	73
6.3.4.1.	Cigogne blanche	73
6.3.4.2.	Grue cendrée	74
6.3.4.3.	Pigeon ramier.....	75
6.3.4.4.	Milan royal	76
6.3.4.5.	Milan noir	77
6.3.5.	Groupe 3 : Couloir de migration uniforme	78
6.3.6.	Groupe 4 : Couloir de migration de certains Passereaux, Limicoles et Anatidés.....	79
6.4.	Phénologie	80
6.5.	Conclusion	82
7.	Analyse de la migration grâce aux données radar	84
7.1.	Matériel et méthodes	84
7.1.1.	Principe et utilisations du Radar	84
7.1.2.	Radars utilisés	84
7.1.3.	Emplacement du radar et périodes d'enregistrement	85
7.1.4.	Terminologie et traitement des données	86
7.1.5.	Terminologie	86
7.1.6.	Traitement des données.....	87
7.1.6.1.	Extraction des cibles	87
7.1.6.2.	Définition des trajectoires à partir des cibles	87
7.1.6.3.	Tri des cibles.....	87
7.1.6.1.	Projection des données.....	87

7.1.7.	Analyses	88
7.1.7.1.	Hauteur des vols	88
7.1.7.2.	Intensité des vols	89
7.1.8.	Détection.....	89
7.2.	Résultats et discussion	89
7.2.1.	Hauteur des vols	89
7.2.1.1.	Altitudes utilisées	89
4.1.1.	Influence du vent et des variations jour/nuit	90
7.3.	Intensité du flux	92
4.1.2.	Influence du vent.....	92
4.1.3.	Variations Jour / Nuit.....	92
7.3.1.	Détection.....	93
7.4.	Conclusion	95
8.	Méthode d'évaluation des états de conservation.....	96
8.1.	Méthode standard.....	96
8.2.	Méthodologie appliquée.....	96
8.3.	Indicateurs utilisés pour les espèces :	97
8.3.1.	L'aire de répartition naturelle de l'espèce.....	97
8.3.1.1.	Tendance de l'aire de répartition naturelle de l'espèce ou au niveau de la population continue	97
8.3.1.2.	Position du site par rapport à l'aire de répartition naturelle de l'espèce ou au niveau de la population continue	98
8.3.2.	L'état de la population de l'espèce.....	99
8.3.2.1.	Abondance sur le site.....	99
8.3.2.2.	Tendance de la population à l'échelle de l'Aquitaine ou de la population continue de l'espèce (suivant les espèces)	100
8.3.3.	La fonctionnalité de l'habitat naturel de l'espèce	101
8.3.3.1.	Surface d'habitat biologique (englobant tous les faciès dont l'espèce a besoin)	101
8.3.3.2.	Complémentarité des différents faciès d'habitats	101
8.3.3.3.	Qualité des faciès d'habitat.....	101
8.3.4.	Les pressions associées à l'espèce, présence et intensité.....	102
8.3.5.	Synthèse.....	102
8.4.	Méthode de hiérarchisation des espèces sur les sites évalués	102
8.4.1.	Méthodologie appliquée	102
8.4.1.1.	Étape 1 : évaluation de la responsabilité de l'Aquitaine.....	102
8.4.2.	Étape 2 : évaluation du niveau de vulnérabilité chorologique de l'espèce dans la région (aire de répartition)	104
8.4.3.	Étape 3 : évaluation du niveau de sensibilité écologique et démographique propre à l'espèce	105
8.4.3.1.	Amplitude écologique	105
8.4.3.2.	Niveau d'effectifs.....	105

8.4.3.3.	3. Tendance des populations.....	106
8.4.4.	Étape 4 : la hiérarchisation régionale des espèces	106
8.4.5.	Étapes 5 et 6 : évaluation de la responsabilité du site.....	107
8.4.5.1.	Surface d'habitat biologique (englobant tous les faciès dont l'espèce a besoin)	107
8.4.5.2.	Complémentarité des différents faciès d'habitats	108
8.4.5.3.	c) Qualité des faciès d'habitat.....	108
8.4.6.	Étape 7 : la hiérarchisation des enjeux	109
9.	Recommandations	110
10.	Conclusion / Perspectives	111
11.	Annexes.....	114
11.1.1.	Paramètres de réglage des SM2 dans le cadre du projet :	114
11.1.2.	Liste des formalités administratives réalisées dans le cadre de l'utilisation d'aéronefs inhabité :	114
11.1.3.	Groupe 1 : Couloir de migration marin/côtier.....	115
11.1.4.	Groupe 2 : Couloir de migration étroit non côtier	117
11.1.5.	Groupe 3 : Couloir de migration uniforme	119
11.1.6.	Groupe 4 : Couloir de migration de certains Passereaux, Limicoles et Anatidés.....	121
11.1.7.	Phénologie de la migration prénuptiale et postnuptiale	123
11.1.8.	Paramétrages du utilisés pour le traitement des données radar	125
11.1.9.	Glossaire.....	126
	Références bibliographiques	127
	Index des tableaux et figures.....	130
	Tableaux	130
	Figures	130
	Sigles et acronymes.....	133

Résumé

L'exploitation de l'énergie éolienne est en fort développement actuellement, notamment car elle dispose de nombreux atouts pour se substituer aux énergies fossiles dans le cadre de la transition énergétique. L'installation d'aérogénérateurs n'est cependant pas sans conséquences sur la biodiversité. Pour limiter les impacts du développement de l'industrie éolienne il est nécessaire d'améliorer notre connaissance de la vulnérabilité des oiseaux et des chiroptères de manière spatiale et temporelle vis-à-vis de l'éolien. Cette connaissance est un préalable notamment pour orienter en amont le développement des futurs parcs selon le niveau d'enjeux sur le territoire, pour rendre les études d'impacts plus aptes à évaluer les enjeux localement ou encore pour permettre l'arrêt des turbines sur les parcs existants lors des périodes de risque majeur de collision. Cette étude s'inscrit dans ce cadre et s'appuie à la fois sur la science participative et sur des outils d'acquisition de données massives via des dispositifs d'enregistrement radar et ultrasons. Dans un premier temps nous avons mobilisé l'information collectée par une base de données participative pour modéliser la répartition des oiseaux et des chiroptères sensibles à l'éolien à une résolution fine. Ces cartes ont ensuite permis d'alimenter une méthode de hiérarchisation des enjeux pour mettre au point une carte de la sensibilité de la biodiversité pour tout le territoire aquitain. Le traitement des données participatives a également permis de mettre en évidence des couloirs de migration de l'avifaune pour la région. En parallèle, deux protocoles d'enregistrement de l'activité ultrasonore des chiroptères ont été mis en œuvre sur une année complète, en utilisant notamment des ballons gonflés à l'hélium pour étudier les chiroptères à hauteur de rotor. Ces protocoles nous ont permis de mieux comprendre la fréquentation des altitudes à risque selon les espèces et les périodes de l'année. Cela a permis également de décrire les patterns d'activité en Aquitaine pour la majorité des espèces de chiroptères. Un radar ornithologique a été utilisé également pour mieux comprendre l'exposition au risque de collision des oiseaux en période de migration, de jour comme de nuit et selon les conditions météorologiques. Enfin, ce projet propose une méthode de hiérarchisation des enjeux dans le cadre des études d'impact éoliennes et fait des préconisations pour une meilleure intégration de la biodiversité par la filière.

ABSTRACT

The development of wind energy is currently undergoing significant development, notably because it has many assets to replace fossil fuels in the context of the energy transition. However, the installation of wind turbines is not without consequences for biodiversity. To limit the impacts of the wind industry development it is necessary to improve our knowledge of the vulnerability to wind turbines of birds and bats in a spatial and temporal way. This knowledge is a prerequisite for wind energy planning, to improve environmental impact assessments or to define the cut-in-speed according to the risk to killed birds or bats. This study is based on both citizen science and mass data acquisition tools through radar and ultrasonic recording devices. In a first step, we used the information collected by a participatory database to model birds and bats distribution at a fine resolution. These maps are then used in a prioritizing method to develop a map of biodiversity sensitivity for the study area. Processing of participatory data has also revealed avifauna migration corridors for the region. In parallel, two protocols for recording bats ultrasonic activity have been implemented over a full year both on the ground and at rotor height. It allowed describing the activity patterns for bats species and highlighting the collision risk periods. An ornithological radar was also used to better understand the impact of weather conditions on collision risk for migrant birds. Finally, this project proposes a method to prioritize of the stakes in the framework of the environmental impact assessments and make recommendations for a better integration of the biodiversity by this industry.

1. Contexte du projet

Depuis la révolution industrielle le développement de nos économies est basé principalement sur l'utilisation de sources d'énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) et fissile (uranium). L'utilisation à grande échelle de ces ressources minières induit un épuisement des réserves ainsi que de nombreuses externalités négatives et notamment une pollution environnementale (par exemple : gaz à effet de serre, marée noire, smog, radioactivité, etc.). Les difficultés de cette industrie ont induit un regain d'intérêt pour des sources d'énergies renouvelables qui s'est accompagné par une amélioration importante des technologies d'exploitation. Ainsi, l'utilisation de l'énergie éolienne qui avait permis avant la révolution industrielle le développement d'un commerce mondial (bateau à voile) ou contribué au développement de l'industrie et de l'agriculture (moulin à vent), avait quasiment disparu de nos paysages au milieu du XXe siècle. La filière éolienne connaît aujourd'hui un nouvel essor qui se traduit notamment par l'implantation d'éoliennes de taille et de capacité de production d'électricité croissante. Bien que l'utilisation de cette source d'énergie présente des avantages, notamment pour limiter le changement climatique (ADEME 2015), l'implantation d'éoliennes dans le paysage n'est pas toujours sans conséquences sur la biodiversité. L'impact le plus évident est la destruction d'habitat qu'induit l'artificialisation des surfaces nécessaires à leur construction et à leur entretien. Les parcs éoliens ont également un impact sur les espèces qui volent à l'altitude des pales, en particulier les chiroptères et oiseaux (Barclay, Baerwald & Gruver 2007). L'impact des éoliennes le mieux documenté sur ces espèces est la mortalité induite soit par contact direct soit par dépressurisation brutale dans la zone de turbulence qui peut induire un barotraumatisme létal (Cryan & Barclay 2009). Des études récentes basées sur la recherche de cadavre donnent des indications sur l'ampleur de ce phénomène. Ainsi en Europe la mortalité induite par une éolienne est estimée par une méta-étude entre 0-3 chiroptères par an en zone ouverte agricole, 2-5 chiroptères dans les paysages agricoles plus complexes et peut atteindre 5-20 individus en moyenne dans les paysages côtiers ou forestiers (Rydell *et al.* 2010). Pour la France la mortalité estimée à partir des suivis de mortalité disponibles est comprise entre 0,3 et 18,3 oiseaux par éolienne et par an avec une moyenne de 7,0, ces données ne sont cependant pas représentative de l'ensemble du parc français et sont à considérer avec précaution (Marx 2017). Ces chiffres sont variables d'une installation à l'autre mais si l'on extrapole à l'échelle du parc éolien (5 900 turbines en France en 2016 - Observatoire de l'éolien 2016), ils ne sont pas négligeables (Kunz *et al.* 2007; Smallwood 2013; O'Shea *et al.* 2016) en particulier pour les rapaces (Barrios & Rodríguez 2004). De plus, il faut noter que les espèces fortement impactées, notamment les chiroptères et les rapaces, sont des espèces longévives avec un faible taux de recrutement ce qui les rend moins résilientes. Outre la mortalité directe induite par les parcs éoliens, un autre type d'impact a été montré récemment. Il s'agit de l'évitement d'une zone tampon autour des éoliennes par certaines espèces. Ce comportement a été montré à la fois pour les oiseaux (Sansom, Pearce-higgins & Douglas 2016) et pour les chiroptères (Barré *et al.* 2017). Cet évitement induit donc une perte d'habitat pour ces espèces. Il peut concerner des espèces qui ne sont concernées que marginalement par la mortalité directe et ainsi élargir le spectre des impacts sur la faune. Ce comportement d'évitement est encore difficile à évaluer dans l'état actuel des connaissances (Rodrigues *et al.* 2008).

Afin de limiter l'impact du développement du parc éolien sur la biodiversité les pouvoirs publics ont mis en place des procédures qui visent à encadrer l'implantation d'éoliennes sur le territoire. La première des solutions vise à éviter les conséquences en amont en interdisant la construction d'un parc dans des zones où l'impact sur la biodiversité est évalué comme étant élevé. La deuxième solution consiste à limiter l'impact des parcs en activité. Cela peut passer notamment par des mécanismes d'arrêt des pales pendant les périodes à risques pour les espèces sensibles (Arnett *et al.* 2011; Robinson Willmott, Forcey & Hooton 2015). La prise de décision concernant ces mesures d'évitement et de réduction s'appuie sur les études d'impacts environnementaux qui sont réalisées en amont des projets et sur les résultats des suivis environnementaux réalisés une fois les parcs mis en services. Des analyses récentes montrent cependant que ces études d'impacts ne permettent pas d'évaluer de manière satisfaisante les risques et qu'il est nécessaire de progresser (Lintott *et al.* 2016). Ce constat d'échec est lié notamment au fait que la mesure de l'activité pré-implantation ne semble pas être un indicateur pertinent de la mortalité constatée post-implantation (Hein *et al.* 2013 dans Lintott *et al.* 2016). Pour améliorer cette évaluation, et ainsi réduire l'impact des parcs éoliens sur la biodiversité, il est nécessaire d'acquérir des connaissances plus fines sur l'exposition de ces espèces aux parcs éoliens d'un point de vue spatial et temporel.

L'objectif majeur de cette étude est de contribuer à l'acquisition de connaissances sur les espèces sensibles d'oiseaux et de chiroptères en Aquitaine afin d'alimenter des outils d'aide à la décision pour

le secteur éolien et les services publics qui ont en charge son encadrement. Pour ce faire, deux approches complémentaires ont été développées. La première vise à produire une **cartographie de la sensibilité** des populations d'oiseaux et de chiroptères vis-à-vis de l'éolien à l'échelle de l'Aquitaine. La connaissance accumulée par le réseau naturaliste *via* une base de données participative a été mobilisée pour alimenter des méthodes prédictives afin de produire des cartes de distribution à haute résolution, espèce par espèce. Dans un second temps nous avons remobilisé ce catalogue de carte *via* un algorithme de hiérarchisation pour évaluer la sensibilité à l'éolien pour chaque « maille » du territoire aquitain selon nos connaissances actuelles. Cette base de données participative a également été mobilisée pour spatialiser les flux de migration des oiseaux à l'échelle de l'Aquitaine.

La deuxième approche développée vise à mieux comprendre les **périodes de sensibilité** pour les oiseaux et les chiroptères en se concentrant notamment sur la description des patterns de fréquentation des altitudes à risque de collision avec les éoliennes. Cela se traduit dans notre étude par l'utilisation de deux technologies pour quantifier l'activité de vol à hauteur des pales. D'une part, la technologie radar pour étudier les hauteurs de vol fréquentées par les oiseaux en période de migration. D'autre part, par le déploiement d'enregistreurs à ultrasons embarqués sous des aéronefs gonflés à l'hélium, pour mieux comprendre la fréquentation des altitudes à risque éolien pour les chiroptères selon les espèces et selon la période de l'année. En parallèle un autre protocole d'acquisition massive de données ultrasons a été mis en œuvre avec pour objectif de mesurer les niveaux d'activité des différentes espèces de chiroptères sur l'ensemble de leur cycle biologique en Aquitaine. L'ensemble de ces travaux pourront contribuer, nous l'espérons, à l'amélioration de la prise en compte de la biodiversité dans le cadre du développement éolien.

2. Modélisation de la distribution des chiroptères

2.1. Introduction

Une bonne connaissance de la répartition spatiale des espèces à enjeux de conservation est un préalable à leur prise en compte en amont des projets éoliens. Il existe aujourd'hui un Atlas régional des Chiroptères d'Aquitaine qui a permis d'améliorer cette connaissance sur le territoire grâce à une forte mobilisation des naturalistes sur le terrain. Cet Atlas présente la répartition spatiale des chiroptères sous la forme de cartes maillées avec une résolution de 10 km. Nous proposons ici d'améliorer la résolution de ces cartes d'un facteur 25 en modélisant la distribution de ces espèces. Ce type de méthode a déjà été utilisé pour modéliser les impacts cumulés sur les chiroptères des fermes éoliennes à l'échelle régionale (Roscioni *et al.* 2013). Ces modèles utilisent à la fois des données d'occurrences connues et des variables environnementales (Phillips, Anderson & Schapire 2006). Ils définissent dans un premier temps, la niche écologique de l'espèce dans l'espace à n dimensions constitué du catalogue de variables environnementales. Dans un second temps, cette niche écologique est projetée spatialement selon les caractéristiques environnementales du territoire. Cela permet ainsi d'obtenir une valeur pour chaque pixel de la zone d'étude, même si certains n'ont pas été échantillonnés. Ce type de méthode est ainsi tout particulièrement adapté pour alimenter des outils d'aide à la décision en aménagement du territoire.

2.2. Méthodes

2.2.1. Données espèces

Les données d'occurrences des chiroptères utilisées dans le cadre de cette étude sont issues de la base de données collaborative Faune-Aquitaine. Cette base naturaliste en ligne développée par Biovision est portée financièrement par la LPO Aquitaine pour la région. La gestion des données concernant les chiroptères est assurée par le Groupe Chiroptères Aquitaine (GCA). Les contributeurs de cette base de données sont des naturalistes bénévoles ou professionnels dont les compétences d'identification pour ce taxon sont reconnues. L'identification des espèces pour ce taxon étant particulièrement difficile la saisie n'est pas ouverte à tous les contributeurs de Faune-Aquitaine. De plus les données qui sont ajoutées dans la base sont vérifiées par les utilisateurs les plus expérimentés ce qui limite les erreurs d'identification. La couverture spatiale des données bancarisées dans Faune-Aquitaine a été notablement améliorée grâce aux efforts de prospection réalisés dans toute la région pour alimenter le projet d'Atlas Aquitain des Chiroptères qui a vu le jour récemment. Nous avons également ajouté des données collectées par l'OAFS concernant quelques projets localisés. La sélection des données de présence concerne uniquement des données printanières et estivales qui s'échelonnent de début avril à fin octobre, période recommandée pour les études préalables à l'implantation d'éoliennes (Brinkmann *et al.*, 2012). Les données collectées *via* le portail Faune-Aquitaine ont été extraites le 21/02/2016. Chaque donnée correspond *a minima* à une date, une localisation, le nom de l'espèce et de l'observateur et peut également contenir d'autres informations telles que les effectifs, le comportement, l'âge etc.

Une partie des données ayant été collectées dans le cadre de projets d'emprise restreinte, la densité de données n'est pas homogène à l'échelle de l'Aquitaine. Ce biais est particulièrement prégnant pour certaines espèces, notamment celles qui sont massivement détectées par des enregistreurs ultrasons. Pour s'affranchir de ce problème d'autocorrélation spatiale nous avons utilisé une méthode préconisée dans la littérature pour traiter les biais d'échantillonnage (Boria *et al.* 2014; Fourcade *et al.* 2014). Cette méthode consiste à appliquer un maillage de taille supérieur à celui utilisé dans la modélisation et à ne garder qu'un seul point par espèce et par maille. Nous avons ici désagrégé les données en utilisant des mailles des 4 km de côté. Cette méthode permet d'obtenir un jeu de données homogène à l'échelle du territoire et limite l'impact dans le modèle des grandes quantités de données liées à des protocoles locaux.

La procédure de modélisation nécessite un nombre de données d'occurrence suffisant pour fonctionner correctement. Nous nous sommes donc limités à modéliser la distribution des espèces pour lesquelles le nombre de données est suffisant en Aquitaine (Wisz *et al.* 2008a). Seules deux espèces n'ont pas été modélisées sur les 25 connues dans la région, le Murin à moustaches (*Myotis mystacinus*) et le Petit Murin (*Myotis blythii*) (Tableau 1). Il faut noter que la majorité des données connues pour ces deux espèces sont concentrées dans le massif pyrénéen.

Tableau 1 : liste des espèces qui ont fait l'objet d'une modélisation de leur distribution. n correspond au nombre de données d'occurrence utilisé dans le modèle.

Espèce	Nom Latin	Données désagrégées maille 4km	n
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	X	489
Serotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	X	616
Vespère de savi	<i>Hypsugo savii</i>		93
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>		145
Murin d'Alcatheo	<i>Myotis alcatheo</i>		66
Murin de Beschtein	<i>Myotis beschteinii</i>		67
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>		626
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	X	240
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>		162
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>		189
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>		214
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	X	548
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	X	166
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	629
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>		160
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	936
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>		154
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>		126
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>		214
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	X	74
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	X	351
Petit rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	X	406
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>		57

2.2.2. Données environnementales

Afin de réaliser une prédiction biologiquement cohérente de la distribution des espèces le choix des variables environnementales est une étape primordiale (Franklin 2010) (Tableau 2). Nous avons utilisé le cumul annuel des précipitations dont l'influence sur les chiroptères est documentée (Ransome, 1971; Erickson & West, 2002; Parsons et al., 2003). L'usage des variables climatiques est très répandu en modélisation (Aguirre-Gutiérrez et al., 2013; Braunisch et al., 2013). Cependant, à l'échelle de la région elles ne sont pas suffisantes pour expliquer la répartition des chiroptères car leur variation est faible par rapport à la gamme climatique présente à l'échelle de la distribution globale de ces espèces. D'autres variables apparaissent comme ayant un rôle primordial à cette échelle spatiale. L'occupation du sol notamment a un rôle fortement structurant pour de nombreuses espèces (Ruys and Bernard, 2014; Arthur and Lemaire, 2015). Le réseau hydrographique est également un facteur environnemental majeur (Arthur & Lemaire 2015). Certaines espèces de chiroptères utilisent des gîtes épigés en hiver mais également en période estivale (Ruys and Bernard, 2014; Arthur and Lemaire, 2015), nous avons utilisé la densité de cavité comme un proxy de la présence de ces gîtes. Nous avons inclus une carte de l'intensité de la pollution lumineuse car plusieurs espèces sont fortement lucifuges (Arthur & Lemaire 2015). Pour finir, nous avons utilisé un indice de productivité végétal, le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), construit à partir des réflectances spectrales mesurées dans le rouge et dans le proche infra-rouge. Les valeurs de cet indice varient entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondent à des surfaces non végétalisées tel que la neige, l'eau ou les

nuages. Les sols nus ont des valeurs proches de 0. La végétation a des valeurs comprises entre 0,7 et 1, les valeurs les plus élevées correspondant à des couverts plus denses. Cet indice a déjà fait ces preuves dans le cadre de la modélisation de distribution, notamment pour les oiseaux (M. McPherson & Jetz 2007). Quand plusieurs variables présentaient une forte autocorrélation spatiale ($r > 0,7$) nous avons sélectionné la variable qui nous semblait la plus pertinente biologiquement (Braunisch *et al.* 2013). Les modèles sont ainsi alimentés avec 14 variables environnementales.

Tableau 2 : Liste des variables environnementales considérées dans la modélisation de distribution des chiroptères

Type	Dénomination	Source	Description
Occupation du sol	Forêt de conifères	Corine Land Cover 2012	Part de cette occupation du sol dans chaque pixel (%)
	foret mixtes		
	foret de feuillu		
	agriculture hétérogène		
	pelouses et pâtures		
	prairies		
	végétation arbustive		
	vignobles		
	terres arables		
	Anthropisation		
Climat	Précipitation annuelle	Worldclim	Précipitation moyenne annuelle (mm)
Productivité végétale	NDVI	Copernicus	Indice de productivité végétale moyen ²
Hydrologie	réseau hydrologique	BD carthage et BD topo	Densité du réseau hydrographique permanent
Géologie	cavités	BRGM ³	Densité de cavités naturelles et artificielles

2.2.3. Choix et description de la méthode de modélisation

Il existe de nombreuses méthodes pour modéliser la distribution d'espèces (SDM – *Species Distribution Model*). Ces méthodes ont pour objectif dans un premier temps de définir la niche écologique de l'espèce cible en utilisant des variables environnementales (température, précipitations, occupation du sol, etc.) (Franklin 2010). Elles peuvent ainsi être utilisées pour réaliser des projections de la distribution de ces espèces en fonction de scénarios de modification du climat ou de l'occupation du sol (Moilanen, Wilson & Possingham 2009). Dans le cadre de notre étude nous disposons pour la majorité des espèces uniquement de données de présence. Compte-tenu de notre capacité limitée de détection de ces espèces et de leur forte mobilité, avoir la certitude qu'une espèce est absente d'un site nécessite de nombreux passages. Ainsi les données de présence-absence pour ces espèces sont beaucoup plus compliquées et chronophages à acquérir. Il existe des algorithmes pour réaliser des modélisations de distribution en se basant uniquement sur ce type de données en présence seule. Les méthodes évaluées comme étant les plus pertinentes pour traiter nos données à l'échelle spatiale considérée dans cette étude sont les GLM et MaxEnt (Aguirre-Gutiérrez *et al.* 2013a). GLM (*Generalized Linear Models*) est une méthode statistique qui décrit une relation entre les variables environnementales et la variable réponse sous la forme d'un modèle linéaire via une fonction de lien. MaxEnt (Maximum Entropy) est un algorithme spécifiquement développé pour modéliser la distribution d'espèce. Il se base sur la recherche du modèle dont l'entropie est maximale (Phillips, Dudík &

¹ National Oceanic and Atmospheric Administration

² Moyenne des dalles sur la période printemps-été (11/04/16; 01/05/16; 01/06/16 et 01/07/16)

³ Bureau de Recherches Géologiques et Minières

Schapire 2004). Cet algorithme est reconnu pour son efficacité notamment lorsque le nombre d'occurrence est faible (Wisn et al. 2008b). Ces deux algorithmes, GLM et MaxEnt, sont les plus couramment utilisées pour la réalisation de SDM (Aguirre-Gutiérrez et al 2013a).

Nous avons mis en œuvre ces méthodes en utilisant la plateforme biomod2 sous la forme d'un package R. Biomod2 permet de mettre en œuvre 10 méthodes reconnues pour modéliser les relations entre des espèces et leur environnement. Afin de lisser leurs erreurs de prédiction respectives, le modèle final assemble ces deux algorithmes en les pondérant par leur évaluation de robustesse (Aguirre-Gutiérrez et al. 2013a). L'algorithme Maxent a été paramétré pour ne pas prendre en compte les seuils (liens autorisés : *linear, quadratic, product*) et le GLM suit une loi binomiale avec effet quadratique. Les données espèces en entrée sont uniquement des données de présence ; pour fonctionner la procédure de modélisation implique la génération de pseudo-absences afin d'ajuster le modèle en comparant les valeurs des variables environnementales avec le bruit de fond. Nous avons ainsi généré 10 000 pseudo-absences de manière aléatoire selon les préconisations de Barbet-Massin et al (2012). Le jeu de données a été réparti de manière aléatoire en deux groupes. Le premier, représentant 75% des données d'occurrence, a été utilisé pour construire le modèle, le deuxième correspondant aux 25% de données restantes, a servi à son évaluation (Aguirre-Gutiérrez et al. 2013a). Cette opération a été répétée 10 fois pour parer aux biais de sous-échantillonnage (Barbet-Massin et al. 2012). L'évaluation de la robustesse des modèles s'est basée sur l'étude des ROC (Relative Operating Characteristic) via l'indicateur AUC (Area Under the Curve) (Thuiller et al. 2009; Thuiller, Georges & Engler 2015) qui est la méthode la plus couramment utilisée (Lobo et al. 2008). Elle évalue la performance du modèle en mesurant sa capacité à discriminer les vrais positifs en fonction du taux de faux positifs. Toutes ces analyses ont été réalisées à l'aide du logiciel R3.3.1 et de son interface graphique Rstudio.

2.3. Résultats

La distribution de toutes les espèces de chiroptères d'Aquitaine a été modélisée hormis pour le Petit Murin et le Murin à moustaches dont le nombre de données est trop faible (Figures 1, 2 et 3). Ces cartes de répartition mettent en évidence les zones fréquentées par chacune de ces 23 espèces pendant la période où elles sont le plus active, c'est-à-dire entre avril et octobre. Les cartes suivantes sont classées de l'espèce avec l'indice de sensibilité à l'éolien le plus élevé vers l'indice le plus faible. La méthode de calcul est détaillée dans le chapitre 3.2.3 concernant la hiérarchisation des enjeux pour les oiseaux et les chiroptères.

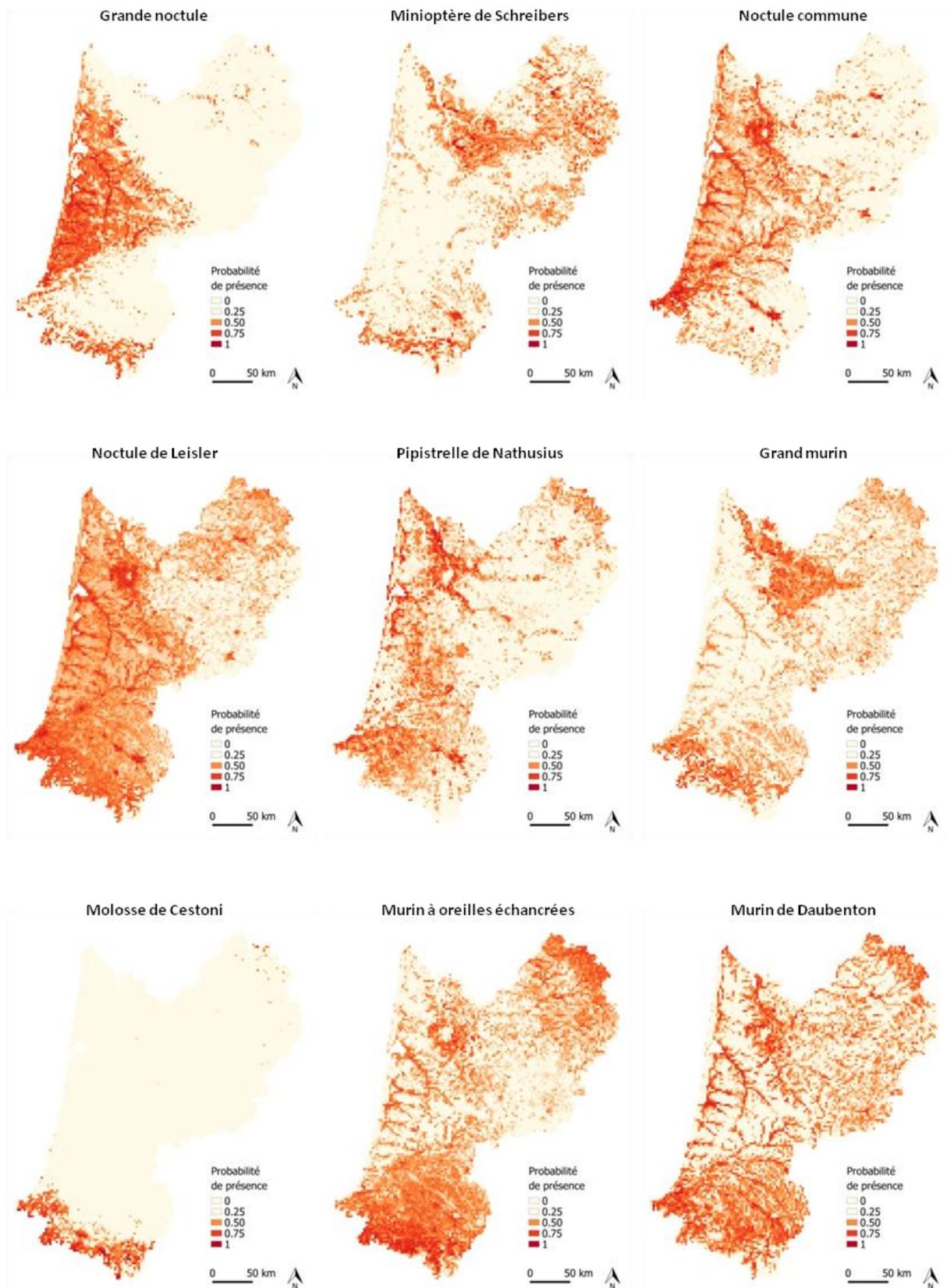


Figure 1 : Cartes de probabilité de présence des chiroptères (1/3).

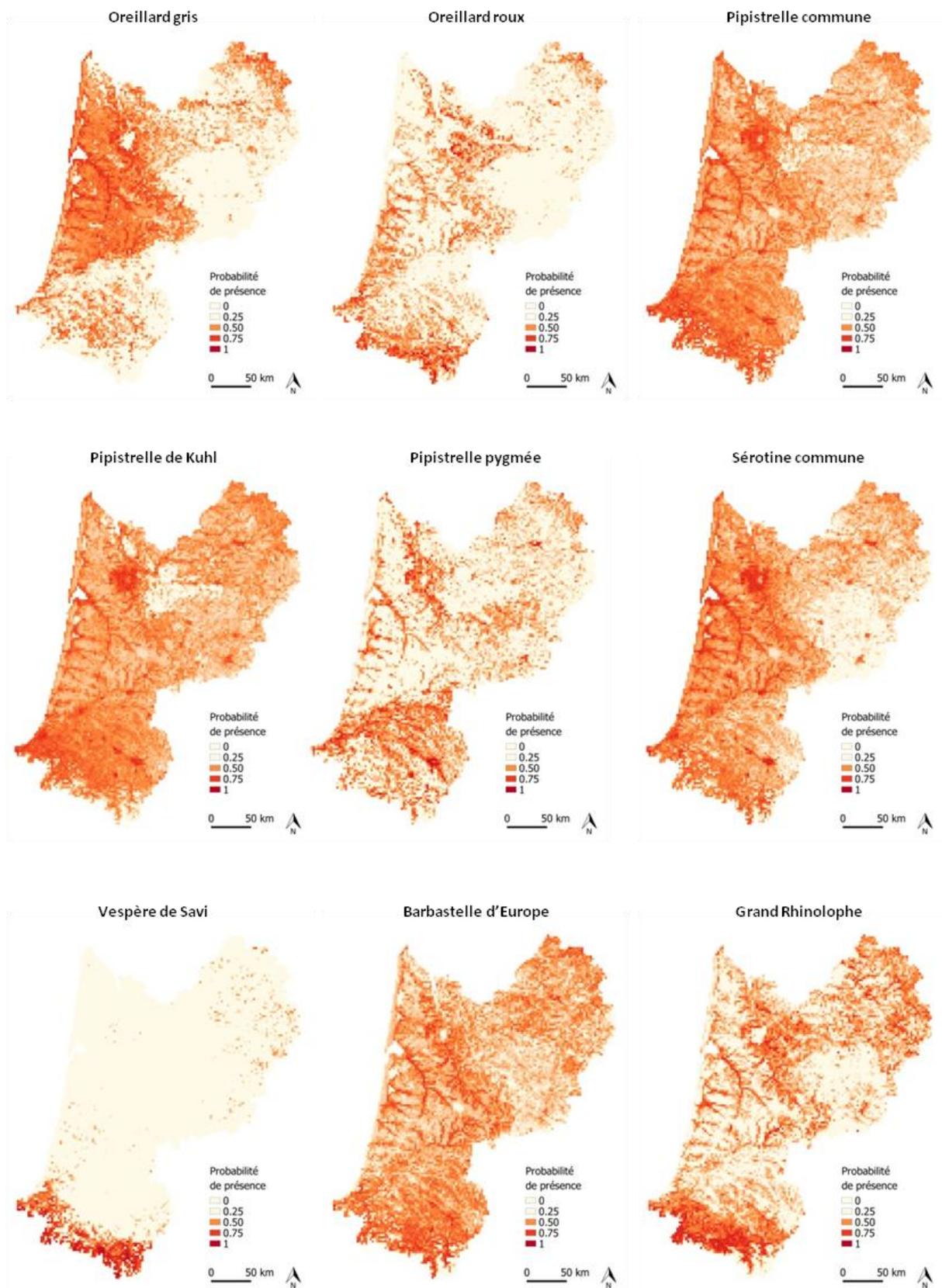


Figure 2 : Cartes de probabilité de présence des chiroptères (2/3).

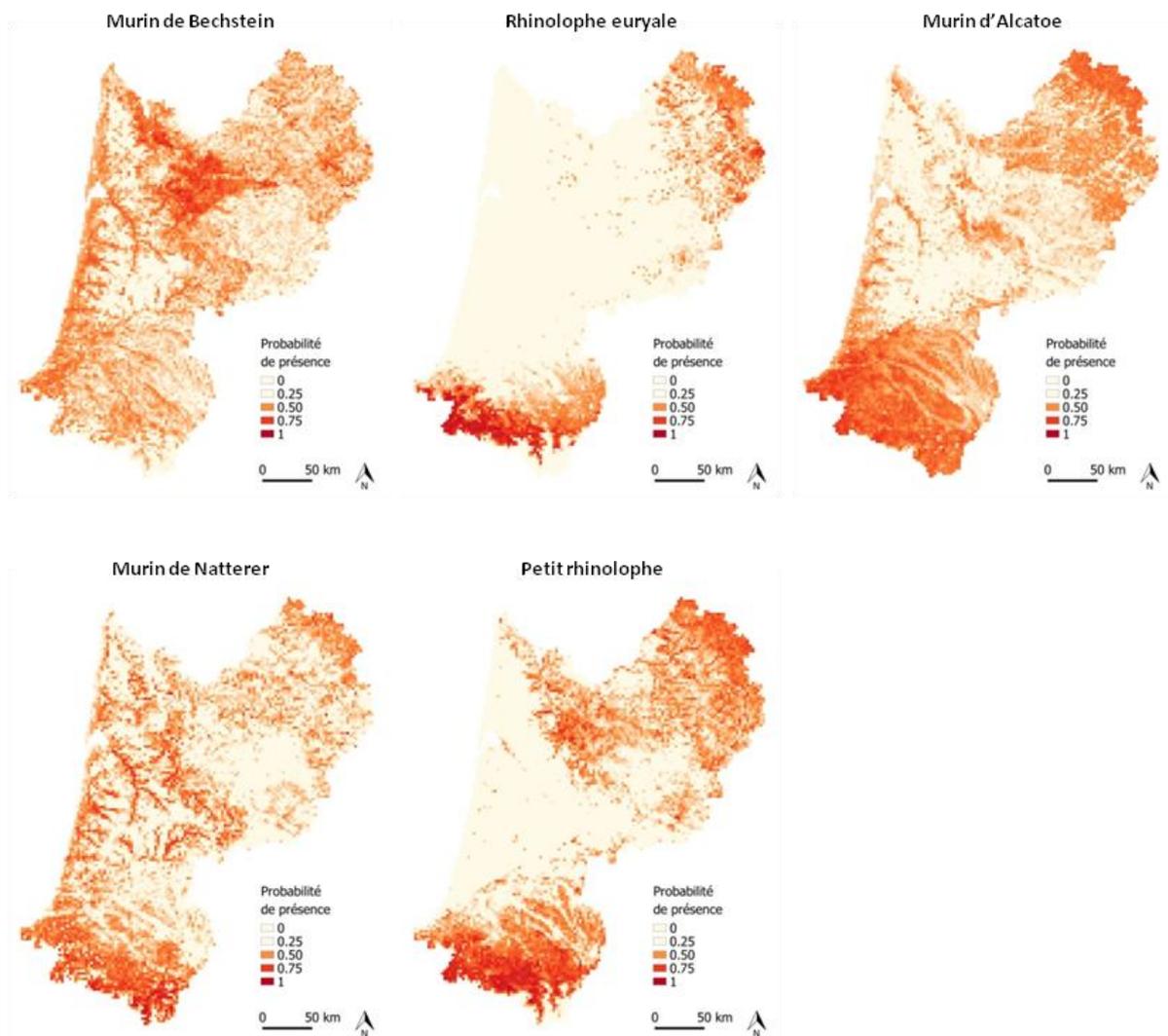


Figure 3 : Cartes de probabilité de présence des chiroptères (3/3).

2.4. Conclusion

Localiser les enjeux concernant les chiroptères à l'échelle régionale est une étape importante dans le cadre du développement éolien. C'est un préalable à la prise en compte de la biodiversité en amont de la localisation des projets. Dans le cadre de ce projet nous avons ainsi réalisé des cartes de répartition pour 23 espèces de chiroptères sur les 25 présentes en Aquitaine. Pour réaliser ces cartes nous avons utilisé des méthodes de modélisation de distribution des espèces qui se basent sur des données d'occurrence des espèces cibles et sur un catalogue de variables environnementales. Cela permet la réalisation des cartes continues à une résolution fine à partir de l'information incomplète dont nous disposons. Les cartes ainsi produites mettent en évidence les zones du territoire aquitain où la probabilité de présence de chaque espèce de chiroptère est la plus élevée. Plusieurs zones peuvent ainsi être mises en avant comme le massif forestier des landes de Gascogne, où l'on observe de fortes probabilités de présence pour les trois espèces de noctules. Le réseau hydrographique apparaît également important pour de nombreuses espèces. Le massif pyrénéen ressort également sur de nombreuses cartes. De plus deux espèces ont une distribution qui se limite à cette zone (le Molosse de Cestoni et le Vespère de Savi). La Dordogne apparaît également favorable à de nombreuses espèces, en particulier la partie nord-est du département. Il faut cependant garder en tête que ces cartes sont des modèles prédictifs et qu'elles ne sont pas une image parfaitement fidèle de la réalité. Il existe encore des lacunes dans notre connaissance de ces espèces et de ces outils qui, malgré leur grande efficacité, ne peuvent pas combler tous ces manques.

3. Modélisation de la distribution des oiseaux

3.1. Méthodes

3.1.1. Données espèces

L'ensemble des données utilisées dans le cadre de la modélisation des distributions des oiseaux sont issues du portail de science participative Faune-Aquitaine porté par la LPO-Aquitaine. Chaque donnée correspond au moins à une date, une localisation, le nom de l'espèce et de l'observateur et peut également contenir d'autres informations telles que les effectifs, le comportement, l'âge etc. Les données bancarisées par cette base sont collectées à la fois par les chargés d'études de la LPO dans le cadre de leur activité, mais aussi par plus de 6 600 naturalistes qui enregistrent leurs observations personnelles. Cela représente aujourd'hui en Aquitaine plus de 4 000 000 de données dont 88 % pour le groupe taxonomique des oiseaux. Cette source de données est donc très riche et permet de modéliser la distribution de ces espèces avec un nombre de données important. La pression d'observation n'est cependant pas répartie de manière homogène sur le territoire et est plus élevée près des zones humides et des centres urbains. Pour pallier ce biais d'échantillonnage nous avons désagrégé les données de la même manière que pour les chiroptères.

Nous avons sélectionné pour ces analyses les espèces dont la mortalité par les éoliennes est avérée, cependant certaines espèces n'ont pas été considérées car elles sont présentes sur l'ensemble du territoire ; il s'agit de la Buse variable et du Faucon crécerelle (Tableau 3). Selon les espèces la période considérée pour l'extraction des données diffère en fonction de la période du cycle biologique la plus sensible à l'éolien. Nous n'avons cependant pas traité les données en migration dans le cadre de cette partie car la distribution des oiseaux pendant cette période ne dépend pas des variables environnementales à cette échelle. Cette période biologique est traitée dans le chapitre 6. Pour certaines espèces la période de sensibilité concerne uniquement l'hivernage (Grue cendrée par exemple) ou la reproduction (Sterne pierregarin) alors que pour d'autres, toute l'année est concernée (vautours). Certaines espèces ont également été traitées en deux périodes distinctes (hivernage et reproduction) car elles sont présentes toute l'année sur le territoire étudié mais la sélection d'habitat varie selon la période biologique (Alouette des champs). Pour certaines espèces le tri a été réalisé en se basant sur une décennie qui correspond à la période de reproduction ou d'hivernage de l'espèce. Enfin, selon les espèces, certaines données ont été supprimées car elles correspondent potentiellement à des individus en migration. Il s'agit de données avec les comportements notés en migration et/ou en vol. Pour certaines espèces, afin de s'assurer que le site correspond bien à une zone fréquentée de manière récurrente nous avons considéré uniquement les sites avec des observations multiples, séparées dans le temps. De la même manière pour le Vautour fauve, nous n'avons considéré les données que si l'espèce a été observée sur la commune plus de 6 mois sur 12. Ce filtre supprime les données de jeunes qui prospectent hors de la zone de présence de l'espèce de manière erratique. Ces individus peuvent être impactés par l'éolien mais l'impact sur la population est moindre que dans le cœur de l'aire de distribution. Afin de nous concentrer uniquement sur des individus cantonnés, nous avons utilisé uniquement les données avec un comportement lié à la reproduction pour certaines espèces (code atlas). Pour la Sterne pierregarin en période de migration nous avons considéré uniquement les tronçons où l'espèce est connue pour nicher (codes atlas) afin de s'affranchir des individus en migration. L'ensemble de ces différents tris, adaptés aux comportements de chaque espèce, a pour objectif d'obtenir un jeu de données homogène, en supprimant les individus erratiques et en migration qui peuvent être observés sur l'ensemble du territoire.

Tableau 3 : Liste des espèces qui ont fait l'objet d'une modélisation de leur distribution. Le tri des données correspond aux différents filtres qui ont été appliqués au jeu de données brut pour supprimer les données correspondant à des déplacements longs (migration ou erratisme). n correspond au nombre de données d'occurrence utilisé dans le modèle.

Espèce	Nom Latin	Période reproduction	Période hivernage	Tri des données			Données désagrégées maille 4km	n
				TOUTES	CODE ATLAS	DECADE		
Autour des palombes	<i>Accipiter gentilis</i>	X			Tous	[1-7]		358
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	X			Tous			3485
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>		X			[34-3]	X	529
Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	X			>3	[9-18]		187
Oie cendrée	<i>Anser anser</i>		X			[35-2]	Individu sauvage hors migration	706
Pipit rousseline	<i>Anthus campestris</i>	X			Tous			920
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	X			Tous		X	1368
Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	X			Tous			205
Aigle botté	<i>Aquila pennata</i>	X			>3			521
Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	X	X				Hors en vol	X
Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	X	X				Lieux avec observations multiple	
Grand-duc d'Europe	<i>Bubo bubo</i>	X			Tous			399
Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	X			Tous	[15-23]		2854
Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>		X			[1-7]		4557
Oedicnème criard	<i>Burhinus oedicnemus</i>	X			Tous			166
Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>	X			Tous		X	703
Grande aigrette	<i>Egretta alba</i>	X	X				Hors en vol	X
Gravelot à collier interrompu	<i>Charadrius alexandrinus</i>	X			Tous			344
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	X	X	X				31599
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>	X			Tous			3314
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>		X			[14-19]		2828

Busard des roseaux	<i>Circus aeruginosus</i>	X			Tous		1859
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	X			Tous		1608
Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	X			Tous		2916
Busard cendré	<i>Circus pygargus</i>	X			Tous		2236
Caille des blés	<i>Coturnix coturnix</i>	X			Tous		1109
Pic à dos blanc	<i>Dendrocopos leucotos</i>	X			Tous	X	240
Pic mar	<i>Dendrocopos medius</i>	X			Tous	X	261
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	X			Tous	X	756
Elanion blanc	<i>Elanus caeruleus</i>	X			>11		325
Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>	X			Tous		1947
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	X			>11		581
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>		X			[34-36]	435
Faucon hobereau	<i>Falco subbuteo</i>	X			>3		93
Grue cendrée	<i>Grus grus</i>		X			Gagnage	758
Gypaète barbu	<i>Gypaetus barbatus</i>	X			Tous		388
Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	X	X			Présence communale > 6mois / an	279
Huïtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>	X				Hors migration	1254
Echasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>	X			Tous	Lieux avec observations multiples	67
Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	X			Tous	Dortoir + alimentation	341
Pie-grièche écorcheur	<i>Lanius collurio</i>	X			Tous	X	767
Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	X	X	X			2233
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	X	X	X			13241
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	X			Tous		2376
Gorgebleue à miroir	<i>Luscinia svecica</i>	X			Tous		344
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	X			>3		5417

Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	X			Tous			2636
Vautour percnoptère	<i>Neophron percnopterus</i>	X			Tous			325
Courlis cendré	<i>Numenius arquata</i>	X			Tous			287
Courlis cendré	<i>Numenius arquata</i>		X			[1-3]		1090
Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	X					Hors migration	582
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>		X			[17-20]		1277
Spatule blanche	<i>Platalea leucorodia</i>		X			[16-19]		564
Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>		X			[35-3]		397
Crave à bec rouge	<i>Pyrhocorax pyrrhocorax</i>	X			Tous			647
Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>	X			Tous			86
Sterne pierregarin	<i>Sterna hirundo</i>	X	X				Tronçon hydrique pendant reproduction	66
Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>	X			Tous		X	525
Tadorne de belon	<i>Tadorna tadorna</i>	X			Tous		Hors plage	1560
Outarde canepetière	<i>Tetrax tetrax</i>	X			Tous			12
Grand tétras	<i>Tetrao urogallus</i>	X	X	X				73
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	X			>3			329
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>		X			[34-3]		4814

3.1.2. Données environnementales

Les données environnementales utilisées sont principalement des descripteurs de l'occupation du sol (Tableau 4). La méthode de calcul de ces couches est identique à celle présentée dans le chapitre sur la modélisation de distribution des chiroptères, cependant la liste diffère un peu. Ces variables ont été sélectionnées selon leur pertinence écologique pour les oiseaux. Quand plusieurs variables présentaient une forte corrélation spatiale ($r > 0,7$) nous avons sélectionné la variable qui nous semblait la plus pertinente biologiquement (Braunisch *et al.* 2013). Les modèles sont ainsi alimentés avec 14 variables environnementales.

Tableau 4 : Liste des variables environnementales considérées.

Type	Dénomination	Source	Description
Occupation du sol	Forêt de conifères	Corine Land Cover 2012	Part de cette occupation du sol dans chaque pixel (%)
	forêt mixtes		
	forêt de feuillu		
	agriculture hétérogène		
	pelouses et pâtures		
	prairies		
	végétation arbustive		
	vignobles		
	terres arables		
	dunes et sable		
territoire artificialisé			
Altitude	MNT	BD alti (IGN)	Modèle numérique de terrain
Humidité	SWI ⁴	Calcul basé sur MNT	Indice d'humidité lissé
Hydrologie	réseau hydrologique	BD carthage et BD topo	Densité du réseau hydrographique permanent

3.1.3. Choix et description de la méthode de modélisation

La méthode de modélisation de distribution utilisée est la même que celle utilisée pour les chiroptères. Elle est basée sur l'utilisation de la plateforme Biomod2 et des méthodes statistiques MaxEnt et GLM. Pour plus de détails se référer au paragraphe correspondant pour la modélisation de la distribution des chiroptères.

Pour quelques espèces dont la distribution est très bien connue nous n'avons pas réalisé de modélisation de distribution mais nous avons créé des cartes binaires en utilisant directement les données d'occurrences. Il s'agit principalement d'espèces liées aux zones humides avec des distributions très localisées : la Spatule blanche, le Bihoreau gris, le Blongios nain, le Butor étoilé, l'Echasse blanche, la Gorgebleue à miroir, le Gravelot à collier interrompu et l'Outarde canepetière. Pour l'Avocette élégante une carte avec trois modalités a été réalisée. Pour les pixels où des comportements liés à la reproduction ont été notés (code Atlas) la valeur attribuée est 1. Pour les pixels où l'espèce a été observée plusieurs fois sur un site sans preuve de reproduction la valeur attribuée est 0,5. Tous les autres pixels ont été fixés à 0. Pour la Grue cendrée une carte binaire a été réalisée également en utilisant comme données de présence l'ensemble des parcelles fréquentées

⁴ SAGA Wetness Index

par des grues en gagnage pendant l'hiver. Cette méthode permet de s'affranchir des mouvements migratoires de cette espèce observée pendant tout l'hiver.

3.2. Résultats

La mise en œuvre d'outils de modélisation de distribution ont permis de transformer la connaissance ponctuelle, liée aux données d'occurrence, en cartes de probabilité de présence continue à une résolution de 2 km x 2 km (Figures 4 à 10). L'ensemble des espèces considérées comme impactées par l'éolien à des degrés divers ont été considérées. Ce sont ainsi 63 cartes qui ont été réalisées pour 57 espèces d'oiseaux à différents moments de leur cycle biologique en Aquitaine, en hivernage et/ou en période de reproduction. Ces cartes sont présentées ci-dessous, elles sont triées en fonction d'un indice de sensibilité à l'éolien calculé dans le cadre de cette étude. Pour plus de détails sur la méthode de calcul de cet indice se référer à la partie méthode du chapitre 3.2.3 concernant la synthèse spatiale.

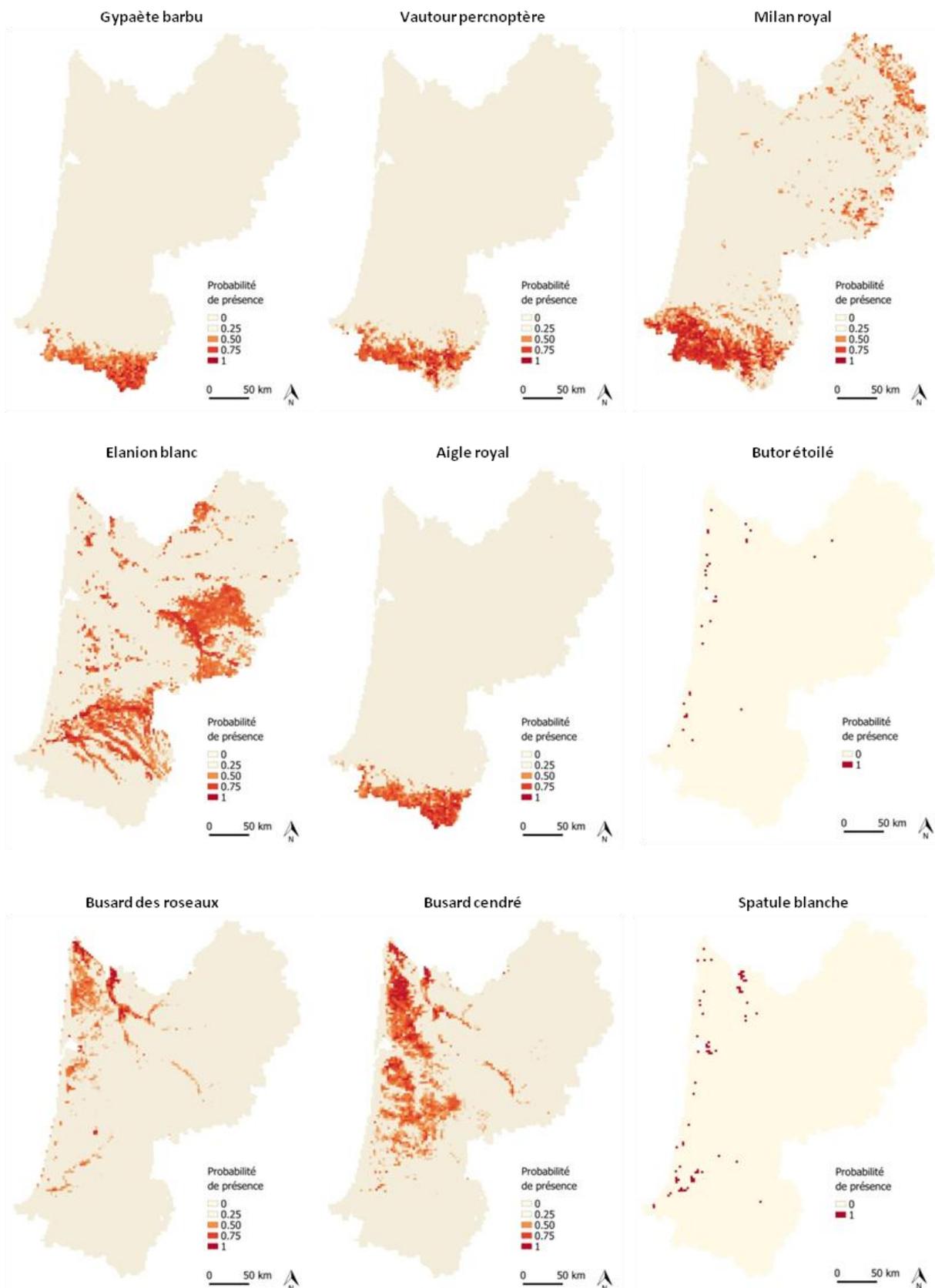


Figure 4 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (1/7).

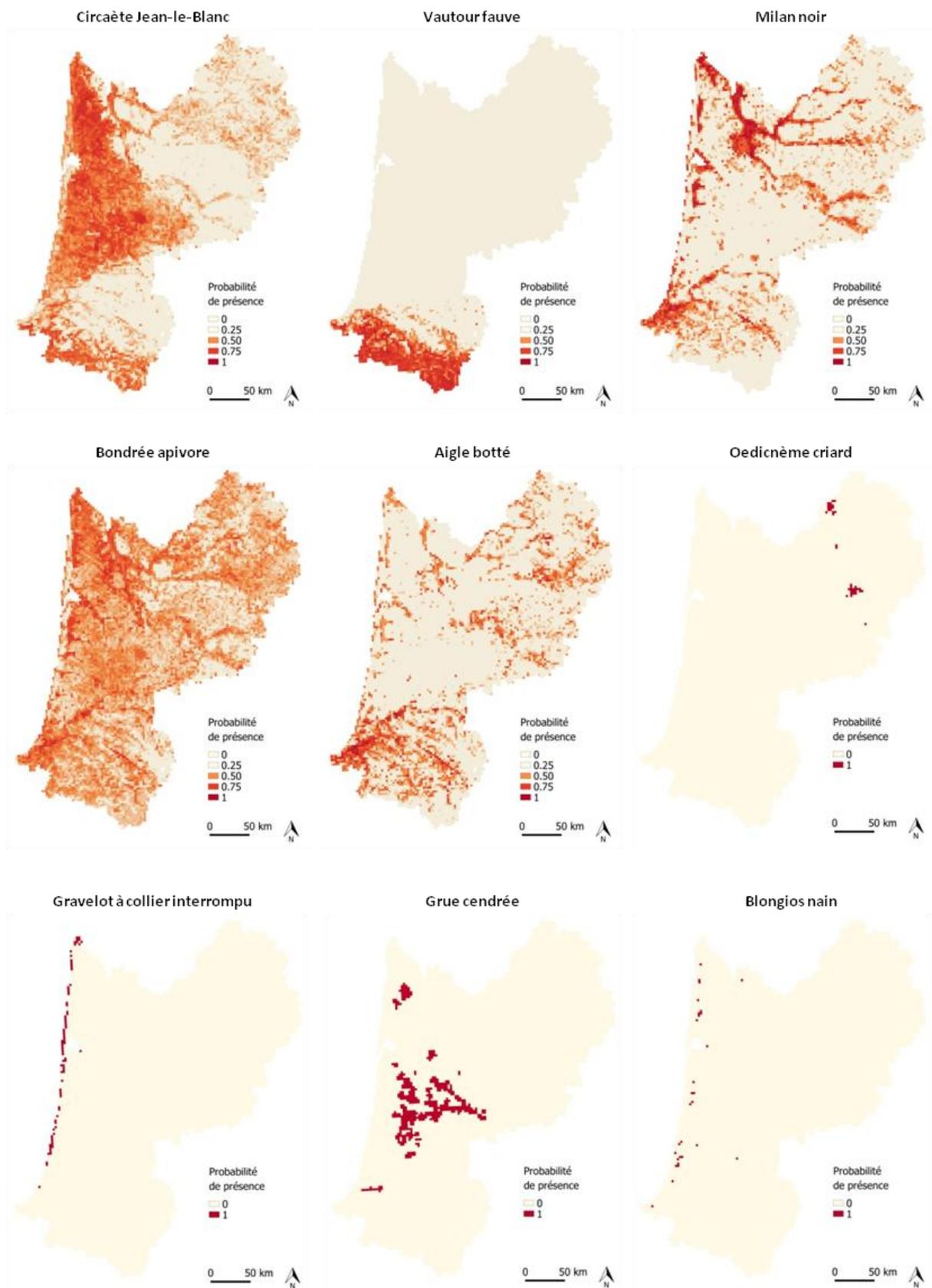


Figure 5 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (2/7).

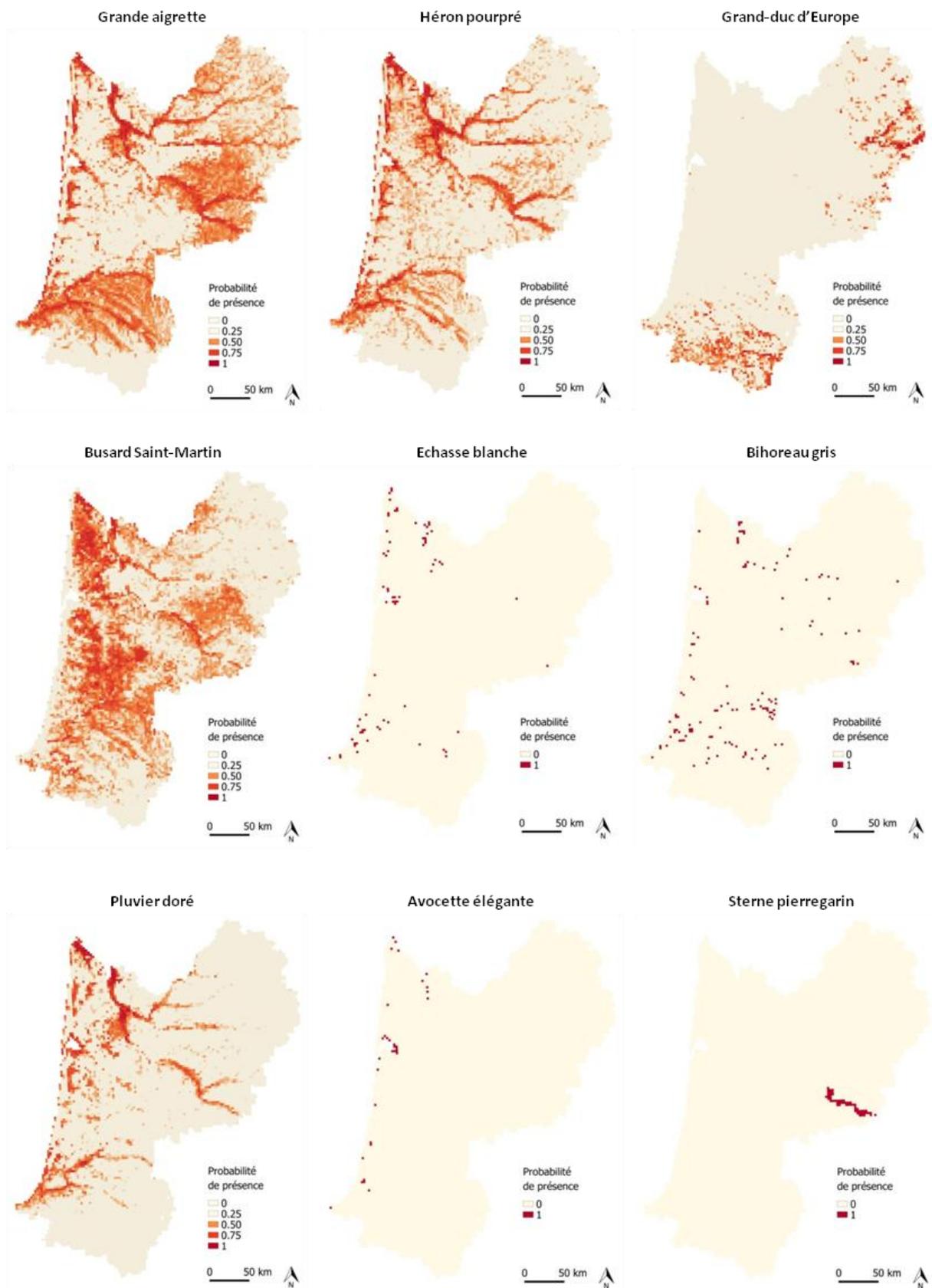


Figure 6 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (3/7).

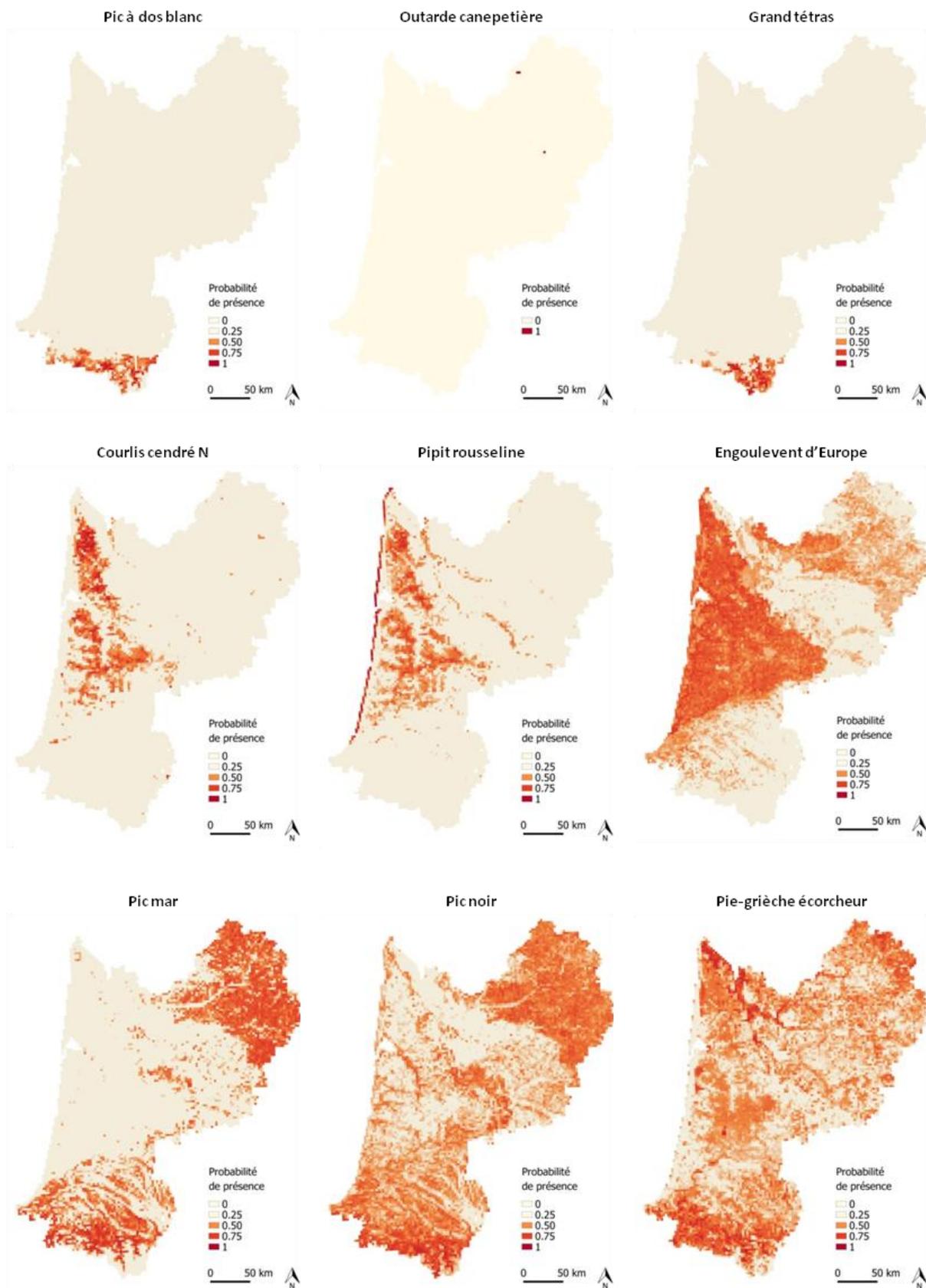


Figure 7 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (4/7).

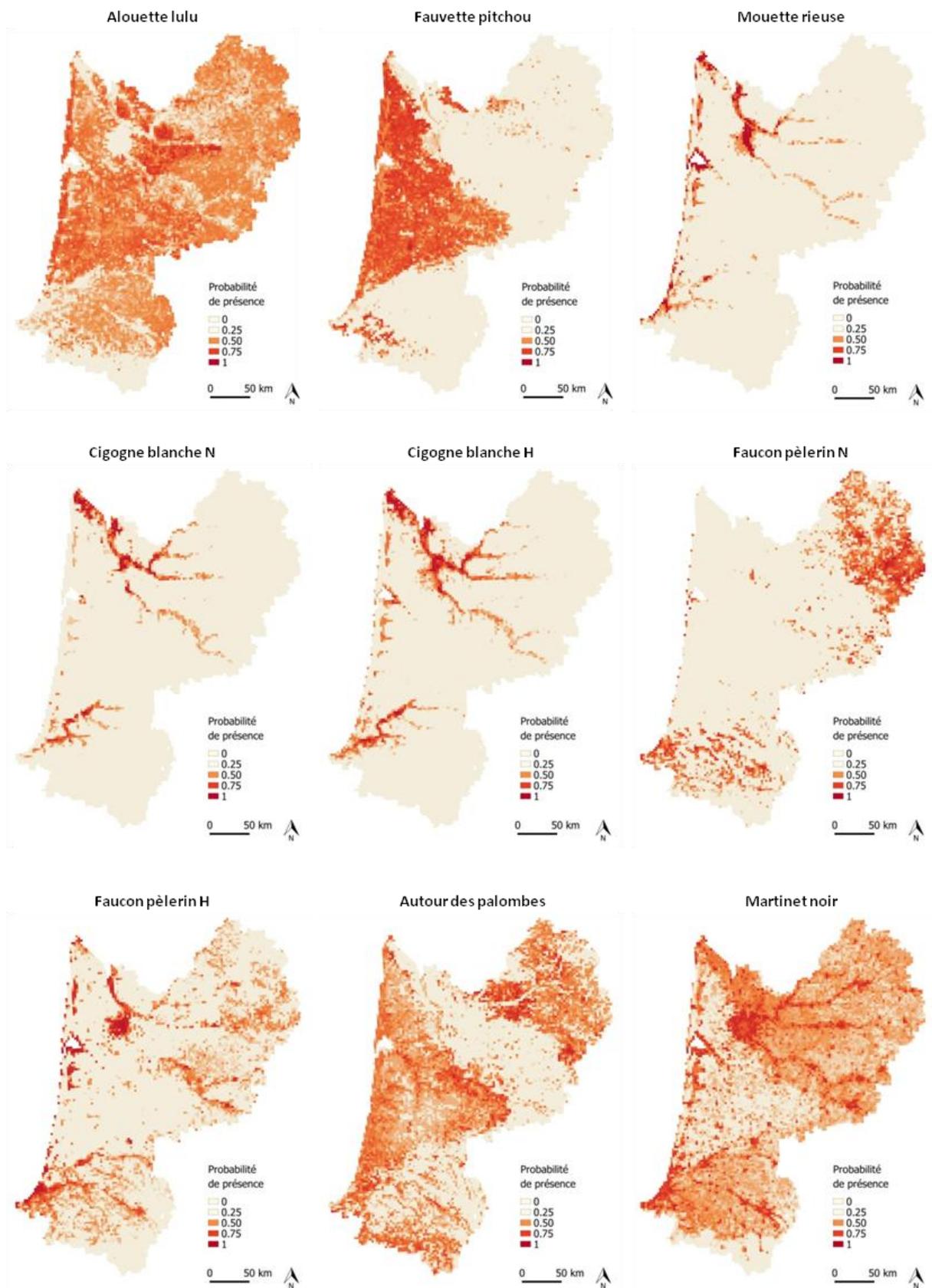


Figure 8 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (5/7), N correspond à la carte en période de nidification et H en période d'hivernage.

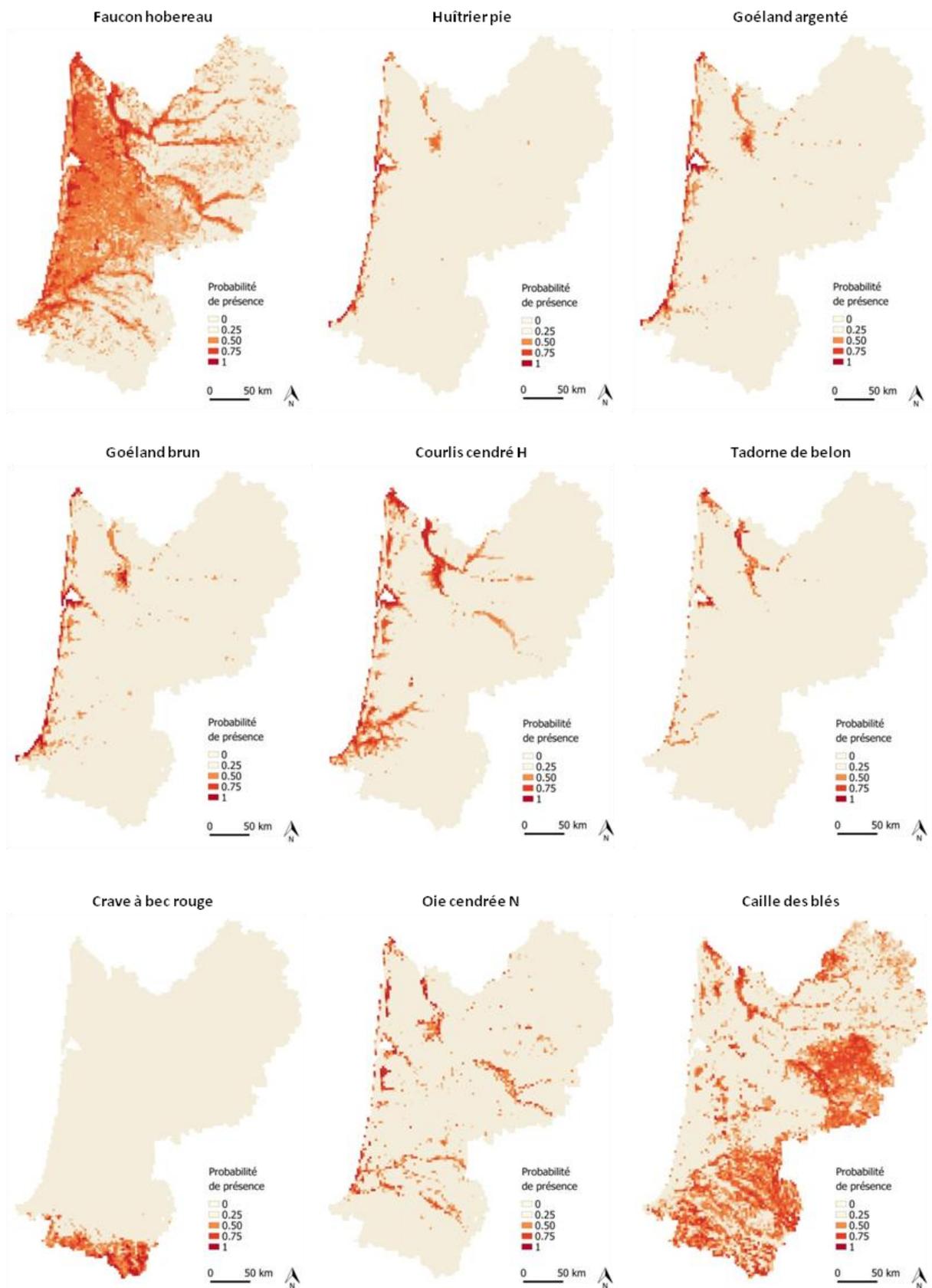


Figure 9 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (6/7), N correspond à la carte en période de nidification et H en période d'hivernage.

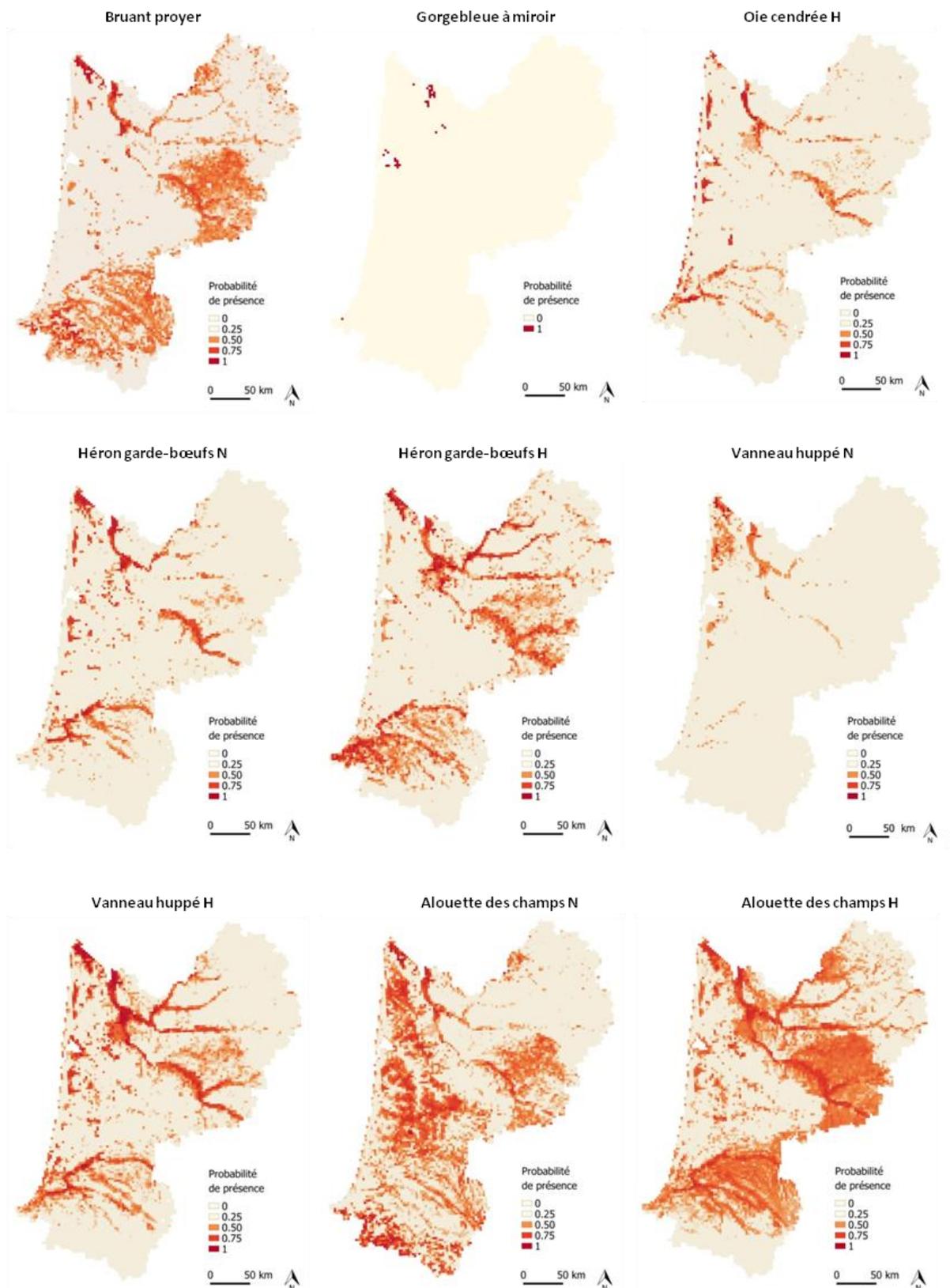


Figure 10 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (7/7), N correspond à la carte en période de nidification et H en période d'hivernage.

3.3. Conclusion

De la même manière que pour les chiroptères une connaissance fine de la répartition des espèces d'oiseaux impactées par l'éolien permet une meilleure prise en compte de la biodiversité en amont de la localisation des projets. Cette étude a permis de réaliser des cartes pour 57 espèces d'oiseaux à l'échelle de la région. Selon les espèces la ou les périodes considérées diffèrent car les périodes de présence en Aquitaine varient selon les espèces. De plus, pour certaines espèces plusieurs cartes ont été réalisées afin de prendre en compte le changement de sélection d'habitat entre la saison de reproduction et le reste du cycle de l'espèce. L'ensemble de ces cartes met en avant la grande diversité de répartition en fonction des espèces. Ces cartes font également ressortir quelques zones qui concentrent plusieurs espèces sensibles. Le massif pyrénéen est tout particulièrement concerné car il héberge un cortège de rapaces planeurs particulièrement vulnérable au risque de collision. On peut citer notamment les trois espèces de vautours présentes en Aquitaine (le Gypaète barbu, le Vautour percnoptère et le Vautour fauve) ainsi que le Milan royal et l'Aigle royal. Chaque partie du territoire est cependant concernée par un cortège d'espèce plus ou moins sensible à l'éolien. Ces cartes pourront ainsi être utilisées afin de mieux cerner les espèces susceptibles d'être concernées lors de la localisation d'un projet éolien et ainsi d'évaluer plus finement les impacts potentiels sur l'avifaune nicheuse ou hivernante.

4. Synthèse spatiale des enjeux en termes de biodiversité

4.1. Introduction

Les cartes de distributions présentées dans les deux chapitres précédents permettent d'obtenir une information sur la probabilité de présence des espèces à enjeu pour chaque site en Aquitaine. Ces cartes donnent une information sur les enjeux attendus localement en mettant en évidence pour chaque site d'Aquitaine quelles sont les espèces attendues. Afin d'avoir une vision globale des enjeux en Aquitaine nous avons utilisé une méthode de hiérarchisation afin d'avoir une information synthétique des enjeux. Cette méthode produit une carte unique des enjeux relatifs à l'éolien pour les oiseaux et pour les chiroptères. Cette méthode est basée essentiellement sur les cartes de répartition. Elle hiérarchise les enjeux à l'échelle de l'étude afin de comparer les zones en fonction des impacts prédits sur la biodiversité. Les résultats de ce travail ont pour objectif de servir d'outil d'aide à la décision en amont des projets éoliens afin de planifier un développement de l'éolien sur la région avec le plus faible impact possible sur ces deux groupes faunistiques particulièrement sensibles à l'éolien à savoir les oiseaux et les chiroptères.

4.2. Méthodes

4.2.1. Choix et description de la méthode

Il existe plusieurs méthodes pour prioriser spatialement des enjeux de biodiversité (i.e. Marxan, ConsNet, Cplan, etc.). Nous avons ici choisi l'algorithme de Zonation (Moilanen 2007) car il nous apparaît comme étant le plus adapté à notre problématique de priorisation des enjeux vis-à-vis de l'éolien en Aquitaine. Il a été créé dans le but de résoudre des problèmes spatiaux d'allocation de ressource en conservation. Il est capable de traiter des jeux de données importants à de larges échelles avec une résolution fine. Zonation accepte en entrée comme en sortie uniquement des données sous forme de rasters. Les données dont nous disposons pour alimenter cet algorithme sont les cartes de probabilité de présence qui sont sous la forme de raster à l'échelle de la zone d'étude. En se basant sur ces données de répartition et sur un indice de sensibilité il hiérarchise cette grande quantité d'information pour en faire une carte unique. Cette carte présente une information continue de la zone avec les aires où les enjeux identifiés comme étant les plus faibles jusqu'à celles qui concentrent les plus forts enjeux de conservation. Cette méthode peut ainsi avoir plusieurs applications en écologie de la conservation (Moilanen, Wilson & Possingham 2009). La plus plébiscitée est la définition de périmètres à inclure dans une réserve pour optimiser la protection de la biodiversité en minimisant les coûts (Moilanen 2007; Moilanen, Leathwick & Elith 2008; Kremen *et al.* 2008; Leathwick *et al.* 2008). Elle peut également être utilisée pour évaluer ou proposer un réseau d'aires de protection en prenant en compte la connectivité (Carroll, Dunk & Moilanen 2010). Elle est également préconisée pour identifier les zones où le développement économique induira des pertes écologiques limitées. C'est dans ce cadre que nous utilisons cette méthode. Ce type d'application est encore rare aujourd'hui mais il existe cependant un exemple d'utilisation publié dans le cadre de l'éolien offshore (Winiarski *et al.* 2014).

Zonation propose deux méthodes pour prioriser les enjeux sur la zone d'étude, la première (additive-benefit function - ABF) est basée sur la richesse du pixel. La seconde (core-area zonation - CAZ), que nous avons utilisée, prend en compte l'espèce à l'« enjeu » le plus élevé sur le pixel, soit parce que son poids est élevé soit parce qu'elle est rare. En pratique le calcul fait une synthèse de ces deux éléments. Cette méthode prend mieux en compte les espèces rares et spécialistes qui peuvent se trouver sur des pixels avec une richesse identifiée comme plus faible.

Les données qui peuvent être incluses à l'analyse par Zonation sont assez larges (biodiversité, données socio-économiques et menaces). La mise en œuvre de Zonation telle que nous l'avons utilisé nécessite deux types de données en entrée. Le premier est le catalogue raster des cartes de répartition des espèces considérées. Pour cela nous avons utilisé les rasters de probabilité de présence décrits dans les deux chapitres précédents. Le second est un poids attribué à chaque raster,

c'est-à-dire à chaque carte de distribution d'espèce. Dans notre étude nous avons calculé un indice de sensibilité pour chaque espèce que nous avons définis comme les poids de chaque raster.

La priorisation est ensuite réalisée par un processus itératif. Un pixel du raster est enlevé à chaque itération en minimisant la perte globale de biodiversité. Cette perte est évaluée en considérant la distribution restante de chaque espèce ainsi que le poids attribué à chacun d'entre eux. Le processus itératif commence du paysage complet et enlève des pixels, en limitant les pertes à chaque étape, jusqu'à ce qu'il ne reste plus un seul pixel. Ainsi les pixels qui ont la valeur biologique la plus faible sont supprimés en premier et ceux qui ont la plus élevée sont gardés jusqu'à la fin du processus.

4.2.2. Données espèces

Les données utilisées sont les cartes de distribution issues du travail décrit dans les deux chapitres précédents à savoir les modèles de probabilité de présence pour la quasi-totalité des espèces et les cartes de distribution réelle pour 57 espèces d'oiseaux et 23 espèces de chiroptères. Les deux taxons ont été traités de manière indépendante. Zonation prend en compte les différences de probabilité de présence. Ainsi, toutes choses égales par ailleurs, un pixel avec une probabilité de présence proche de 1 pour une espèce sera gardé plus longtemps lors du processus itératif de hiérarchisation qu'un pixel avec une probabilité de présence proche de 0,5. Il aura ainsi une valeur finale plus élevée.

4.2.3. Indices de sensibilité

Toutes les espèces considérées dans cette étude n'ont pas un niveau de sensibilité à l'éolien identique. En fonction de leur comportement de vol, du statut de leurs populations, la présence d'un parc éolien dans une zone de présence peut avoir un impact plus ou moins important. Afin de prendre en compte ces différences nous avons calculé un indice de sensibilité qui est utilisé par l'algorithme pour pondérer la carte de chaque espèce et ainsi prioriser les espèces les plus sensibles lors du processus de hiérarchisation du territoire. Le choix a été fait de considérer à valeur égale les espèces d'oiseaux présentes uniquement une partie de l'année et celles observée toute l'année sur le territoire. C'est pourquoi, pour les espèces ayant deux cartes distinctes (hivernage et reproduction) le coefficient de chaque carte a été arbitrairement divisé par deux. Pour les espèces sédentaires ayant des statuts de conservation différents en hivernage et en été, les deux coefficients ont été moyennés. Pour les chiroptères nous avons considéré uniquement la période estivale.

Pour les oiseaux nous avons construit un indice qui prend en compte trois composantes : la figuration sur l'annexe I de la directive oiseaux, le statut UICN (Union International pour la Conservation de la Nature) et la vulnérabilité à la collision avec une éolienne liée au comportement de vol (Tableau 5). Si l'espèce est inscrite sur l'annexe I de la directive oiseaux l'indice prend la valeur 2 si ce n'est pas le cas il prend la valeur 1. Les valeurs attribuées pour les statuts UICN sont : LC = 1,2 ; NT = 1,4 ; VU = 1,6 ; EN = 1,8 ; CR = 2. Les valeurs choisies ici n'ont pas réellement d'importance, ce qui est utilisé par le modèle c'est uniquement le classement entre elles. Toutes choses égales par ailleurs une espèce Vulnérable (VU) sera donc priorisée par rapport à une espèce classée en Préoccupation mineure (LC). Pour les enjeux éoliens, 3 groupes ont été formés : les grands rapaces planeurs indicés à 2 car ils ont un risque plus important de collision ; les petits passereaux de faible hauteur de vol indicés à 1 ; le reste des espèces avec des hauteurs de vols plus ou moins élevées indicés à 1,5. L'indice final correspond au produit de ces 3 composantes et peut donc prendre une valeur comprise entre 1,2 et 8. Plus la valeur de l'indice est élevée et plus l'espèce est considérée comme étant prioritaire dans le processus de hiérarchisation.

Tableau 5 : Liste des indices utilisés dans le cadre de la procédure de hiérarchisation pour les oiseaux.

Espèce	Nom latin	Code	annexe I	impact éolien	statut nicheur	statut hivernant	Indice
Gypaète barbu	<i>Gypaetus barbatus</i>	GYPBAR	2	2	1.8	1	7.2
Vautour percnoptère	<i>Neophron percnopterus</i>	NEOPER	2	2	1.8	1	7.2
Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	MILMIL	2	2	1.6	1	6.4
Milan royal	<i>Milvus milvus</i>	MILMIL	2	2	1	1.6	6.4
Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	GRUGRU	2	1.5	2	1	6
Elanion blanc	<i>Elanus caeruleus</i>	ELACAE	2	1.5	1.8	1	5.4
Aigle royal	<i>Aquila chrysaetos</i>	AQUCHR	2	1.5	1.6	1	4.8
Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	BOTSTE	2	1.5	1.6	1	4.8
Busard des roseaux	<i>Circus aeruginosus</i>	CIRAER	2	1.5	1.6	1	4.8
Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	CIRGAL	2	2	1.2	1	4.8
Busard cendré	<i>Circus pygargus</i>	CIRPYG	2	1.5	1.6	1	4.8
Vautour fauve	<i>Gyps fulvus</i>	GYPFUL	2	2	1.2	1	4.8
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	MILMIG	2	2	1.2	1	4.8
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	PERAPI	2	2	1.2	1	4.8
Spatule blanche	<i>Platalea leucorodia</i>	PLALEU	2	1.5	1.6	1	4.8
Spatule blanche	<i>Platalea leucorodia</i>	PLALEU	2	1.5	1	1.6	4.8
Aigle botté	<i>Aquila pennata</i>	AQUPEN	2	1.5	1.4	1	4.2
Oedicnème criard	<i>Burhinus oedicnemus</i>	BUROED	2	1.5	1.4	1	4.2
Grande aigrette	<i>Egretta alba</i>	CASALB	2	1.5	1.4	1	4.2
Gravelot à collier interrompu	<i>Charadrius alexandrinus</i>	CHAALE	2	1.5	1.4	1	4.2
Grue cendrée	<i>Grus grus</i>	GRUGRU	2	1.5	1	1.4	4.2
Blongios nain	<i>Ixobrychus minutus</i>	IXOMIN	2	1.5	1.4	1	4.2
Héron pourpré	<i>Ardea purpurea</i>	ARDPUR	2	1.5	1.2	1	3.6
Grand-duc d'Europe	<i>Bubo bubo</i>	BUBBUB	2	1.5	1.2	1	3.6
Grande aigrette	<i>Egretta alba</i>	CASALB	2	1.5	1	1.2	3.6
Cigogne blanche	<i>Ciconia ciconia</i>	CICCIC	2	1.5	1.2	1	3.6
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	CIRCYA	2	1.5	1.2	1	3.6
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	FALPER	2	1.5	1.2	1	3.6
Echasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>	HIMHIM	2	1.5	1.2	1	3.6
Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	NYCNYC	2	1.5	1.2	1	3.6
Pluvier doré	<i>Pluvialis apricaria</i>	PLUAPI	2	1.5	1.2	1	3.6
Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>	RECAVO	2	1.5	1.2	1	3.6
Avocette élégante	<i>Recurvirostra avosetta</i>	RECAVO	2	1.5	1	1.2	3.6
Sterne pierregarin	<i>Sterna hirundo</i>	STEHIR	2	1.5	1.2	1	3.6
Sterne pierregarin	<i>Sterna hirundo</i>	STEHIR	2	1.5	1	1.2	3.6
Pic à dos blanc	<i>Dendrocopos leucotos</i>	DENLEU	2	1	1.6	1	3.2
Outarde canepetière	<i>Tetrax tetrax</i>	TETTET	2	1	1.6	1	3.2
Grand tétras	<i>Tetrao urogallus</i>	TETURO	2	1	1.6	1	3.2
Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	ANSANS	1	1.5	1.6	1	2.4
Pipit rousseline	<i>Anthus campestris</i>	ANTCAM	2	1	1.2	1	2.4
Engoulevent d'Europe	<i>Caprimulgus europaeus</i>	CAPEUR	2	1	1.2	1	2.4
Pic mar	<i>Dendrocopos medius</i>	DENMED	2	1	1.2	1	2.4
Pic noir	<i>Dryocopus martius</i>	DRYMAR	2	1	1.2	1	2.4

Espèce	Nom latin	Code	annexe I	impact éolien	statut nicheur	statut hivernant	Indice
Pie-grièche écorcheur	<i>Lanius collurio</i>	LANCOL	2	1	1.2	1	2.4
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	LULARB	2	1	1.2	1	2.4
Courlis cendré	<i>Numenius arquata</i>	NUMARQ	1	1.5	1.6	1	2.4
Fauvette pitchou	<i>Sylvia undata</i>	SYLUND	2	1	1.2	1	2.4
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	CHORID	1	1.5	1.4	1	2.1
Autour des palombes	<i>Accipiter gentilis</i>	ACCGEN	1	1.5	1.2	1	1.8
Oie cendrée	<i>Anser anser</i>	ANSANS	1	1.5	1	1.2	1.8
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	APUAPU	1	1.5	1.2	1	1.8
Héron garde-bœufs	<i>Bubulcus ibis</i>	BUBIBI	1	1.5	1.2	1	1.8
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	CHORID	1	1.5	1	1.2	1.8
Faucon hobereau	<i>Falco subbuteo</i>	FALSUB	1	1.5	1.2	1	1.8
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	FALTIN	1	1.5	1.2	1	1.8
Huîtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>	HAEOST	1	1.5	1.2	1	1.8
Huîtrier pie	<i>Haematopus ostralegus</i>	HAEOST	1	1.5	1	1.2	1.8
Goéland argenté	<i>Larus argentatus</i>	LARARG	1	1.5	1.2	1	1.8
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	LARFUS	1	1.5	1.2	1	1.8
Goéland brun	<i>Larus fuscus</i>	LARFUS	1	1.5	1	1.2	1.8
Courlis cendré	<i>Numenius arquata</i>	NUMARQ	1	1.5	1	1.2	1.8
Tadorne de belon	<i>Tadorna tadorna</i>	TADTAD	1	1.5	1.2	1	1.8
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	VANVAN	1	1.5	1.2	1	1.8
Vanneau huppé	<i>Vanellus vanellus</i>	VANVAN	1	1.5	1	1.2	1.8
Crave à bec rouge	<i>Pyrhocorax pyrrhocorax</i>	PYRPHYR	1	1	1.6	1	1.6
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	ALAARV	1	1	1.4	1	1.4
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	ALAARV	1	1	1	1.2	1.2
Caille des blés	<i>Coturnix coturnix</i>	COTCOT	1	1	1.2	1	1.2
Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>	EMBCAL	1	1	1.2	1	1.2
Gorgebleue à miroir	<i>Luscinia svecica</i>	LUSSVE	1	1	1.2	1	1.2

Pour les **chiroptères** l'indice est basé sur deux composantes (Tableau 6). La première correspond au statut UICN France de l'espèce. Les valeurs attribuées pour les statuts UICN sont : LC = 1,25 ; NT = 1,5 ; VU = 1,75 ; EN = 2 et DD = 2 (cela concerne uniquement la Grande noctule). Le deuxième correspond au risque de collision avec une éolienne au regard du comportement de l'espèce. Si la littérature fait état d'un nombre élevé de cadavres retrouvés au pied des éoliennes et que l'espèce est connue pour fréquenter ces altitudes la valeur attribuée est 2, si ce n'est pas le cas la valeur est 1. Les deux composantes sont multipliées entre elles pour donner un indice compris entre 1,25 et 4.

Tableau 6 : Liste des Indices utilisés dans le cadre de la procédure de hiérarchisation pour les chiroptères.

Nom espèce	Nom Latin	Code	UICN France	coeff UICN	risque de collision	coeff collision	Indice
Grand Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	NYCLAS	DD	2	oui	2	4
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	MINSCH	VU	1.75	oui	2	3.5
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	NYCNOC	NT	1.5	oui	2	3
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	NYCLEI	NT	1.5	Oui	2	3
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	PIP NAT	NT	1.5	oui	2	3
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	MYOMYO	LC	1.25	oui	2	2.5
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	TADTEN	LC	1.25	oui	2	2.5
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	MYOEMA	LC	1.25	oui	2	2.5
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	MYODAU	LC	1.25	oui	2	2.5
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	PLEAUS	LC	1.25	oui	2	2.5
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>	PLEAUR	LC	1.25	oui	2	2.5
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	PIPPIP	LC	1.25	oui	2	2.5
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	PIPKUH	LC	1.25	oui	2	2.5
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	PIPPYG	LC	1.25	oui	2	2.5
Serotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	EPTSER	LC	1.25	oui	2	2.5
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	HYP SAV	LC	1.25	oui	2	2.5
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	BARBAR	VU	1.75	non	1	1.75
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	RHIFER	NT	1.5	non	1	1.5
Murin de Bechstein	<i>Myotis bescheinii</i>	MYOBEC	NT	1.5	non	1	1.5
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	RHIEUR	NT	1.5	Non	1	1.5
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	MYOALC	LC	1.25	Non	1	1.25
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	MYONAT	LC	1.25	non	1	1.25
Petit rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	RHIHIP	LC	1.25	non	1	1.25

Résultats

4.2.4. Oiseaux nicheurs et hivernants

La hiérarchisation spatiale des enjeux produite par la méthode Zonation aboutit à une carte de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères du territoire aquitain (Figure 11). Concernant les oiseaux, cette méthode met en avant une sensibilité importante des vallées alluviales, du massif pyrénéen et ses contreforts, de la côte atlantique et des marais côtiers ainsi que de plusieurs zones agricoles des Landes, du Médoc, le Verteuillacois et le plateau de Faux. A l'inverse, sur certaines zones les enjeux apparaissent moins élevés tel que la partie Est du massif landais, la zone viticole de l'entre deux mers ou encore les collines du Blayais et du Libournais. Il faut cependant prendre en compte que la méthode hiérarchise l'information sur le territoire. Ainsi les zones avec l'indice le plus faible n'ont pas pour autant aucun enjeu, elles ont simplement un enjeu plus faible que le reste du territoire au regard de cette méthode.

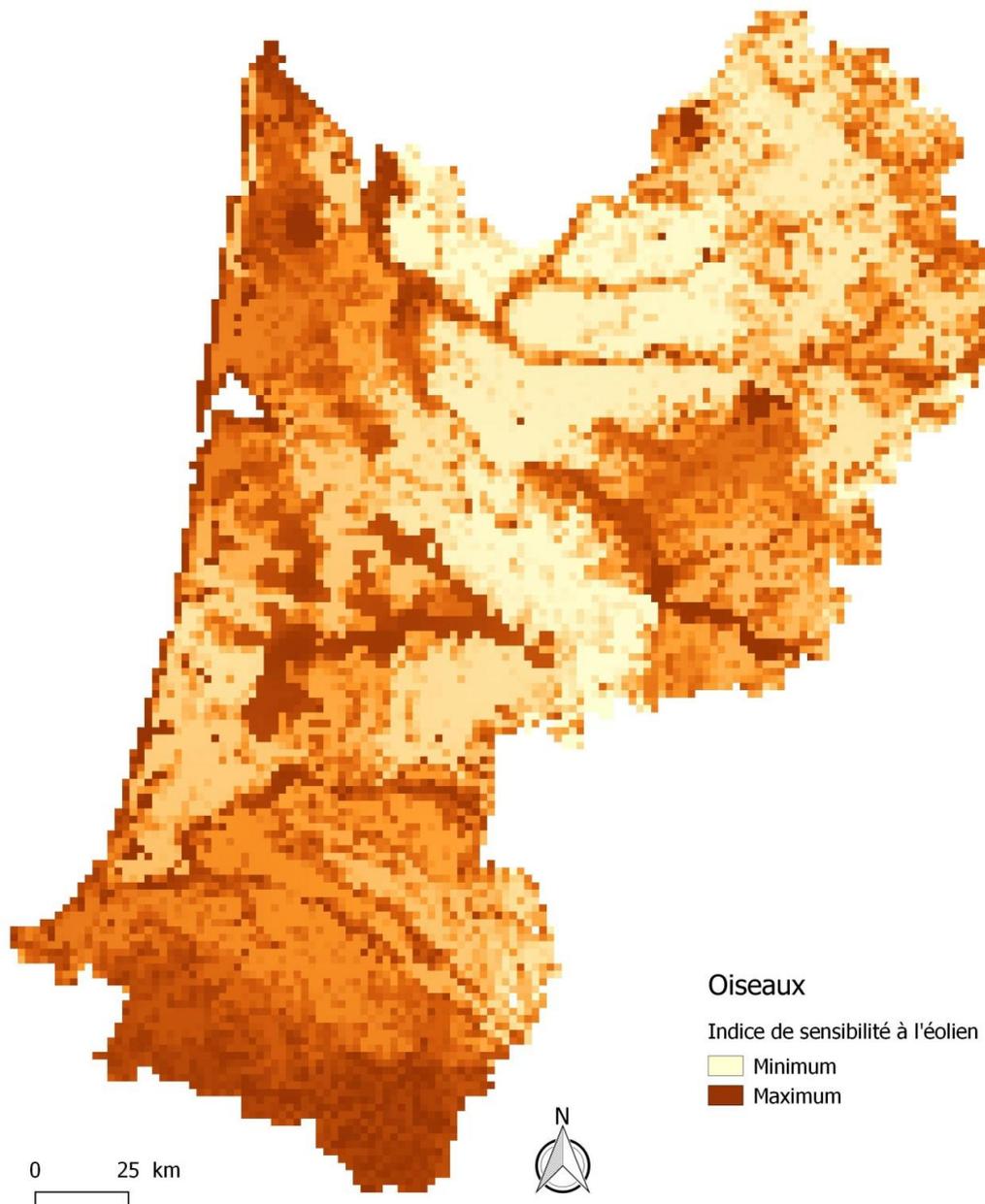


Figure 11 : Carte de l'indice de sensibilité à l'éolien pour les oiseaux en Aquitaine basée sur les analyses Zonation.

4.2.5. Chiroptères

Concernant les chiroptères, la carte de sensibilité fait ressortir le massif pyrénéen, le massif Landais, l'entre deux mers et l'est de la Dordogne (Figure 12). A l'inverse, les enjeux paraissent moindres dans la partie agricole du Lot et Garonne et de la Chalosse ainsi que dans la Double. Il faut cependant noter que le niveau de connaissance de ce taxon est moindre que pour les oiseaux, cette carte doit donc être considérée avec précaution.

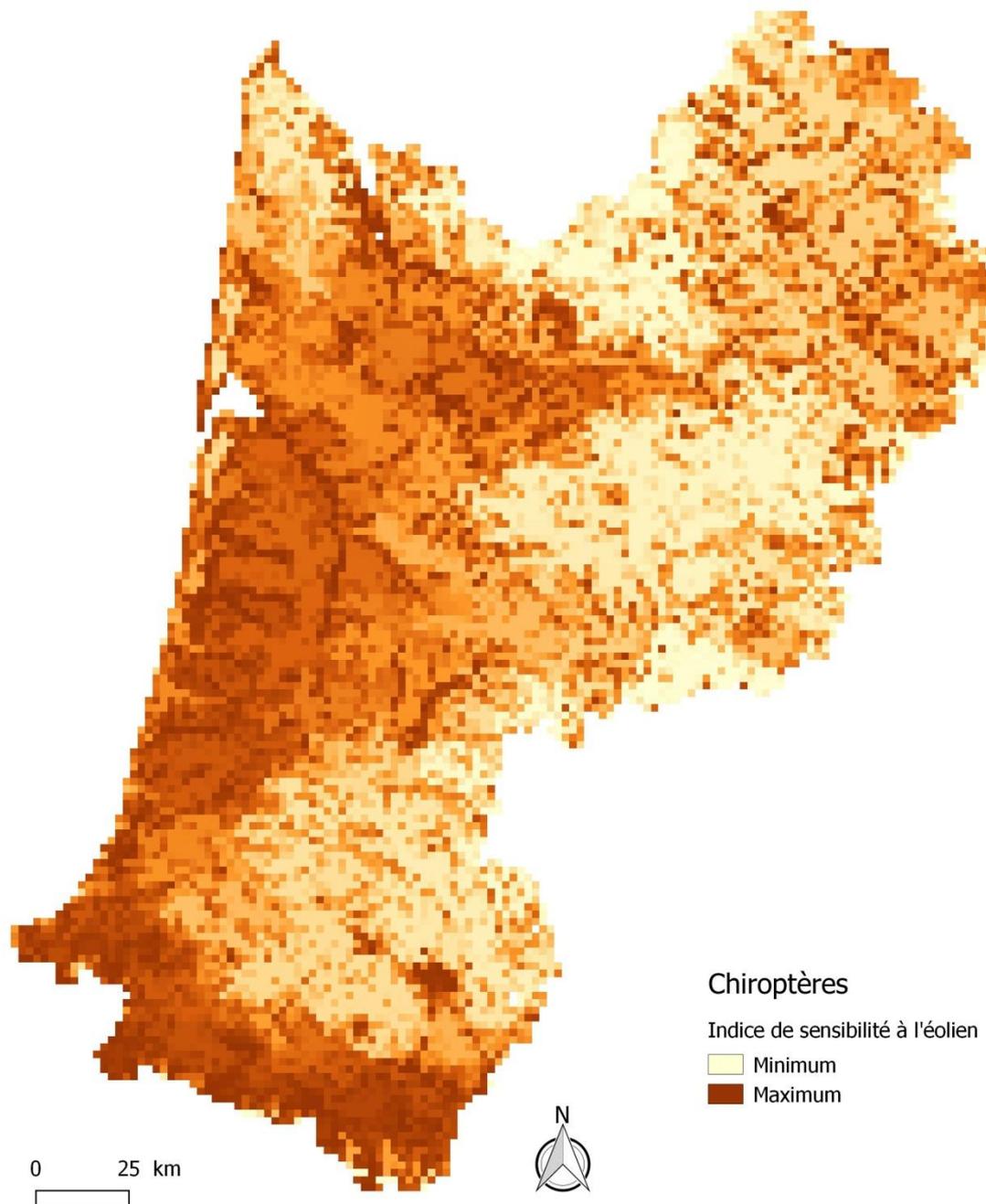


Figure 12 : Carte de l'indice de sensibilité à l'éolien pour les chiroptères en Aquitaine basée sur les analyses Zonation.

L'analyse de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères réalisée avec la méthode Zonation hiérarchise l'information sur le territoire et met en avant les zones qui concentrent les plus forts enjeux de biodiversité vis-à-vis du développement éolien. Cette méthode propose ainsi un scénario de développement le moins impactant possible sur ces composants de la biodiversité. On peut représenter l'efficacité de ce scénario en montrant la part des distributions restantes en fonction de la part du territoire impacté (Figure 13). C'est-à-dire que pour chaque pixel supprimé par le modèle on peut calculer la part de la répartition de chaque espèce qui est également supprimée en la pondérant par l'indice de sensibilité de l'espèce. Cette évaluation permet de mieux se rendre compte que même sur les pixels qui ont l'indice de sensibilité le plus faible l'impact prédit n'est pas nul. Cette évaluation met également en évidence la différence entre les oiseaux et les chiroptères. Ainsi la part restante des distributions baisse plus vite pour les chiroptères que pour les oiseaux selon le modèle optimal. Cela signifie que les enjeux concernant les oiseaux sont plus concentrés que ceux concernant les chiroptères.

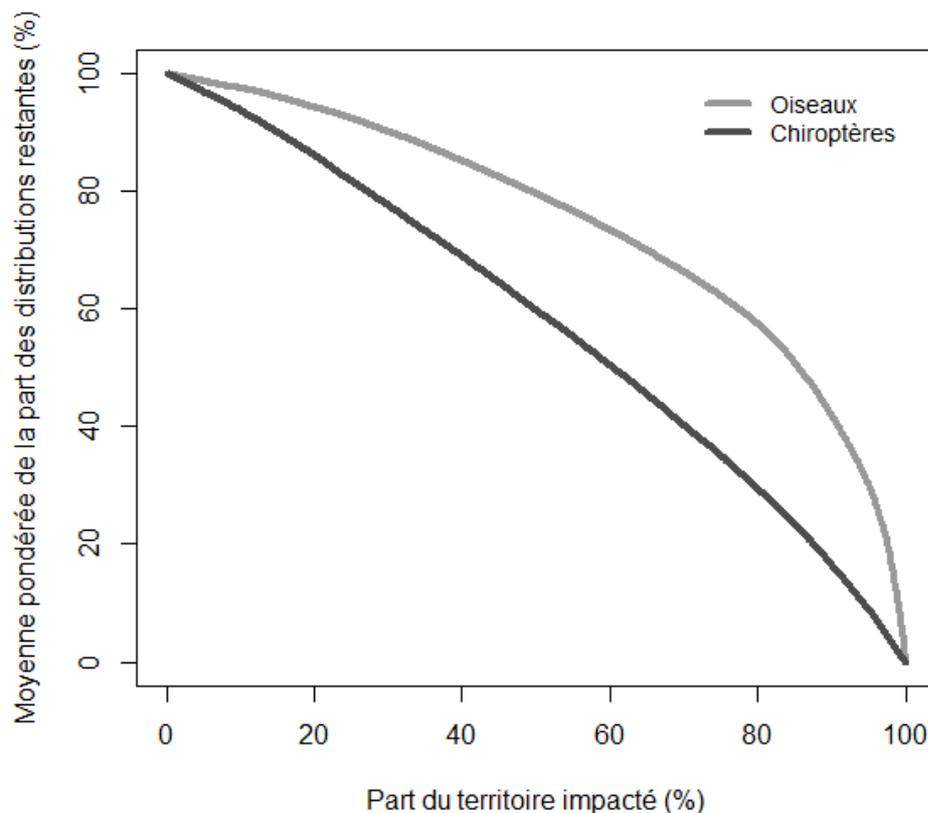


Figure 13 : Courbes représentant la part restante des distributions pour les oiseaux et les chiroptères en fonction de la part de territoire impacté selon le meilleur scénario prédit par la méthode Zonation. La valeur représentée correspond à la moyenne pondérée par les indices de sensibilité.

4.2.6. Oiseaux et chiroptères

Afin de synthétiser l'information issue de la cartographie de sensibilité pour les oiseaux et les chiroptères nous avons réalisé une moyenne non pondérée de ces deux cartes (Figure 14). Chacun des deux taxons est donc considéré de manière égale, peu importe le nombre d'espèce qui le constitue. Cette carte met en évidence la forte sensibilité à l'éolien des populations d'oiseaux et de chiroptères sur certaines parties du territoire Aquitain. Certaines zones où les enjeux sont communs pour les oiseaux et les chiroptères sont ainsi mises en avant. Le massif pyrénéen, la côte Atlantique et les marais côtiers, les vallées alluviales et la partie centrale des Landes de Gascogne.

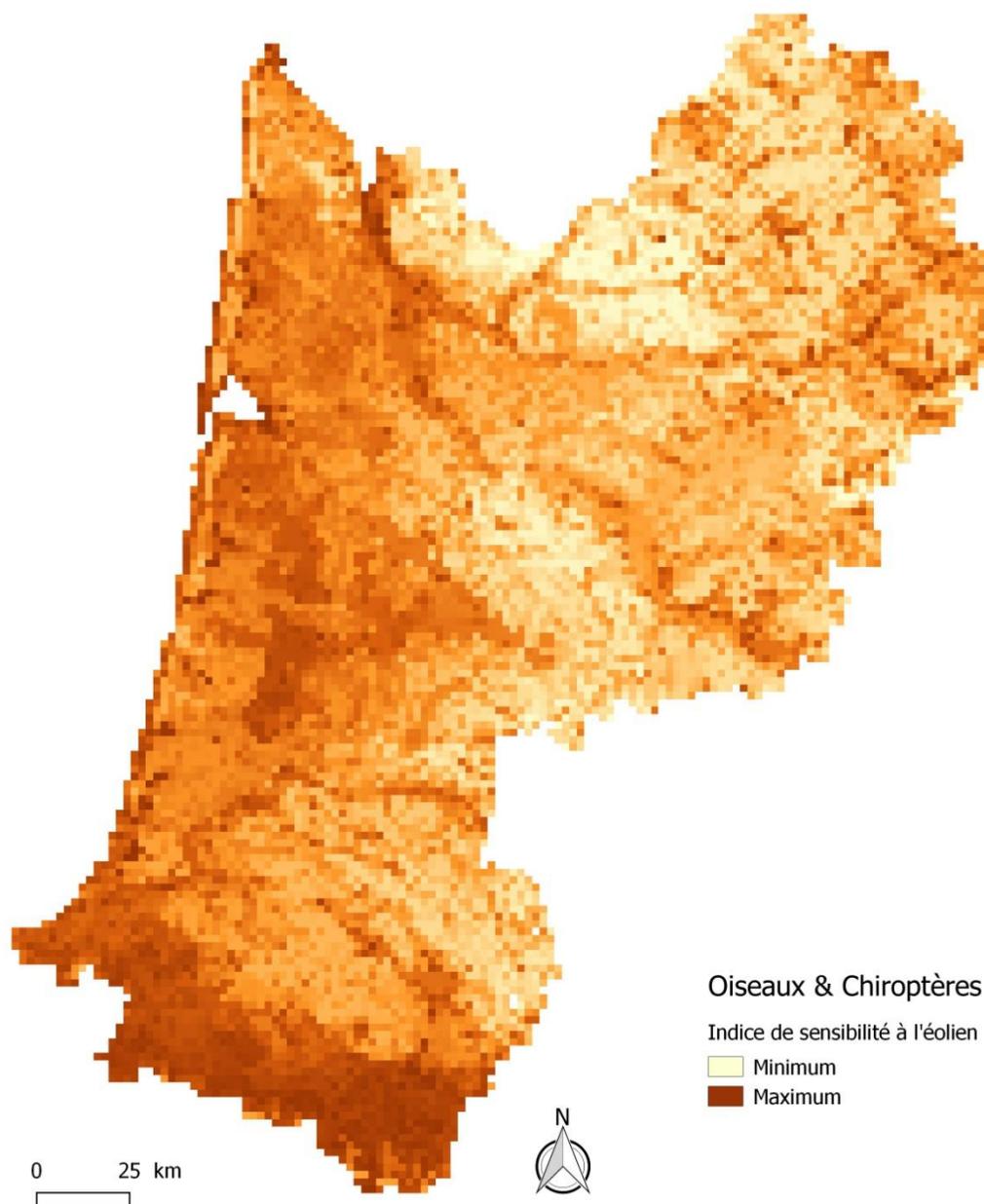


Figure 14: Carte de l'indice de sensibilité à l'éolien pour les chiroptères et les oiseaux en Aquitaine basée sur les analyses Zonation. La carte est une moyenne des valeurs de l'indice de sensibilité pour les oiseaux et pour les chiroptères.

Synthèse

Un développement éolien à faible impact passe par la connaissance spatiale des enjeux biodiversité.

Une base de données participative à été mobilisée pour alimenter des modèles de distribution.

Des cartes continues à haute résolution ont été produite pour 80 espèces de chiroptères et d'oiseaux.

Cette information a été hiérarchisée et synthétisée sous la forme de cartes de sensibilité.

Les zones les plus sensibles sont les Pyrénées, la côte Atlantique, les vallées alluviales et la partie centrale des Landes de Gascogne.

5. Etude de la phénologie d'activité des chiroptères

5.1. Introduction

Comme nous l'avons vu une connaissance plus fine de la distribution spatiale des chiroptères en Aquitaine permet d'orienter le développement éolien vers des zones où l'impact sur les populations locales de ces taxons apparait comme étant plus faible. Une meilleure compréhension de la distribution temporelle de l'activité des chiroptères en Aquitaine serait également un moyen de limiter les impacts sur la biodiversité de cette filière. D'une part, la connaissance de la phénologie de chaque espèce rend possible un meilleur ciblage des périodes d'activité lors de l'étude d'impact, d'autre part cela permet aussi d'envisager un arrêt des turbines en exploitation lors des périodes où le risque de collision est majeur (Arnett *et al.* 2011 ; Robinson Willmott, Forcey & Hooton 2015). Pour bien comprendre l'exposition au risque éolien des chiroptères il est important de prendre également en compte l'altitude (Rodrigues *et al.* 2008). Le risque de collision est en effet concentré à la hauteur des pales et pour la majorité des espèces un dispositif d'enregistrement déployé au sol n'est pas capable de mesurer l'activité chiroptérologique aux altitudes concernées. A titre d'exemple la distance maximale de détection d'une Pipistrelle commune (détecteur D240) est de 30 m (Bach *et al.* 2007 dans Rodrigues *et al.* 2008) alors que les rotors peuvent aujourd'hui être installés à plus de 100 m de hauteur avec des longueurs de pales dépassant les 50 m.

Pour étudier la phénologie d'activité des chiroptères nous avons mis en œuvre deux protocoles d'acquisition de données, en parallèle, sur le territoire Aquitain. D'une part, nous avons déployé des enregistreurs pendant une année biologique complète afin d'acquérir des connaissances sur la phénologie d'activité de ces espèces en Aquitaine. Cet enregistrement en continu a pour objectif d'améliorer notre compréhension des cycles d'activité en fonction des saisons mais aussi d'en décrire la variabilité intra-période. D'autre part, afin d'enregistrer l'activité des chiroptères à la hauteur de rotation des pales nous avons également déployé des enregistreurs en altitude, maintenu par des ballons gonflés à l'hélium, en synchrone avec des enregistreurs au sol. Ces deux protocoles ont permis d'acquérir des informations nouvelles sur les patterns d'activité de ces espèces, au sol comme en altitude et ce pour l'ensemble du cycle biologique des espèces. Ces résultats sont précieux pour rendre possible un développement de la filière éolienne sans mettre en danger les populations de chiroptères.

5.2. Méthodes

5.2.1. Protocole de mesure de l'activité en altitude

Le plan d'échantillonnage avait pour objectif de mesurer l'activité au sol et en altitude de manière synchrone sur l'ensemble du cycle biologique des chiroptères en Aquitaine. Cette double mesure en simultané permet d'effectuer des comparaisons quantitatives et qualitatives de l'activité des chiroptères en fonction de l'altitude. Pour cela, nous avons déployé deux enregistreurs SM2 sur chaque site, le premier au sol et le second maintenu à 90 m au-dessus du niveau du sol à l'aide d'un ballon dirigeable. Ce dispositif a été déployé 11 fois entre juin 2015 et août 2016 soit environ une fois par mois sur des périodes de une à cinq nuits consécutives (2,8 jours en moyenne). La période et la durée de pose ont été contraintes par les conditions aérologiques pour des raisons de sécurité. L'enregistreur devant être descendu dès que la vitesse du vent dépasse les 30 km/h ou en cas de précipitations importantes. Ce dispositif a été répliqué sur 5 sites d'échantillonnage dans le département de la Gironde à une latitude constante (+/- 50 km) et dans des milieux représentatifs des habitats de la zone échantillonnée (BOU : vignes, bord de Gironde ; CAD : bocage dense, prairie alluviale ; CAM : paysage complexe, prairie, boisement de feuillus, vignes ; CAP : pinède ; STL : champ ouverts) (Figure 15). Les zones non-défavorables à l'éolien telles que définies dans le Schéma Régional Eolien en vigueur lors du commencement de l'étude ont été privilégiées. Les cartes d'enregistrement ont été relevées à l'issue de chaque session de terrain.

5.2.2. Protocole de mesure de l'activité journalière et saisonnière

L'objectif de ce second protocole de mesure de l'activité des chiroptères est de décrire la phénologie d'activité des chiroptères en Aquitaine pour l'année complète. Pour cela sept dispositifs d'enregistrement de l'activité ultrasonore ont été déployés durant une année complète et en continu (Figure 15). Les points d'échantillonnage ont été choisis de façon à présenter des caractéristiques d'habitat similaires. Les sites sont ainsi caractérisés par la présence d'une matrice bocagère ou forestière et sont répartis sur l'ensemble du territoire aquitain de manière à considérer l'ensemble des variations climatiques de la région. Les zones non-défavorables à l'éolien telles que définies dans le Schéma Régional Eolien en vigueur lors du commencement de l'étude ont été privilégiées. Il faut noter également que le site de Bagargiak est situé en altitude dans les Pyrénées à proximité d'un couloir qui concentre la migration aviaire (Col d'Organbidexka). Le relevé des cartes d'enregistrement a été réalisé en fonction d'un planning calculé pour éviter la saturation de la mémoire (une fois par mois en moyenne).

5.2.3. Matériels

Pour mesurer l'activité ultrasonore des chiroptères nous avons utilisé des enregistreurs SM2BAT fabriqué par Wildlife Acoustics. Ceux-ci étaient équipés de microphones omnidirectionnels à ultrasons de la marque Wildlife Acoustics SMX-UT. Le dispositif était alimenté par des piles alcalines 1,5 V pour l'étude de l'activité en altitude et sur courant alternatif via un adaptateur 230 V/6 V branché directement sur les connecteurs d'alimentation du SM2 pour l'étude annuelle de l'activité. Les réglages du SM2 utilisés pour l'ensemble des enregistrements du projet sont restés identiques et sont conformes à ceux préconisés par le Muséum National d'Histoire Naturelle dans le cadre du programme Vigie-chiro. Ces réglages ainsi que la procédure de paramétrage sont décrites en annexe (11.1.1).

Le maintien en altitude des enregistreurs à ultrasons a nécessité l'utilisation de ballons de type ZEPPELIN DRE460-2160A gonflés à l'hélium. Ces ballons ont la capacité d'élévation théorique d'une charge de 3 kg et permet donc d'embarquer l'enregistreur, le microphone et le matériel de sécurité imposé par la législation (une lampe à éclat immédiatement au-dessus du ballon, une lampe à éclat immédiatement au-dessous du ballon, une lampe à éclat à 50 m du sol). L'ensemble des formalités lié à l'élévation des ballons (aéronefs non habités) ont été réalisées (voir annexe 11.1.2).

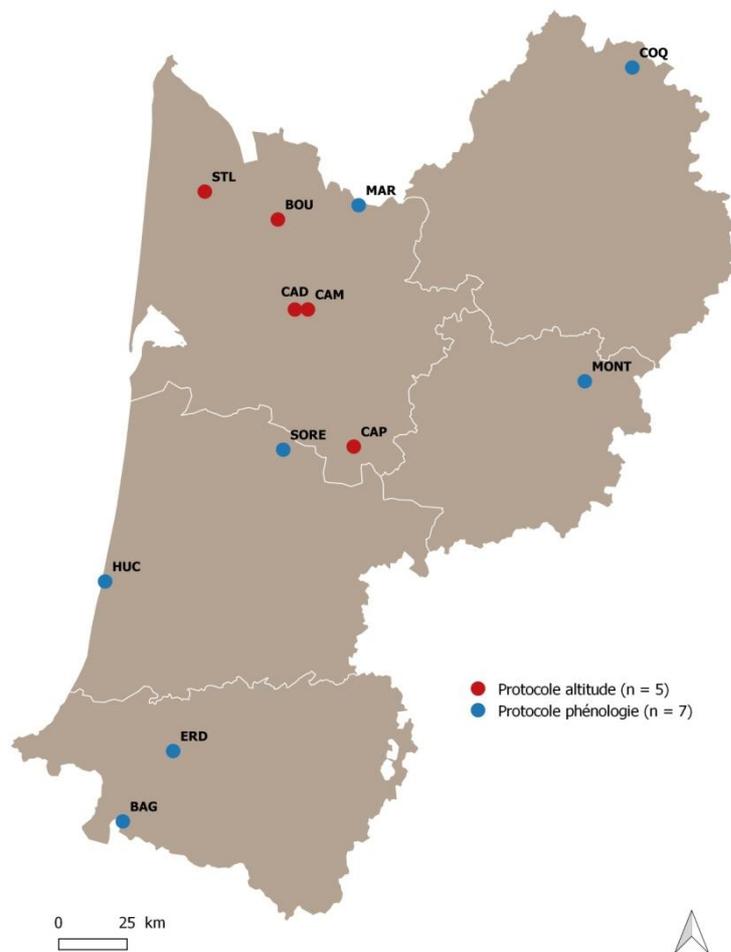


Figure 15 : Carte des sites d'échantillonnage en Aquitaine pour les deux protocoles d'étude de l'activité des chiroptères. n correspond au nombre de site échantillonné pour chaque protocole.

5.2.4. Analyse des enregistrements

Une fois les enregistrements de l'activité ultrasonore effectués, les fichiers sont ont été analysés un par un afin de vérifier la présence de chiroptères, d'identifier l'espèce ainsi que le comportement de l'individu. Nous avons choisi d'éviter totalement le recours aux logiciels automatiques d'aide à la reconnaissance dans l'identification. Ceux-ci ne nous paraissent pas aujourd'hui suffisamment pertinents pour un travail d'évaluation quantitatif de l'activité (taux d'identification spécifique fiable, faux-positifs, faux-négatifs). L'analyse des enregistrements a été effectuée tout au long des deux études au fur et à mesure des relevés. Néanmoins, en ce qui concerne l'étude journalière et saisonnière, l'afflux massif d'enregistrement en fin d'étude (mois de septembre 2016) a nécessité l'étalement de l'analyse jusqu'au printemps 2017. Une fois les enregistrements décompressés, chaque déclenchement a été analysé manuellement *via* le logiciel Batsound de Pettersson Electronics qui permet l'écoute et la visualisation des ultrasons ainsi que la prise de mesures le plus souvent nécessaire à l'identification spécifique. Nous nous sommes basés sur les critères d'identification proposés par Barataud (2015). Cette méthode permet l'identification de la plupart des espèces avec un degré de confiance important. Mais elle n'exclut pas le recours à des groupes d'espèces à l'écologie acoustique similaire. Ainsi, la Sérotine commune et la Noctule de Leisler demeurent, dans bien des cas, aujourd'hui non séparables. Il en va de même pour le complexe Pipistrelle de Kuhl/Pipistrelle de Nathusius ou le groupe de Myotis. Pour les autres espèces, les cas d'identification spécifique non résolus restent peu importants.

La donnée brute est constituée par la présence d'une espèce ou d'un groupe d'espèces dans une tranche horaire de 5 secondes, pour une date et un point d'échantillonnage donné. Le cas échéant, la présence de cris sociaux ou de « buzz », partie terminale d'une phase de chasse, était notée. Celle-ci était caractérisée par une augmentation forte de la récurrence (nombre d'émissions par unité de

temps), une augmentation de la fréquence terminale suivie ou pas d'une baisse de la fréquence terminale. Les fichiers correspondant à des déclenchements induits par d'autres sources sonores que des chiroptères ont été identifiés comme parasites. En effet, ceux-ci sont périodiquement imputables à des orthoptères et peuvent avoir une influence non négligeable sur la détectabilité des chiroptères. Leur influence réelle sur l'activité de chasse des chiroptères est à l'heure actuelle peu ou pas renseignée.

5.3. Résultats

Le protocole de mesure de l'activité des chiroptères en altitude a permis d'enregistrer 244 nuits complètes dont 101 nuits à 90 m et 143 nuits au sol. Pour toutes les comparaisons entre l'activité au sol et en altitude seules les couples d'activité à 90 m et au sol sur le même site ont été considérées. Les données ultrasons enregistrées dans le cadre de ce protocole représentent 43 883 fichiers dont 25 667 ont été identifiés comme étant des émissions sonores de chiroptères. La comparaison entre l'activité au sol et en altitude sur des enregistrements simultanés permet de comparer les comportements des espèces au regard de leur fréquentation des altitudes élevées (90 m). Ainsi on peut classer les espèces en fonction du ratio de l'activité mesurée à 90 m par rapport à l'activité mesurée au sol (Figure 16). Les trois espèces de noctules sont celles dont l'activité détectée à 90 m est la plus élevée par rapport à l'activité au sol. Pour ces espèces plus de 30 % de l'activité détectée correspond à une activité de haut vol (Noctule commune 59 %, Grande Noctule 32 % et Noctule de Leisler 32 %) (Tableau 7). Ensuite on retrouve la Pipistrelle de Nathusius dont 14 % des contacts sont enregistrés à 90 m. Sous la barre des 10 % il y a la Sérotine commune (5 %), la Pipistrelle commune (4 %) dont l'activité est très majoritairement concentrée près du sol mais qui fréquente les altitudes à risque éolien de manière non négligeable. Ensuite quelques espèces ont été détectées *via* les enregistreurs à 90 m mais de manières plus anecdotiques telles que le Petit et le Grand rhinolophe et la Pipistrelle de Khul. Enfin certaines espèces n'ont été détectées que *via* l'enregistreur installé au sol. Il s'agit de la Barbastelle d'Europe, le Minoptère de Schreibers, l'ensemble des espèces du genre Myotis, la Pipistrelle pygmée, l'Oreillard gris et l'Oreillard roux. Il faut cependant noter que certaines de ces espèces n'ont que très rarement été détectées dans le cadre de ce protocole. Au total l'activité à 90 m représente 7 % de l'activité totale mesurée dans ce protocole. Ce premier résultat met en avant des différences comportementales importantes entre les espèces. Pour certaines l'activité se concentre à proximité du sol, pour d'autres espèces en revanche l'activité à 90 m représente une part importante de l'activité totale, ces espèces sont ainsi plus exposées au risque de collision avec les installations éoliennes.

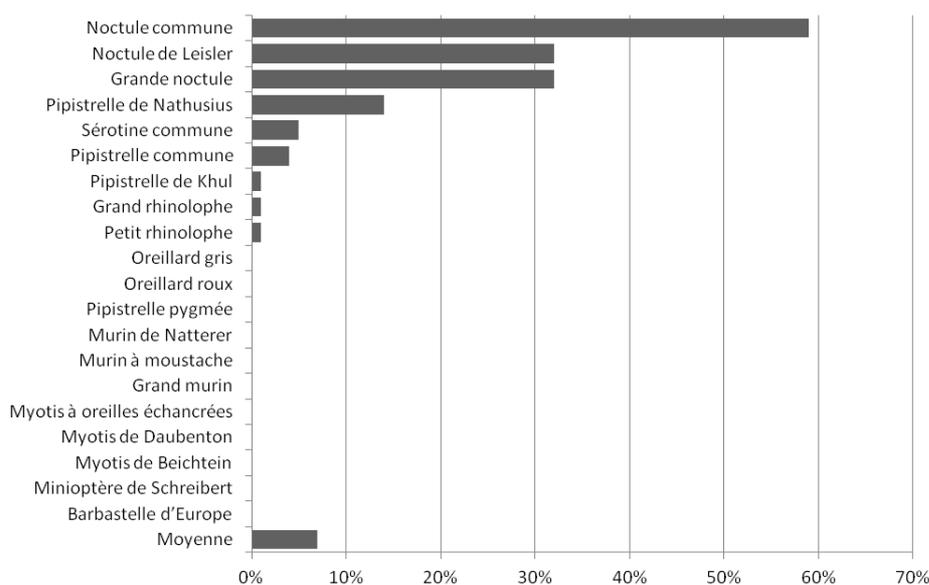


Figure 16 : Part de l'activité à 90 m sur l'activité totale selon les espèces de chiroptères (n = 15 034). Les espèces qui ont la valeur zéro n'ont pas été détectées en altitude.

Tableau 7 : Nombre de contacts ultrasonores enregistrés pour chaque espèce au sol et à 90 m d'altitude. Le ratio correspond à la part de l'activité à 90 m (B) sur l'activité totale pour l'espèce (B+S).

ID	Espèce	Activité 90 m (B)	Activité sol (S)	ratio B/(B+S)
NYCNOC	Noctule commune	33	23	59%
NYCLAS	Grande noctule	41	86	32%
NYCLEI	Noctule de Leisler	781	1643	32%
PIP NAT	Pipistrelle de Nathusius	41	255	14%
EPTSER	Sérotine commune	86	1505	5%
PIPIPI	Pipistrelle commune	165	4136	4%
RHIHIP	Petit rhinolophe	4	342	1%
RHIFER	Grand Rhinolophe	2	175	1%
PIPKUH	Pipistrelle de Kuhl	30	5837	1%
BARBAR	Barbastelle d'Europe	0	182	0%
MINSCH	Minioptère de Schreibers	0	47	0%
MYOBEC	Murin de Beichstein	0	8	0%
MYODAU	Murin de Daubenton	0	97	0%
MYOEMA	Murin à oreilles échancrées	0	23	0%
MYOMYO	Grand Murin	0	70	0%
MYOMYS	Murin à moustache	0	1	0%
MYONAT	Murin de Natterer	0	88	0%
PIPPYG	Pipistrelle pygmée	0	2	0%
PLEAUR	Oreillard roux	0	9	0%
PLEAUS	Oreillard gris	0	505	0%
Grand Total	Total	1183	15034	7%

Le ratio d'utilisation de l'altitude permet de comparer les espèces selon leur comportement de vol et ainsi sur leur exposition au risque de collision avec les pales, il faut cependant prendre en considération que ce ratio n'est pas une constante liée à l'espèce. En effet, hormis pour la Grande noctule, on ne retrouve pas de corrélation entre le pattern d'activité au sol et celui mesuré en altitude ($p = 0,01$; $cor = 0,82$) (Tableau 8). Cette indépendance entre les deux mesures est un résultat important d'un point de vue méthodologique car il valide l'importance d'avoir une mesure de l'activité à hauteur de pales pour faire une évaluation pertinente du niveau de risque sur un site.

Tableau 8 : Résultats du test de corrélation de Student entre l'activité mesurée au sol et à 90 m pour les espèces dont l'activité à 90 m est suffisamment importante. Il n'y a pas de corrélation pour toutes les espèces (p -value > 0,05) sauf pour la Grande noctule qui présente un coefficient de corrélation positif (0,82).

	t	Degré de liberté	p-value	Coefficient de corrélation
Pipistrelle commune	-0,90	21	0,38	-0,19
Pipistrelle de Nathusius	1,53	31	0,14	0,26
Pipistrelle de Kuhl	-0,94	58	0,35	-0,12
Noctule de Leisler	0,46	72	0,65	0,05
Noctule commune	-2,03	14	0,06	-0,48
Grande Noctule	3,54	6	0,01	0,82
Sérotine commune	-0,61	55	0,54	-0,08

Pour bien comprendre les raisons de ces différences dans le pattern d'activité il est utile d'analyser plus en détail la phénologie de l'activité en fonction de l'altitude de la mesure. L'utilisation de l'altitude n'est pas constante selon les périodes de l'année pour plusieurs espèces. C'est le cas tout particulièrement pour la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl dont la part de l'activité à 90 m sur l'activité totale augmente significativement au mois d'octobre par rapport aux autres mois pour lesquels l'activité est suffisante pour pouvoir calculer le ratio (juin, août et septembre) (Figure 17 et 18).

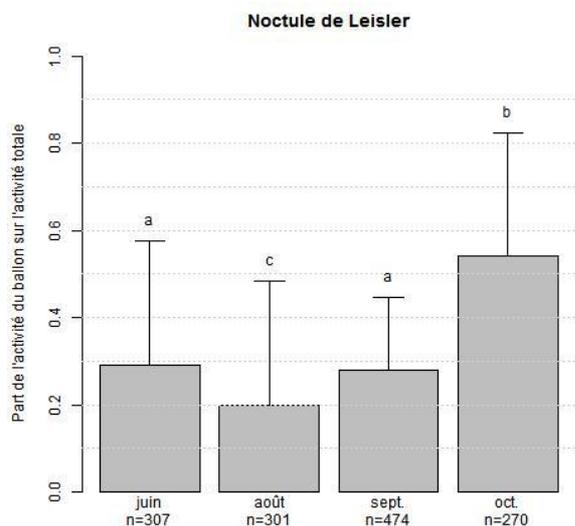


Figure 17 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Noctule de Leisler. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$) à l'inverse des lettres identiques indiquent qu'il n'y a pas de différence significative, ainsi le mois de juin (a) est différent du mois d'août (c) mais pas du mois de septembre (a). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.

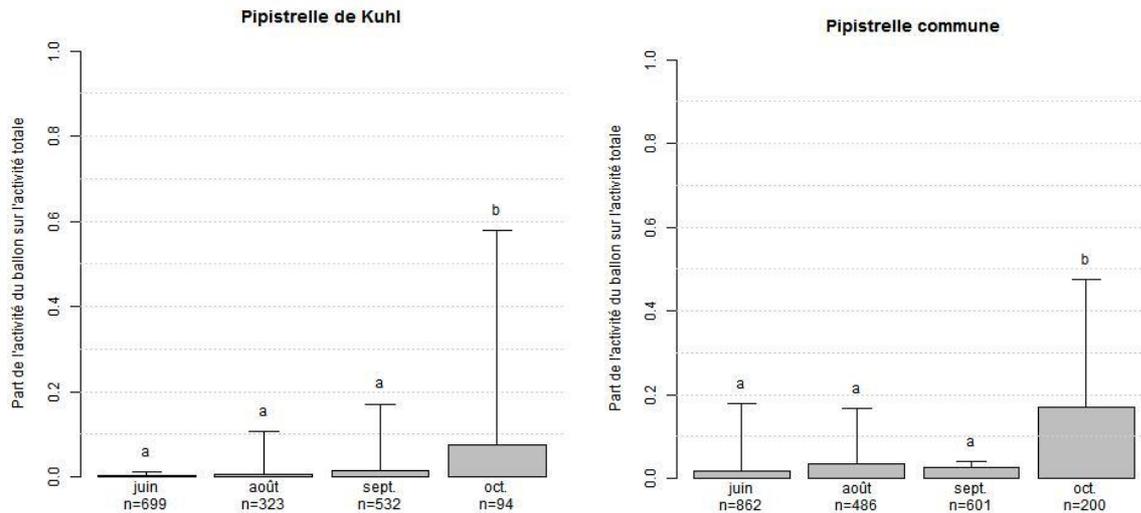


Figure 18 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle commune. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). Pour ces deux espèces la part d'activité à 90 m au mois d'octobre est significativement plus élevée (b) que pour tous les autres mois (a). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.

Pour la Pipistrelle de Nathusius le jeu de données est assez faible cependant on remarque un pattern similaire avec un ratio qui est significativement supérieur au mois d'octobre et de septembre par rapport au mois de juin (Figure 19). Le ratio pour la Sérotine commune est également significativement plus élevé en septembre par rapport aux mois de juin et d'août, la taille d'échantillon en octobre est trop faible pour pouvoir conclure. Ce changement de comportement dans l'utilisation de l'altitude pour ces espèces en début d'automne (septembre et octobre selon les espèces) pourrait s'expliquer par des phénomènes de déplacements sur ces périodes, liés à des comportements migratoires par exemple ou à des changements de gîtes. Ces déplacements longs pourraient se faire à des altitudes supérieures aux déplacements journaliers. Les études de suivis de la mortalité liée à l'activité éolienne rapportent que cette période correspond également à une période de plus forte mortalité pour les chiroptères (Dulac 2008). Cette concordance entre le pic de mortalité et le pic de fréquentation de l'altitude est un résultat intéressant qui tend à montrer qu'il existe un changement comportemental sur cette période de l'année et que ces espèces fréquentent de manière accrue les altitudes à risque ce qui les rend plus vulnérables aux collisions.

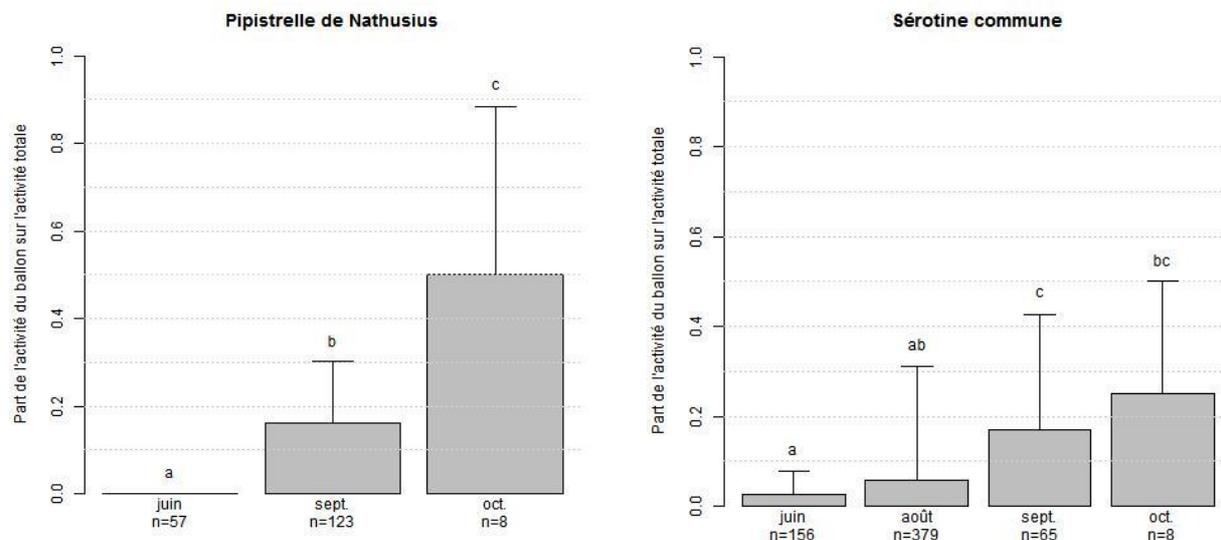


Figure 19 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine commune. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les

différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.

A l'inverse on remarque que le ratio de fréquentation de l'altitude n'est pas différent selon les mois pour d'autres espèces. Nous n'avons ainsi pas détecté de différences significatives pour la Grande Noctule et la Noctule commune en fonction des mois (Figure 20). Ces espèces fréquentent de manière importante les altitudes élevées quelque soit la période de l'année. Elles sont donc potentiellement exposées aux risques de collision pour toute la période où elles sont actives. Il faut cependant noter que la taille d'échantillon pour ces espèces est limitée.

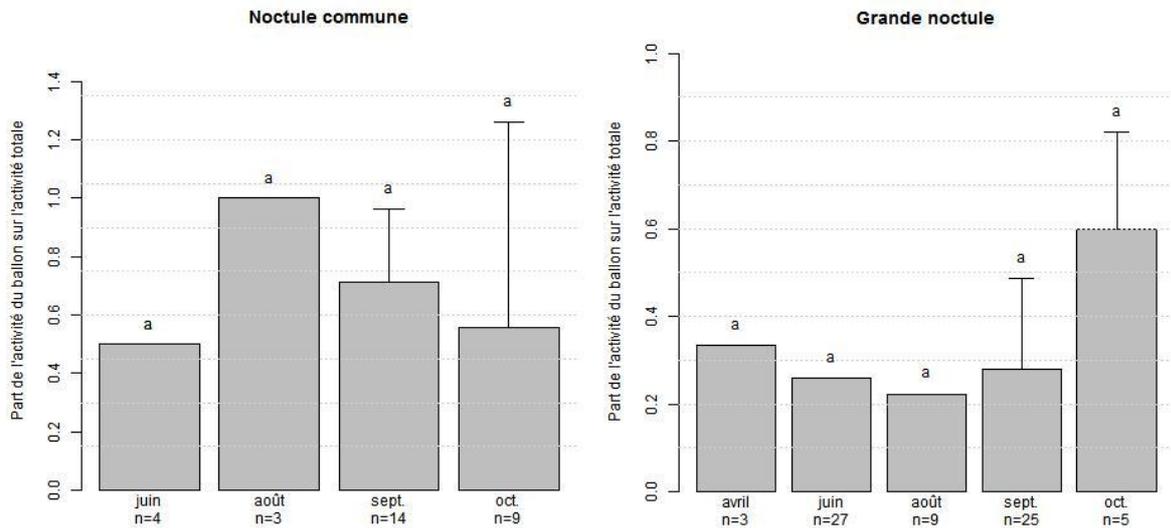


Figure 20 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Noctule commune et la Grande noctule. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.

La mesure directe du niveau d'activité à 90 m en fonction des mois est un indice plus direct pour mesurer le niveau d'exposition en fonction de la période de l'année. Ainsi lorsque l'on prend en compte toutes les espèces on remarque que l'activité est négligeable à 90 m pour les mois de janvier, novembre et décembre (Figure 21). L'activité est intermédiaire pour les mois d'avril à septembre et on observe une activité significativement supérieure au mois d'octobre qui atteint les 20 minutes positives par nuit en moyenne.

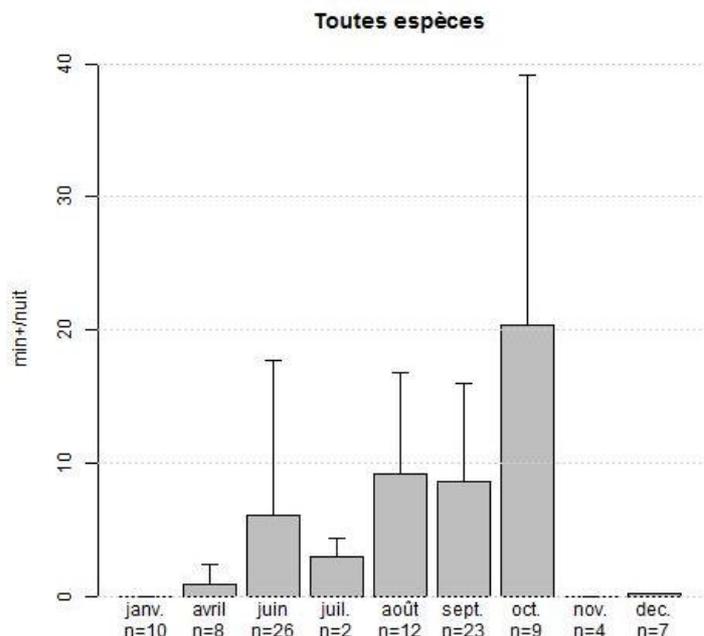


Figure 21 : Niveau d'activité mesurée en altitude pour toutes les espèces cumulées exprimé en minute positive par nuit. n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.

5.4. Conclusion

Le protocole d'enregistrement synchrone au sol et à 90 m mis en œuvre dans le cadre de cette étude a permis de mesurer pour 20 espèces de chiroptères en Aquitaine le niveau de fréquentation à la hauteur des pales⁵ par rapport à leur activité au sol. On constate ainsi de très fortes différences entre les espèces. Ainsi les Noctules sont détectées de manière importante à 90 m pendant toute la période d'activité alors que les Myotis n'ont pas été détectées à cette altitude pendant le protocole.

Un autre enseignement important de cette étude est que les niveaux d'activité au sol et en altitude ne sont pas corrélés entre eux, hormis pour la Grande Noctule. Cela signifie que les patterns d'activité ne sont pas les mêmes en fonction de l'altitude. Pour chaque espèce capturée en altitude, hormis pour les noctules, la part de l'activité à 90 m sur l'activité totale augmente à la fin de l'été et au début de l'automne. L'activité moyenne par nuit est maximale au mois d'octobre à 90 m pour notre échantillon. On peut émettre l'hypothèse que ce pic d'activité en altitude est lié à des déplacements sur de longues distances (Cryan & Brown 2007; Hüppop & Hill 2016), tel que la migration ou la recherche de gîtes d'hivernages. Comme les oiseaux, les chiroptères pourraient voler à plus haute altitude en période de migration ce qui expliquerait ce pattern d'activité. De plus, cette période correspond à la période de forte mortalité chez ces espèces décrite dans la littérature (Dulac 2008). La concentration de la mortalité sur cette période de l'année pourrait ainsi être la conséquence d'un changement d'utilisation de l'altitude. Au printemps nous n'avons pas détecté de pic d'activité en altitude. Cette non détection ne signifie pas pour autant qu'aucun pic d'activité en altitude n'a lieu au printemps car nos enregistrements n'ont pas été effectués en continu. On peut aussi émettre l'hypothèse que s'il y a un pic d'activité en altitude au printemps il est de moindre ampleur qu'à l'automne et ainsi plus difficile à détecter.

⁵ 90 m correspond à la hauteur de la nacelle pour un projet actuel, du fait de la capacité de détection des chiroptères autour du micro (30 m par exemple pour une Pipistrelle commune) cela permet de couvrir une partie importante de la zone de balayage des pales (~ 50 m) mais pas la totalité.

Synthèse

La fréquentation de l'altitude 90 m est très variable selon les espèces.

L'activité à 90 m n'est pas corrélée à l'activité au sol sauf pour la Grande noctule.

On observe un changement de la fréquentation de l'altitude en fonction des saisons.

L'activité à 90 m est maximale en fin d'été et surtout au début de l'automne.

5.5. Résultats protocole phénologie

L'échantillonnage réalisé pour acquérir des connaissances sur la phénologie des chiroptères en Aquitaine a permis l'enregistrement de 2 339 nuits sur sept sites en Aquitaine (respectivement pour chacun des sites : BAG n = 283, ERD n = 324, HUC n = 304, MAR n = 360, MONT n = 365, SORE n = 350, COQ n = 353). Cet enregistrement a permis l'acquisition de 507 679 fichiers ultrasonores, ce qui, une fois identifié un à un, correspond à 312 849 fichiers avec la présence d'un chiroptère (Tableau 9 : Liste des espèces et le nombre de contact de chacune d'entre elles dans le cadre du protocole phénologie. Les titres de colonnes en gras correspondent au code des sites d'enregistrement. Tableau 9). Les autres fichiers correspondent à des déclenchements induits par d'autres sources sonores liés à l'environnement (orthoptère, pluie, etc.).

Les données ainsi obtenues ont permis l'identification de 24 espèces, la seule espèce d'Aquitaine qui n'a pas été détectée est le Petit murin (*Myotis blythii*). L'espèce la plus communément détectée est la Pipistrelle commune avec plus de 184 000 fichiers. Viennent ensuite la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule de Leisler avec plus de 30 000 fichiers.

Tableau 9 : Liste des espèces et le nombre de contact de chacune d'entre elles dans le cadre du protocole phénologie. Les titres de colonnes en gras correspondent au code des sites d'enregistrement.

ID	Espèce	Total	BAG	COQ	ERD	HUC	MAR	MONT	SORE
PIPIPI	Pipistrelle commune	184508	45076	52674	4242	12711	25173	23025	21607
PIPKUH	Pipistrelle de Kuhl	38430	450	5286	9498	8050	2984	8719	3443
NYCLEI	Noctule de Leisler	32484	7244	1640	17240	98	2771	1128	2363
RHIHIP	Petit Rhinolophe	11976	10647	1010	85	0	185	43	6
EPTSER	Sérotine commune	5250	77	422	242	184	3420	150	755
PIPPYG	Pipistrelle pygmée	4267	9	171	810	7	38	830	2402
PIP NAT	Pipistrelle de Nathusius	2868	111	1231	189	650	206	318	163
NYCLAS	Grande Noctule	1569	323	2	4	147	1	3	1089
PLEAUS	Oreillard gris	1329	0	68	27	685	216	138	195
BARBAR	Barbastelle d'Europe	1038	0	124	80	21	328	80	405
MINSCH	Minioptère de Schreibers	328	40	45	10	15	130	76	12
RHIFER	Grand Rhinolophe	266	2	108	9	21	33	7	86
NYCNOC	Noctule commune	184	0	13	11	0	12	145	3
PLEAUR	Oreillard roux	89	1	59	24	1	3	0	1
TADTEN	Molosse de Cestoni	62	54	0	8	0	0	0	0
HYP SAV	Vespère de Savi	9	1	0	6	0	0	2	0
RHIEUR	Rhinolophe euryale	8	0	2	0	0	0	6	0
MYOSPE	Myotis indéterminé	8902	9	7592	293	316	238	354	100
Chirosp	Chiroptère indéterminé	18885	343	5575	1561	2393	3567	3431	2015
PARASITE	Parasite	195226	6783	18228	9291	3104	93241	38887	25692
TOTAL	Total	507678	71170	94250	43630	28403	132546	77342	60337

En plus de l'espèce, l'identification des fichiers ultrasonores a permis de collecter des données sur le comportement des individus détectés. La majorité des fichiers ultrasons identifiés comme correspondant à des chiroptères sont liés à l'émission de cris d'écholocation par ces espèces pour se repérer dans leur environnement. Cependant, certains cris sont différents et sont révélateurs de comportements particuliers. C'est ainsi plus de 67 146 données correspondant à des cris sociaux de 18 espèces qui ont été collectées. Quatre espèces correspondent à 98 % de ces cris sociaux. Il s'agit de la Pipistrelle commune (n = 38 562), la Noctule de Leisler (n = 15 990), la Pipistrelle de Kuhl (n = 9 281) et la Pipistrelle pygmée (n = 2 236). Au vu du comportement particulier des mâles de Noctule de Leisler qui peuvent émettre des cris sociaux sur de longues périodes en étant posés, nous

avons retiré du jeu de données, pour la suite des analyses sur la phénologie, les données correspondant à des cris sociaux de cette espèce. Ils sont très présents pour la Noctule de Leisler sur le site d'Erdoia (ERD) pour lequel une grande partie des données correspond à des cris sociaux. Ce type de comportement, ne correspond pas à un individu en vol et donc à un comportement à risque dans le cadre de l'éolien. Ces cris sociaux sont cependant très intéressants pour mieux comprendre les cycles biologiques des chiroptères en général et pourront faire l'objet d'analyses plus approfondies. On observe des cris sociaux toute l'année cependant le taux d'émission de cris sociaux sur le total de contact varie fortement en fonction des périodes de l'année et des espèces (Figure 22). On observe globalement un premier pic printanier, puis une baisse et un pic très marqué sur la fin de l'été et le début de l'automne correspondant à la période de reproduction (parade et accouplement) de ces espèces (Parsons, Jones & Greenaway 2003).

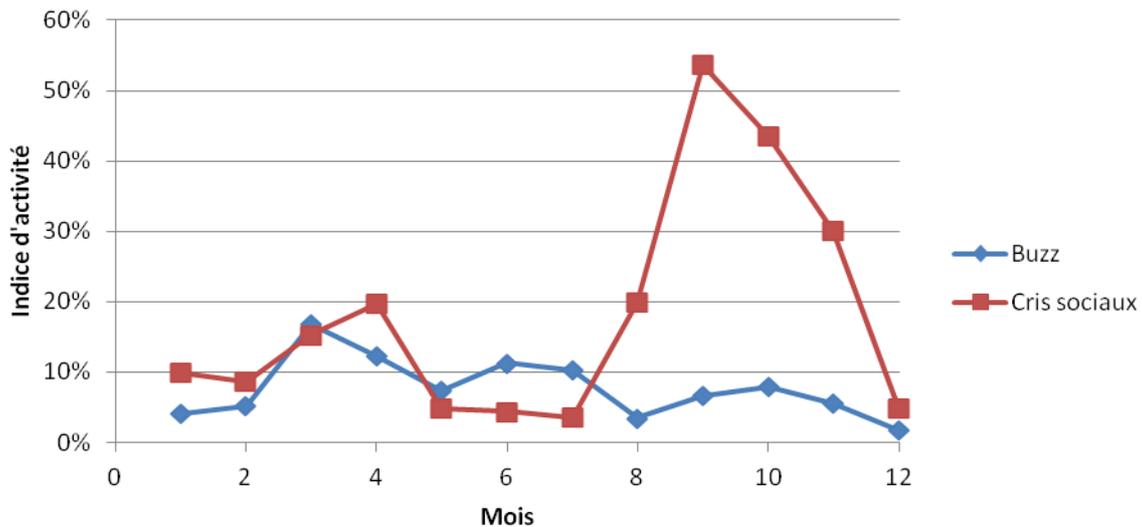


Figure 22 : Evolution de la part des fichiers qui correspondent à des cris sociaux (rouge) ou à une activité de chasse – buzz (bleu).

De la même manière l'identification des fichiers ultrasons peut renseigner sur l'activité de chasse des chiroptères qui émettent des cris différents en phase d'approche d'une proie potentielle. Dans le cadre de ce protocole, 25 945 données correspondent à ce type de comportement, nommé buzz, ont été collectées. La grande majorité de ces données correspondent à la Pipistrelle commune (n = 20 659). Les autres espèces pour lesquelles plus de 100 buzz ont été détectés sont la Pipistrelle de Kuhl (n = 2 359), la Sérotine commune (n = 758), la Noctule de Leisler (n = 651), la Pipistrelle de Nathusius (n = 315) et la Pipistrelle Pygmée (n = 224). Le pattern d'activité saisonnier des buzz ne suit pas de tendance générale comme c'est le cas pour les cris sociaux et on observe une variabilité plus importante entre les sites et entre les espèces.

Le protocole a permis de détecter sept des huit espèces de murins présents en Aquitaine (Tableau 10). Pour ce taxon 8 902 données ont ainsi été collectées sur les 7 sites échantillonnés. Le site de la Coquille (COQ) représente à lui seul 85 % de ces données. Il est situé en Dordogne au nord-est de la région dans un fond de vallon boisée et à proximité d'un plan d'eau. Une colonie de Murin de Daubenton a été identifiée à proximité du dispositif d'enregistrement ce qui explique la grande quantité de contact de cette espèce sur ce site. Les espèces du genre *Myotis* n'ont pas été détectées à 90 m dans le cadre du protocole de mesure de l'activité en altitude. On peut donc supposer qu'elles ne fréquentent que rarement cette gamme d'altitude. Ce comportement de vol les expose moins au risque de collision avec les éoliennes que les autres espèces de chiroptères. De plus, les espèces de ce groupe restent difficiles à discriminer par l'analyse des fichiers ultrasons. Pour ces deux raisons, dans la suite des analyses les espèces de ce genre seront donc considérées ensemble.

Tableau 10 : Liste des espèces de murin identifiées dans le cadre du protocole et le nombre de contact de chacune d'entre elle dans le cadre du protocole phénologie. Les titres de colonnes en gras correspondent au code des sites d'enregistrement.

ID	Espèce	Total	BAG	COQ	ERD	HUC	MAR	MONT	SORE
MYODAU	Murin de Daubenton	4209	5	3837	94	50	47	156	20
MYOMYO	Grand Murin	1015	0	887	32	3	76	13	4
MYONAT	Murin de Natterer	693	1	468	78	78	53	7	8
MYOEMA	Murin à oreilles échancrées	588	1	217	36	175	20	80	59
MYOMYS	Murin à moustaches	103	0	96	1	0	6	0	0
MYOBEC	Murin de Bechtein	21	0	6	5	0	10	0	0
MYOALC	Murin d'Alcatheo	17	1	2	2	0	6	0	6
MYOSPE	Murin indéterminé	2256	1	2079	45	10	20	98	3
Myotis	Total Murin	8902	9	7592	293	316	238	354	100

5.5.1. Météorologie des sites d'études

L'influence de la météo sur le niveau d'activité des chiroptères a fait l'objet de plusieurs études (Joiris 2012; Wellig *et al.* 2013). Elles montrent que, passé un certain seuil de précipitations et surtout de vent l'activité décroît. Notre protocole d'enregistrement en continu nous permet de nous affranchir des conditions météorologiques et de décrire les patterns d'activité mensuelle comme des moyennes qui lissent les variations inter-nuit liées à la météo. Nous avons fait l'acquisition des données de température journalière moyenne et de vitesse de vent moyen de 7 stations MétéoFrance correspondant aux stations les plus proches de nos sites d'enregistrements. Ces données montrent que la température moyenne sur ces sites était au plus bas pour les trois premiers mois de l'année civile et a atteint un maximum au mois d'août (Figure 23). Les mesures de vitesses du vent moyen sont plus constantes sur l'année avec une légère baisse en été. Il faut noter qu'un site est vraiment atypique et fait augmenter fortement l'ampleur de l'écart-type. Il s'agit du site de Bagargiak, situé sur le col pyrénéen d'Organbidexka, qui est exposé à des vitesses de vent moyen sur l'année de 7,4 m/s \pm 2,2 ET⁶ alors que les autres sont situés entre 1,6 m/s \pm 0,4 ET pour le site d'Erdoia et 3,8 m/s \pm 1,0 ET pour le courant d'Huchet.

⁶ ET : Ecart type

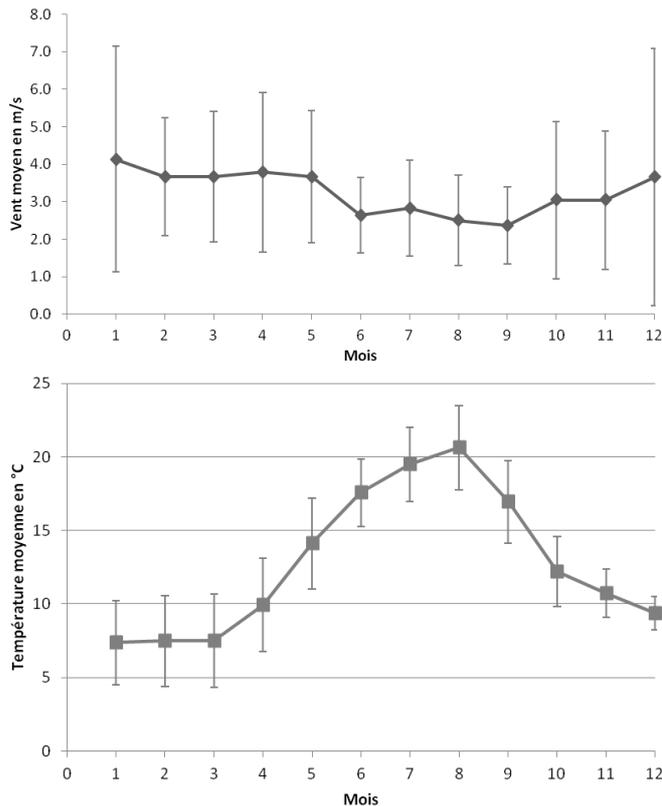


Figure 23 : Mesures moyennes de température (haut) et de vitesse du vent (bas) issues des 7 stations Météo-France les plus proches de nos sites d'étude. Les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.

5.5.2. Phénologie d'activité des chiroptères

L'enregistrement de l'activité des chiroptères sur plusieurs sites en Aquitaine pour l'intégralité du cycle biologique de ces espèces permet de décrire la phénologie d'activité espèce par espèce.

La Pipistrelle commune a été détectée sur les enregistreurs du mois de janvier au mois de décembre cependant les mois d'avril à octobre sont caractérisés par une activité plus importante qui atteint un maximum en été au mois d'août (Figures 24 à 26).

La phénologie d'activité de la Pipistrelle de Kuhl est marquée par une activité plus élevée en août, septembre et octobre. Le pic d'activité au mois d'août est lié principalement à un pic d'activité sur le site de Montflanquin sur cette période lié à une augmentation des cris sociaux sur cette même période sur ce site. Ce pic d'activité est possiblement lié à la période de parade et d'accouplement de cette espèce qui commence à la fin du mois d'août chez cette espèce (Ruys & Bernard 2014).

La phénologie d'activité de la Noctule de Leisler augmente rapidement entre mai et juillet-août puis diminue progressivement jusqu'au mois de novembre.

L'activité du Petit rhinolophe est élevée de juin à septembre mais il faut noter également que cela s'accompagne d'une très forte variabilité d'une nuit à l'autre sur les sites. Le pattern d'activité de la Sérotine commune est assez classique et atteint son maximum au mois de juillet et août.

La Pipistrelle Pygmée n'est que rarement détectée au printemps mais elle l'est beaucoup plus en fin d'été et en automne jusqu'au mois de novembre. Ce pattern pourrait être révélateur d'un afflux d'individus migrateurs à l'automne, cela reste cependant à confirmer.

La phénologie d'activité de la Pipistrelle de Nathusius est marquée par deux pics, un au printemps (mai-juin) et un autre à l'automne (septembre-octobre). Cela correspond au comportement migratoire connu chez cette espèce. Il faut noter que le pic est plus marqué à l'automne comme c'est le cas également chez les oiseaux car la taille de population est supérieure grâce au recrutement de jeune durant l'été.

Concernant la Grande noctule il reste encore de larges zones d'ombre dans notre connaissance de la biologie de cette espèce. Elle est plus fortement détectée en juin et juillet dans le cadre de notre étude ce qui pourrait correspondre à la période de parturition. L'automne est marqué également avec une

activité plus élevée après une baisse au mois d'août ce qui pourrait correspondre à une période de déplacement chez cette espèce.

Comme de nombreuses espèces l'Oreillard gris a été détecté toute l'année sauf au mois de janvier. Pour cette espèce nous avons détecté une activité supérieure en fin d'été et au début de l'automne qui correspond à la période après l'émancipation des jeunes.

La Barbastelle d'Europe a été détectée toute l'année avec un niveau d'activité supérieur entre août et octobre.

Le Minioptère de Schreibers est relativement rare dans l'enregistrement, cependant on détecte une augmentation de son activité entre juin et octobre.

Le Grand Rhinolophe a la particularité d'avoir une activité plus étendue que beaucoup d'espèces avec une baisse d'activité hivernale moins marquée et plus courte que d'autres espèces.

A l'inverse, la phénologie de la Noctule commune est beaucoup plus contrastée. On détecte notamment une forte augmentation de l'activité centrée sur le mois de septembre qui pourrait correspondre à la période de migration (Oppliger 2004). Au contraire, elle n'est que très rarement détectée au mois de juillet dans le cadre de cette étude alors que c'est le mois avec le plus de données de cette espèce en Aquitaine selon la littérature (Ruys & Bernard 2014). Il est possible que notre échantillonnage soit éloigné des sites de parturition de cette espèce ce qui pourrait expliquer cette baisse de l'activité en juillet.

L'Oreillard roux a été rarement capté sur les enregistrements, nous avons cependant des données toute l'année. On observe une augmentation des contacts à la fin de l'été et au début de l'automne après la période d'élevage des jeunes.

De la même manière pour le Molosse de Cestoni les contacts sont concentrés sur les mois de septembre et d'octobre. Cette espèce n'a été détectée que sur le site de Bagargiak qui situé sur le col pyrénéen d'Organbidexka, connu pour concentrer un flux d'oiseaux migrateur très important à l'automne. Ce pattern d'activité très concentré sur cette période de l'année pourrait correspondre à des individus en déplacement depuis des sites de reproduction situés sur le versant sud. L'espèce est connue pour être sédentaire et non migratrice mais les connaissances sur ces déplacements sont lacunaires (Ruys & Bernard 2014). Ces données atypiques méritent de plus amples analyses qui pourraient être consolidées par une collecte de données complémentaire pour mieux comprendre le comportement de cette espèce.

Enfin le groupe des myotis a une période d'activité concentrée sur les mois de mars à octobre bien que ces espèces soient détectées toute l'année. On remarque également une augmentation de l'activité en fin d'été. Ce groupe comprend cependant plusieurs espèces avec des phénologies probablement différentes. Ces espèces n'étant pas prioritaires dans le cadre de cette étude du fait de leur faible exposition au risque éolien nous n'avons pas détaillé les résultats par espèces. Cependant les données ont été identifiées au niveau spécifique et une analyse approfondie des données de ce taxon pourrait être menée à l'avenir.

Plusieurs résultats ressortent de cette étude de la phénologie, tout d'abord pour de nombreuses espèces l'activité hivernale n'est pas nulle bien qu'elle soit plus faible que le reste de l'année. On remarque également une activité maximale en été et au début de l'automne mais qui cache cependant des différences entre les espèces. Enfin pour certaines espèces les patterns d'activité sont marqués par la présence d'une activité élevée à la fin de l'été et au début de l'automne ce qui pourrait être le reflet de la présence de flux d'individus migrants sur cette période de l'année.

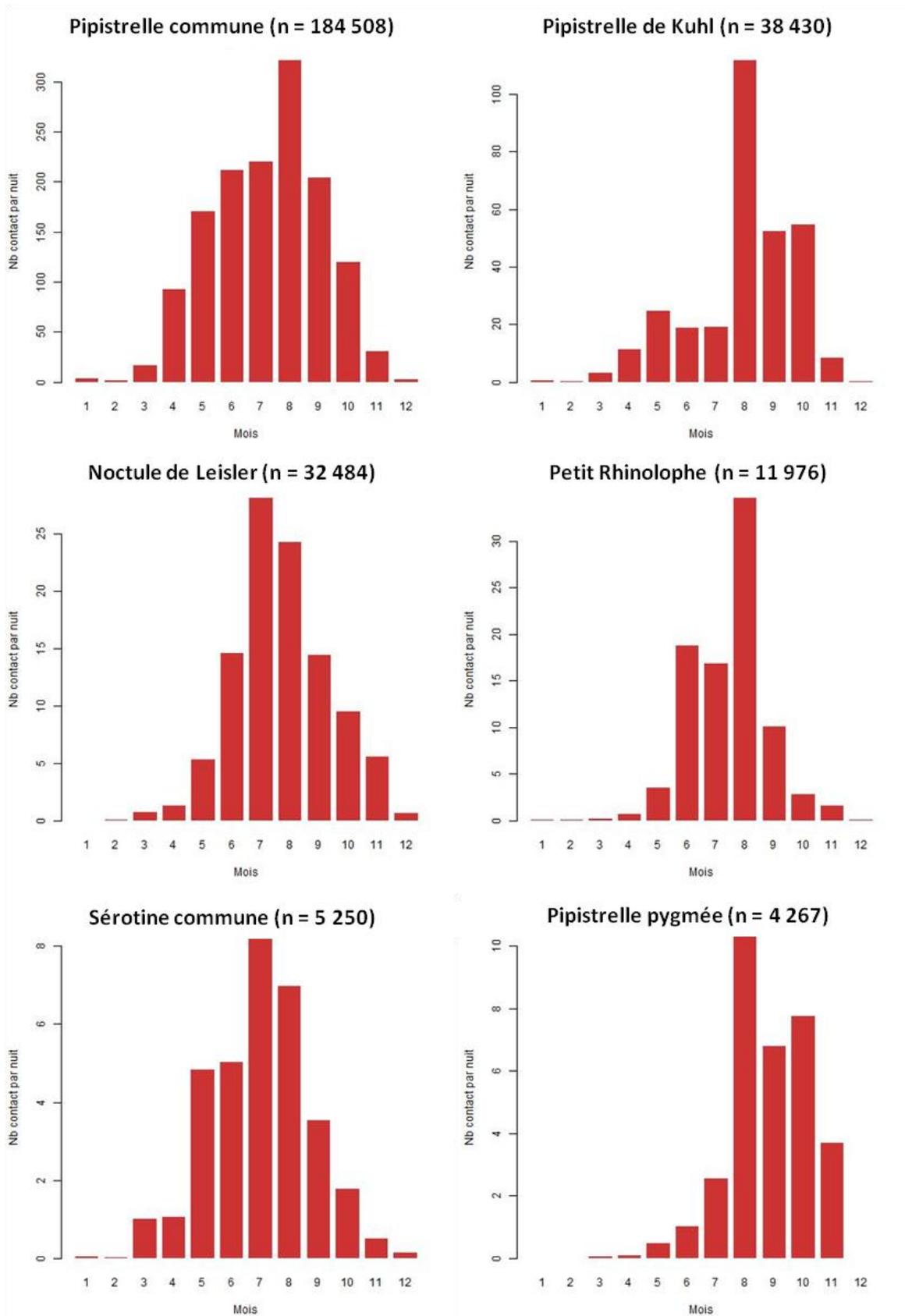


Figure 24 : Phénologie mensuelle d'activité des chiroptères exprimée en nombre de contact par nuit (1/3).

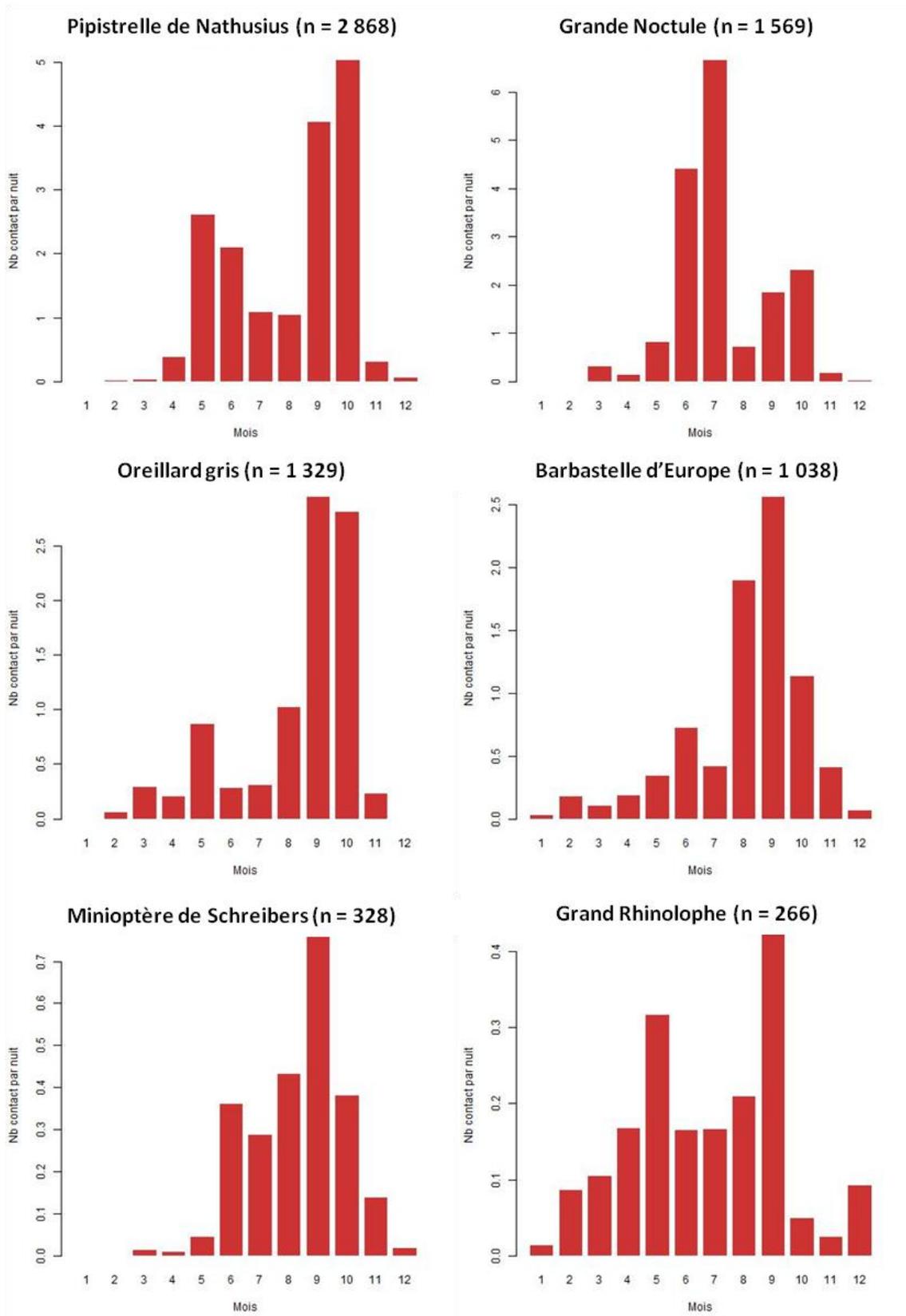


Figure 25 : Phénologie mensuelle d'activité des chiroptères exprimée en nombre de contact par nuit (2/3).

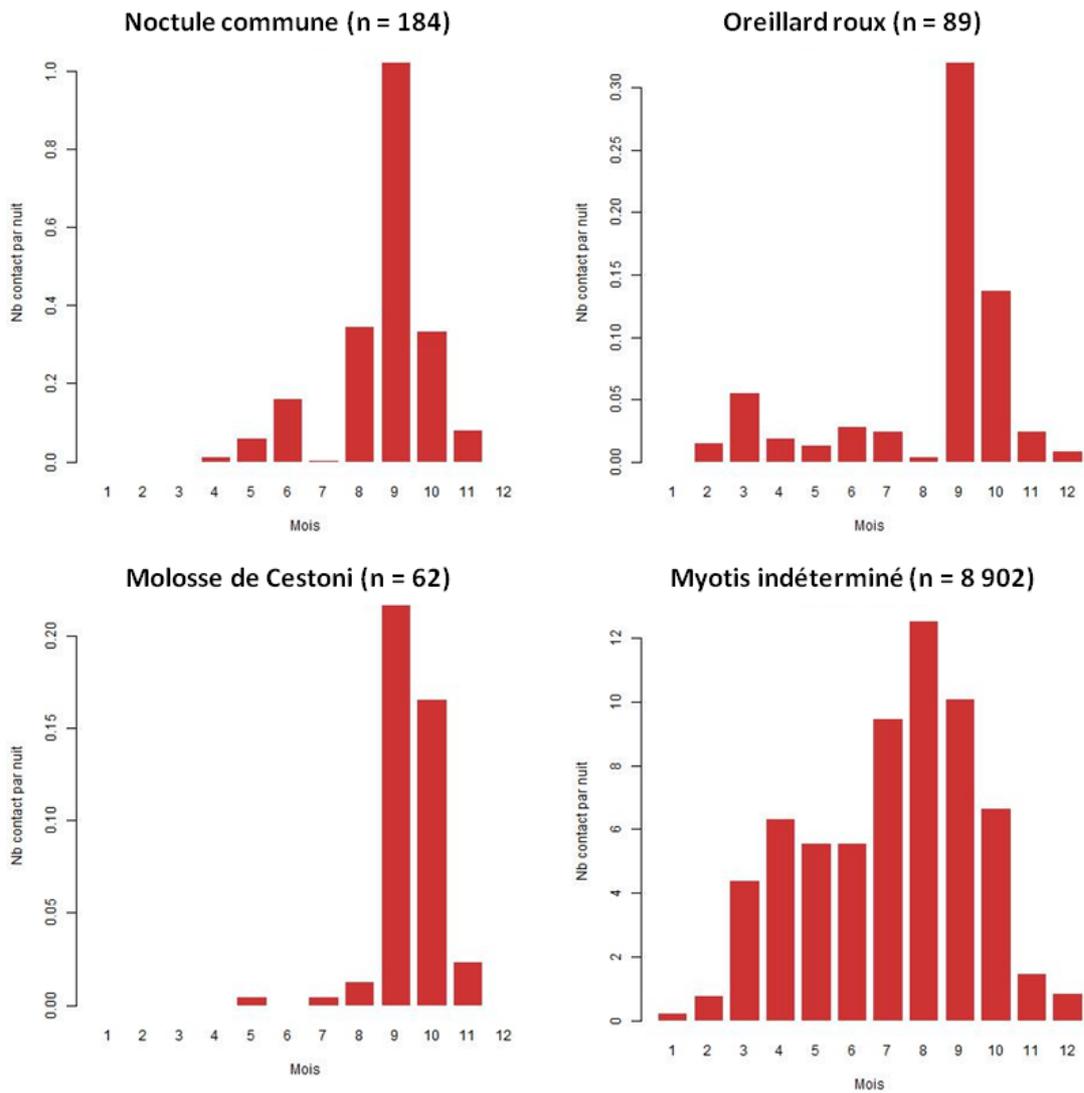


Figure 26 : Phénologie mensuelle d'activité des chiroptères exprimée en nombre de contact par nuit (3/3).

5.5.3. Synthèses des phénologies d'activité

Afin de synthétiser les patterns d'activité espèce par espèce nous avons calculé un indice d'activité mois par mois pour l'ensemble du cycle annuel basé sur les activités moyennes présentées ci-dessus. Les maximums d'activité sont atteints entre juillet et octobre selon les espèces (Tableau 11). Il faut garder à l'esprit que ces résultats sont issus d'un échantillonnage sur 7 points seulement, bien que cela représente un travail très important pour identifier plusieurs centaines de milliers de fichiers sons que cela représente.

Tableau 11 : Indice d'activité mensuelle par espèce. Pour chaque espèce le mois avec le niveau d'activité maximal est artificiellement fixé à 100 pour comparer plus facilement des espèces. Seules les espèces avec un nombre de données supérieur à 100 ont été considérées.

ID	Espèce	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
PIPIPI	Pipistrelle commune	1	1	5	29	53	66	68	100	64	37	10	1
PIPKUH	Pipistrelle de Kuhl	1	1	3	10	22	17	17	100	47	49	8	1
NYCLEI	Noctule de Leisler	0	0	3	5	19	52	100	86	51	34	20	3
RHIHIP	Petit Rhinolophe	0	0	1	2	10	54	49	100	29	8	5	1
MYOSPE	Myotis indéterminés	2	6	35	50	44	44	76	100	80	53	12	7
EPTSER	Sérotine commune	1	1	12	13	59	61	100	84	43	22	6	2
PIPPYG	Pipistrelle pygmée	0	0	1	1	5	10	25	100	66	75	36	0
NYCLAS	Grande Noctule	0	0	5	2	12	66	100	11	28	35	3	1
PIP NAT	Pipistrelle de Nathusius	0	1	1	8	52	42	22	21	81	100	6	1
PLEAUS	Oreillard gris	0	2	10	7	29	10	11	35	100	95	8	0
BARBAR	Barbastelle d'Europe	1	7	4	7	13	28	16	74	100	44	16	3
MINSCH	Minioptère de Schreibers	0	0	2	1	6	47	38	57	100	50	18	3
NYCNOC	Noctule commune	0	0	0	1	6	16	0	34	100	33	8	0
Moyenne	Moyenne	1	1	6	11	26	39	48	69	68	49	12	2

Le volume important de données issues de ce protocole pour l'ensemble du cycle biologique a été utilisé pour calculer un indice moyen de l'activité chiroptérologique (Figure 27). On remarque tout d'abord que bien qu'elle soit faible l'activité moyenne n'est pas nulle pour les mois d'hiver, lorsque les espèces sont en hivernage. Ensuite l'activité augmente progressivement au printemps pour atteindre un maximum aux mois d'août et de septembre. En automne l'activité reste élevée au mois d'octobre et chute au mois de novembre.

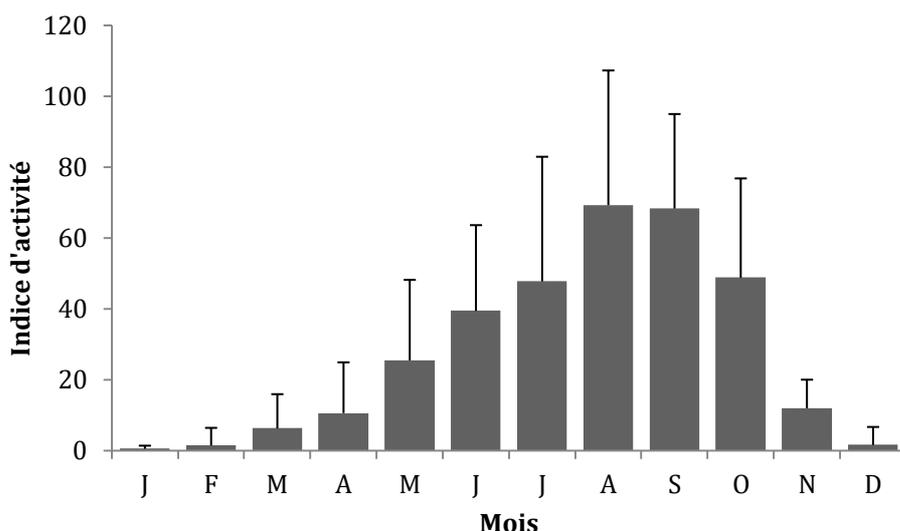


Figure 27 : Indice moyen d'activité des chiroptères en Aquitaine, la barre d'erreur correspond à l'écart-type.

5.5.4. Migration

Lorsque l'on zoome sur certains sites on remarque des patterns d'activité différents qui pourraient correspondre à des pics d'activité migratoire. C'est le cas notamment pour la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune sur le site d'Erdoia, et pour la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle de Leisler sur le site du courant d'Huchet (Figure 28). Le site d'Erdoia est situé dans le piémont pyrénéen et le site du courant d'Huchet est situé sur la côte landaise. Ces patterns se caractérisent par des pics d'activité mensuelle en septembre et octobre ce qui correspond selon la littérature aux périodes migratoires pour la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule de Leisler (Oppliger 2004). Mais aussi à un pic printanier moins marqué sur le site landais. Le cas de la Pipistrelle commune est intéressant car elle est considérée comme sédentaire en Aquitaine bien que des comportements migratoires sont connus au nord de l'Europe. Ce résultat n'est pas une preuve de migration mais cela indique qu'il existe peut-être des déplacements saisonniers plus importants que ce que l'on pensait jusqu'à présent. Il est intéressant de noter que les sites sur lesquels une activité migratoire est supposée sont situés sur la côte atlantique et dans le piémont pyrénéen. Ces résultats confirmeraient ainsi l'existence de couloirs migratoires côtiers et à l'intérieur des terres chez ces espèces (Rodrigues *et al.* 2008). Il faut considérer que comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, l'activité à 90 m, inaudible depuis le sol, augmente sur cette période de septembre-octobre. Ainsi, l'acquisition et la bancarisation de données d'activité sur cette période, au sol comme en altitude, et pour un grand nombre de sites du territoire est un préalable nécessaire à l'établissement de cartes descriptives de ces flux migratoires.

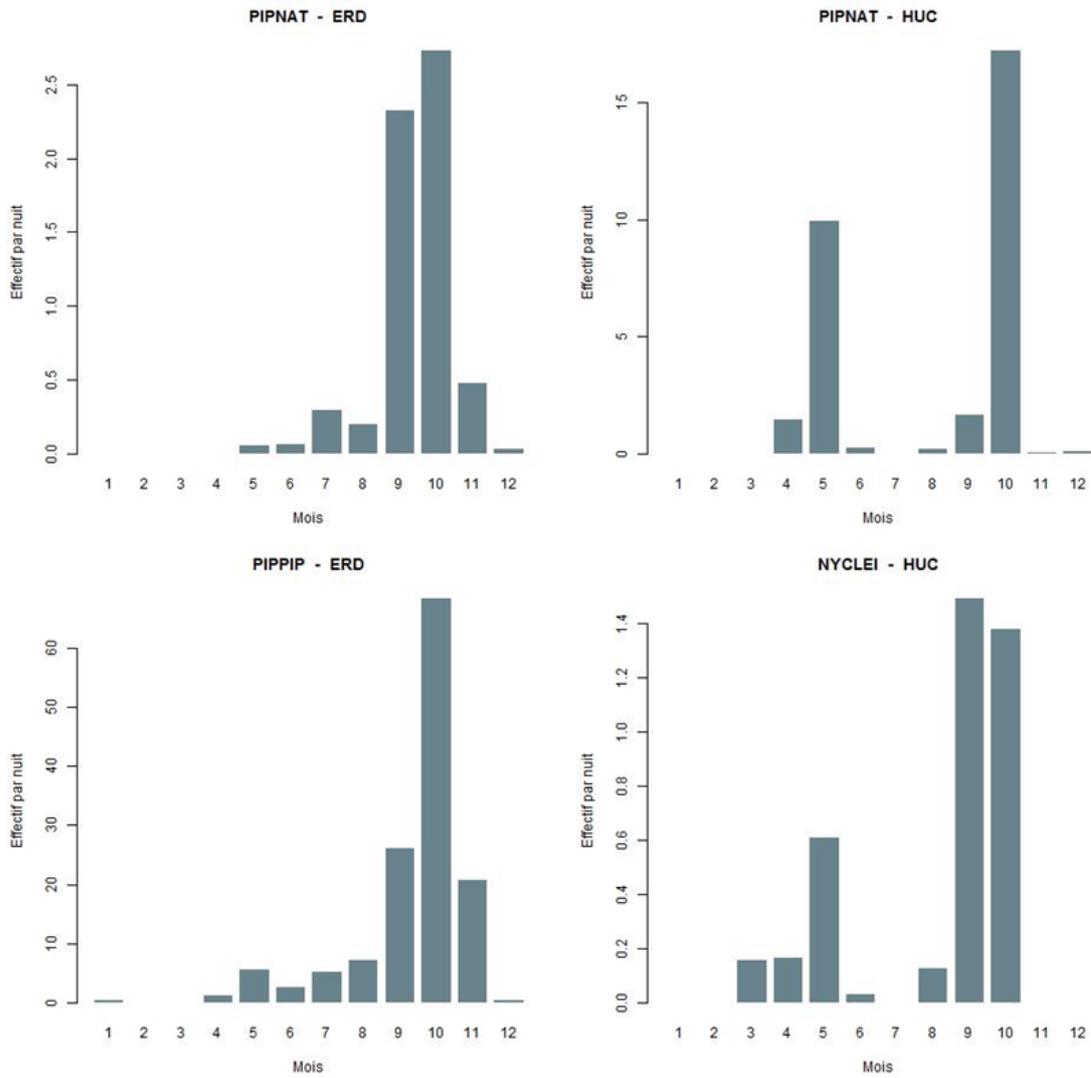


Figure 28 : Phénologie d'activité mensuelle pour la Pipistrelle de Nathusius PIPNAT à Erdoia, la Pipistrelle de Nathusius PIPNAT au courant d'Huchet, la Pipistrelle commune à Erdoia PIPPIP et la Noctule de Leisler PIPLEI au courant d'Huchet.

5.5.5. Variabilité inter-nuit

Cet enregistrement de l'activité en continu a permis également de mettre en évidence la forte variabilité de l'activité des chiroptères d'un jour à l'autre sur un même site. Cette variation peut dépasser un facteur 10 pour une même période de l'année (Figure 29). Ce résultat implique donc que pour décrire le niveau d'activité d'un site, pour une étude d'impact par exemple, il faut un nombre de nuits suffisamment important d'enregistrements pour s'affranchir de cette forte variabilité inter-nuit.

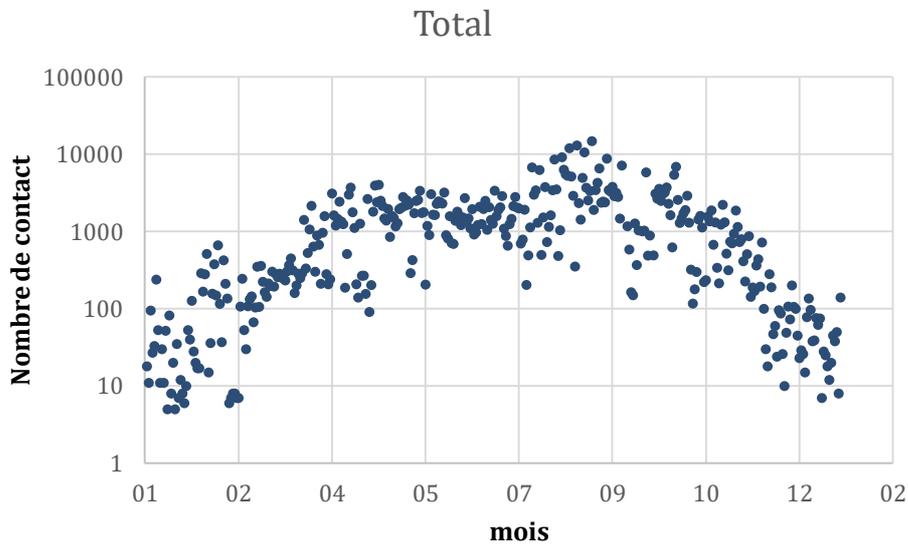


Figure 29 : Nombre de contacts par jour toutes espèces confondues pour l'intégralité du protocole. L'axe des ordonnées est en échelle logarithmique.

Synthèse

Une collecte massive de données sur un cycle complet sur 7 sites en Aquitaine (n > 300 000 données) a permis de décrire la phénologie d'activité des chiroptères pour l'année complète.

Des chiroptères sont détectés toute l'année, même en hiver.

Le maximum d'activité est atteint à la fin de l'été et au début de l'automne.

Les patterns d'activité pour certaines espèces pourraient indiquer la présence d'un afflux de migrateurs au printemps et surtout à l'automne.

L'activité des chiroptères est très variable d'une nuit à l'autre et l'étude d'un site doit se faire sur des périodes suffisamment importantes pour être représentatif.

6. Localisation des couloirs de migration pour l'avifaune à partir des données de science participative

6.1. Introduction

Les sciences participatives, définies comme une collaboration de scientifiques et de citoyens, constituent un nouvel outil pour les recherches scientifiques qui est en train d'émerger très rapidement (Cointet & Joly 2015). La participation des citoyens rend possible une collecte de données massive, difficile à envisager sans le recours à des bénévoles. Ces nouveaux jeux de données sont une mine d'information précieuse du fait notamment du volume qu'elle représente (> 3 500 000 de données d'oiseaux sur le portail Faune-Aquitaine). Cependant il s'agit principalement de données non protocolées qui sont donc plus difficiles à analyser. Il est nécessaire notamment de prendre en compte le biais d'échantillonnage lié notamment aux différences de densité d'observateurs sur le territoire. Le premier objectif de cette partie est d'utiliser ces données pour localiser des couloirs de migration à l'échelle du territoire aquitain. Ces cartographies sont un préalable indispensable à la spatialisation des enjeux pour l'avifaune car l'emplacement des installations éoliennes influence fortement le nombre de collisions (Jana & Pogacnik. 2008). Ces données peuvent également être analysées d'un point de vue temporel de manière à décrire la phénologie de migration. Ces phénologies sont utiles pour planifier les suivis de migration notamment dans le cadre d'étude d'impact éolienne.

6.2. Méthodes

6.2.1. Données de sciences participatives

Les données de deux bases vont être utilisées pour mettre en évidence les principaux couloirs de migration empruntés par l'avifaune sur le territoire aquitain : Faune-Aquitaine (www.faune-aquitaine.org) et Migraction (www.migraction.net). Ces deux sites font partie du réseau Visionature qui est un outil initié par le réseau LPO en partenariat avec la société suisse Biolovision SARL.

Le site Internet Faune-Aquitaine est géré par la LPO Aquitaine. Ses principaux objectifs sont la collecte, l'organisation et la restitution synthétique des données d'observation de la faune dans la région Aquitaine (Liger, Couzy & Filippi-codaccioni 2013). Elle collecte majoritairement des observations d'oiseaux (88 %), mais également des observations de mammifères, « reptiles », amphibiens, odonates, papillons, orthoptères et hyménoptères. Faune-Aquitaine a été ouvert au public le 7 juillet 2008. À ce jour (10/08/2015), elle compte avec 4 916 observateurs inscrits qui ont apporté plus de 3 millions de contributions. Ces données sont constituées au minimum de l'espèce observée et de son effectif, de la localisation, de la date de l'observation et d'un auteur. D'autres renseignements complémentaires peuvent être apportés comme les conditions d'observation, le comportement de l'animal ou même une photographie ou un fichier sonore. Un comité de validation est spécialement missionné pour valider toutes les observations transmises.

La base de données **Migraction** collecte des données concernant la migration des oiseaux au niveau national. Aujourd'hui, 4 sites aquitains composent le cercle des grands sites français de suivi de la migration : la Pointe de Grave (Le Verdon-sur-Mer ; Gironde ; 33), le col d'Organbidexka (Larrau ; Pyrénées-Atlantiques ; 64), le col de Lizarieta (Sare ; Pyrénées-Atlantiques ; 64) et la Redoute de Lindus (Banca ; Pyrénées -Atlantiques ; 64). Le suivi du site girondin était assuré par la LPO Aquitaine alors que les sites pyrénéens étaient quant à eux gérés anciennement par l'association Organbidexka Col Libre puis depuis 2008 par la LPO Aquitaine en suivant toutefois le même protocole. Pour valoriser les résultats au niveau du territoire et assurer une plus grande cohérence et pérennité des actions menées, l'Observatoire Régional de la Migration des Oiseaux a réuni sous un porteur de projet unique (la LPO Aquitaine) l'ensemble des sites aquitains. L'un des buts de cette mutualisation est d'améliorer les connaissances du statut des espèces, de leur phénologie de migration et donc de contribuer à améliorer leur conservation. Sur Migraction, des graphiques illustrant la durée de migration, la date de migration ou la phénologie pour chaque espèce sur chaque site suivi peuvent être consultés.

6.2.2. Sélection des données

Avant de commencer l'analyse des données de Faune-Aquitaine, une sélection est nécessaire. L'étude portant sur les couloirs de déplacement utilisés pendant la migration, uniquement les données d'individus en migration doivent être prises en compte. Pour cela deux sélections ont été faites. Il faut savoir qu'entre les espèces sédentaires, c'est-à-dire les espèces qui ne migrent pas, et les espèces dites migratrices strictes (dont tous les individus migrent) se trouvent un grand nombre d'espèces appelées migrateurs partiels. Chez ces espèces, seulement une partie de la population est migratrice (Zucca 2010). Chez les migrateurs stricts, les zones de reproduction et les zones d'hivernage sont différentes alors que chez les migrateurs partiels une partie de ces deux zones se superposent. Plus la zone de superposition est grande, plus la proportion de migrateurs sera importante. Pour la première sélection, uniquement les espèces strictement migratrices dans la zone d'étude ont été sélectionnées. De cette manière, chaque observation de ces espèces correspond automatiquement à une observation de migration. Puis, deuxièmement, les données des individus d'espèces migratrices partielles, dont les observations ont été renseignées avec un comportement migratoire, ont été sélectionnées. Ainsi, les observations des individus sédentaires de ces espèces migratrices partielles ne sont pas prises en compte.

Pour avoir suffisamment de données et que les couloirs de migration cartographiés soient le plus représentatif possible de la réalité, uniquement les espèces ayant les indices de rareté « très commun », « commun » et « peu commun ou localisé » dans la liste des espèces d'oiseaux d'Aquitaine [24] ont été utilisées. Comme cette liste a été réalisée à l'aide des contributions de Faune-Aquitaine, les espèces les moins rares vont correspondre aux espèces qui représentent la majorité du

flux à travers l'Aquitaine et donc potentiellement les plus fortement impactées par les installations éoliennes. Ainsi, les données de 25 espèces, sur les 130 espèces qui migrent à travers l'Aquitaine [24], ont été sélectionnées sur 7 années (2008-2014) pour cette analyse sur les principaux couloirs de migration.

Les données de Migration ont également été utilisées. Uniquement les données des trois sites pyrénéens ont été exploitées car le suivi réalisé sur ces sites est un suivi postnuptial alors que celui de la Pointe de Grave est un suivi pré-nuptial.

6.2.3. Cartographie

Les données issues des sciences participatives sont dites opportunistes. Comme elles ne sont pas protocolées, un des problèmes majeurs de ce type de données est le possible biais créé par des pressions d'observations différentes. En effet, la pression d'observation est souvent inégale en faveur des zones les plus habitées, où plus de naturalistes sont présents, ou des zones plus attractives telles que les zones humides. Une première carte est donc nécessaire pour décrire la répartition de la pression d'observation sur la zone d'étude et ne pas avoir de fausses impressions quant aux déplacements des oiseaux. Plusieurs paramètres peuvent être pris en compte pour représenter la pression d'observation : le nombre de contributeurs, le nombre de visites, le temps d'observation ou encore le nombre d'observations ou « listes » par unité spatiale (Guélin). Il n'y a pas de différences majeures entre ces possibilités. Une observation correspond à une espèce observée à une date donnée, à un endroit donné, par un observateur unique. Une carte illustrant le nombre total d'observations en Aquitaine par mailles de 4 km² entre 2008 et 2014 a donc été réalisée.

Ensuite, une fois les observations sélectionnées sur Faune-Aquitaine comme cité précédemment, elles ont été positionnées sur des cartes, par espèce, sous forme de points. La taille de ces points a été ajustée au nombre d'individus observés. Différents couloirs de migrations plus ou moins marqués se sont alors dessinés en fonction des espèces.

Pour identifier des couloirs de migration, il a été décidé de se focaliser sur la taille des points, qui représente le nombre d'individus, et non sur la densité de points, qui représente, elle, le nombre d'observations. Cette méthode rend mieux compte de la pression d'observation car une forte densité de petits points pourrait correspondre à une plus forte pression d'observation alors qu'un gros point, représentant un grand vol de migrants, ne va pas forcément être situé là où la pression d'observation est importante. Afin de tracer des trajectoires de vol, les observations ont été regroupées par effectif observé. De cette façon, la zone de migration centrale et des zones de passage périphériques ont été délimitées pour certaines espèces ou groupes d'espèces.

Pour les espèces ayant un couloir de migration marqué, le taux de passage sur chacun des trois sites pyrénéens a été estimé. Pour cela le nombre moyen d'individus observés en 2013 et 2014 par unité de temps a été calculé. Sur le col d'Organdixka et sur la redoute de Lindux le nombre d'heures d'observations est semblable car la période de suivi est la même (du 15 juillet au 15 novembre), alors qu'à Lizarieta le suivi s'étend uniquement de septembre à novembre. L'importance relative des passages au col de Lizarieta pourrait être artificiellement augmentée sur des espèces qui ont des courtes périodes de migration mais ces résultats extraits de Migration prétendent seulement compléter les informations de Faune-Aquitaine au niveau du franchissement de la chaîne des Pyrénées.

Les données des migrations postnuptiales et pré-nuptiales ont été traitées simultanément dans cette analyse pour que les zones de passage privilégié apparaissent clairement. Cependant, avant de construire les couloirs de migration, les observations réalisées au printemps et en automne ont été projetées séparément pour éviter de réunir des déplacements différents.

Le logiciel ArcGIS a été utilisé pour l'ensemble de ces cartographies.

6.2.4. Phénologie

Une analyse temporelle a été réalisée pour chacune des 25 espèces analysées. La phénologie de leur migration prénuptiale et postnuptiale a été étudiée à partir des observations réalisées pendant sept années et renseignées sur Faune-Aquitaine. Plus précisément, le cumul du nombre d'observations par jour de l'année a été modélisé par une distribution gaussienne sur le logiciel R (R version 3.2.0) (R Development Core Team 2012) (Figure 30). La fonction *optim* a permis d'obtenir les paramètres optimaux des deux courbes. Un tableau récapitulatif et un graphique, qui indiquent les dates comprenant 95 % et 50 % des migrations prénuptiales et postnuptiales ainsi que la date du pic de migration de chaque espèce (médiane), ont été construits. Le nombre d'observations utilisé pour chaque courbe est également indiqué.

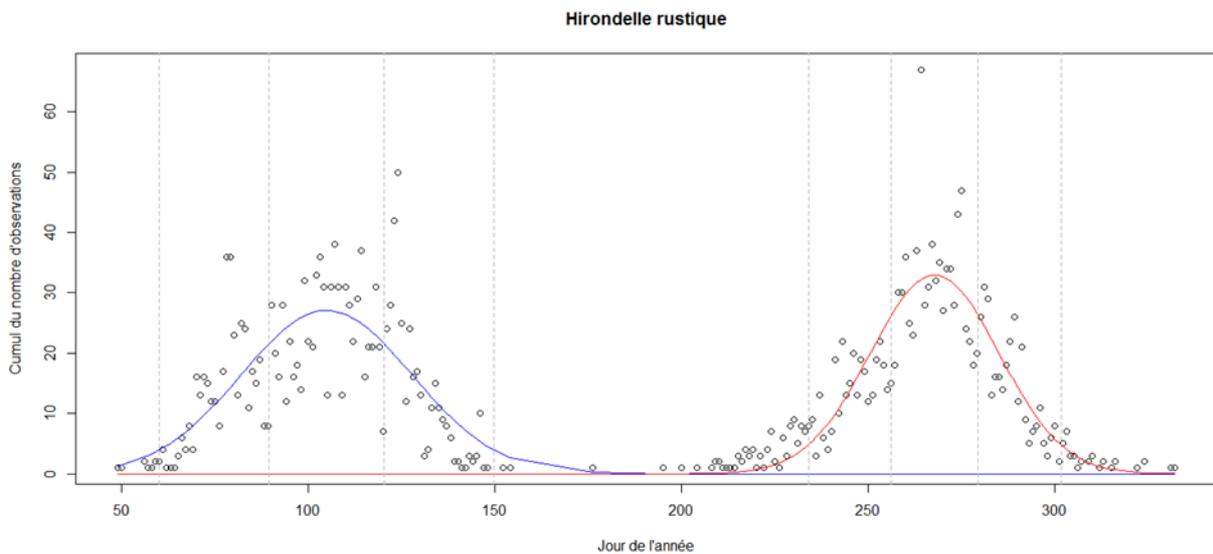


Figure 30 : Modélisation réalisée : cumul du nombre d'observations en fonction du jour de l'année (exemple de l'Hirondelle rustique), les intervalles regroupant 95 % et 50 % du flux sont matérialisés par des pointillés gris. La migration prénuptiale est en bleue et la migration postnuptiale en rouge.

6.3. Résultats et discussion

6.3.1. Pression d'observation

La localisation des observations renseignées sur Faune-Aquitaine entre 2008 et 2014 montre bien que la pression d'observation est répartie de manière hétérogène sur le territoire aquitain (Figure 31). Quelques mailles restent sans prospections, surtout au centre de l'Aquitaine dans les Landes et la moitié sud du Lot-et-Garonne. Cependant, plus de 80 % des mailles de 4 km² contiennent des observations. Les plus fortes densités d'observations semblent se trouver dans les zones les plus habitées : métropole de Bordeaux, Bassin d'Arcachon et la côte basque. Cela peut s'expliquer par la distance à laquelle les contributeurs réalisent leurs observations par rapport à leur domicile. En effet, 60 % des contributeurs effectuent leurs observations à moins de 10 km de leur habitation et 31 % d'entre eux le font à moins d'1 km (Liger, Couzy & Filippi-codaccioni 2013).

La répartition de la pression d'observation illustrée dans cette carte sera prise en compte dans l'analyse des cartographies qui suivent.

Nombre d'observations total en Aquitaine
par mailles de 4 km² entre 2008 et 2014

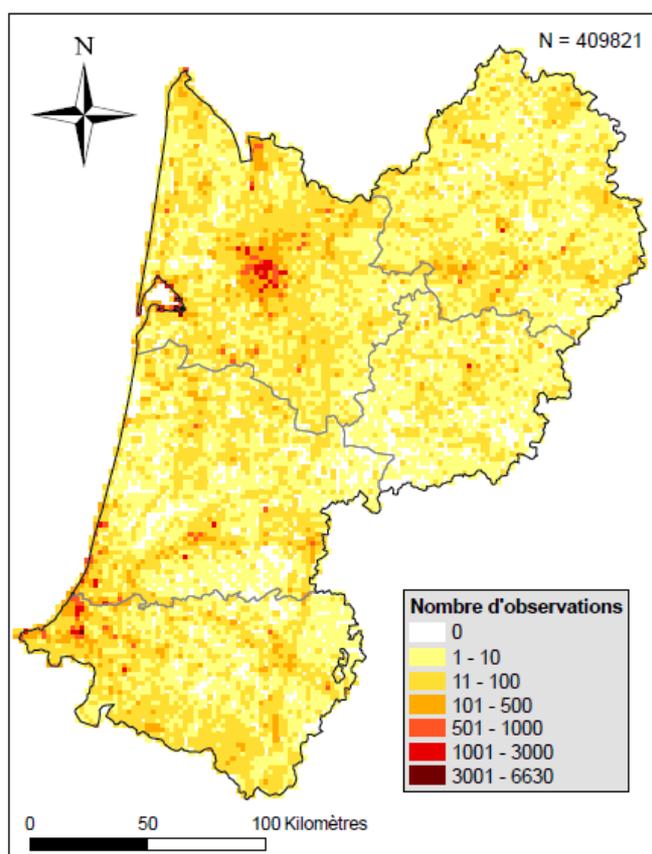


Figure 31 : Répartition de la pression d'observation en Aquitaine.

6.3.2. Couloirs de migration

Suite à la cartographie de la répartition des observations des espèces migratrices d'Aquitaine entre 2008 et 2014, 4 types de couloirs migratoires ont pu être identifiés :

- Groupe 1 : Couloir de migration marin/côtier ;
- Groupe 2 : Couloir de migration étroit non côtier ;
- Groupe 3 : Couloir de migration uniforme ;
- Groupe 4 : Couloir de migration de certains Passereaux, Limicoles et Anatidés.

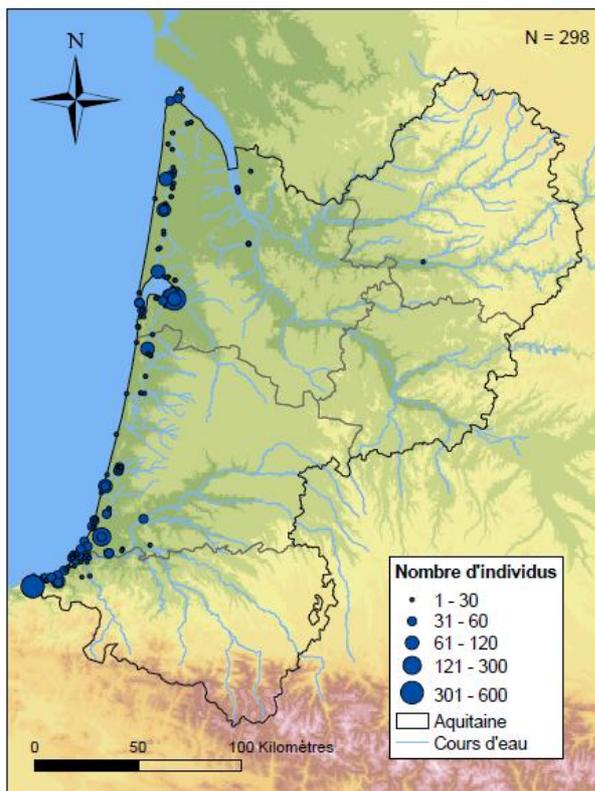
Pour chaque espèce ou groupe d'espèces les couloirs de migrations sont décrits et analysés ci-dessous. Des exemples sont également donnés. Le nombre d'observations utilisées (N) est indiqué sur les cartographies de chaque espèce.

6.3.3. Groupe 1 : Couloir de migration marin/côtier

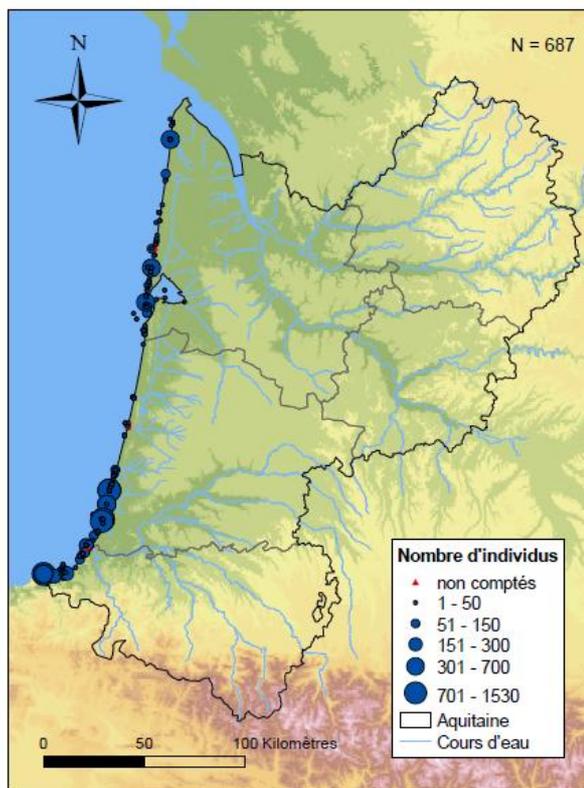
Les espèces qui font partie de ce groupe ont un couloir de migration marin ou côtier. On y retrouve 7 espèces parmi les 25 espèces sélectionnées : le Courlis corlieu (*Numenius phaeopus*), l'Hirondelle de rivage (*Riparia riparia*), le Bécasseau cocorli (*Calidris ferruginea*), le Puffin des Baléares (*Puffinus mauretanicus*), la Spatule blanche (*Platalea leucorodia*), le Labbe parasite (*Stercorarius parasiticus*) et la Guifette noire (*Chlidonias niger*) (annexe 11.1.3). Il faut noter que le couloir de migration de l'Hirondelle de rivage est moins strictement côtière que les autres espèces.

Le couloir de migration de toutes ces espèces est clairement dépendant de la côte cependant quelques différences distinguent ces routes (Figure 32). Certaines espèces sont observées depuis la côte mais elles vont avoir un front de migration qui est océanique. La côte va marquer une frontière qu'elles ne vont pas dépasser. C'est le cas par exemple pour le Puffin des Baléares et le Labbe parasite, ici étudiés, mais ce peut être le cas aussi pour d'autres espèces comme, par exemple, l'Océanite tempête ou la Sterne Arctique (Cramp 1985). D'autres espèces vont, elles, migrer le long du littoral marin et terrestre. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer ce phénomène. Pour s'orienter pendant leurs migrations, il est connu que les oiseaux utilisent d'une part le compas solaire et le compas magnétique mais également des repères paysagers à une plus faible échelle, comme les montagnes, les grandes rivières ou le trait côtier dans ce cas-là (Zucca 2010). Une autre hypothèse serait celle des lignes directrices ou « *leading lines* » définies par Mueller et Berger (1967) comme des zones concentrant un grand nombre d'oiseaux à cause d'une topographie attirante ou au contraire à cause d'une répulsion des zones contiguës. Des cas ont déjà été décrits où les oiseaux se concentrent au niveau de la côte car les oiseaux terrestres sont réticents à voler au-dessus de l'eau et les oiseaux aquatiques évitent de voler au-dessus des zones terrestres.

Répartition des observations de Spatule blanche en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Répartition des observations de Puffin des Baléares en Aquitaine entre 2008 et 2014



Couloir de migration marin/côtier

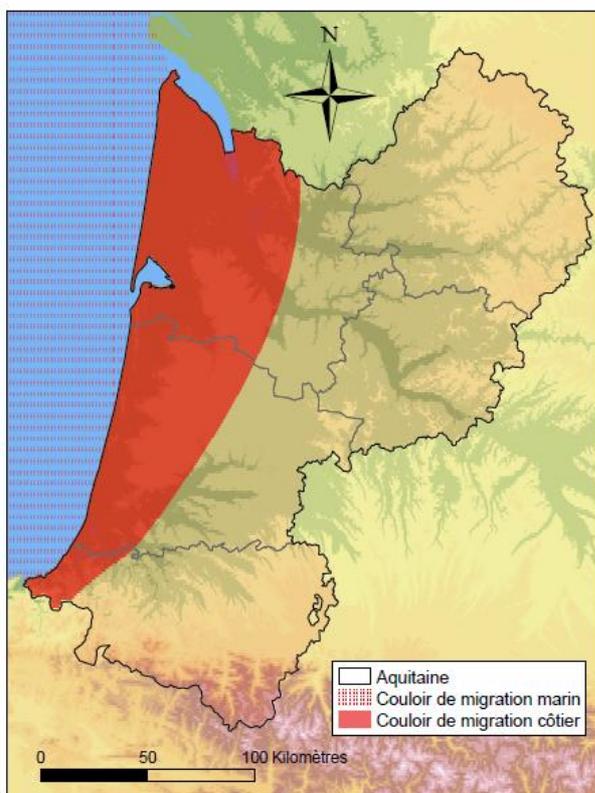


Figure 32 : En haut à gauche : Exemple de la répartition des observations d'une espèce qui migre le long de la côte. En haut à droite : Exemple de la répartition des observations d'une espèce qui migre au large mais dont les observations ont lieu depuis la côte. En bas : Couloir de migration marin/côtier.

6.3.4. Groupe 2 : Couloir de migration étroit non côtier

Les espèces qui forment ce groupe ont un couloir de migration principal marqué au niveau de l'Aquitaine. Mais ce couloir de migration n'est ni marin, ni côtier à la différence des espèces du premier groupe. Cinq espèces ont été classées dans ce groupe : la Cigogne blanche (*Ciconia ciconia*), la Grue cendrée (*Grus grus*), le Pigeon ramier (*Columba palumbus*), le Milan royal (*Milvus milvus*) et le Milan noir (*Milvus migrans*).

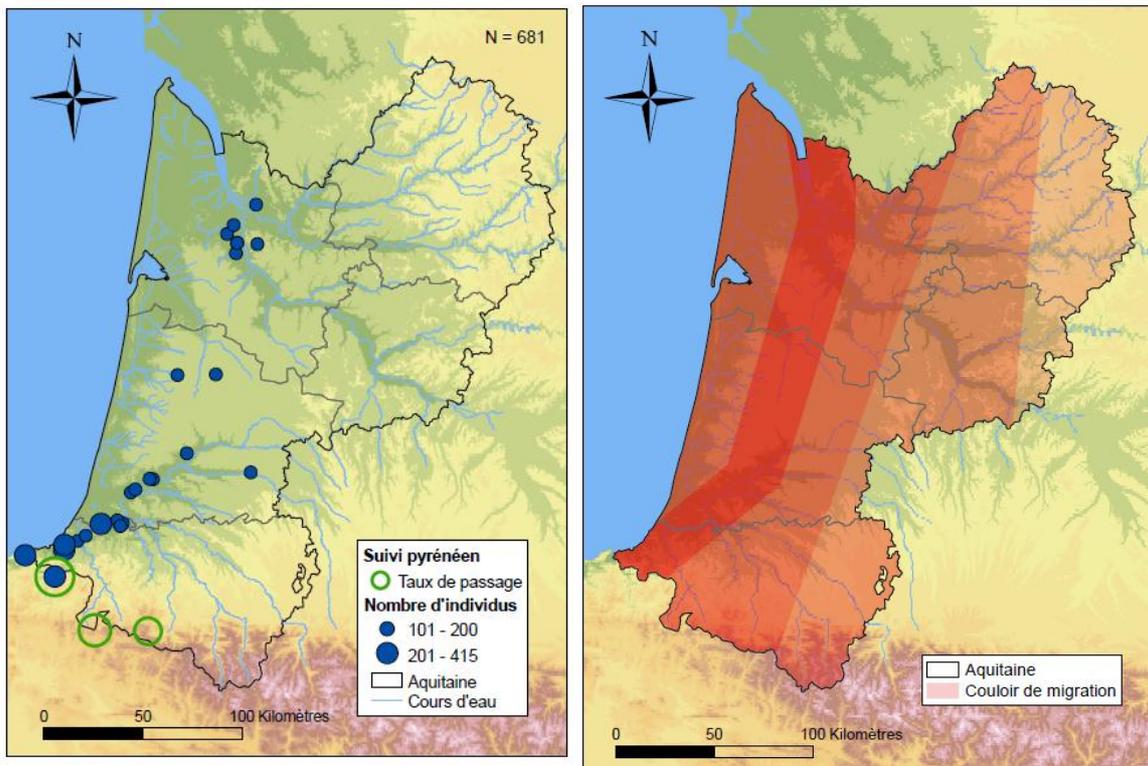
Ces espèces vont être traitées indépendamment car elles ont toutes un couloir de migration particulier. Pour comprendre comment ont été tracés les couloirs de migration, uniquement les plus grandes observations sont représentées dans les cartographies qui suivent. L'ensemble des observations sont représentées dans les cartes en annexe (annexe 11.1.4).

6.3.4.1. Cigogne blanche

Les Cigognes blanches semblent traverser le nord de l'Aquitaine en suivant la Gironde (Figure 33). Le couloir passe ensuite au centre des Landes parallèlement à la côte jusqu'à rencontrer l'Adour où il se rapproche en diagonale vers la côte pour traverser les Pyrénées-Atlantiques par l'extrême ouest (Figure 33). Les données de Migration indiquent également que Lizarrieta est le site par lequel passe le plus grand nombre de Cigognes. De plus, les trajets à travers l'Aquitaine de la Cigogne blanche équipée d'une balise GPS par l'association Acrola, pendant les migrations postnuptiale et pré-nuptiale de 2014, se superposent à ce couloir. Cet évitement des hautes montagnes a également été observé en Israël où environ la moitié des Cigognes blanches en migration passent sur le bord ouest de la cordillère centrale (Leshem & Yom-Tov 1998). Néanmoins, pour l'Aquitaine une partie des individus traverse les Pyrénées par les cols de Lindus et d'Organbidexka, il faut donc considérer que le couloir ne se limite pas à l'axe principal.

Répartition des observations de Cigogne blanche en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014

Couloir de migration de la Cigogne blanche



6.3.4.2. Grue cendrée

La Grue cendrée migre à travers l'Europe par deux principales voies. La voie occidentale traverse la France en diagonale selon un axe général nord-nord-est/sud-sud-ouest (Couzi & Petit 2005). Les résultats montrent qu'elle suit également cet axe en Aquitaine (Figure 34). En effet, selon Couzi et Petit (2005), au sud-ouest de la France elles se déplacent sur un front de 250 km de large avec une prédominance dans une voie centrale de 100 km. Au nord, elles ne traversent pas l'estuaire de la Gironde car elles répugnent à survoler de trop grandes étendues d'eau libre. Elles passent donc au niveau de Bordeaux, jusqu'au deux tiers ouest de la Dordogne et du Lot-et-Garonne, puis le flux survole ensuite une grande moitié est des Landes. Les analyses des données de Migration montrent un flux important à la redoute de Lindux qui se trouverait au centre de ce couloir. En 2011 par exemple, plus de 100 000 Grues cendrées ont été observées à Lindux, ce qui représente deux tiers des Grues qui prennent la route ouest européenne (Couzi & Petit 2005). Selon les années et les conditions météorologiques le couloir central peut être décalé vers Organbidexka ou Lizarieta mais il passera toujours par le département des Pyrénées-Atlantiques.

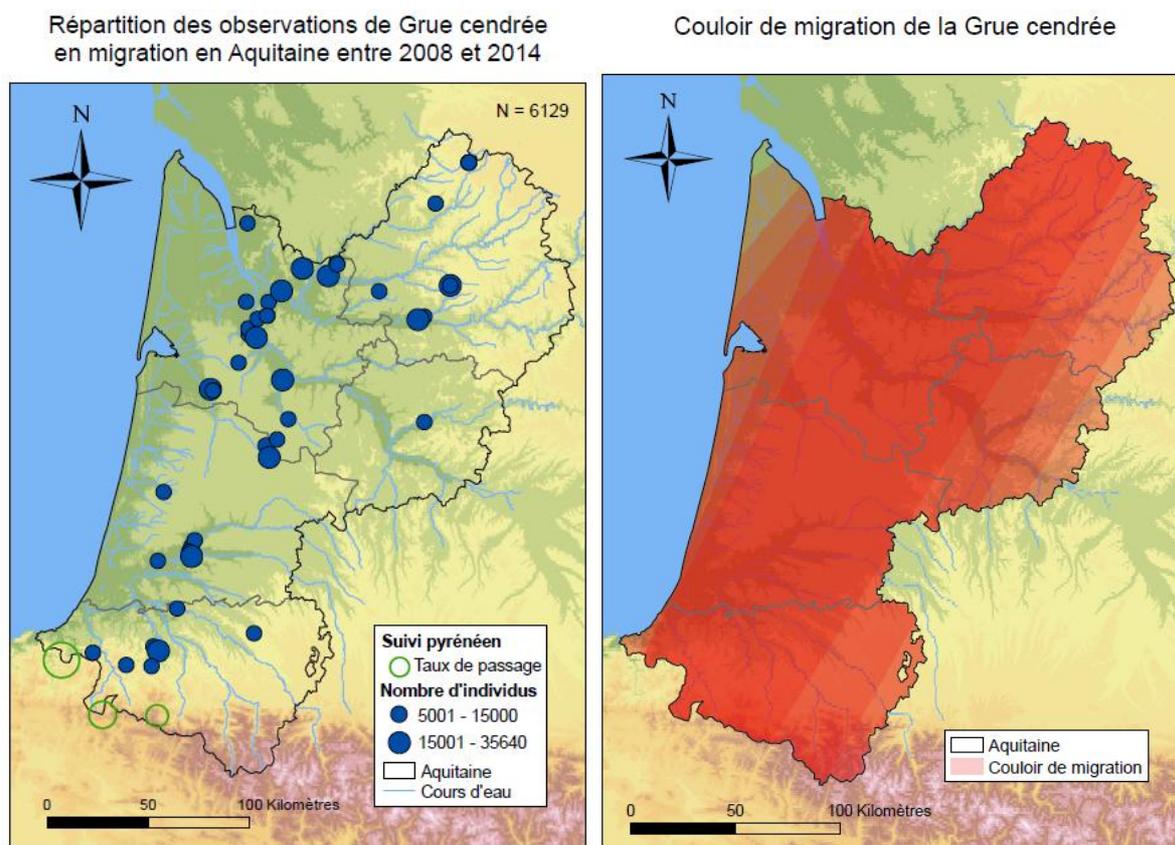
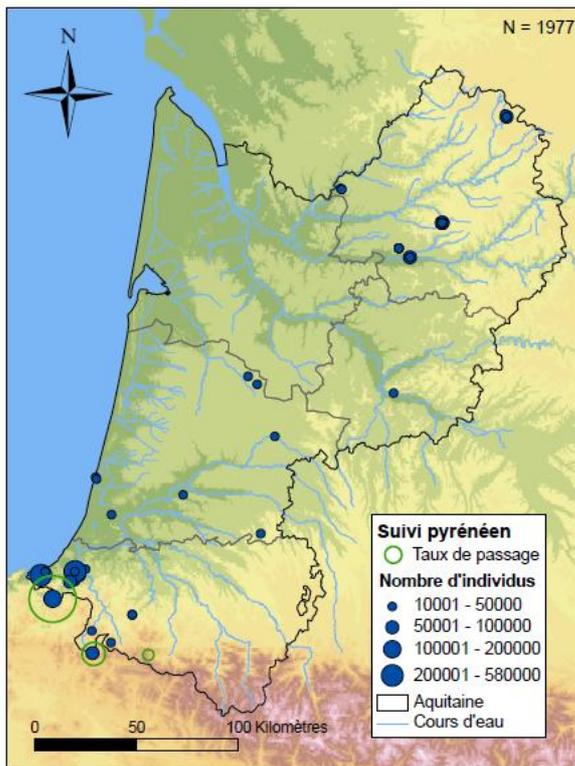


Figure 34 : Répartition des observations de Grue cendrée les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité du flux. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols pyrénéens de suivis de la migration postnuptiale en Aquitaine. Le diamètre du cercle est proportionnel au nombre moyen d'oiseaux observé sur le site.

6.3.4.3. Pigeon ramier

Le couloir de migration du Pigeon ramier s'étendrait en diagonale de l'extrémité nord-est de l'Aquitaine jusqu'à son extrémité sud-ouest (Figure 35). Le suivi des sites pyrénéens confirme cette route avec le site de Lizarieta qui capte les plus gros passages de cette espèce. De l'autre côté de la frontière des résultats similaires ont été obtenus. En effet, au nord de l'Espagne, le flux principal des Pigeons ramiers migrateurs est concentré sur une bande de 50 km de large qui prolonge celle qui a été mise en évidence sur la carte (Devisse & Urcun 1994).

Répartition des observations de Pigeon ramier en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Couloir de migration du Pigeon ramier

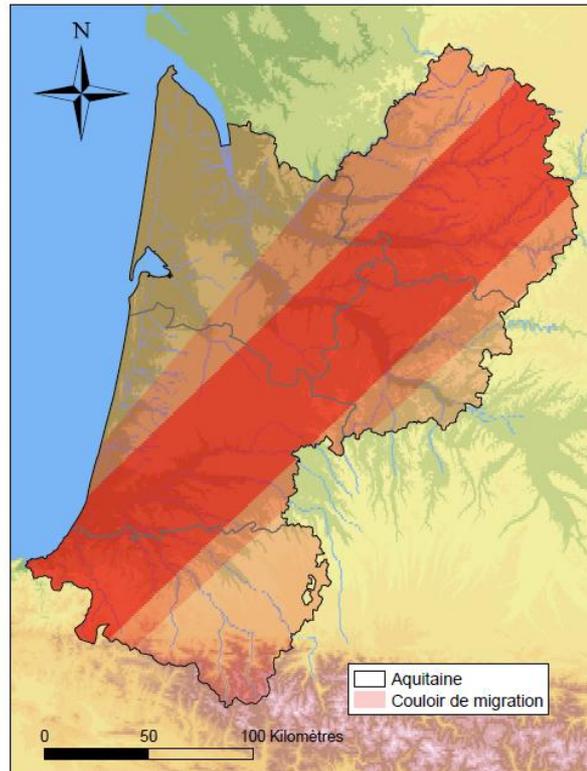


Figure 35 : Répartition des observations de Pigeon ramier les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité du flux. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols pyrénéens de suivis de la migration postnuptiale en Aquitaine. Le diamètre du cercle est proportionnel au nombre moyen d'oiseaux observé sur le site.

6.3.4.4. Milan royal

En France comme en Europe, le Milan royal passe principalement selon un axe nord-est/sud-ouest, franchissant les Pyrénées en grande majorité par le Pays Basque pour les oiseaux hivernant en Espagne. En effet, cette diagonale réapparaît comme chez la Grue cendrée et le Pigeon ramier (Figure 36). D'après Devisse et Urcun (1994) et les données de Migraction, les effectifs les plus importants de Milans royaux sont observés sur les sites pyrénéens Organbidexka Lindus et Lizarrieta. Peu d'observations de ce flux ont été renseignées au nord d'Organbidexka sur Faune-Aquitaine mais cela pourrait être dû à une importante arrivée d'oiseaux par le département des Hautes-Pyrénées à l'est. Cela pourrait correspondre à des oiseaux qui longent la chaîne pyrénéenne à la recherche d'un col plus facilement accessible.

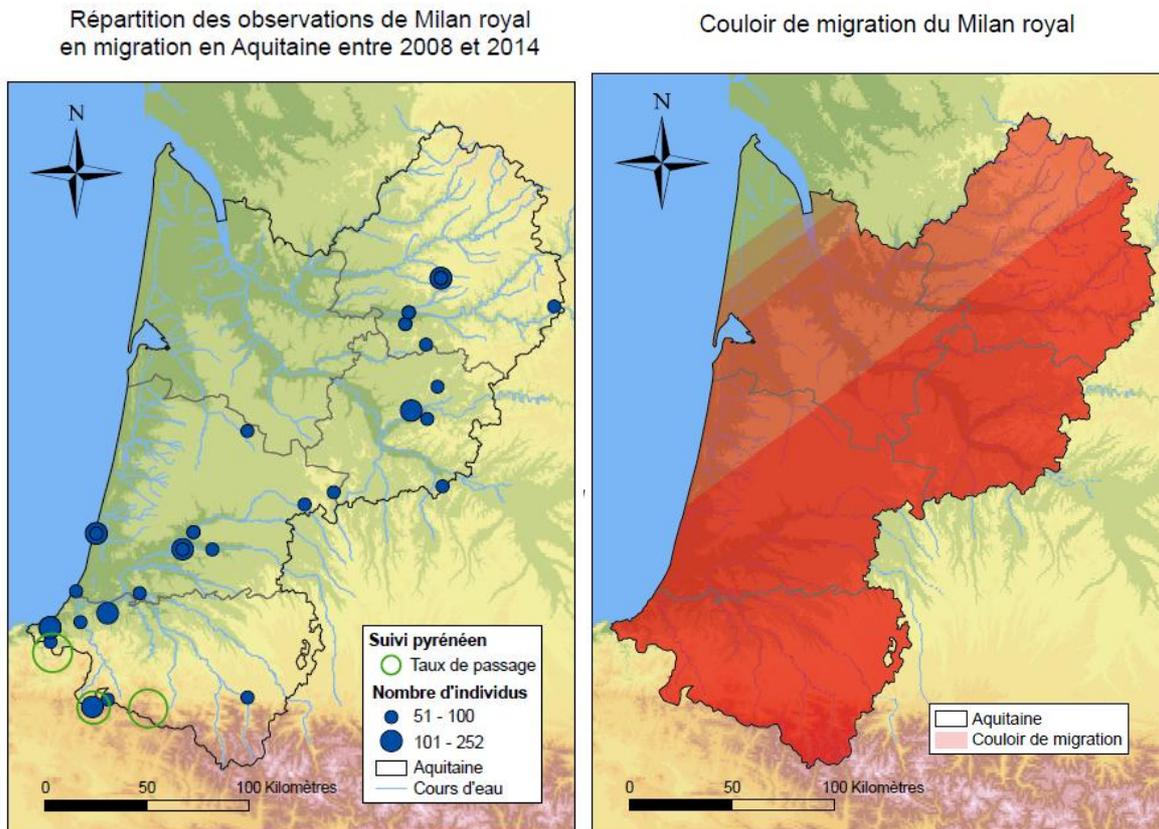
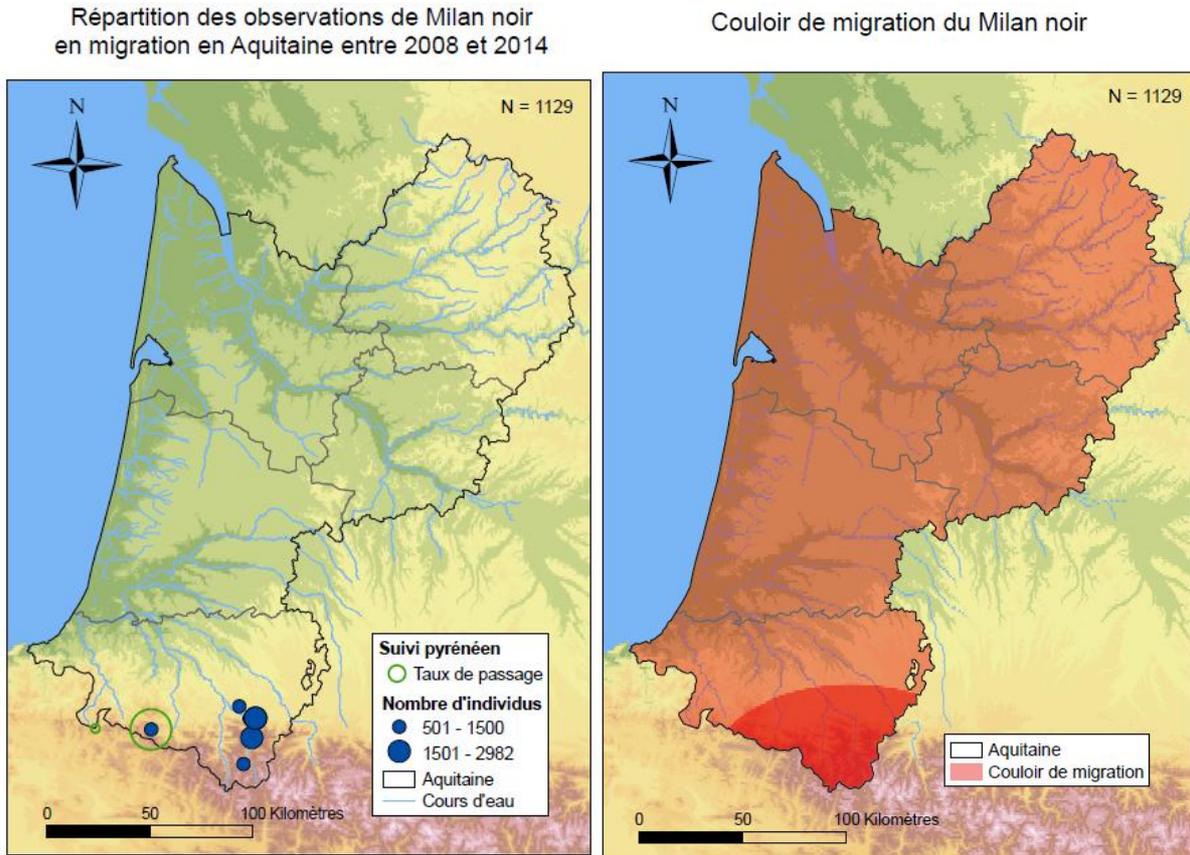


Figure 36 : Répartition des observations de Milan royal les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité du flux. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols pyrénéens de suivis de la migration postnuptiale en Aquitaine. Le diamètre du cercle est proportionnel au nombre moyen d'oiseaux observé sur le site.

6.3.4.5. Milan noir

D'après les données de Faune-Aquitaine, le Milan noir migrerait de manière homogène sur les quatre départements les plus au nord de l'Aquitaine (Figure 37). Aucune observation avec un grand effectif n'a été réalisée sur ces départements. Cependant, dans la partie sud-est des Pyrénées-Atlantiques plusieurs grands groupes ont été observés (jusqu'à plus de 2500 individus observés) en quelques heures dans la commune de Sainte-Colome. En effet, la vallée d'Ossau va concentrer chaque année des milliers de Milan noir.

Les données de Migration confirment ce front de migration oriental. Plus on s'éloigne vers l'ouest, plus les sites de suivi pyrénéens ont des comptages faibles de Milans noirs (moyennes des comptages entre 2008 et 2014 : 32000 à Organbidexka et 2400 à Lindux).



6.3.5. Groupe 3 : Couloir de migration uniforme

Pour les espèces qui ont été classées dans ce groupe, contrairement à celles des deux groupes précédents, aucun couloir de migration préférentiel n'a été détecté à l'échelle de l'Aquitaine. Elles vont donc migrer de manière uniforme sur tout le territoire (Figure 38). Il s'agit de l'Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*), de la Cigogne noire (*Ciconia nigra*), du Balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*), du Pouillot fitis (*Phylloscopus trochilus*), du Gobemouche noir (*Ficedula hypoleuca*), de l'Hirondelle rustique (*Hirundo rustica*) et de la Bondrée apivore (*Pernis apivorus*) (annexe 11.1.5).

Les observations de grands vols de ces espèces sont réparties sur tout le territoire et les fortes densités d'observations sont localisées dans des zones avec une forte pression d'observation. Certaines de ces espèces, comme le Balbuzard pêcheur, ne se retrouvent pas concentrées dans des goulots d'étranglement constitués par les détroits ou des cols de montagne car ils peuvent survoler ces obstacles grâce à leur puissant vol battu. Ces espèces vont donc passer sur un plus large front.

Répartition des observations de Gobemouche noir en Aquitaine entre 2008 et 2014

Couloir de migration uniforme

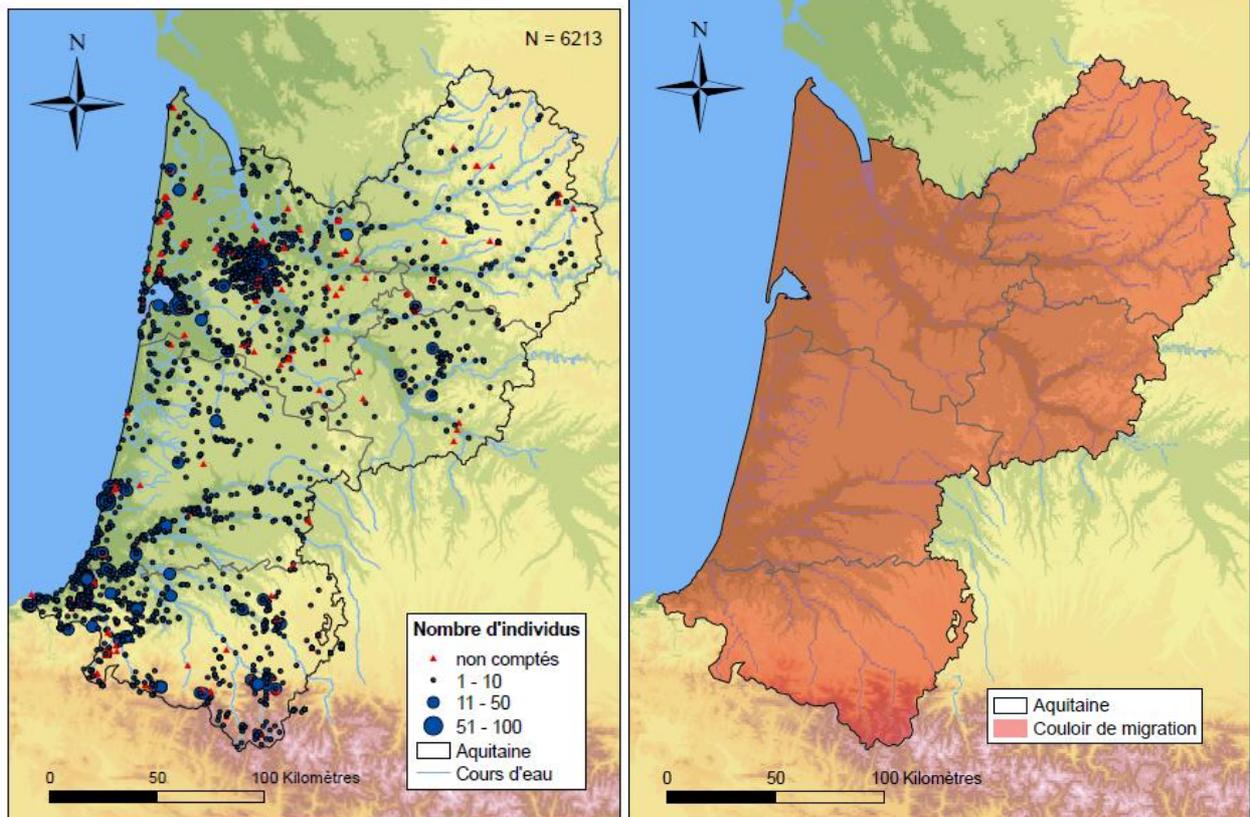


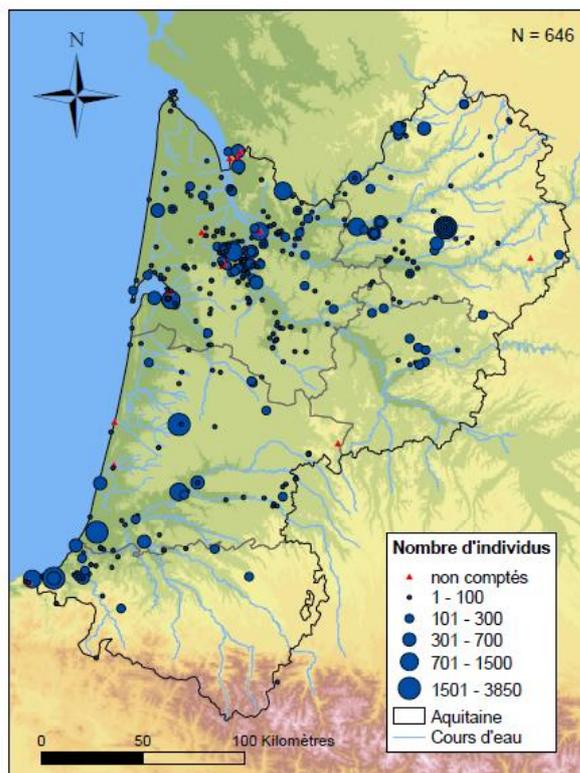
Figure 38 : Répartition des observations de Gobemouche noir les plus importantes et son couloir de migration. Les données non comptées correspondent à des observations de l'espèce sans indication d'abondance.

6.3.6. Groupe 4 : Couloir de migration de certains Passereaux, Limicoles et Anatidés

Cette dernière classe regroupe le Vanneau huppé (*Vanellus vanellus*), le Chevalier sylvain (*Tringa glareola*), la Sarcelle d'été (*Anas querquedula*), l'Alouette des champs (*Alauda arvensis*), le Pinson des arbres (*Fringilla coelebs*) et le Pipit farlouse (*Anthus pratensis*) (annexe 11.1.6). Ces espèces migrent de manière plus ou moins uniforme sur la moitié nord de l'Aquitaine mais leur passage migratoire se rétrécit au sud (Figure 39). En effet ces espèces vont éviter le passage par les Pyrénées et se concentrent sur la côte et sur certains cols basques. Alerstam (2001) explique qu'il existe de nombreux cas où les oiseaux s'abstiennent de franchir un obstacle, en dépit de leur capacité à le franchir, et préfèrent le contourner et le traverser à un endroit où son étendue est réduite pour limiter la dépense de leurs réserves énergétiques, même si cela suppose un détour par rapport à la destination de leur migration. Une autre explication serait que les Pyrénées constituent un milieu moins favorable que les zones adjacentes pour le déplacement de certaines espèces. Par exemple, le Vanneau huppé qui préfère les milieux ouverts au relief peu accentué va se déplacer en suivant les plaines cultivées qui sont plus nombreuses vers la côte. Les données de Migration ainsi que la répartition des observations renseignées sur Faune-Aquitaine indiquent que le passage de ces espèces est beaucoup plus important par Lizarieta, qui se situe à une vingtaine de kilomètres de la côte, que par le col d'Organbidexka. Par exemple, depuis 2008, le plus gros comptage de Vanneaux huppés à Organbidexka a été de 92 individus en 2009 ; alors qu'à Lizarieta des vols de plus d'un millier d'individus ont été observés. Chez les Passereaux cette différence existe également mais elle est moins marquée. Ils migrent cependant avec une intensité notable sur toute la côte Aquitaine. Dans le cas du Pipit farlouse par exemple, des milliers d'individus ont été observés sur la côte d'après Faune-Aquitaine et, sur Migration, les mêmes ordres de grandeur ont été retrouvés pendant le suivi prénuptial de la Pointe de Grave en 2015. Ces espèces n'ont pas été regroupées avec celles qui ont un couloir de migration côtier car des effectifs non négligeables ont été localisés à plus de 100 km de la côte surtout dans la partie nord de l'Aquitaine.

Une légère variation, due à la configuration topographique, a été remarquée entre la migration prénuptiale et la postnuptiale de ces espèces. En automne, les migrateurs vont voler sur toute la largeur de l'Aquitaine jusqu'à rencontrer la chaîne de Pyrénées qu'ils vont contourner par la côte basque ou franchir certains cols basques. Au printemps, comme l'arrivée de ces espèces en Aquitaine se fait par la côte basque où elles sont déjà canalisées, elles vont remonter par un couloir plus étroit et seront rarement observées dans la partie sud-est de la région.

Répartition des observations de Vanneau huppé en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Couloir de migration de certains Passereaux, Limicoles et Anatidés

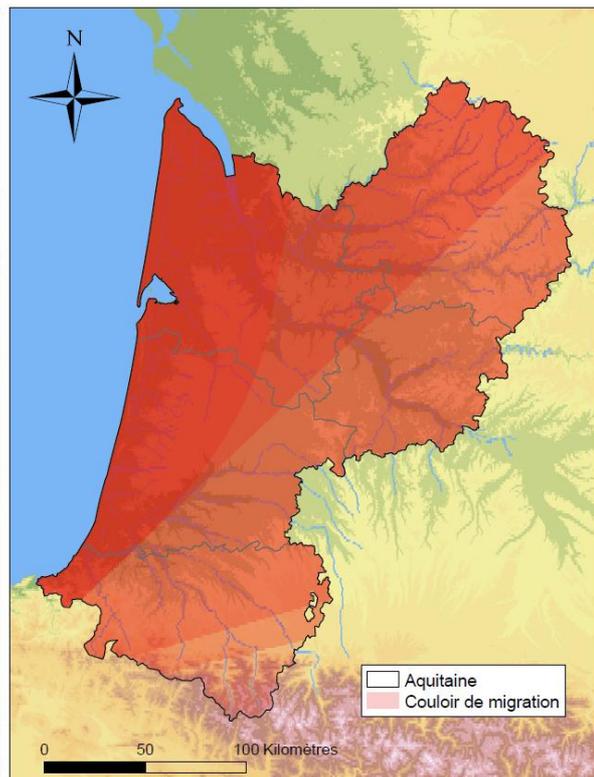


Figure 39 : Répartition des observations du Vanneau huppé et couloir de migration. Les intensités de GE 79 couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité du flux.

6.4. Phénologie

La phénologie des migrations prénuptiales et postnuptiales des 25 espèces étudiées a été synthétisée sous la forme d'une figure (Figure 40). Les dates exactes peuvent être retrouvées en annexe 11.1.7. En étudiant la phénologie des deux migrations réalisées par ces espèces, il a été remarqué que la grande majorité des espèces étaient plus observées en automne qu'au printemps. Cela est probablement dû à une migration prénuptiale qui est plus diffuse en Aquitaine et à la présence de jeunes en automne qui augmentent le nombre d'individus. La phénologie de la migration du Labbe parasite et du Puffin des Baléares n'ont pas pu être étudiées au printemps car ils migrent probablement plus au large et leur passage n'est pas détecté. La durée des migrations va beaucoup varier entre espèces. Par exemple pour la migration postnuptiale, les Milans noirs vont traverser l'Aquitaine approximativement en deux mois, alors que les Cigognes blanches nécessiteront plus de quatre mois pour le faire. La période de migration change également en fonction des espèces. La Grue cendrée migre majoritairement en novembre pour la migration postnuptiale tandis que le Milan noir l'aura fait trois mois plus tôt. La durée des suivis migratoires et la période à laquelle ils sont réalisés peut donc influencer fortement les résultats.

En Aquitaine, globalement, la migration prénuptiale se déroule entre les mois de février et mai tandis que la migration postnuptiale s'étend d'août à novembre. Cette analyse sur la phénologie permettra de cibler avec précision les dates optimales pour le suivi des espèces migratrices en Aquitaine.

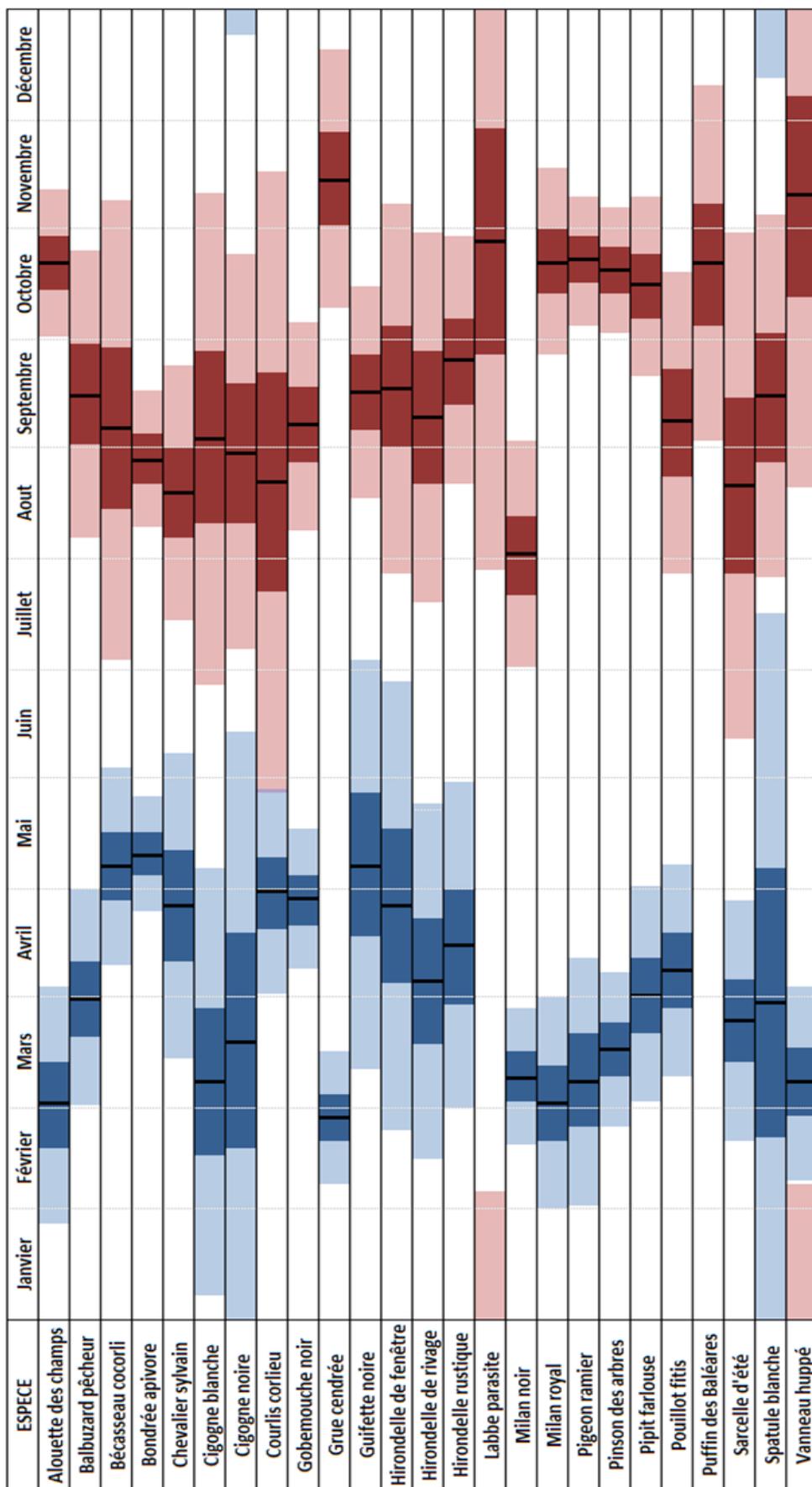


Figure 40 : Phénologie de la migration prénuptiale (en bleue) et postnuptiale (en rouge) des espèces étudiées. En clair : intervalle qui contient 95 % de la migration, en foncé : intervalle qui contient 50 % et en noir : la médiane.

6.5. Conclusion

Les données de sciences participatives collectées via les portails internet Faune-Aquitaine et Migration ont permis d'analyser les couloirs de migrations empruntés par 25 espèces migratrices en Aquitaine. Ces espèces ont été sélectionnées à la fois en fonction de leur sensibilité avérée à l'éolien et du nombre de données présent avec un comportement migratoire. D'autres espèces sont impactées mais leur comportement migratoire les rend plus difficiles à détecter. C'est le cas tout particulièrement des espèces migrant de nuit qui sont très peu renseignées en migration dans la base de données. L'étude préalable de la pression d'observation sur le territoire permet de prendre en compte l'effort d'échantillonnage hétérogène, notamment le grand nombre de données sur les endroits les plus peuplés. La couverture de l'échantillonnage est cependant importante avec 80 % des mailles de 4 km² qui contiennent des observations. En fonction du type de vol, de l'influence de la topographie, des dépenses énergétiques, du lieu de départ et de destination entre autres, les oiseaux vont emprunter différentes routes pour réaliser leurs migrations. Après avoir analysé au cas par cas les déplacements des différentes espèces, quatre principaux couloirs de migration ont été identifiés : des couloirs marins ou côtiers, des couloirs étroits à l'intérieur de l'Aquitaine, des couloirs uniformes s'étendant sur toute l'Aquitaine puis des couloirs de migration qui se rétrécissent au niveau des Pyrénées (Figure 41).

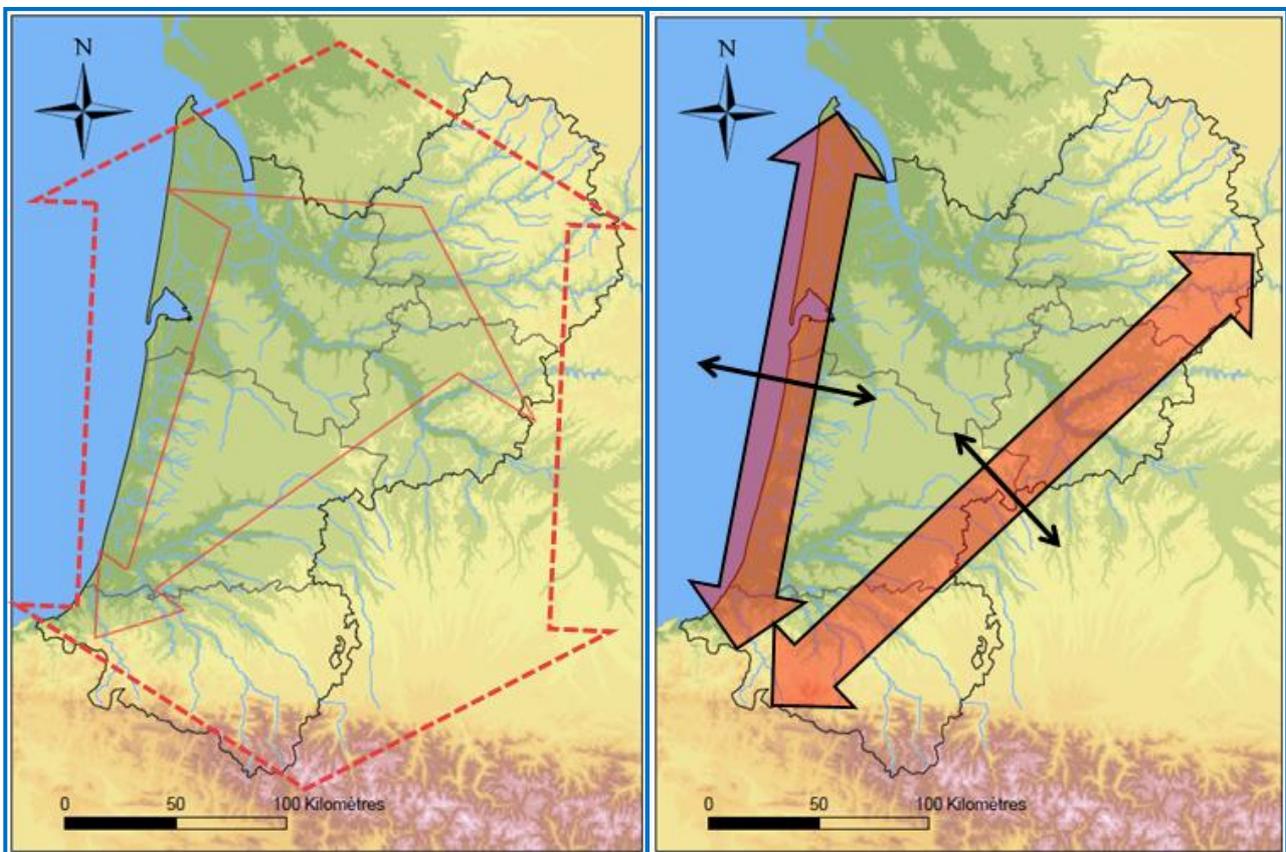


Figure 41 : Principales routes de migration utilisées par l'avifaune migratrice pour traverser l'Aquitaine. À gauche : couloir de migration uniforme (en pointillés) et couloir de migration des espèces qui contournent les Pyrénées (en trait plein). À droite : couloir de migration marin/côtier et couloir de migration des espèces qui traversent l'Aquitaine selon un axe nord-est/sud-ouest.

La première route peut être qualifiée de côtière. Elle serait utilisée par des espèces comme certains Passereaux (Hirondelle de rivage), les Limicoles (Courlis corlieu, Bécasseau cocorli), les échassiers (Spatule blanche) et les oiseaux d'eau (Puffin des Baléares, Labbe parasite, Guifette noire). Ces espèces vont migrer parallèlement au trait côtier que ce soit du côté terrestre ou marin. Ce couloir pourrait s'expliquer par son utilisation comme repère visuel ou par l'effet de *leading lines* qui va concentrer des oiseaux sur le trait côtier, notamment à la Pointe de Grave et au Cap Ferret. En effet, la configuration géographique de ces deux sites, avec la Pointe de Grave située à l'embouchure de l'estuaire de la Gironde et le Cap Ferret qui ferme partiellement le bassin d'Arcachon, a un effet entonnoir qui concentre les oiseaux qui migrent le long de la côte et ceux qui, plus à l'intérieur, hésitent à traverser l'estuaire girondin ou le bassin d'Arcachon (ORMO 2009, ORMO 2015).

La deuxième route de migration identifiée traverse l'Aquitaine en diagonale selon un axe nord-est/sud-ouest qui est plus ou moins décalé vers la côte ou vers l'intérieur en fonction des espèces. Des rapaces comme le Milan royal et le Milan noir, ainsi que d'autres espèces comme le Pigeon ramier et la Grue cendrée vont se déplacer selon cet axe. Ce chemin paraît être le plus court pour joindre l'Europe de l'Ouest et l'Afrique si on prend en compte les éléments géographiques qui les séparent (désert du Sahara, Massif central et les Alpes). Quand ces migrateurs arrivent face aux Pyrénées ils vont se concentrer dans des cols où le passage est moins consommateur en énergie et forme des *leading lines*. C'est pourquoi le col de Lizarrieta, la redoute de Lindux et le col d'Organbidexka sont des sites importants pour la collecte de données sur la migration.

En plus de ces deux routes principales qui ont été identifiées l'Aquitaine, dans sa totalité, fait partie du front de migration de plusieurs espèces comme l'Hirondelle de fenêtre, le Pouillot fitis, le Gobemouche noir, l'Hirondelle rustique ou encore la Cigogne noire, la Bondrée apivore et le Balbuzard pêcheur. En effet certaines espèces migrent sur l'ensemble du continent européen ; on peut par exemple citer le Chevalier guignette (Boere & Dodman 2010). D'autres espèces comme le Vanneau huppée, le Chevalier sylvain, la Sarcelle d'été et certains Passereaux (Alouette des champs, Pinson des arbres, Pipit farlouse) vont également avoir un large front de migration mais qui se rétrécit, au sud de l'Aquitaine. C'est le cas en particulier au printemps où elles vont préférer contourner les zones les plus hautes des Pyrénées.

Pour finir, l'analyse sur la phénologie de la migration de ces espèces a permis de fixer sur le temps les périodes adéquates pour leur suivi.

7. Analyse de la migration grâce aux données radar

7.1. Matériel et méthodes

7.1.1. Principe et utilisations du Radar

Un RADAR (de l'anglais *RADio Detecting And Ranging*) est un dispositif composé d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur envoie des ondes électromagnétiques qui vont être réfléchies si elles rencontrent une cible. Dans ce cas, le récepteur détecte le retour de ces mêmes ondes qui sont réfléchies par l'objet. Les ondes électromagnétiques se déplacent dans l'air à 300 000 km/s et par conséquent l'émission et la réception des ondes par le radar se fait quasi-instantanément.

Le radar peut être utilisé dans de nombreux contextes. Il est largement utilisé dans l'armée, en météorologie ou pour la surveillance du trafic routier et aérien mais son emploi s'est également élargi à l'ornithologie. En effet, depuis le début de la Seconde Guerre mondiale, on se rend compte que les grands oiseaux marins et les groupes de plus petits oiseaux peuvent être détectés par radar (Schaeffer 1968). Les ornithologues s'intéressent alors à cet outil, afin de suivre les migrations.

7.1.2. Radars utilisés

Différents types de radar sont utilisés dans les études ornithologiques en fonction des objectifs. Par exemple, le radar météorologique doppler (Gasteren *et al.* 2008), le radar à faisceau étroit (Erni 2002) et le radar marin (Mabee, Plissner & Cooper 2005) ont été employés dans des études sur la migration des oiseaux. Cependant, les radars marins restent les plus adaptés et utilisés dans les études des mouvements d'oiseaux (Kunz *et al.* 2007) de par leur coût abordable, la facilité à les acquérir, leur mécanique bien connue et le peu de modifications et d'entretien qu'ils nécessitent (Ruché & Denis 2008).

Dans cette étude la technologie Radar utilisée est composée de deux radars marins Furuno ARPA FAR-2117 de bande X avec une puissance de sortie de 12 kW (Figure 42). Les radars à bandes X sont efficaces pour la détection de petites cibles à de faibles distances et ils sont plus compacts que les radars à bande S qui, eux, sont surtout utilisés dans les projets offshores (Ruché & Denis 2008). Ces deux radars Furuno ont été positionnés sur un véhicule. Un des radars a été placé de manière horizontale et l'autre de manière verticale pour obtenir simultanément des données sur ces deux plans. En plus des deux radars, le véhicule embarque les équipements informatiques d'acquisition et de visionnage des données Radar. Les logiciels Radarsample et Winhorizon (Russell Technologies) sont utilisés pour vérifier que les radars fonctionnent, qu'ils sont bien paramétrés et pour enregistrer les signaux détectés en créant des fichiers images recueillis sur un disque dur externe. Les appareils électriques sont alimentés par un générateur.



Figure 42 : Dispositif radar en fonctionnement (à droite) © Arzak et vue de l'équipement intérieur (à gauche) © Filippi-Codaccioni.

7.1.3. Emplacement du radar et périodes d'enregistrement

Le Radar a été positionné sur trois sites pendant la migration prénuptiale de 2015 (Figure 43) :

- Escource (40) : du 01/04/2015 au 05/04/2015 ;
- Saint-Laurent-Médoc (33) : du 05/04/2015 au 11/04/2015 ;
- Pointe de Grave au Verdon-sur-Mer (33) : du 18/05/2015 au 29/05/2015.

La migration prénuptiale à la Pointe de Grave est suivie chaque année et les deux autres sites (Escource et Saint-Laurent-Médoc) font partie d'une autre étude pour laquelle les données Radar ont pu également être utilisées. Lors de l'installation du véhicule, le radar horizontal est toujours positionné face au nord de façon à ce que le radar vertical coupe l'axe nord-sud à la perpendiculaire. Le radar horizontal va balayer à 360°, parallèlement au sol, alors que le radar vertical a été réglé pour balayer entre 90° et 260°, perpendiculairement au sol.

Pendant que les radars fonctionnent un spotteur (nom usuel donné aux ornithologues chargés des suivis migratoires) note également tous les oiseaux qu'il aperçoit avec l'heure d'observation tous les jours de 8h00 à 12h00.

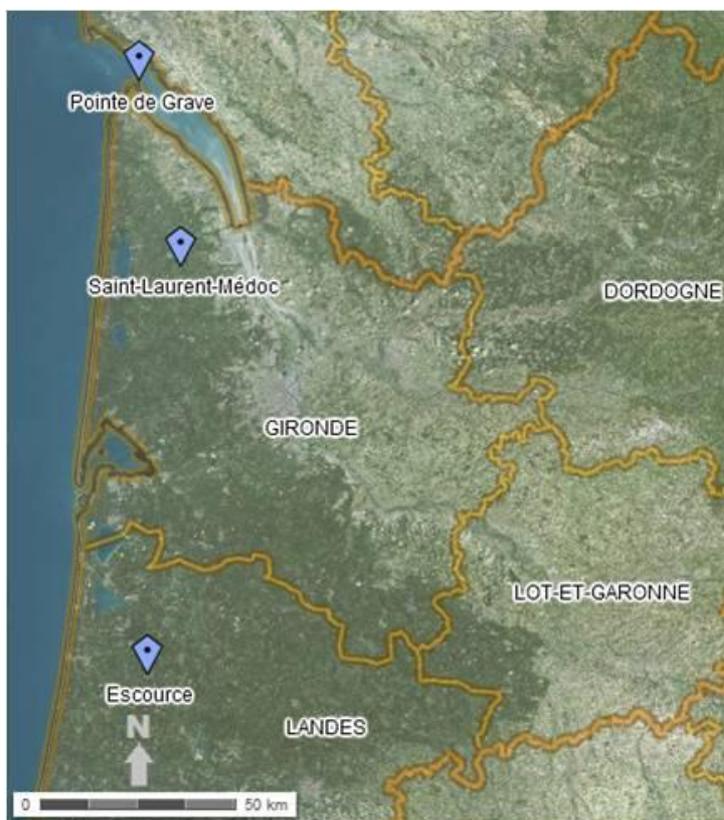


Figure 43 : Sites d'enregistrements Radar.

7.1.4. Terminologie et traitement des données

Une fois que les radars ont collecté des données, un traitement est nécessaire avant de les analyser. Ce traitement est constitué de trois étapes :

- Extraction des cibles : conversion des fichiers du format *.rec* vers le format *.bm* sur le logiciel radR (Taylor *et al.* 2010) ;
- Formation de trajectoires à partir des cibles : conversion des fichiers *.bm* en fichiers *.csv* sur radR ;
- Trie des cibles : analyses sur Excel.

Une méthodologie expliquant ces étapes a déjà été rédigée (Ruché 2014). Avant de les décrire, la terminologie concernant le Radar est brièvement définie ci-dessous (Figure 44).

7.1.5. Terminologie

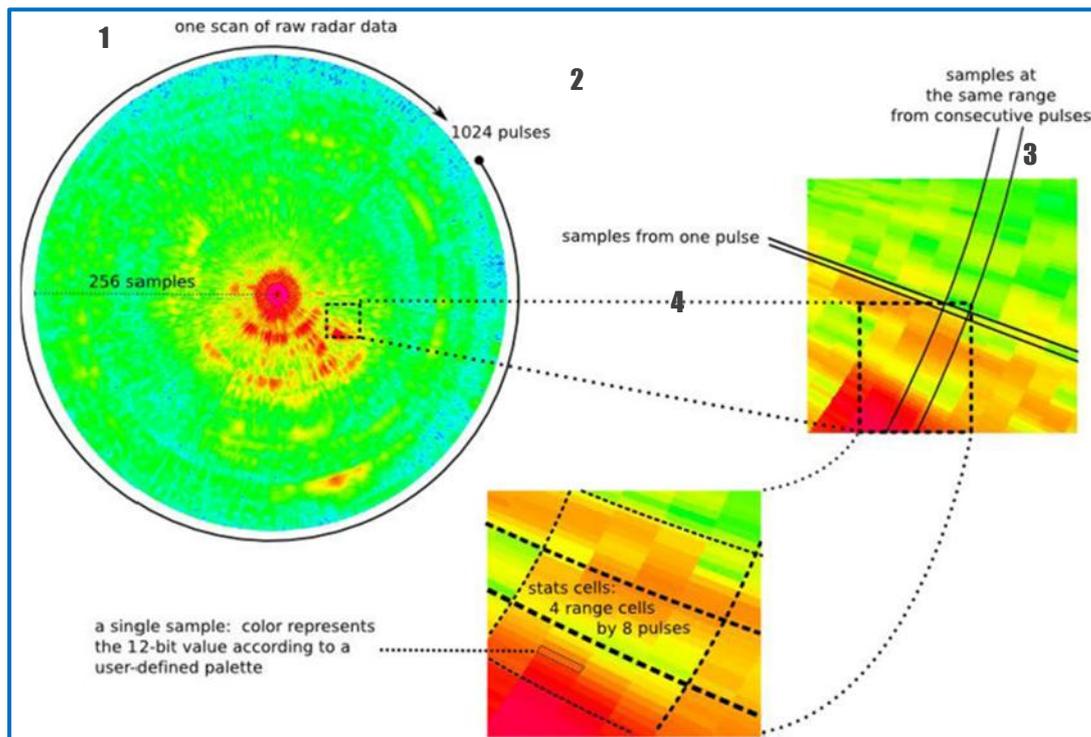


Figure 44: Terminologie utilisée dans radR d'après Taylor et al.

Voici les termes utilisés dans radR pour définir les composants des signaux reçus :

1. Un *scan* est une matrice d'échantillons obtenue à partir d'une rotation de l'antenne, c'est-à-dire toutes les 2,5 secondes.
2. Il est divisé en impulsions ou *pulses* qui partent du radar et donc du centre du *scan*.
3. Une impulsion est divisée en plusieurs rangées.
4. L'intersection entre ces rangées et les impulsions forment des cellules *stats* qui constituent l'unité utilisée pour extraire les cibles ou *blips*. La taille des cellules *stats* est définie par le nombre d'impulsions et de rangées.

7.1.6. Traitement des données

7.1.6.1. Extraction des cibles

Les données de base issues du radar sont des fichiers *.rec*. Ils sont constitués de *scans*. L'objectif de la première étape est d'extraire les cibles détectées par le radar à partir des signaux reçus. Pour cela, le plugin « player » lit les fichiers *.rec* et les transforme en fichiers *.bm* appelés blip movie, qui comme son nom l'indique contiendront uniquement des cibles. Pour réaliser cette extraction plusieurs paramètres sont programmés comme l'intensité des *blips* et la taille des cellules *stats* (annexe 11.1.8). *radR* commence par calculer la moyenne et la déviation des signaux reçus dans les cellules *stats* après avoir été réfléchis par le paysage. Cela constituera un arrière-plan. Les données qui ne sont pas des cibles biologiques sont qualifiées de bruit de fond. Elles pourront être supprimées en traitant plusieurs *scans* consécutifs. La plupart du bruit de fond n'est pas mobile et il peut être enlevé par différentes méthodes appelées techniques de soustraction de fond. Avant de lancer le plugin *player* les paramètres de l'antenne sont également renseignés (annexe 11.1.8).

7.1.6.2. Définition des trajectoires à partir des cibles

Une fois que les fichiers *.bm* dans lesquels se trouvent les cibles détectées par le radar ont été créés, la deuxième étape consiste à tracer des trajectoires (*tracks*). Plusieurs paramètres sont ici aussi établis, comme par exemple la superficie minimale et maximale des cibles et le nombre de cibles à partir duquel on peut tracer un *track* (annexe 11.1.8). Le fichier de sortie est un fichier *.csv* qui est ensuite enregistré sous format *.xlsx*.

7.1.6.3. Tri des cibles

À la fin de la deuxième étape un tableau Excel est obtenu avec l'ensemble des *blips*. À partir de ces cibles la date, l'heure en UTC, la distance au radar, la superficie, l'intensité du signal, la distance entre *blips*, les coordonnées et la direction sont calculées pour chaque trajectoire.

Puis ces données sont à nouveau filtrées (annexe 11.1.8). Uniquement les trajectoires situées à une distance inférieure ou égale à 1,5 km du radar sont conservées. Cette distance est utilisée dans la majorité des études Radar (Mabee, Plissner & Cooper 2005; Mabee *et al.* 2006; Cabrera-Cruz, Mabee & Patraca 2013) car elle permet de garder une probabilité de détection relativement homogène pour tous les oiseaux, quel que soit leur taille et direction de vol (Filippi-Codaccioni 2014). Pour éliminer les insectes captés par les radars, les cibles volant à une vitesse inférieure à 20 km/h (5,5 m/s) ont été supprimées car la plupart d'entre eux volent à des vitesses inférieures à 5 m/s (Larkin 1991). Cependant, les chauves-souris ne vont pas pouvoir être discriminées car leurs vitesses de vol se superposent à celles des oiseaux (Hedenström, Johansson & Spedding 2009). Les périodes qui contiennent des précipitations, quelque soient leur forme (pluie, neige, grêle) sont supprimées, car elles vont être captées par les radars et peuvent être considérées comme des cibles biologiques à cause de leur mobilité.

7.1.6.1. Projection des données

En plus du traitement de base prévu, une analyse spatiale supplémentaire s'est révélée être nécessaire pour éliminer les cibles qui ont été créées à partir de bruit de fond mobile. Ces cibles vont former des amas de données qui sont repérables lorsqu'elles sont projetées (Figure 45). Cette succession d'étapes rend le traitement des données Radar assez dense et explique pourquoi les radars ne peuvent pas être laissés en fonctionnement pendant toute la période de migration. En effet, pour traiter les données enregistrées pendant une semaine, environ 7 jours de travail sont nécessaires.

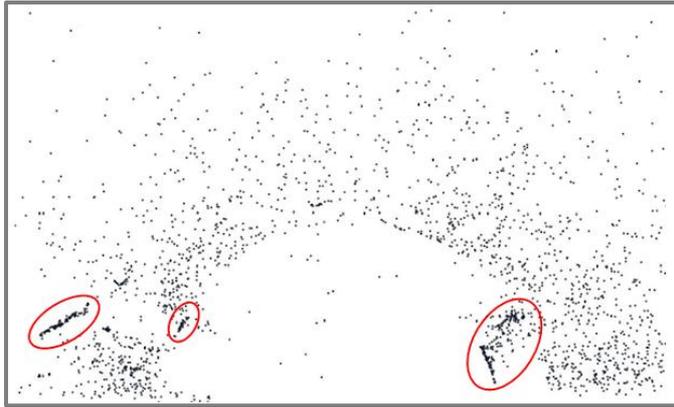


Figure 45 : Projection des données obtenues à Escource sur le radar vertical après le traitement. En rouge : cibles créées à partir du bruit de fond.

7.1.7. Analyses

7.1.7.1. Hauteur des vols

Altitudes utilisées

La hauteur des vols a été étudiée en calculant le pourcentage de cibles détectées par tranches d'altitude de 200 m sur les trois sites échantillonnés. La première tranche (0-200 m) correspond à la hauteur des éoliennes et donc à la hauteur à laquelle l'avifaune peut être soumise à des collisions. L'altitude au-dessus du sol a été utilisée et non pas l'altitude par rapport au niveau de la mer. Le pourcentage de cibles a été corrigé par la surface échantillonnée. Comme le radar envoie des signaux sous forme de demi-cercle, les différentes altitudes ne sont pas représentées de la même manière (Figure 46). Les zones d'ombres et les zones qui contenaient du bruit de fond et qui ont été supprimées ont été prises en compte. De plus, les radars ont un rayon minimal de détection d'environ 200 m en-dessous duquel ils ne captent aucune cible car l'intensité du signal est trop forte. Cette correction a cependant été réalisée sur une surface et donc en deux dimensions, alors que le faisceau envoyé par le radar est un volume, car l'espace aérien échantillonné par le radar forme une structure complexe, dont les dimensions précises sont inconnues.

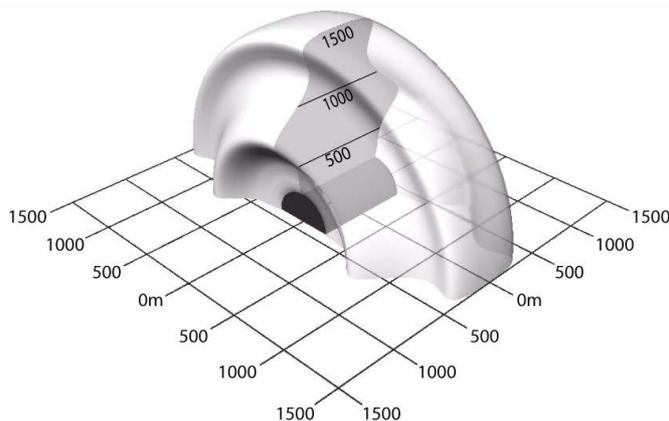


Figure 46 : Espace aérien échantillonné par un radar marin en mode vertical d'après Mabee et al.

Influence du vent et variations jour/nuit

Un premier modèle a été construit avec la hauteur des vols comme variable à expliquer, et le vent (direction et force) et les variations jour/nuit comme variables explicatives sur le logiciel de statistiques R. Puis, grâce à une analyse de déviance utilisant le test du χ^2 , ce modèle a été testé pour connaître les variables ayant une influence sur l'altitude de migration. Les données de la Pointe de Grave n'ont pas pu être testées car l'information météorologique disponible pour ce site se limite aux journées. Une fois cette analyse préliminaire réalisée l'impact du vent et des variations jour/nuit a été étudiée indépendamment.

Pour analyser l'effet du vent sur les hauteurs de vols, les altitudes de vols utilisées ont été comparées avec différents vents avec le test non paramétrique de Kruskal-Wallis et le test post hoc Nemenyi (package PMCMR). Afin d'avoir des échantillons conséquents, les directions nord (N), nord-ouest (NO) et nord-est (NE) ont été regroupées sous une même direction : N. De même pour les directions sud (S), sud-ouest (SO) et sud-est (SE) qui ont été regroupées sous la direction : S. Un vent du nord correspond à un vent qui va du nord vers le sud. Les directions de vents est et ouest n'ont pas été prises en compte car leur effet sur la hauteur des vols va être très dépendant des sites et uniquement les catégories avec plus de 100 échantillons ont été analysées. Le Radar ayant été utilisé pendant la migration prénuptiale, un vent N suppose un vent de face pour les oiseaux migrateurs alors qu'un vent S correspond à un vent de queue. Les vents forts et faibles ont été distingués pour tester également l'effet de la vitesse du vent. Un vent fort a été défini comme un vent ayant une vitesse supérieure ou égale à 20 km/h, ce qui correspond à un vent de force 4 ou supérieur dans l'échelle de Beaufort. Un « F » après la direction est utilisé pour indiquer qu'il s'agit d'un vent fort. Pour Saint-Laurent-Médoc et Escource les données météorologiques des stations de Meteociel (www.meteociel.fr) de Saint-Ciers-sur-Gironde et de Biscarosse ont été respectivement utilisées. Ces stations se trouvent à une trentaine de kilomètres des sites étudiés et fournissent la direction et la vitesse de vent par heures. Comme la Pointe de Grave se situe dans des conditions particulières, les données météorologiques recueillies par les spotteurs ont été utilisées.

La hauteur des vols diurnes et nocturnes a été comparée avec un test non paramétrique de Kruskal-Wallis pour chaque site. En parallèle, les vents dominants ont été indiqués car ils peuvent brouiller les variations jour/nuit. La nuit a été définie comme la période entre les 45 minutes qui suivent le coucher du soleil et les 45 minutes qui précèdent le lever du soleil comme dans l'étude réalisée à Lindux et à Lizarieta par Ruché (2013).

7.1.7.2. Intensité des vols

Influence du vent

Le pourcentage de chaque type de vent (direction et force) pendant que le Radar fonctionnait a été comparé au pourcentage de cibles enregistrées pour chaque catégorie de vent. Si le vent n'a pas d'influence sur l'intensité du flux, ces pourcentages seraient semblables, alors que si le pourcentage de cibles ressort pour un type de vent particulier, cela signifierait que l'avifaune sélectionne ce vent pour voler pendant la migration prénuptiale. Le taux de passage a été calculé pour les deux radars.

Variations jour / nuit

Afin de comparer l'activité diurne et nocturne, les pourcentages de vols jour/nuit mesurés par le radar vertical ont été comparés sur les trois sites. Pour ne pas avoir de biais à cause de la longueur des journées, le nombre de cibles a été corrigé par le nombre d'heures échantillonnées le jour et la nuit.

7.1.8. Détection

Pour finir, le nombre de cibles détectées par les deux radars (vertical et horizontal), le nombre d'observations réalisées et le nombre d'individus notés par le spotteur sont indiqués sur les trois sites afin de définir les capacités et les faiblesses de chaque méthode. La relation entre les deux radars, ainsi que la relation entre le radar horizontal et l'observateur pendant les journées sont également étudiées.

7.2. Résultats et discussion

7.2.1. Hauteur des vols

7.2.1.1. Altitudes utilisées

Les hauteurs de vol des cibles détectées par le radar varient entre 14 et 1 381 m d'altitude, alors que les spotteurs affirment avoir observés des oiseaux en train de voler à une altitude inférieure à celles-là. Ceci révèle une faiblesse du radar vertical qui ne détecte pas les oiseaux se déplaçant à une très

faible altitude. Par contre, il va détecter des individus à plus de 1 000 m d'altitude au-dessus du niveau du sol qui sont plus difficilement repérés par les spotteurs.

Nous remarquons que plus la hauteur minimale à laquelle le radar a capté des cibles est haute, plus le pourcentage de cibles détectées entre 0 et 200 m est faible (Tableau 12). Même si le nombre de cibles a été corrigé par la surface échantillonnée, le flux volant entre 0 et 50 m serait donc sous-estimé d'autant plus que la hauteur minimale détectée est importante.

Pour l'ensemble des sites, la première tranche (0-200 m), qui correspond à la plus dangereuse pour la collision de l'avifaune, va contenir le plus grand pourcentage de cibles. Elle contient au moins 30 % des cibles, mais cela peut aller jusqu'à plus de 70 %. Aux Etats-Unis, une étude Radar a également révélé cet important passage à de basses altitudes avec une altitude moyenne de 125 m (Harmata *et al.* 2009). En Suisse, 50 % des migrateurs diurnes volaient à moins de 400 m au-dessus du radar pendant la migration pré-nuptiale (Bruderer 1999).

Tableau 12 : Pourcentage de cibles détectées en fonction de l'altitude

ALTITUDE (m)	ESCOURCE (%)	SAINT-LAURENT-MÉDOC (%)	POINTE DE GRAVE (%)
0-200	31	57	74
200-400	22	14	10
400-600	23	14	8
600-800	17	8	4
800-1000	6	4	2
1000-1200	1	2	1
1200-1500	0	1	1
Min ; Moy ; Max	42 ; 489 ; 1381	21 ; 362 ; 1378	14 ; 271 ; 1376

4.1.1. Influence du vent et des variations jour/nuit

Dans l'objectif de repérer les paramètres ayant une influence sur la hauteur des vols nous avons réalisé un test préliminaire (Tableau 13). Le vent est le facteur qui affecte le plus la hauteur des vols. Les variations jour/nuit jouent sur l'altitude des migrateurs seulement à Saint-Laurent-Médoc où on trouve également une interaction entre le vent et les variations jour/nuit. Cette interaction peut s'expliquer par la réponse des migrateurs aux différents types de vents qui va différer entre le jour et la nuit car les espèces ne vont pas être les mêmes.

Tableau 13 : Influence du vent et des variations jour/nuit sur la hauteur des vols. ns (non significatif) : $p \geq 0,05$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

PARAMÈTRE	ESCOURCE	SAINT-LAURENT-MÉDOC
Vent (direction et force)	***	***
Variation Jour/Nuit	ns	***
Vent : Variation Jour/Nuit	ns	***

D'après ces résultats, les oiseaux volent plus bas avec un fort vent de face qu'avec un vent de face ou de queue qui est faible (Figure 47). Des faibles altitudes de vols lorsqu'il y a un fort vent de face sont souvent observées (Richardson 1978). Près du sol, les oiseaux sont plus protégés du vent et avancent avec plus de facilité. Lorsqu'il y a un vent de queue, qui les amène dans la bonne direction, les migrateurs vont en profiter en volant plus haut (Woltmann & Cimprich 2003). Ils vont ainsi économiser de l'énergie. De même lorsqu'il y a un faible vent de face, il a été montré pour les planeurs qu'ils vont pouvoir gagner de l'altitude et la conserver facilement pour réaliser un déplacement purement gravitationnel (Urcun 2010).

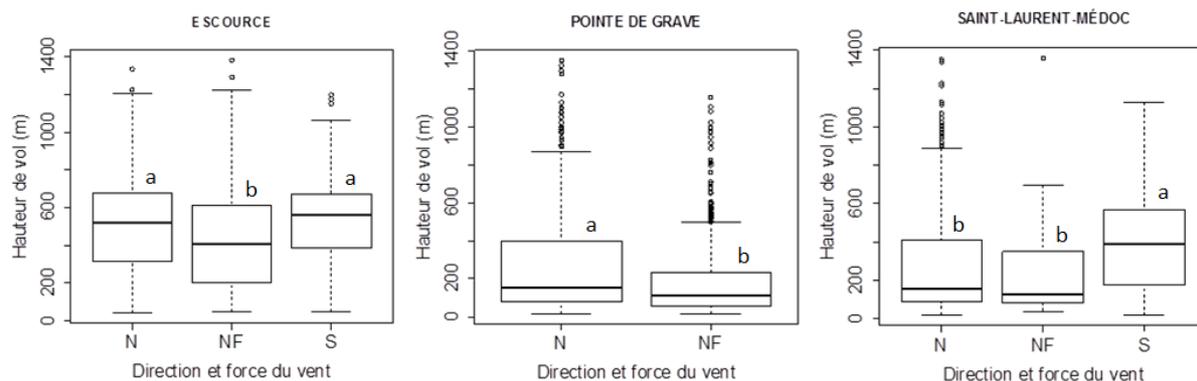


Figure 47 : Hauteur des vols en fonction des directions et forces du vent sur les trois sites étudiés. N : vent du nord, S : vent du sud et NF : vent fort du nord. Des lettres différentes indiquent une différences significative entre les modalités. Pour le site d'Escource N (a) est ainsi différent significativement de NF (b) mais pas de S (a).

Traitée indépendamment de l'effet du vent, la variation entre le jour et la nuit va avoir un effet significatif sur la hauteur des vols à Escource (Figure 48 et Tableau 14). Le vent va agir de la même manière le jour et la nuit avec des altitudes de migration plus faibles pour des forts vents de face. À Saint-Laurent-Médoc, ces mêmes résultats sont obtenus la nuit. Le jour, en revanche, les migrateurs ont réagi de manière différente au vent et des altitudes de vols plus hautes ont été mesurées. À la Pointe de Grave des altitudes de vols nettement plus élevées ont été observées la nuit. Ce résultat, ressort dans la majorité des études (Bruderer 1999). Richardson (1998) affirme même que la plupart des migrateurs nocturnes volent bien au-dessus de la hauteur des éoliennes.

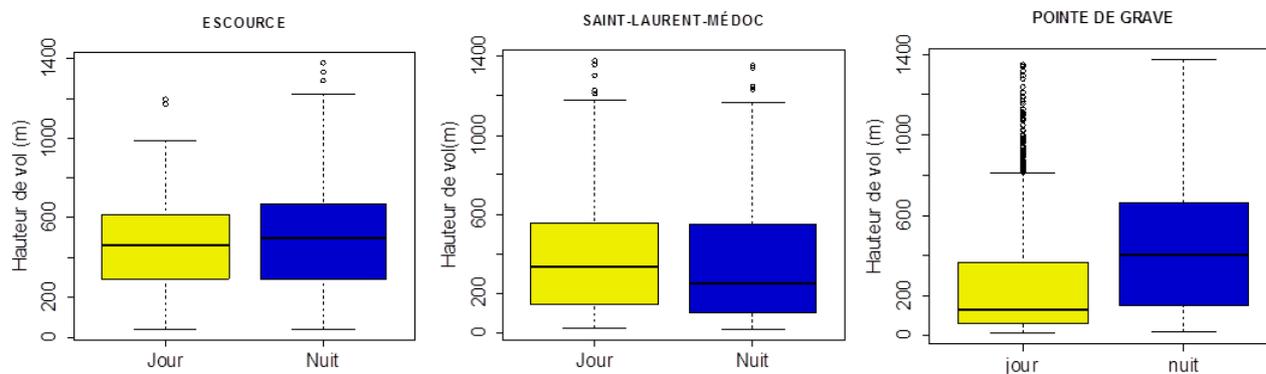


Figure 48 : Variation des hauteurs de vol entre le jour et la nuit sur les trois sites étudiés. La barre horizontale en gras représente la médiane et la boîte est bornée par le 1^{er} et le 3^{ème} quartile.

Tableau 14 : Comparaison des hauteurs de vols des cibles détectées le jour et la nuit. ns (non significatif) : $p \geq 0,05$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$.

SITE	MOYENNE JOUR (m)	MOYENNE NUIT (m)	COMPARAISON	TEST STATISTIQUE
Escource	456	491	Jour < Nuit	*
Saint-Laurent-Médoc	391	346	Jour > Nuit	**
Pointe de Grave	232	444	Jour < Nuit	***

7.3. Intensité du flux

4.1.2. Influence du vent

Le pourcentage de cibles détectées n'excède de manière notable (écart supérieur à 10 %) le pourcentage attendu qu'à la Pointe de Grave pour un vent fort du nord et à Escource pour un vent fort de l'ouest sur le radar vertical, puis à Saint-Laurent-Médoc pour un vent de nord sur le radar horizontal. Toutes les autres comparaisons deux à deux des taux de passage enregistrés par catégories de vent correspondent aux durées des différents vents pendant l'échantillonnage. Le fait qu'un fort vent de face soit surreprésenté peut indiquer que d'autres facteurs comme la distance de migration, la durée des vols ou la variation des vents (Alerstam 1979) peuvent avoir un effet sur l'activité migratoire, ou alors qu'il y a une absence de sélection et qu'il s'agit d'un simple biais dû au hasard. Globalement, dans le cadre de cette étude, un effet du vent n'a pas été détecté sur le timing de migration comme le montre la Figure 49. Kerlinger et Gauthreaux (2009), n'ont pas trouvé de différences significatives du vent sur l'activité migratoire des rapaces mesurée par Radar. Ces résultats correspondent cependant à des mesures globales et il est possible que selon les espèces les comportements soient différents.

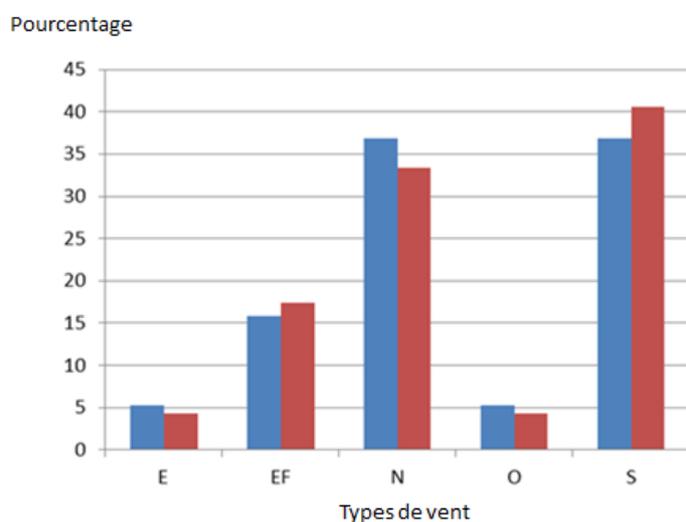


Figure 49 : Comparaison du pourcentage des différents vents pendant l'échantillonnage (pourcentage attendu ; en bleu) avec le pourcentage de cibles détectées par types de vent (pourcentage obtenue ; en rouge) sur le radar horizontal à Escource. Un « F » après la direction du vent indique qu'il s'agit d'un vent fort.

4.1.3. Variations Jour / Nuit

Le pourcentage de cibles contactées le jour et la nuit varie fortement entre les sites étudiés. (Tableau 15). La part de la migration nocturne sur l'activité totale est de 35 % pour la Pointe de Grave et de 93 % pour le site d'Escource. La lecture des enregistrements sur le logiciel radR indique que le pourcentage de migrateurs nocturnes à Escource a été accentué par deux pics nocturnes qui ont eu lieu pendant les nuits du 1 au 2 et du 3 au 4 avril et qui représentent respectivement 53 % et 28 % des cibles qui ont été détectées durant les 5 jours étudiés.

Les études scientifiques révèlent qu'environ deux tiers des oiseaux vont migrer la nuit et qu'un tiers va le faire le jour (Govaere *et al.*). Parmi les migrateurs nocturnes se trouvent la grande majorité des passereaux insectivores, les Cailles et les Rallidés ainsi que la plupart des limicoles. Alors que les passereaux granivores notamment les Fringillidés, les Motacillidés, les hirondelles, la majorité des oiseaux de mer et les planeurs (rapaces, cigognes) qui dépendent des courants d'air ascendants qui dépendent du rayonnement solaire, vont préférer migrer le jour (Alerstam 2009). La migration nocturne est principalement préférée à cause de la nécessité de se nourrir le jour, la structure atmosphérique, la diminution du risque de prédation et l'orientation (Alerstam 2009).

Tableau 15 : Pourcentage de cibles détectées le jour et la nuit sur le radar vertical

SITE	JOUR	NUIT
Escource	7%	93%
Saint-Laurent-Médoc	30%	70%
Pointe de Grave	65%	35%

7.3.1. Détection

Le Tableau 16 n'a pour objectif que de donner l'ordre de grandeur des données obtenues par ces différentes méthodes sur les trois sites. La quantité de cibles détectées ne peut pas être comparée entre les différents sites car elle dépend de la période et de la durée des enregistrements, des conditions météorologiques, de la configuration de la zone d'étude et donc de la capacité de détection du radar. Nous observons cependant que l'ordre de grandeur du nombre de cibles varie entre le radar vertical (entre 1300 et 3200 cibles) et le radar horizontal (entre 300 et 1200 cibles) et que les observations se rapprochent plus aux données du radar horizontal qu'à celles du vertical.

Le radar vertical va capter plus de cibles que l'horizontal. Cela est probablement dû à sa configuration qui lui permet de détecter des cibles jusqu'à 1500 m d'altitude. Il va donc être adapté pour étudier les altitudes des vols. Cependant à des hauteurs de vols inférieures à 50 m il existe une sous-détection des oiseaux.

Tableau 16 : Nombre de cibles et d'observations obtenues sur les trois sites échantillonnés

SITE	RADAR VERTICAL (cibles)	RADAR HORIZONTAL (cibles)	OBSERVATEUR (observations)	OBSERVATEUR (individus)
Escource	3180	387	69	623
Saint-Laurent-Médoc	1373	518	161	2030
Pointe de Grave	2712	1132	1488	7239
Total	7265	2037	1253	9892

Le radar horizontal a enregistré moins de cibles. La plus grande quantité de cibles est détectée dans les sites où l'altitude de vol est basse. Cela, ainsi que son volume d'échantillonnage montre qu'il va mieux détecter les cibles à de faibles hauteurs que le radar vertical. Le radar horizontal va donc être plus adapté pour analyser la quantité d'oiseaux qui sont sensibles à la collision avec les éoliennes car il détecte mieux à ces altitudes-là. Il n'y pas eu de corrélation significative entre le nombre de cibles détectées par heure par les deux radars car ils vont mesurer des variables différentes.

Les observations réalisées par le spotteur se rapprochent du nombre de cibles détecté par le radar horizontal. Elles vont cependant être limitées aux journées. La distance de détection par rapport au radar est plus faible pour la majorité des espèces mais peut être plus grande dans certains cas (vol de Goéland brun en mer par exemple). L'observateur, contrairement au radar, va pouvoir distinguer le nombre d'individus ainsi que les espèces détectées. Globalement, il n'y a pas eu de relation entre le nombre d'observations ou d'individus détectés par l'observateur et le nombre de cibles captées par le radar pendant les journées. Cela s'explique probablement par les différences d'unités (nombre cibles pour le radar et nombre d'observations ou d'individus pour l'observateur) (Figure 50). Le nombre de cibles est dépendant de la distance entre individus et il peut donc différer du nombre d'observations ou d'individus.

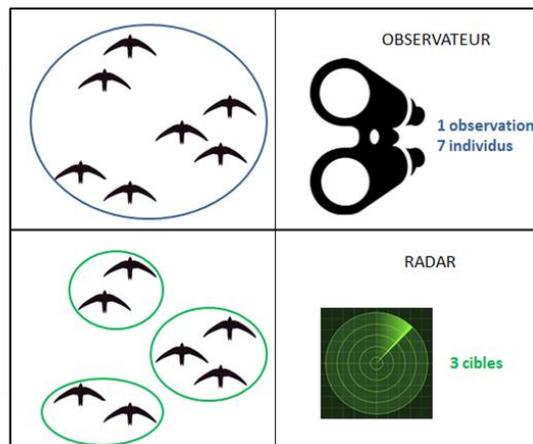
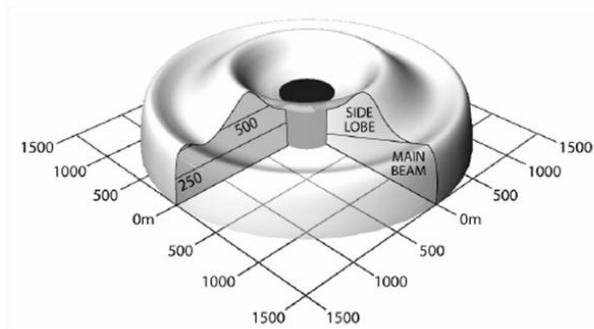


Figure 50 : Espace aérien échantillonné par un radar marin en mode vertical d'après Mabee et al. (à gauche). Exemple d'une situation dans laquelle l'observateur et le radar détectent des choses différentes (à droite).

7.4. Conclusion

La tranche d'altitude la plus fréquentée sur les trois sites d'étude est la plus basse (entre 0 et 200 m). Cette altitude de vol les expose à des collisions avec les pales de parc éolien. Cependant l'altitude de vols des oiseaux dépend de la direction et de la force du vent. Avec des vents de queue ou des vents faibles de face, les oiseaux vont gagner en altitude pour pouvoir se déplacer en consommant moins d'énergie. Inversement, avec des forts vents de face en plaine ils vont diminuer leurs altitudes de vols afin de profiter des vents plus faibles liés à la rugosité du paysage. Ce dernier comportement aggraverait les risques de collision. Pour étudier les altitudes de vols, les variations jour/nuit ainsi que leur interaction avec le vent doivent également être prises en compte. Plusieurs facteurs influencent les hauteurs de vols. Il est donc important de considérer la variabilité interannuelle et inter-journalière de ce paramètre lors des études éoliennes notamment.

L'intensité du flux n'a pas été affectée par le vent dans cette étude. Cela pourrait être dû à une absence de sélection de vent pour migrer ou à une gamme de vitesse de vents qui n'est pas assez étendue pour apercevoir des variations. Un échantillonnage plus grand serait utile pour affiner ces résultats. Plus de cibles ont été contactées la nuit que le jour. Ce résultat est en accord avec la proportion de migrateurs qui est plus importante la nuit et justifie l'utilisation des radars qui rendent possible un échantillonnage nocturne.

Le radar vertical a été utilisé pour définir les altitudes des vols, l'effet du vent sur ces dernières, ainsi que les variations entre le jour et la nuit. Ses résultats montrent qu'il est capable de détecter un grand nombre de cibles grâce à sa portée verticale mais qu'à de faibles hauteurs (0-50 m) la détection est fortement réduite. Le radar horizontal va combler cette faiblesse et permettre de mieux estimer le flux passant à la hauteur des éoliennes. L'observateur peut seulement étudier la migration diurne, il va cependant pouvoir déterminer le nombre d'individus et identifier les espèces qui passent. En conclusion nous pouvons dire que ces trois méthodes (radar horizontal, radar vertical et observateur) réalisent différentes mesures en termes d'unités mais aussi de zones d'échantillonnage, comme le montre l'absence de relation entre elles, et qu'elles sont complémentaires dans l'analyse de la migration de l'avifaune. On pourrait envisager également à l'avenir d'utiliser des enregistreurs acoustiques pour compléter le diagnostic et identifier les espèces la nuit grâce à l'analyse des cris de contact.

8. Méthode d'évaluation des états de conservation

8.1. Méthode standard

La base de la méthode utilisée est celle des « feux tricolores » proposée par le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN). L'utilisation d'indicateurs « feux tricolores » est fixée par la Commission Européenne chargée du suivi de l'évaluation de la directive « Habitats-Faune-Flore ». Décrite dans le document « DocHab 04-03-03-rev3⁷ ». Cette méthode a été adoptée par la France (et la plupart des États membres) pour tout ce qui concerne le patrimoine biologique.

L'état de conservation des espèces et habitats d'intérêt communautaire est évalué selon quatre paramètres :

- L'aire de répartition ;
- La population d'espèce ;
- L'habitat d'espèce ;
- Les perspectives futures.

Et selon quatre valeurs associées à un code couleur :

- État de conservation favorable : indicateur vert ;
- État de conservation défavorable inadéquat : indicateur orange ;
- État de conservation défavorable mauvais : indicateur rouge ;
- État de conservation inconnu lorsque les données sont insuffisantes : indicateur gris.

L'échelle d'utilisation et d'application recommandée pour cette méthode est l'échelle nationale et/ou biogéographique.

8.2. Méthodologie appliquée

Pour évaluer l'état de conservation des espèces au niveau d'un site d'étude, nous avons adapté la méthode du MNHN en conduisant la réflexion à l'échelle de l'Aquitaine. L'évaluation de cet état de conservation utilise les quatre paramètres proposés par le MNHN auquel nous avons rajouté des sous-paramètres afin d'être le plus précis possible dans notre analyse :

1. *l'aire de répartition naturelle de l'espèce* : deux niveaux de réflexion sont abordés : l'évolution de la zone de présence au niveau biogéographique mondial ou européen avec une réflexion prioritaire portée sur les tendances (en augmentation, stable, diminution, fragmentation) et la position du site par rapport à cette aire de présence (au sein ou en limite d'aire, en isolation mais possibilité de jonction avec les autres populations, en isolation sans possibilité de jonction avec les autres populations) ;
2. *l'état de la population de l'espèce* : deux sous-paramètres sont pris en compte : les tendances de la population européenne pour l'avifaune et par zones biogéographiques pour les chiroptères et l'abondance de la population sur le site ;
3. *la fonctionnalité de l'habitat naturel* (à dire d'expert) : ici, trois aspects sont pris en compte : la surface de l'habitat potentiel de l'espèce (suffisant ou pas), la complémentarité des différents faciès servant à couvrir l'ensemble des besoins physiologiques et comportementaux de l'espèce et la qualité de ces faciès (s'ils répondent à toutes les exigences écologiques de l'espèce) ;
4. *les perspectives futures associées à l'espèce* (à dire d'expert) : les pressions (ce qui menace directement les espèces).

Nous n'utilisons pas les codes couleurs « feux tricolores » proposés mais des valeurs numériques, afin de disposer d'indicateurs additionnables.

De plus, les termes état de conservation « favorable », « défavorable inadéquat » ou « défavorable mauvais » ne sont pas utilisés dans les fiches espèces jointes à ce dossier, comme le prévoit la méthodologie du MNHN, mais sont remplacés par état de conservation « bon », « moyen » ou « mauvais ». En effet, la Commission Européenne déconseille d'utiliser les termes « favorable,

⁷ Il s'agit du document de la Commission Européenne fixant le cadre du rapport de la mise en œuvre de la DHFF pour 2006-2007, ainsi que la méthodologie de l'évaluation de l'état de conservation des habitats et espèces d'intérêt communautaire. Il est composé d'un texte principal et de 6 annexes fixant le plan du rapport des États membres, les paramètres devant être rapportés pour les espèces, la matrice d'évaluation des espèces, les paramètres devant être rapportés pour les habitats, la matrice d'évaluation des habitats, la définition de l'aire de répartition naturelle.

défavorable inadéquat et défavorable mauvais » à une échelle autre que l'échelle biogéographique, estimant que la méthode appliquée à cette dimension n'est pas pertinente localement⁸.

8.3. Indicateurs utilisés pour les espèces :

8.3.1. L'aire de répartition naturelle de l'espèce

8.3.1.1. Tendance de l'aire de répartition naturelle de l'espèce ou au niveau de la population continue

Avifaune :

Pour l'avifaune nicheuse, La tendance est sur l'aire de répartition est prise en compte selon les intitulés suivants :

- Bonne : en augmentation ou stable : valeur numérique **4**
- Moyenne : diminution faible sur les vingt dernières années ou en voie de fragmentation : valeur numérique **3**
- Mauvaise : en diminution forte sur les vingt dernières années : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les migrateurs, c'est l'évolution de la voie de migration de l'espèce qui est prise en compte suivant les intitulés suivants :

- Bonne : voie de migration s'élargissant ou stable : valeur numérique **4**
- Moyenne : voie de migration se restreignant légèrement : valeur numérique **3**
- Mauvaise : voie de migration se restreignant fortement sur les vingt dernières années : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les hivernants, c'est l'évolution de l'hivernage en France qui est prise en compte selon les intitulés suivants :

- Bonne : hivernage en augmentation ou stable : valeur numérique **4**
- Moyenne : hivernage en diminution faible : valeur numérique **3**
- Mauvaise : hivernage se restreignant fortement sur les vingt dernières années : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

⁸ Évaluation de l'état de conservation des habitats naturels marins à l'échelle d'un site Natura 2000, Guide Méthodologique Version 1 Service du Patrimoine Naturel Muséum National d'Histoire Naturelle Rapport SPN 2011/ 3 février 2011 p.8

Chiroptères :

La notation de ce critère se base sur les éléments de synthèse produits par le MNHN⁹ lors du rapportage Natura 2000 publié en 2013, établissant un état de conservation de l'aire de répartition des espèces par domaine biogéographique sur le territoire national :

- Bonne  : en augmentation ou stable, valeur numérique **4**
- Moyenne  : diminution faible sur les vingt dernières années ou en voie de fragmentation, valeur numérique **3**
- Mauvaise  : en diminution forte sur les vingt dernières années, valeur numérique **2**
- Inconnue  : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes. valeur numérique **1**

8.3.1.2. Position du site par rapport à l'aire de répartition naturelle de l'espèce ou au niveau de la population continue

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères, les intitulées sont les suivants :

- Bonne : le site est en plein milieu de l'aire de répartition naturelle de l'espèce : valeur numérique **4**
- Moyenne : le site est en bordure de l'aire de présence naturelle de l'espèce ou isolé mais facilement atteignable par des individus de l'espèce en provenance de la partie centrale de l'aire de présence sur le massif ou la population continue : valeur numérique **3**
- Mauvaise : le site est isolé et une barrière (naturelle ou anthropique) interdit aux individus en provenance de l'aire centrale de présence sur le massif de le rejoindre : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les migrateurs, les intitulés seront remplacés par les suivants :

- Bonne : le site est sur une voie de migration habituelle de l'espèce en Europe : valeur numérique **4**
- Moyenne : le site est sur une voie de migration excentrée mais facilement atteignable par des individus de l'espèce en provenance de la partie centrale de l'aire de présence en Europe : valeur numérique **3**
- Mauvaise : le site est sur une voie de migration totalement inhabituelle pour l'espèce : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les hivernants, les intitulés seront remplacés par les suivants :

- Bonne : le site est au cœur de l'aire d'hivernage habituelle de l'espèce en Europe : valeur numérique **4**
- Moyenne : le site est en bordure de l'aire de présence naturelle de l'espèce en hivernage : valeur numérique **3**
- Mauvaise : le site est sur une aire d'hivernage totalement inhabituelle pour l'espèce : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

La moyenne de ces deux notes nous apporte une classification relative à l'intérêt du site pour chaque espèce dans son contexte biogéographique.

⁹ Évaluation de l'état de conservation des habitats naturels marins à l'échelle d'un site Natura 2000, Guide Méthodologique Version 1
Service du Patrimoine Naturel Muséum National d'Histoire Naturelle Rapport SPN 2011/ 3 février 2011 p.8

8.3.2. L'état de la population de l'espèce

8.3.2.1. Abondance sur le site

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères, les intitulées sont les suivants :

- Bonne : nombre de couples ou d'individus sur le site suffisant pour permettre une population minimum viable et stable sur les années à venir : valeur numérique **4**
- Moyenne : nombre d'individus ou de couples faible ou en diminution sur le site et insuffisant pour assurer le maintien d'une population minimum viable, mais possibilité d'immigration d'individus en provenance des populations proches : valeur numérique **3**
- Mauvaise : nombre d'individus trop faible ou diminution très forte sur le site et population régionale insuffisante ou trop éloignée pour assurer une immigration : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les oiseaux migrateurs, on ne parlera plus d'abondance mais de représentativité du site par rapport au contexte migratoire français.

Cette représentativité est calculée à partir de l'effectif maximal d'une espèce contactée sur l'ensemble des 64 sites d'étude de la migration postnuptiale disponibles sur le site www.migraction.net. Cet effectif maximal est rapporté au nombre d'heures d'observation sur le site pour l'année considérée.

Nous utilisons ensuite le log10 du ratio Nombre d'individus/Nombre d'heures afin d'amplifier les variations des valeurs proches de 0 et de rendre moins importantes les variations pour les grands nombres, en mettant en évidence plutôt les variations relatives.

Un classement est ensuite réalisé prenant en compte :

La position du site (Nombres d'individus/Nombre d'heures) dans les 64 sites français :

- Premier quart : valeur **4**
- Deuxième quart : valeur **3**
- Troisième quart : valeur **2**
- Quatrième quart : valeur **1**

La valeur du site (\log_{10} (Nombre d'individus/Nombre d'heures) comparé à sa valeur maximale)

- $100\% \geq \log_{10}$ (Nombre d'individus/Nombre d'heures) $> 75\%$: valeur **4**
- $75\% \geq \log_{10}$ (Nombre d'individus/Nombre d'heures) $> 50\%$: valeur **3**
- $50\% \geq \log_{10}$ (Nombre d'individus/Nombre d'heures) $> 25\%$: valeur **2**
- $25\% \geq \log_{10}$ (Nombre d'individus/Nombre d'heures) $\geq 0\%$: valeur **1**

La position du maximum brut observé sur le site dans les 64 sites français

- Premier quart : valeur **4**
- Deuxième quart : valeur **3**
- Troisième quart : valeur **2**
- Quatrième quart : valeur **1**

Une somme des trois items est ensuite effectuée et produit les intitulés suivants :

- Représentativité très forte : $12 \geq$ somme > 9 : valeur numérique **4**
- Représentativité forte : $9 \geq$ somme > 6 : valeur numérique **3**
- Représentativité moyenne : $6 \geq$ somme > 3 : valeur numérique **2**
- Représentativité faible à nulle : $3 \geq$ somme ≥ 0 : valeur numérique **1**
- Espèce non observée : valeur numérique **0**

Cette méthode n'est pas exempte de biais. Les sites suivis peu d'heures lors du passage migratoire de l'espèce sont survalorisés alors qu'à l'inverse les sites suivis sur une longue période ou en dehors

de la période de passage migratoire intense sont dévalorisés. Cependant, la méthode procure l'avantage d'être reproductible et non basée sur le dire d'expert. Un calcul basé tenant compte non plus seulement des durées mais aussi des périodes d'observation eut été plus profitable mais nécessite des analyses dépassant le cadre de ce travail.

Pour les sites où aucunes données de comptage des effectifs migrateurs ne sont disponibles, les paramètres sont évalués à 2, soit inconnu.

Pour les hivernants, c'est la représentativité du site par rapport au contexte de l'hivernage en Aquitaine qui est utilisé selon les paramètres suivants :

- Représentativité très forte :] 50 ; 100%] : valeur numérique 4
- Représentativité forte :] 10 ; 50%] : valeur numérique 3
- Représentativité moyenne :] 1 ; 10%] : valeur numérique 2
- Représentativité faible à nulle : [0 ; 1%] : valeur numérique 1
- Espèce non observée : valeur numérique 0

8.3.2.2. Tendance de la population à l'échelle de l'Aquitaine ou de la population continue de l'espèce (suivant les espèces)

Avifaune :

Pour les oiseaux nicheurs, la tendance de la population à l'échelle régionale est prise en compte selon les intitulées suivants :

- Bonne : augmentation de la population ou stabilité : valeur numérique 4
- Moyenne : diminution inférieure à 10 % sur les vingt dernières années ou en voie de fragmentation : valeur numérique 3
- Mauvaise : forte diminution sur les vingt dernières années : valeur numérique 1
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique 2

Pour les migrateurs, c'est la tendance de la population migratrice sur le site qui est prise en compte. Lorsque cette information n'est pas disponible, on se référera à la tendance sur un site aquitain de référence pour la migration (Col d'Organbidexka et Redoute de Lindus en migration postnuptiale et Pointe de Grave en migration pré-nuptiale) ou à la tendance européenne de la population.

Pour les hivernants, c'est la tendance de la population hivernante en Aquitaine ou en France qui est évaluée selon les paramètres suivants :

- Bonne : augmentation de la population hivernante ou stabilité : valeur numérique 4
- Moyenne : diminution des effectifs hivernants inférieure à 10 % sur les vingt dernières années ou en voie de fragmentation : valeur numérique 3
- Mauvaise : forte diminution de l'effectif hivernant sur les vingt dernières années (> 10%) : valeur numérique 1
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique 2

Chiroptères :

Indicateur basé sur les critères d'évolution des populations mentionnés au sein du rapportage Natura 2000 (MNHN 2013)

- Bonne  : en augmentation ou stable, valeur numérique 4
- Moyenne  : diminution faible sur les vingt dernières années ou en voie de fragmentation, valeur numérique 3
- Mauvaise  : en diminution forte sur les vingt dernières années, valeur numérique 2
- Inconnue  : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes. valeur numérique 1

8.3.3. La fonctionnalité de l'habitat naturel de l'espèce

8.3.3.1. Surface d'habitat biologique (englobant tous les faciès dont l'espèce a besoin)

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères, les intitulés sont les suivants :

- Bonne : surface suffisante pour la présence d'un nombre de couples / individus permettant un fonctionnement viable d'une petite population (ou d'un couple pour les espèces à grand domaine vital) : valeur numérique **4**
- Moyenne : surface permettant le maintien de quelques individus ou couvrant une partie des besoins de l'espèce : valeur numérique **3**
- Mauvaise : surface trop insuffisante pour être exploitée par une espèce à grand domaine vital ou pour permettre le maintien de quelques individus pour les espèces à petit domaine vital : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les migrateurs ou les hivernants, l'évaluation ne concerne que les habitats de pose ou d'alimentation et les intitulés sont remplacés par les suivants :

- Bonne : surface suffisante pour la pose ou l'alimentation quotidienne de la population migratrice ou hivernant : valeur numérique **4**
- Moyenne : surface permettant la pose ou l'alimentation quotidienne de seulement une portion de la population migratrice ou hivernante : valeur numérique **3**
- Mauvaise : surface insuffisante pour être exploitée par les espèces à grand domaine vital ou pour permettre le stationnement d'une portion de la population migratrice ou hivernante ou groupes d'individus pour les espèces à petit domaine vital : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

8.3.3.2. Complémentarité des différents faciès d'habitats

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères les intitulés sont les suivants :

- Bonne : les différents faciès d'habitats sont présents et tous utilisables par tous les individus de l'espèce sans déplacements excessifs pour les espèces à petit domaine vital (ex : Pie-grièche écorcheur), ou les faciès présents sont à proximité de faciès complémentaires en dehors de la zone du site pour les espèces à grand domaine vital : valeur numérique **4**
- Moyenne : au moins un faciès d'habitat nécessaire à l'espèce se trouve dans des conditions d'accessibilité nécessitant un déplacement plus ou moins important pour les individus de l'espèce : valeur numérique **3**
- Mauvaise : il manque un faciès d'habitat nécessaire à l'espèce accessible ou bien tous les faciès d'habitat nécessaires à l'espèce sont dispersés : valeur numérique **1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique **2**

Pour les migrateurs ou les hivernants, l'évaluation ne concerne que les habitats de pose ou d'alimentation.

8.3.3.3. Qualité des faciès d'habitat

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères les intitulés sont les suivants :

- Bonne : bonne fonctionnalité de tous les faciès d'habitats : les individus de l'espèce y trouvent ce qu'il leur faut pour répondre à leurs exigences écologiques (nourriture, protection, reproduction, repos ...) : valeur numérique **4**
- Moyenne : au moins un des faciès d'habitat ne permet pas correctement à l'espèce d'accomplir correctement un de ses besoins de base : valeur numérique **3**
- Mauvaise : tous les faciès d'habitat ne permettent pas d'accomplir les différents besoins ou au moins un besoin n'est pas du tout couvert par un faciès d'habitat (absence d'habitat de reproduction, de mue, d'hivernage, de reproduction ...) : valeur numérique **1**

- Inconnu : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique 2

Pour les migrateurs ou les hivernants, l'évaluation ne concerne que les habitats de pose ou d'alimentation.

8.3.4. Les pressions associées à l'espèce, présence et intensité

- Bonne : absence de pression exerçant un impact négatif sur le site et aux alentours : valeur numérique 4
- Moyenne : au moins une pression sur le site avec un impact qui peut être significatif, soit sur le site, soit à proximité : valeur numérique 3
- Mauvaise : au moins une pression exerce un impact fort sur le site ou à proximité : valeur numérique 1
- Inconnu : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : valeur numérique 2

8.3.5. Synthèse

La note d'un paramètre est la moyenne des différents sous-paramètres. La note finale évaluant l'état de conservation est la somme des valeurs des paramètres.

L'état de conservation est estimé en fonction de l'état de ces quatre paramètres selon les modalités et codes couleurs suivantes :

- $16 \geq \text{note moyenne} > 13$: état de conservation **bon** 
- $13 \geq \text{note globale} > 9$: état de conservation **moyen** 
- $9 \geq \text{note globale} > 5$: état de conservation **mauvais** 
- $5 \geq \text{note globale} \geq 1$: état de conservation **inconnu** 

8.4. Méthode de hiérarchisation des espèces sur les sites évalués

Nous proposons ici une méthode de hiérarchisation des espèces sur les sites évalués basée principalement sur des considérations biologiques. Cela permet d'avoir une hiérarchisation plus fine qu'une méthode basée uniquement sur des aspects réglementaires. Elle permet également de mieux intégrer le contexte régional dans l'évaluation et de mettre en perspective les enjeux du site par rapport aux échelles supérieurs.

8.4.1. Méthodologie appliquée

8.4.1.1. Étape 1 : évaluation de la responsabilité de l'Aquitaine

Pour l'avifaune

Pour définir une note régionale pour chaque espèce, il est nécessaire d'évaluer la responsabilité de la région dans la conservation de cette espèce. La responsabilité de la région (ici l'Aquitaine) a été évaluée pour chaque espèce suivant la méthode suivante :

La responsabilité d'un site donné vis-à-vis d'un territoire plus vaste est d'autant plus forte qu'il abrite des effectifs importants d'espèces qui sont rares à l'échelle globale. La perte de ce site conduirait en effet à une perte significative des effectifs de ces espèces. La construction d'un indice de responsabilité doit donc **intégrer à la fois la notion de rareté et la notion d'abondance relative de l'espèce dans le territoire considéré par rapport à un territoire plus grand.** Pour une espèce donnée en Aquitaine, cette construction se traduit mathématiquement par la formule suivante :

Indice de responsabilité spécifique = $f(\text{rareté globale}) \times f(\text{abondance relative})$, où

$$f(\text{rareté globale}) = \frac{1}{\text{abondance totale}} \quad \text{et} \quad f(\text{abondance relative}) = \frac{\text{densité en Aquitaine}}{\text{densité hors Aquitaine}}$$

- l'indice de rareté spécifique : il est obtenu au sein de chaque maille pour chaque espèce selon la formule suivante :
Indice rareté spécifique = 1 / nb de mailles de présence dans l'Atlas France 2012 (Source : LPO France)
- l'indice d'abondance spécifique : il est obtenu au sein de chaque maille pour chaque espèce selon la formule suivante :
Indice abondance spécifique = Nombre de mailles de présence dans l'Atlas Aquitaine/Nombre de mailles de présence dans l'Atlas France 2012 (source : LPO Aquitaine et France)

Une fois l'indice de responsabilité spécifique (IRS) calculé, une classe de 5 valeurs allant de 4 à 0 est ensuite appliquée suivant le barème suivant :

- IRS > 0.80 : **note 4**
- 0.6 > IRS ≥ 0.8 : **note 3**
- 0.4 > IRS ≥ 0.6 : **note 2**
- 0.2 > IRS ≥ 0.4 : **note 1**
- 0 > IRS ≥ 0.2 : **note 0**

Pour les migrateurs, on s'intéressera à la responsabilité de la voie de migration par rapport à l'effectif migratoire européen suivant le barème suivant :

- La voie de migration concentre 100% de l'effectif européen : **note 4**
- La voie de migration concentre entre 50 et 100% de l'effectif européen : **note 3**
- La voie de migration concentre entre 10 et 50% de l'effectif européen : **note 2**
- La voie de migration concentre entre 1 et 10% de l'effectif européen : **note 1**
- La voie de migration concentre moins de 1% de l'effectif européen : **note 0**

Pour les hivernants, on s'intéressera à l'importance de la région pour les espèces en hivernage par rapport aux effectifs hivernants sur les sites français suivant le barème suivant :

- La région concentre 100% de l'effectif hivernant français : **note 4**
- La région concentre entre 50 et 100% de l'effectif hivernant français : **note 3**
- La région concentre entre 10 et 50% de l'effectif hivernant français : **note 2**
- La région concentre entre 1 et 10% de l'effectif hivernant français : **note 1**
- La région concentre moins de 1% de l'effectif hivernant français : **note 0**

Pour les Chiroptères

Cette responsabilité a été définie dans le cadre de la mise en œuvre du Plan national d'Action Chiroptères piloté par la Fédération des Conservatoires d'Espaces Naturels en Collaboration étroite avec le Groupe Chiroptères de la Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères et aboutit au classement suivant :

- Responsabilité très forte de la région dans la conservation d'une espèce (plus de 10% de l'aire de distribution européenne et /ou mondiale et/ou plus de 50% de la population française): **note 4**
- Responsabilité forte de la région dans la conservation d'une espèce en France (entre 25 et 50% de l'aire de distribution ou des effectifs connus en France) : **note 3**
- Responsabilité moyenne dans la conservation d'un noyau de population isolé (limite d'aire, au sein d'une région biogéographique) : **note 2**
- Peu ou pas de responsabilité dans la conservation d'une espèce: **note 1**

Tableau 17 : Note de responsabilité par grandes régions biogéographiques françaises calculée dans le cadre du Plan National d'Actions pour les chiroptères 2008-2013.

Annexe 3 : Note de responsabilité régionale par espèce et par région biogéographique

Espèce	Note de responsabilité régionale					
	Grand Nord Nord Île de France Haute Normandie Picardie	Nord Ouest Basse Normandie Bretagne Pays de la Loire Poitou-Charentes	Nord Est Alsace Champagne-Ardenne Franche comté Lorraine	Centre Auvergne Bourgogne Centre	Sud Ouest Aquitaine Limousin Midi-Pyrénées	Sud Est Corse Languedoc-Roussillon PACA Rhône Alpes
Barbastelle d'Europe	2	3	2	2	3	2
Grand Murin	2	2	4	3	2	2
Grand Rhinolophe	2	4	2	2	3	2
Grande noctule		1		2	3	2
Minioptère de Schreibers		3	2	2	3	4
Molosse de Cestoni			1	1	2	4
Murin à moustaches	2	2	1	2	1	1
Murin à oreilles échanquées	2	3	2	3	2	3
Murin d'Alcathoe	2	2	2	1	1	2
Murin de Bechstein	2	3	2	2	2	2
Murin de Brandt	2	1	3	1	1	2
Murin de Capaccini						4
Murin de Daubenton	1	1	1	1	2	1
Murin de Natterer	2	2	2	1	1	2
Murin des marais	4		1			
Murin du Maghreb						4
Murin Escalera						4
Noctule commune	1	1	2	2	1	1
Noctule de Leisler	1	1	1	1	1	1
Oreillard gris	1	1	1	1	1	2
Oreillard montagnard					3	4
Oreillard roux	1	1	2	1	1	1
Petit Murin			1	1	3	3
Petit Rhinolophe	2	2	2	3	3	3
Pipistrelle commune	1	1	1	1	1	1
Pipistrelle de Kuhl	1	1	1	1	1	3
Pipistrelle de Nathusius	2	2	2	1	2	2
Pipistrelle pygmée	1	1	1	1	1	3
Rhinolophe de Mehely						4
Rhinolophe euryale		2	2	2	4	3
Sérotine bicolore	1		2	1	1	2
Sérotine commune	1	1	1	1	1	1
Sérotine de Nilsson			3	2		2
Vespère de Savi			1	2	2	3

Note de 1 (faible) à 4 (très forte)

8.4.2. Étape 2 : évaluation du niveau de vulnérabilité chorologique de l'espèce dans la région (aire de répartition)

Pour cet indice, la réflexion se situe sur la distribution écologique de l'espèce dans la région au regard de son aire de répartition.

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères les intitulés sont les suivants :

- population isolée, éloignée de son aire de répartition : **note 4**
- population isolée mais proche de son aire de répartition : **note 3**
- population marginale, située à la limite de son aire de répartition : **note 2**
- population fragmentée, mais présente dans son aire de répartition : **note 1**
- population présente dans son aire de répartition : **note 0**

Pour les migrateurs, on adaptera cet indicateur pour évaluer la position du site au regard du contexte européen suivant les intitulés suivants :

- site éloigné des voies de migration habituelles de l'espèce: **note 4**
- site situé sur une voie de migration marginale dépendant d'une population marginale : **note 3**
- site situé sur une voie de migration marginale : **note 2**
- site situé à proximité immédiate d'une voie de migration principale : **note 1**
- site situé sur la voie principale de migration de l'espèce : **note 0**

Pour les hivernants, on adaptera cet indicateur pour évaluer la position du site au regard du contexte européen suivant les intitulés suivants :

- site éloigné de l'aire d'hivernage habituelle de l'espèce : **note 4**
- site situé dans une aire d'hivernage marginale dépendant d'une population marginale : **note 3**
- site situé dans une aire d'hivernage marginale : **note 2**
- site situé à proximité immédiate de l'aire d'hivernage principale : **note 1**
- site situé dans l'aire d'hivernage de l'espèce : **note 0**

8.4.3. Étape 3 : évaluation du niveau de sensibilité écologique et démographique propre à l'espèce (oiseaux et chiroptères)

8.4.3.1. Amplitude écologique

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères l'amplitude écologique s'évalue uniquement au niveau des habitats utilisés par les espèces en période de reproduction (il s'agit ici d'évaluer si les caractéristiques écologiques et/ou comportementales de l'espèce induisent une répartition locale caractérisée par une forte sélection de l'habitat accompagnée d'une faible répartition et/ou d'une forte fragmentation des zones occupées) :

- espèce d'amplitude écologique très étroite, espèce liée à un type d'habitat très particulier : **note 4**
- espèce d'amplitude écologique restreinte, induisant une fragmentation de sa répartition, mais pouvant être liée à plusieurs types d'habitats : **note 2**
- espèce d'amplitude écologique large, utilisant une large gamme d'habitats pour se reproduire : **note 0**

Pour les migrateurs, ou les hivernants on reprendra la même méthodologie en l'adaptant aux habitats de pose et d'alimentation durant la migration.

8.4.3.2. Niveau d'effectifs

Pour les oiseaux migrateurs et les chiroptères les intitulés sont les suivants :

- espèce très rare en Europe et en France avec des effectifs très faibles ou très peu de localités connues : **note 4**
- espèce rare en Europe et en France avec des effectifs faibles ou peu de localités connues : **note 3**
- espèce bien représentée en Europe et/ou en France, sans être toutefois abondante : **note 2**
- espèce fréquente en Europe et/ou en France, avec des effectifs importants permettant d'assurer, à moyen terme, l'avenir de l'espèce : **note 1**
- espèce très commune avec des effectifs très importants : **note 0**

Pour les migrateurs, l'évaluation se fera sur la base des effectifs fréquentant la voie de migration dans laquelle le site est inclus suivant les intitulés suivants :

- espèce très rare sur la voie de migration occidentale avec des effectifs très faibles ou très peu de sites fréquentés : **note 4**
- espèce rare sur la voie de migration occidentale avec des effectifs faibles ou peu de sites fréquentés : **note 3**

- espèce bien représentée sur la voie de migration occidentale, sans être toutefois abondante: **note 2**
- espèce fréquente sur la voie de migration occidentale, avec des effectifs importants : **note 1**
- espèce très commune sur la voie de migration occidentale avec des effectifs très importants : **note 0**

Pour les hivernants, l'évaluation se fera sur la base des effectifs hivernants sur le site par rapport aux autres sites d'hivernage en France et en Europe :

- espèce hivernante très rare en France et en Europe avec des effectifs très faibles ou très peu de sites fréquentés : **note 4**
- espèce hivernante rare en Europe et en France avec des effectifs faibles ou peu de sites fréquentés : **note 3**
- espèce hivernante bien représentée en Europe et/ou en France, sans être toutefois abondante : **note 2**
- espèce hivernante fréquente en Europe et /ou en France, avec des effectifs importants : **note 1**
- espèce hivernante très commune avec des effectifs très importants : **note 0**

8.4.3.3. Tendances des populations

Pour les oiseaux migrateurs et les chiroptères les intitulés sont les suivants :

- espèce disparue d'une grande partie de son aire d'origine : **note 4**
- effectifs en forte régression (régression rapide) et/ou dont l'aire d'origine tend à se réduire : **note 3**
- effectifs en régression lente : **note 2**
- effectifs stables : **note 1**
- effectifs en expansion : **note 0**

Pour les migrateurs et les hivernants l'évaluation se fait sur la base des tendances des effectifs fréquentant la voie de migration dans laquelle le site est inclus ou les tendances sur les sites d'hivernage.

D'une manière générale pour tous les indices :

- lorsqu'un indice n'est pas connu pour une espèce, la note de l'indice est par défaut la valeur moyenne, à savoir 2. Ces indices sont donc amenés à évoluer en fonction des connaissances.
- la note moyenne des indices est calculée.

8.4.4. Étape 4 : la hiérarchisation régionale des espèces

La hiérarchisation régionale des espèces, est obtenue par le croisement de la note de responsabilité régionale (étape 1) avec les notes de vulnérabilité chorologique (étape 2) et de sensibilité écologique et démographique (étape 3, cette dernière note, somme de trois valeurs, étant divisée par 3). Pour l'**avifaune**, cette hiérarchisation est réalisée pour toutes les espèces nicheuses, hivernantes ou migratrices. Pour les **Chiroptères**, la période d'hivernage n'est pas prise en compte étant donné qu'à cette époque les espèces sont peu ou pas actives.

Pour les oiseaux nicheurs et les chiroptères, quatre classes d'importance régionale sont définies suivant le barème et les codes couleurs suivants :

- $12 \geq \text{note globale} > 9$: Importance régionale très forte 
- $9 \geq \text{note globale} > 6$: Importance régionale forte 
- $6 \geq \text{note globale} > 3$: Importance régionale modérée 
- $3 \geq \text{note globale} \geq 0$: Importance régionale faible 

Pour les migrateurs, cette étape s'applique au site suivant le barème et les codes couleurs suivant :

- $12 \geq$ note globale > 9 : Importance du site très forte 
- $9 \geq$ note globale > 6 : Importance du site forte 
- $6 \geq$ note globale > 3 : Importance du site modérée 
- $3 \geq$ note globale $= 0$: Importance de site faible 

8.4.5. Étapes 5 et 6 : évaluation de la responsabilité du site

Deux paramètres sont pris en compte pour définir les enjeux du site :

Étape 5 : La représentativité du site :

Avifaune

Cela consiste à calculer le ratio entre l'abondance locale et régionale d'une espèce si elle est connue. Pour cela, il faut diviser l'effectif des espèces (en nombre de couples ou d'individus) connu sur le site par le chiffre de l'effectif régional¹⁰. Des points sont attribués selon les classes suivantes :

- [0 ; 1%] : 1 point
-]1 ; 10%] : 2 points
-]10 ; 50%] : 3 points
-]50 ; 100%] : 4 points

Exemple : une espèce qui aurait sur un site 8% de ses effectifs connus en Aquitaine, obtiendrait 2 points, 8 % étant compris dans l'intervalle]1 ; 10%].

Pour les espèces dont l'effectif régional n'est pas connu, la réflexion se situe à l'échelle du nombre de mailles régionales probables ou certaines où l'espèce est présente et le nombre de mailles de présence au sein du site d'étude. Le même barème est ensuite appliqué.

Pour les migrateurs, c'est la note de représentativité telle que définie au chapitre 8.4.1 qui est prise en compte.

Chiroptères

Sol

Il est nécessaire de créer une base de données régionale des niveaux d'activité mesurée au moyen des enregistrements ultrasonores qui servirait de référentiel d'activité.

Altitude

Il est nécessaire de créer une base de données régionale des niveaux d'activité mesurée au moyen des enregistrements ultrasonores à hauteur de pôle qui servirait de référentiel d'activité.

Étape 6 : La fonctionnalité de l'habitat : les paramètres utilisés pour juger l'état de conservation des espèces (cf. chap. 1.3. : 3.Fonctionnalité de l'habitat) sont repris, auxquels on ajoute une note:

- 8.4.5.1. Surface d'habitat biologique (englobant tous les faciès dont l'espèce a besoin)
- Bonne : surface suffisante pour la présence d'un nombre de couples / individus permettant un fonctionnement viable d'une petite population (ou d'un couple pour les espèces à grand domaine vital) : **note 4**
 - Moyenne : surface permettant le maintien de quelques individus ou couvrant une partie des besoins de l'espèce : **note 3**
 - Mauvaise : surface trop insuffisante pour être exploitée par une espèce à grand domaine vital ou pour permettre le maintien de quelques individus pour les espèces à petit domaine vital: **note 1**
 - Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : **note 2**

¹⁰ Pour les espèces qui ne bénéficient d'aucun suivi en particulier, notre analyse s'est faite sur le ratio entre le nombre de mailles atlas où ces espèces sont présentes en Aquitaine et les mailles atlas de la ZPS.

8.4.5.2. Complémentarité des différents faciès d'habitats

- Bonne : les différents faciès d'habitats sont présents et tous utilisables par tous les individus de l'espèce sans déplacements excessifs pour les espèces à petit domaine vital (ex : Pie-grièche écorcheur), ou les faciès présents sont à proximité des faciès complémentaires en dehors de la zone du site N2000 pour les espèces à grand domaine vital : **note 4**
- Moyenne : au moins un faciès d'habitat nécessaire à l'espèce se trouve dans des conditions d'accessibilité nécessitant un déplacement plus ou moins important pour les individus de l'espèce : **note 3**
- Mauvaise : il manque un faciès d'habitat nécessaire à l'espèce accessible ou bien tous les faciès d'habitat nécessaires à l'espèce sont dispersés : **note 1**
- Inconnue : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : **note 2**

8.4.5.3. Qualité des faciès d'habitat

- Bonne : bonne fonctionnalité de tous les faciès d'habitats : les individus de l'espèce y trouvent ce qu'il leur faut pour répondre à leurs exigences écologiques (nourriture, protection, reproduction, repos ...) : **note 4**
- Moyenne : au moins un des faciès d'habitat ne permet pas à l'espèce d'accomplir correctement un de ses besoins de base : **note 3**
- Mauvaise : tous les faciès d'habitat ne permettent pas d'accomplir les différents besoins des individus ou au moins un besoin n'est pas du tout couvert par un faciès d'habitat (absence d'habitat de reproduction, de mue, d'hivernage...) : **note 1**
- Inconnu : pas d'évaluation possible, données fiables insuffisantes ou inexistantes : **note 2**

Notation : Une moyenne de la note de ces 3 paramètres est faite.

En additionnant la note de l'étape 5 avec celle de l'étape 6 on obtient ainsi la note de responsabilité finale du site :

Quatre classes sont définies suivant le barème et les codes couleurs suivants:

- $8 \geq \text{Note globale} > 6$: Responsabilité très forte 
- $6 \geq \text{Note globale} > 4$: Responsabilité forte 
- $4 \geq \text{Note globale} > 2$: Responsabilité modérée 
- Note globale = 2 : Responsabilité faible 

8.4.6. Étape 7 : la hiérarchisation des enjeux

La hiérarchisation des enjeux écologiques liés aux espèces sur le site s'obtient par l'addition de la note régionale (étape 4) avec la note de la responsabilité du site (étape 5+6).

Plus la note globale de l'espèce est forte, plus la responsabilité du site pour la conservation de cette dernière est importante.

Quatre classes sont définies :

- $20 \geq \text{Note globale} > 15$: enjeu **très fort** ●
- $15 \geq \text{Note globale} > 10$: enjeu **fort** ●
- $10 \geq \text{Note globale} > 5$: enjeu **modéré** ●
- $5 \geq \text{Note globale} \geq 0$: enjeu **faible** ●

9. Recommandations

En amont des projets éoliens

Planifier le développement éolien à l'échelle régionale en prenant en compte la sensibilité de la biodiversité à l'éolien pourrait limiter son impact. Cette étude a permis de cartographier la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères à l'éolien à une résolution fine ainsi que les principaux axes de migration qui traversent la région. L'évitement des zones qui concentrent des enjeux élevés pourrait réduire à la fois les risques de collision ainsi que la perte d'habitat pour les populations d'oiseaux et de chiroptères.

Etudes d'impact

L'amélioration des connaissances en termes de distribution et de phénologie des espèces à enjeux de conservation permet de cibler plus précisément les efforts de prospection lors des études d'impact. Selon la position du site d'étude, les cartes de distribution peuvent être utilisées afin d'évaluer la probabilité de présence de chaque espèce et ainsi de définir un cortège d'espèce qui mérite une attention particulière. Les phénologies d'activité pour les chiroptères et de migration pour les oiseaux rend possible une planification des périodes de terrain en fonction des espèces cibles. Ce meilleur ciblage devrait ainsi améliorer l'évaluation des enjeux afin de mieux prendre en compte la biodiversité.

Les mesures d'activité des chiroptères réalisées au sol et à 90 m dans le cadre de notre étude ne sont pas corrélées entre elles, hormis pour la Grande noctule. Cette absence de corrélation s'explique notamment par une modification de comportement de vol de ces espèces en fonction de la période de l'année. On observe notamment une augmentation de la fréquentation en altitude (90 m) en fin d'été et au début d'automne qui correspond également à une période de mortalité accrue sur les parc éolien selon la littérature (Dulac 2008). Cela implique d'une part, que la mesure de l'activité au sol n'est pas le reflet de l'activité à risque de collision. Ces résultats viennent donc conforter les préconisations de la SFEPM sur la nécessité d'une mesure de l'activité à hauteur de pale pour avoir une mesure représentative de l'activité à cette altitude (Groupe Chiroptères de la SFEPM 2016). D'autre part, un focus particulier est nécessaire en fin d'été et au début de l'automne pour caractériser finement l'activité sur cette période particulièrement sensible.

L'enregistrement de l'activité des chiroptères en continu sur une année complète a mis en évidence une forte variabilité de l'activité d'une nuit à l'autre, même pendant les périodes d'activité maximale. Cette variabilité sur un site implique donc que pour avoir une image représentative de l'activité d'un site il est nécessaire d'effectuer des suivis suffisamment longs pour être représentatif du niveau d'activité d'un site. Ils doivent également être répétés de façon similaire d'une nuit sur l'autre ce qui implique le recours des enregistreurs automatiques si l'on souhaite obtenir une image quantitative.

Après l'implantation d'un parc

La description de la phénologie d'activité des chiroptères et de migration des oiseaux a mis en évidence des périodes de plus forte sensibilité pour ces espèces. Ces résultats peuvent servir de base pour calibrer les dispositifs de désactivation des éoliennes pendant la période de risque élevée de collision (Arnett *et al.* 2011). Ce type de technologie en complément d'un choix de site judicieux pourrait permettre de réduire l'impact sur la biodiversité de la filière éolienne sans compromettre la productivité des parcs (Arnett *et al.* 2011).

10. Conclusion / Perspectives

L'objectif de cette étude était d'améliorer l'évaluation des enjeux pour les populations d'oiseaux et de chiroptères dans le cadre des projets éoliens. Plusieurs volets ont été développés afin d'améliorer la connaissance spatiale et temporelle de la sensibilité de ces populations. Cette étude propose également des préconisations méthodologiques pour l'évaluation et la hiérarchisation des enjeux dans le cadre des études d'impact.

Pour ce faire, nous avons mobilisé des données issues d'une base de données participative qui a permis la mise en commun des données de plusieurs milliers de naturalistes de la région. En parallèle, nous avons mis en œuvre des protocoles de collecte massive de données pour acquérir des informations nouvelles sur ces espèces grâce à l'utilisation d'un radar ornithologique et d'enregistreurs acoustiques à ultrasons au sol et à hauteur de pale.

Répartition spatiale des enjeux

En mobilisant les données collectées dans le cadre de la base de données naturaliste Faune-Aquitaine, ainsi que des données environnementales à l'échelle de la région, nous avons pu réaliser des cartes de distribution pour 57 espèces d'oiseaux et 23 espèces de chiroptères à l'échelle de la région. Ces cartes mettent en évidence la répartition de chacune de ces espèces à une résolution fine. Il est ainsi possible d'anticiper les cortèges d'espèces sensibles à l'éolien localement pour toute la région. Ces résultats ont également permis dans un second temps, de réaliser une carte de synthèse hiérarchisée de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères à l'échelle de l'Aquitaine. Plusieurs entités territoriales sont ainsi mises en avant car les cortèges qui y résident sont plus sensibles au développement éolien : il s'agit du massif pyrénéen, de la côte, des vallées alluviales, du centre du massif des landes de Gascogne et de l'est de la Dordogne. De manière complémentaire, une cartographie des couloirs de migration de plusieurs espèces d'oiseaux a également été réalisée. Celle-ci met en évidence deux axes préférentiels de migration qui sont plus ou moins larges selon les espèces : le premier longe la côte atlantique et le second traverse la région du nord-est au sud-ouest. La région est située à un endroit stratégique d'un axe de migration européen et on observe également une migration diffuse de certaines espèces sur l'ensemble du territoire. La cartographie de migration est moins précise que les cartes de répartition car les trajectoires des oiseaux migrateurs sont impactées par les conditions météorologiques. De plus, il persiste encore des zones d'ombres sur les couloirs de migration de certaines espèces, en particulier les espèces qui migrent de nuit pour lesquelles la connaissance est encore lacunaire. Celle-ci pourrait être améliorée à l'avenir en utilisant à la fois la technologie radar, pour évaluer les flux, et les enregistrements acoustiques, pour identifier les espèces via la reconnaissance de leurs cris de contact. La migration des chiroptères est encore plus nébuleuse, les données obtenues dans le cadre de cette étude ainsi que la littérature laisse à penser que la côte atlantique et certaines vallées du massif pyrénéen doivent concentrer les migrateurs. Cependant, nous manquons encore de données à l'échelle régionale pour être capables de cartographier les flux migratoires de ces espèces. A l'avenir, l'acquisition et la bancarisation de données sur ces périodes particulièrement sensibles pour les chiroptères est donc fortement souhaitable afin d'améliorer notre compréhension de ces phénomènes.

Répartition temporelle des enjeux

Au-delà de l'évitement spatial des zones à enjeux la prise en compte de la biodiversité dans le cadre du développement éolien passe aussi par une meilleure compréhension temporelle de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères. Cela permet d'une part de mieux cibler les phases de terrain selon les espèces sensibles et aussi de mettre en place des dispositifs pour désactiver les éoliennes lors des périodes à risque élevé (Arnett *et al.* 2011). Dans le cadre de cette étude, nous avons mobilisé les données accumulées dans la base Faune-Aquitaine pour modéliser la phénologie de migration de plusieurs espèces d'oiseaux. Selon les espèces, on peut ainsi observer des mouvements migratoires sur toute l'année mais les périodes de flux majeurs se concentrent entre mi-février et fin mai et entre mi-juillet et fin novembre. A une échelle locale l'utilisation de la technologie radar a permis de mieux comprendre comment les conditions météorologiques influencent l'intensité du flux ainsi que la hauteur de vol des oiseaux à l'échelle d'un site. La couche d'altitude la plus fréquentée par les migrateurs est comprise entre 0 et 200 m ; c'est aussi celle qui est la plus à risque dans le cadre de l'éolien. Ce résultat est amplifié en cas de conditions de vent de face de forte intensité qui induit une hauteur moyenne de vol plus faible des migrateurs. Ces conditions météorologiques pourraient donc augmenter les risques de collision car les oiseaux sont plus concentrés à hauteur des pales. Il serait intéressant à l'avenir d'affiner cette réponse à l'intensité de vent pour mieux comprendre l'impact des conditions météorologiques sur le comportement de vol en

migration. Concernant les chiroptères, deux protocoles d'acquisition de données ultrasonores ont été déployés pendant une année complète. La mesure de l'activité en simultanée, au sol et à 90 m d'altitude, a permis de mesurer le niveau de fréquentation de chaque espèce des altitudes impactées par les pales. Les comportements de vols sont ainsi très variables entre les espèces : les trois espèces de noctules fréquentent de manière très importante les altitudes à risques. La Pipistrelle de Nathusius, la Sérotine commune et la Pipistrelle de Kuhl sont des espèces que l'on détecte également de manière non négligeable à cette altitude. Pour les autres espèces, les hauteurs de vols et donc le risque de collision, semble plus faible. Ces comportements ne sont cependant pas stables sur l'année et on observe une augmentation de la fréquentation à 90 m en fin d'été et au début de l'automne ce qui correspond également à une période de mobilité chez plusieurs espèces de chiroptères (Ruys & Bernard 2014). Ce changement de comportement de vol pourrait expliquer la plus forte mortalité vis-à-vis des installations éoliennes constatée pour ces espèces sur cette période (Dulac 2008). A l'avenir, des études ciblées sur cette période particulière seraient utiles pour décrire plus finement les patterns de fréquentation à hauteur de pale. La mesure de l'activité des chiroptères en continue a permis de décrire les patterns d'activité du cortège Aquitain. Une activité a été détectée pour chaque mois de l'année et l'activité est plus élevée entre avril et novembre avec un maximum entre juillet et octobre. La phénologie diffère cependant selon les espèces, on observe par exemple deux pics d'activité pour la Pipistrelle de Nathusius qui coïncident au flux de migrants de cette espèce sur la région (mai-juin et septembre-octobre). Les résultats de cette étude ont également mis en évidence des phénologies d'activité atypiques qui pourraient indiquer des déplacements saisonniers voire des comportements migratoires pour des espèces qui sont aujourd'hui considérées comme sédentaires en Aquitaine (Ruys & Bernard 2014). Il s'agit du Molosse de Cestoni et de la Pipistrelle commune. Il serait intéressant d'approfondir l'étude de la mobilité de ces espèces pour mieux comprendre leur exposition aux risques de collision vis-à-vis de l'éolien. L'accumulation de données issues de protocole de long terme sur d'autres sites et pour d'autres années permettrait de consolider ces résultats à l'avenir, notamment pour les espèces les plus rares à l'échelle de la région. Ce suivi en continu a permis également de mesurer la forte variabilité de l'activité chiroptérologique d'un jour sur l'autre pour un même site. Une analyse de l'influence des conditions météorologiques sur la mesure de l'activité serait intéressante pour mieux comprendre cette variabilité. Ce type de données pourrait également être utilisé à l'avenir pour calculer la taille minimale d'échantillon nécessaire pour avoir une mesure de l'activité représentative du site et ainsi éviter les conclusions d'étude biaisées liées à un échantillonnage trop faible.

Note sur la modification du protocole

La tâche 3 du projet prévoyait deux protocoles d'échantillonnage basés sur l'enregistrement de l'activité ultrasonores des chiroptères au sol et à 90 m. Ce protocole est basé sur l'utilisation de ballons gonflés à l'hélium pour maintenir le dispositif d'enregistrement à la hauteur souhaitée. Ces protocoles avaient pour objectif de mesurer les différences de phénologie d'activité pour ces espèces par type d'habitat et par latitude. Après la première session de terrain nous avons modifié le protocole pour prendre en compte le retour d'expérience. La forte sensibilité des ballons aux conditions météorologiques, en particulier au vent, est une contrainte forte sur le planning de pose et les périodes favorables sont assez réduites, parfois il n'y avait aucune fenêtre météorologique favorable pendant plus d'un mois. De plus, il nous paraissait important d'avoir une mesure de l'activité sur une longue période, afin de produire un référentiel de l'activité par espèce et selon les périodes de l'année. Nous avons donc gardé un protocole de mesure de l'activité en simultanée au sol et à 90 m sur cinq sites en Gironde. Ce protocole a permis de décrire le pattern d'activité à hauteur de pale, à la fois en fonction des espèces et en fonction de la période de l'année. Le second protocole a été réorienté pour enregistrer l'activité des chiroptères uniquement au sol mais en continu sur l'ensemble d'un cycle biologique, c'est-à-dire pendant 365 jours consécutifs. Ce protocole a été déployé sur sept sites répartis sur toute la région pour disposer de répliques avec des conditions climatiques différentes. Cette mesure de l'activité au sol a l'avantage de ne pas être contrainte par les conditions météorologiques contrairement aux ballons gonflés à l'hélium qui ne peuvent pas être installés en cas de vent ou de précipitations pour des raisons de sécurité. En revanche une mesure de l'activité en continu implique une collecte de fichiers ultrasonores plus importante et donc un temps d'identification des fichiers bien supérieure. Ces deux protocoles sont complémentaires et ont permis à la fois de décrire les patterns d'activité sur l'ensemble de l'année mais aussi de mettre en évidence des changements de comportements de vol en fonction des espèces et des périodes de l'année qui impliquent des différences d'exposition au risque de collision avec les installations éoliennes.

Pour aller plus loin dans la compréhension de l'influence de l'habitat et du climat sur l'activité des chiroptères il serait possible à l'avenir d'utiliser des mats de mesures pour maintenir les enregistreurs à ultrasons à hauteur de pales. Cela permettrait de s'affranchir de la forte sensibilité des ballons à hélium aux conditions météorologiques et ainsi d'enregistrer l'activité des chiroptères sur l'ensemble du cycle, au sol comme en altitude.

11. Annexes

11.1.1. Paramètres de réglage des SM2 dans le cadre du projet :

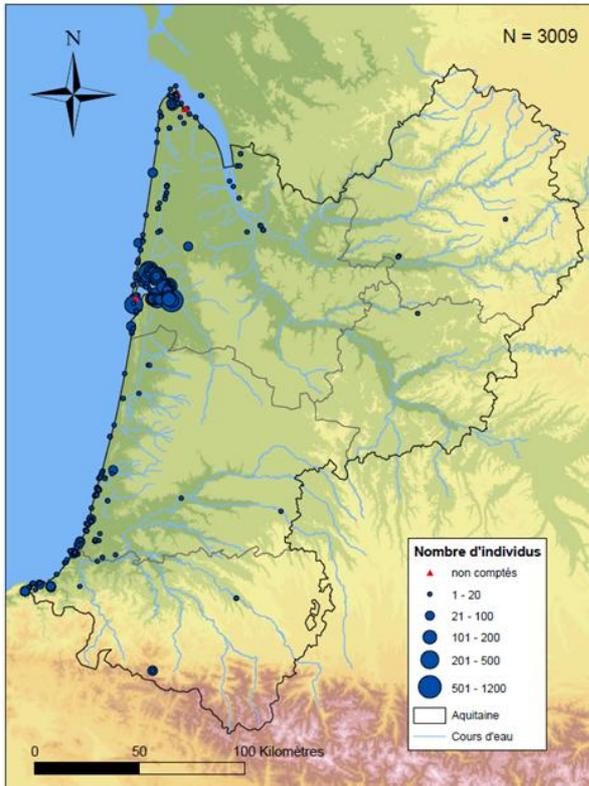
- Firmware version 3.37
- 4 cartes ET de 32 Go garantissant une autonomie d'un mois
- Réglage de l'horloge interne du SM2 sur l'heure TU
- Début et fin d'enregistrement définis par le coucher et le lever du soleil. Pour cela les coordonnées géographiques du point de recueil des données ont été paramétré dans le software du SM2 qui calcul les éphémérides en fonction de sa position.
- Réglage du préamplificateur du micro sur 24 dB pour éviter les phénomènes de saturation
- Taux d'échantillonnage réglé sur 384 Khz
- Appareil en mode mono
- Taux de compression réglé sur WAC0 afin d'optimiser le rapport qualité du son/espace de stockage
- Gain électronique réglé sur 0 dB
- Trigger de déclenchement réglé sur 6dB : dès que le rapport signal/bruit dépasse 6dB un enregistrement est déclenché
- Longueur de la fenêtre d'enregistrement sans nouvelle sollicitation réglé sur 2s : si aucun son dépassant de 6 dB le bruit de fond n'est détecté la plage d'enregistrement s'arrête au bout de 2s.
- Longueur maximal de la plage d'enregistrement réglé sur 5s

11.1.2. Liste des formalités administratives réalisées dans le cadre de l'utilisation d'aéronefs inhabité :

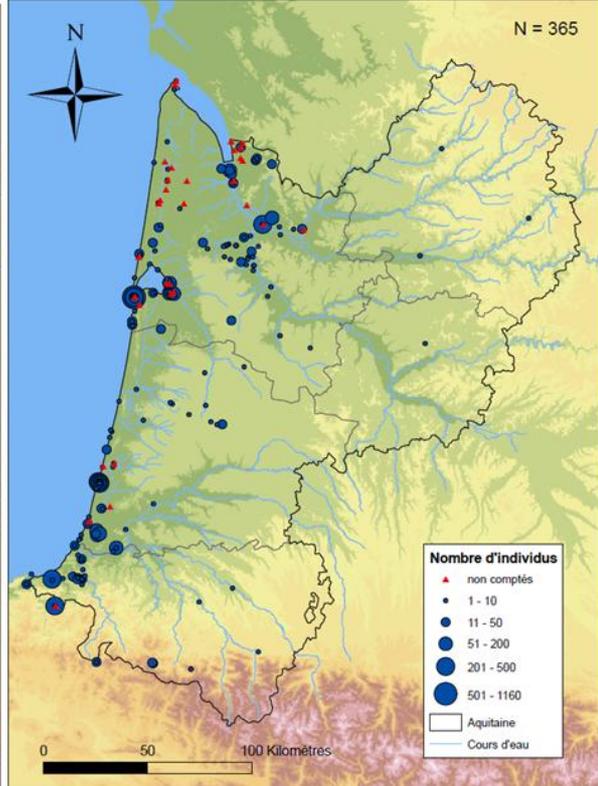
- Dépôt d'un Map (Manuel d'activités Particulières auprès de la DGAC) ;
- Formation des télépilotes ;
- Information et autorisation auprès des propriétaires ;
- Déclaration des opérations auprès de la DGAC.

11.1.3. Groupe 1 : Couloir de migration marin/côtier

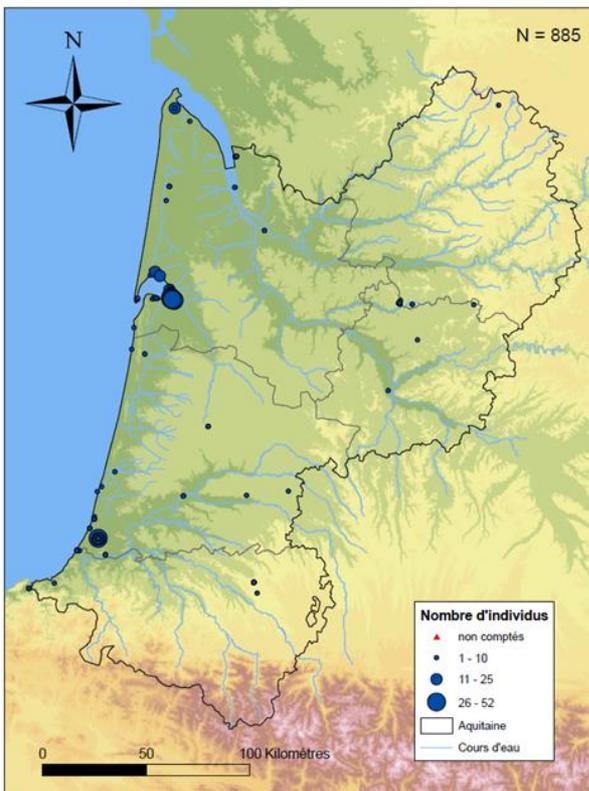
Répartition des observations de Courlis corlieu en Aquitaine entre 2008 et 2014



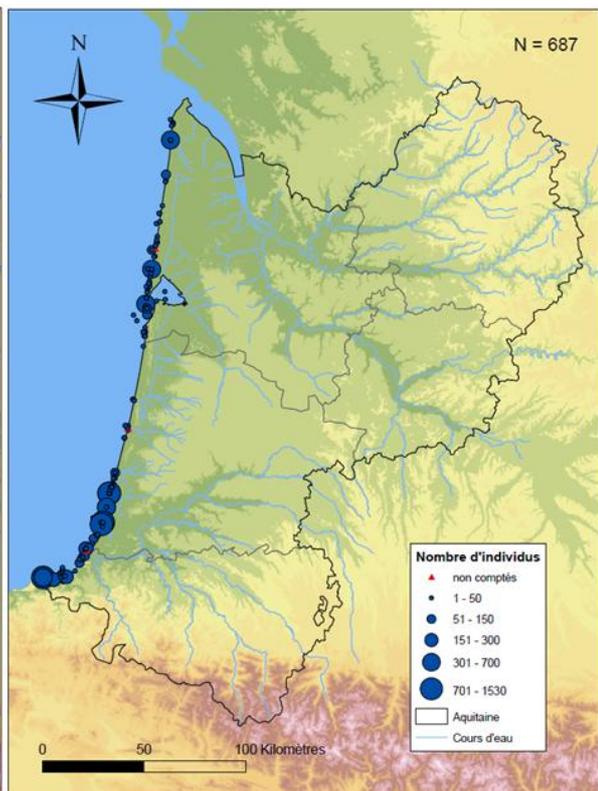
Répartition des observations d'Hirondelle de rivage en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



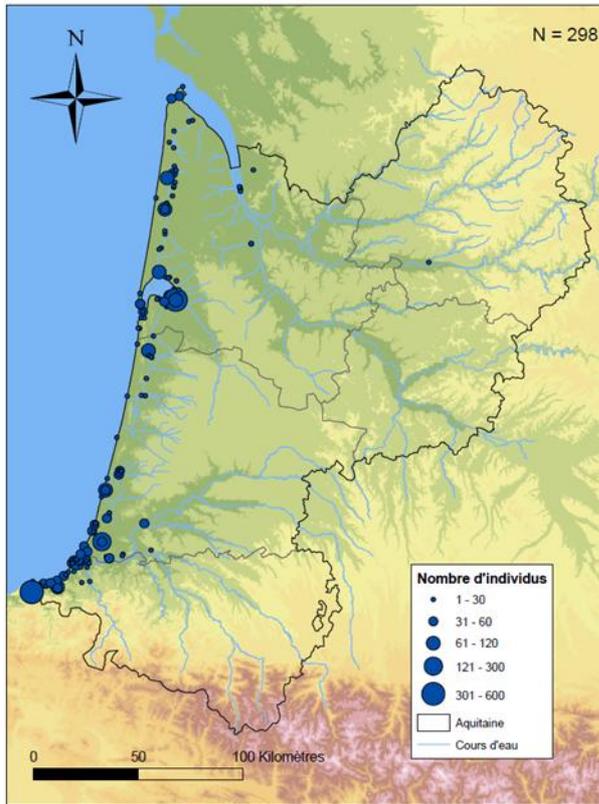
Répartition des observations de Bécasseau cocorli en Aquitaine entre 2008 et 2014



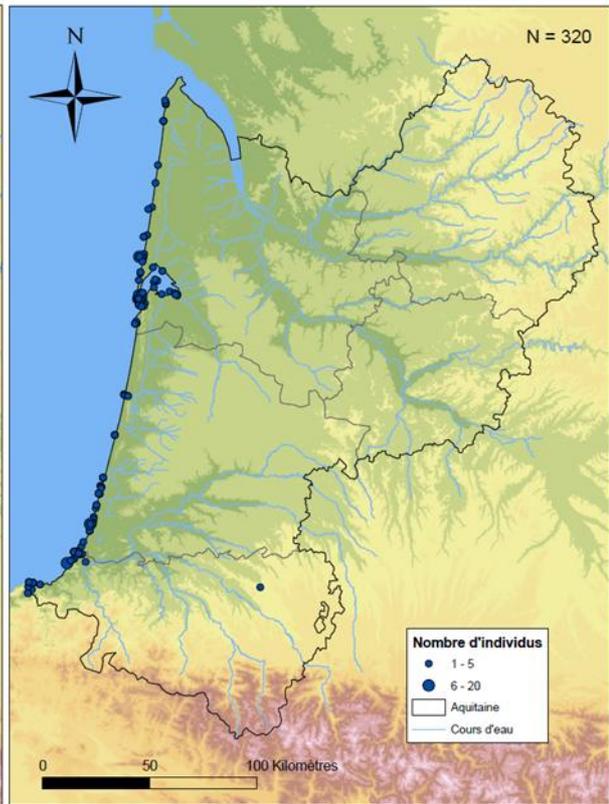
Répartition des observations de Puffin des Baléares en Aquitaine entre 2008 et 2014



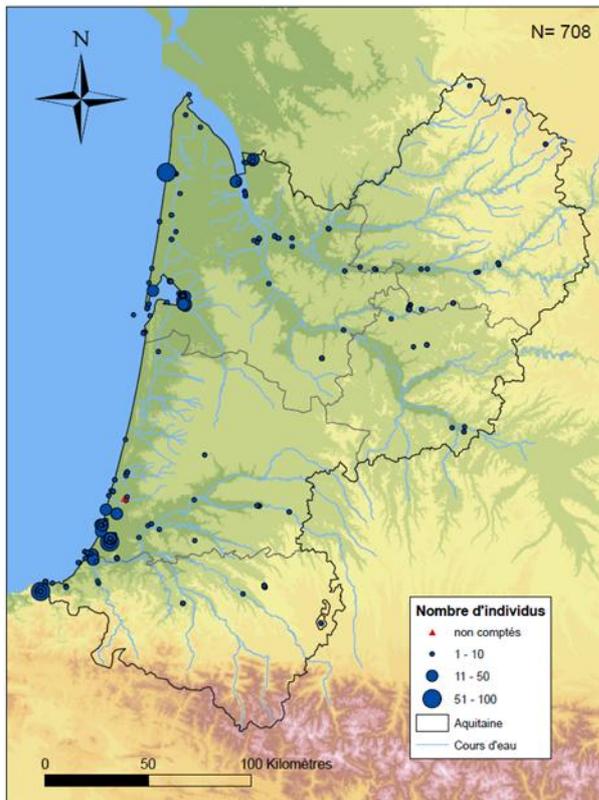
Répartition des observations de Spatule blanche en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Répartition des observations de Labbe parasite en Aquitaine entre 2008 et 2014

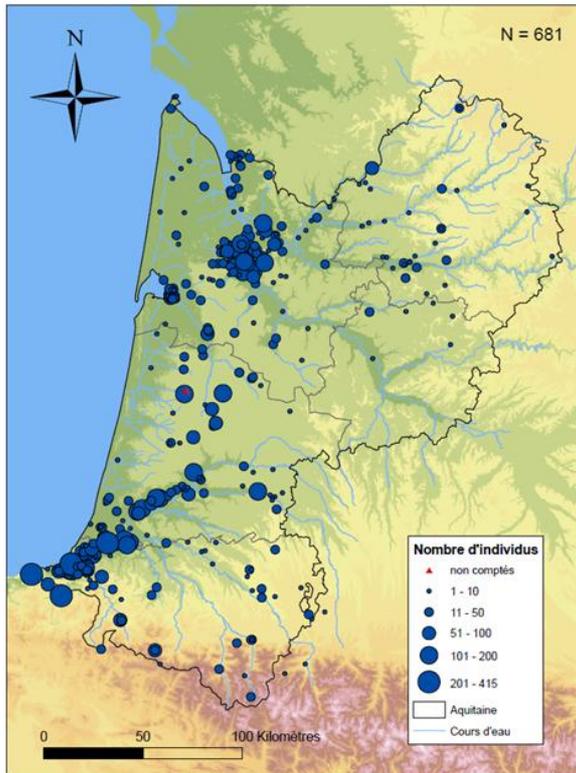


Répartition des observations de Guifette noire en Aquitaine entre 2008 et 2014

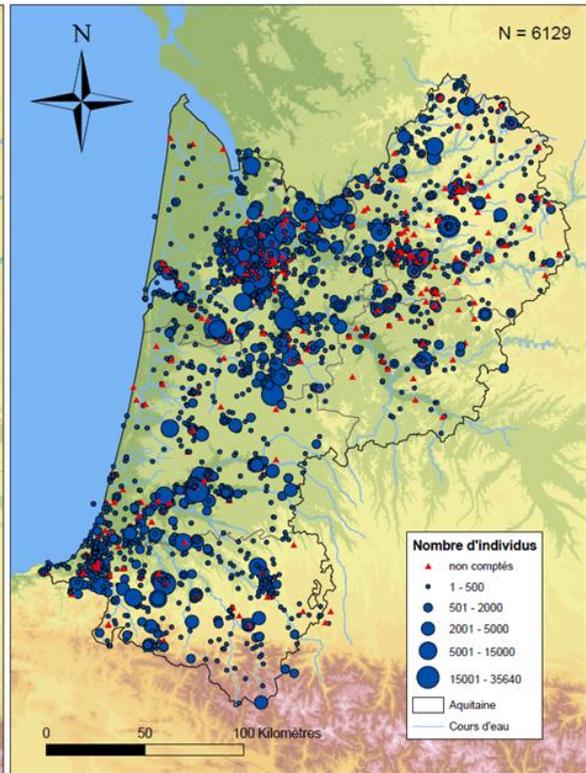


11.1.4. Groupe 2 : Couloir de migration étroit non côtier

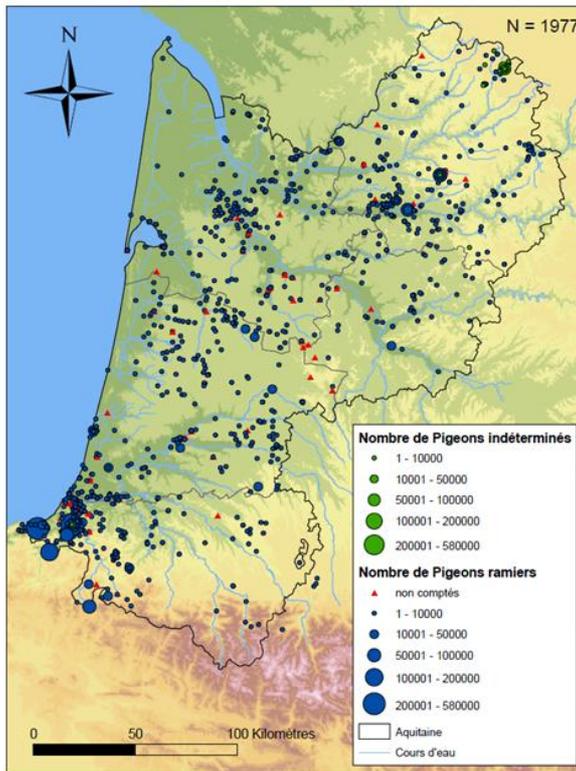
Répartition des observations de Cigogne blanche en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



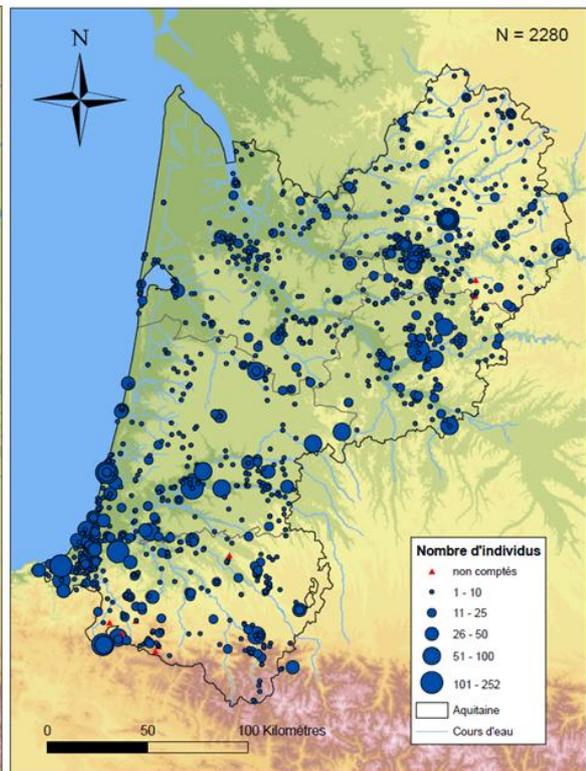
Répartition des observations de Grue cendrée en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



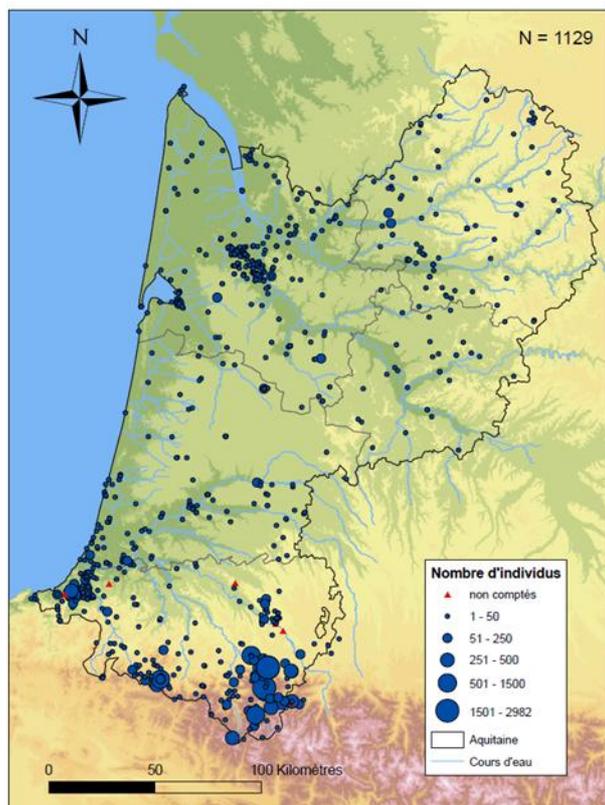
Répartition des observations de Pigeon ramier en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Répartition des observations de Milan royal en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014

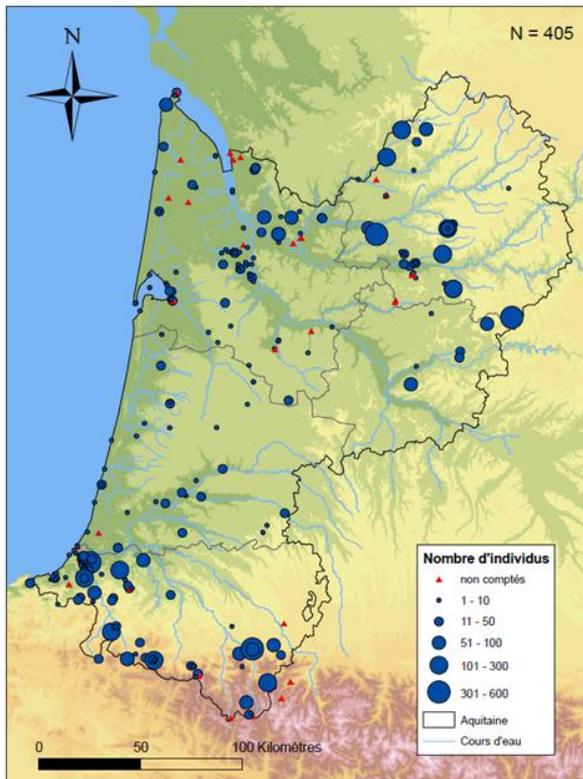


Répartition des observations de Milan noir
en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014

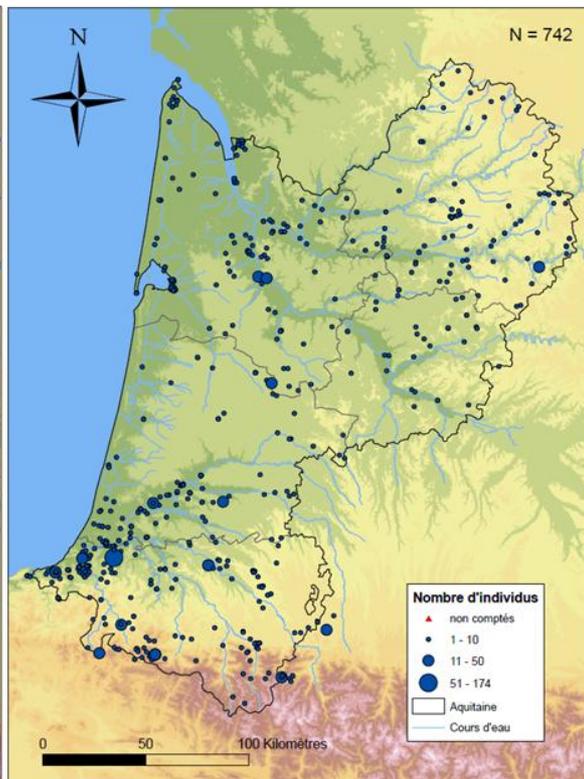


11.1.5. Groupe 3 : Couloir de migration uniforme

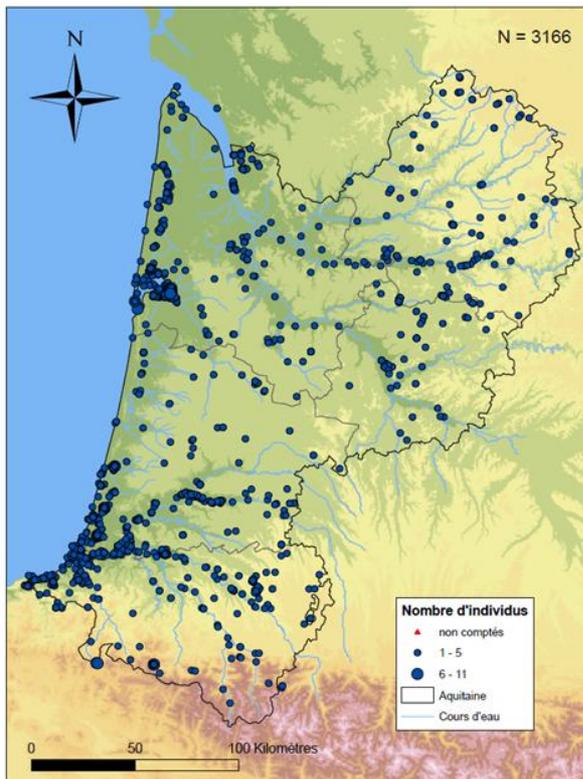
Répartition des observations d'Hirondelle de fenêtre en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



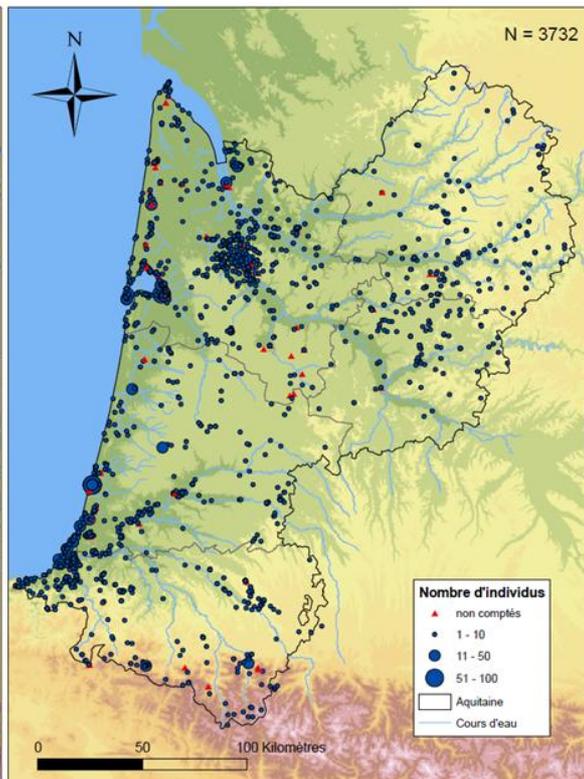
Répartition des observations de Cigogne noire en Aquitaine entre 2008 et 2014



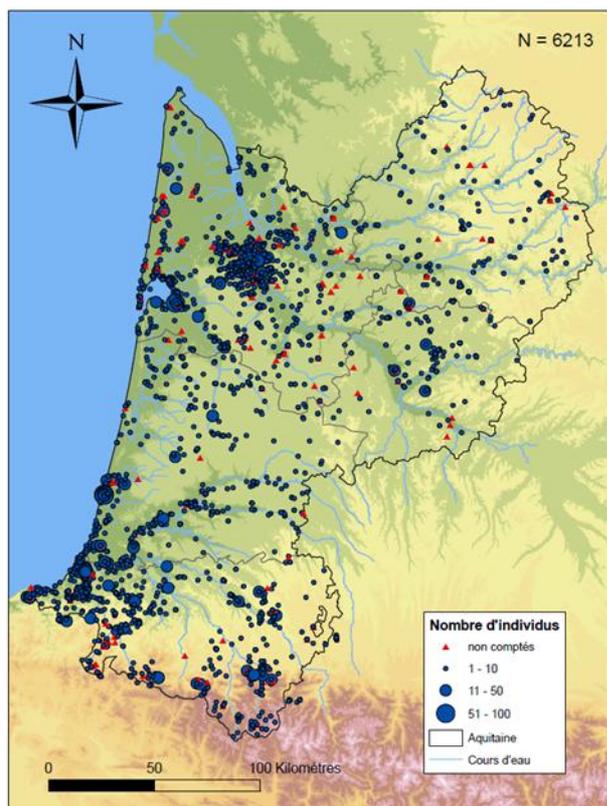
Répartition des observations de Balbuzard pêcheur en Aquitaine entre 2008 et 2014



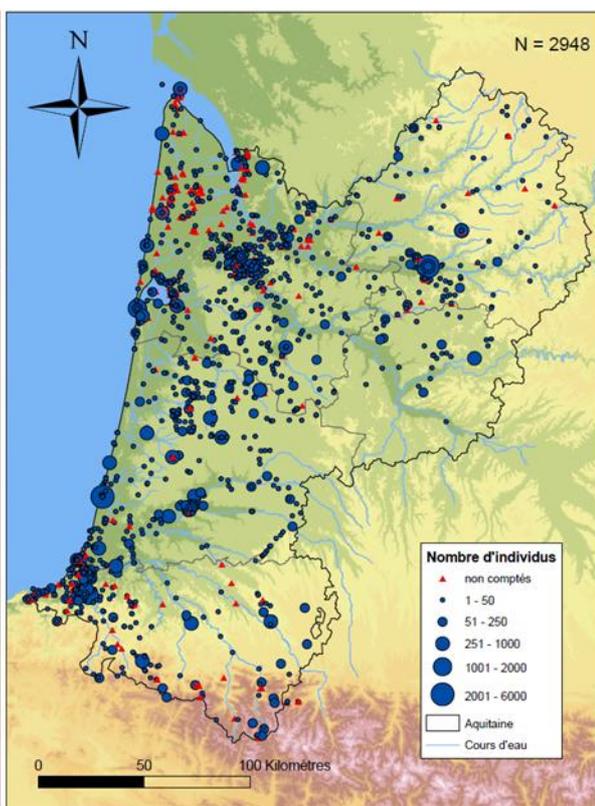
Répartition des observations de Pouillot fitis en Aquitaine entre 2008 et 2014



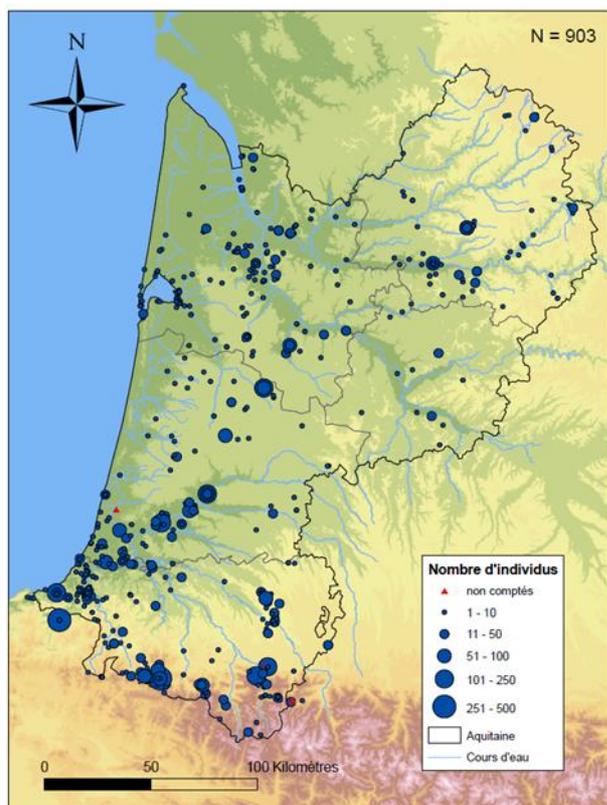
Répartition des observations de Gobemouche noir en Aquitaine entre 2008 et 2014



Répartition des observations d'Hirondelle rustique en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014

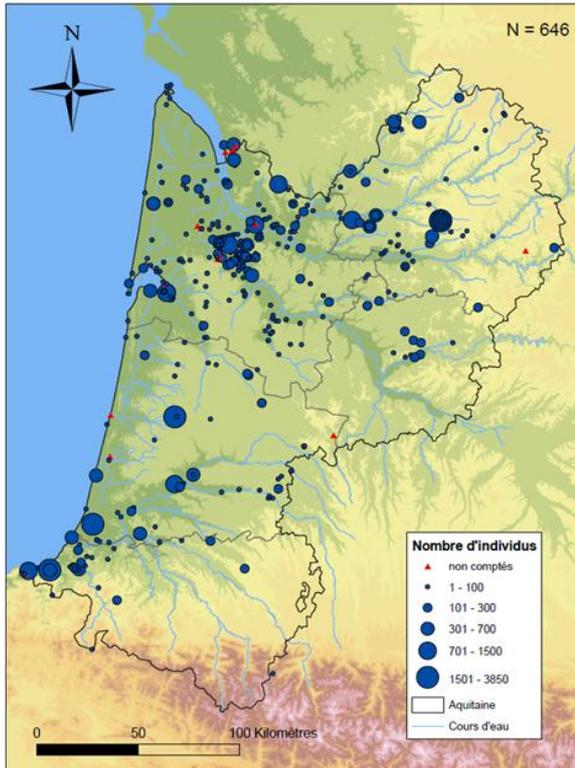


Répartition des observations de Bondrée apivore en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014

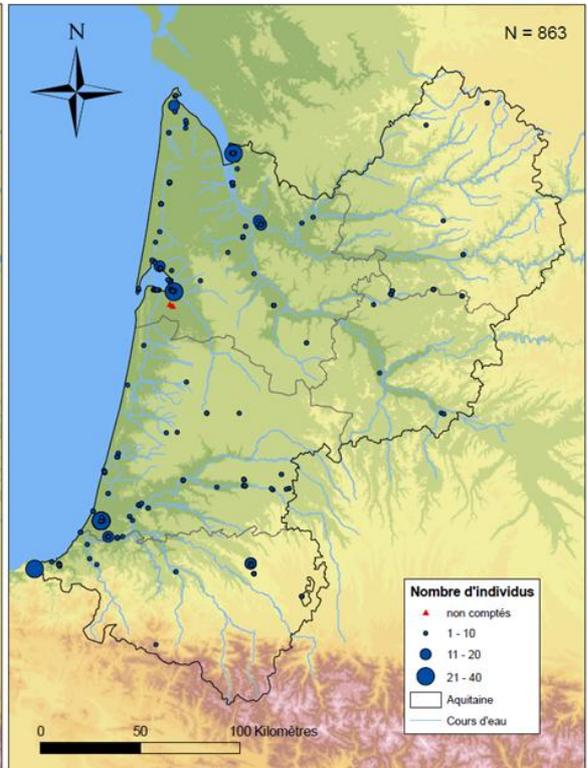


11.1.6. Groupe 4 : Couloir de migration de certains Passereaux, Limicoles et Anatidés

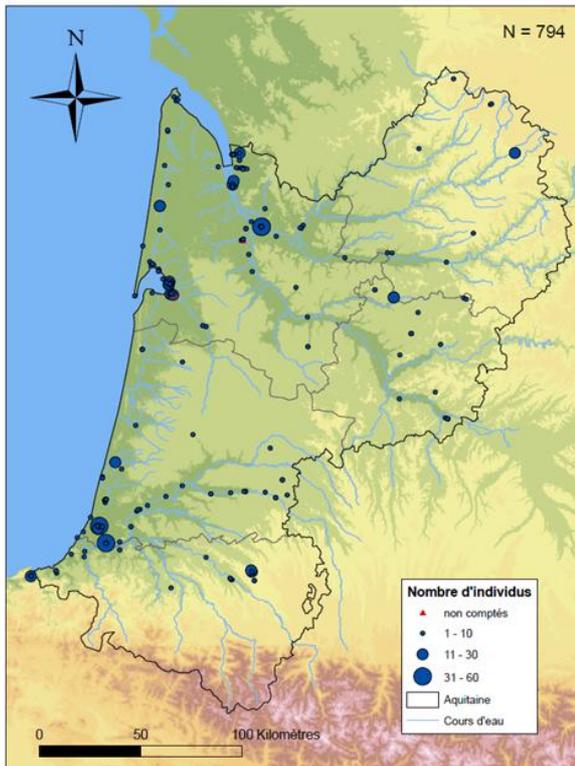
Répartition des observations de Vanneau huppé en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



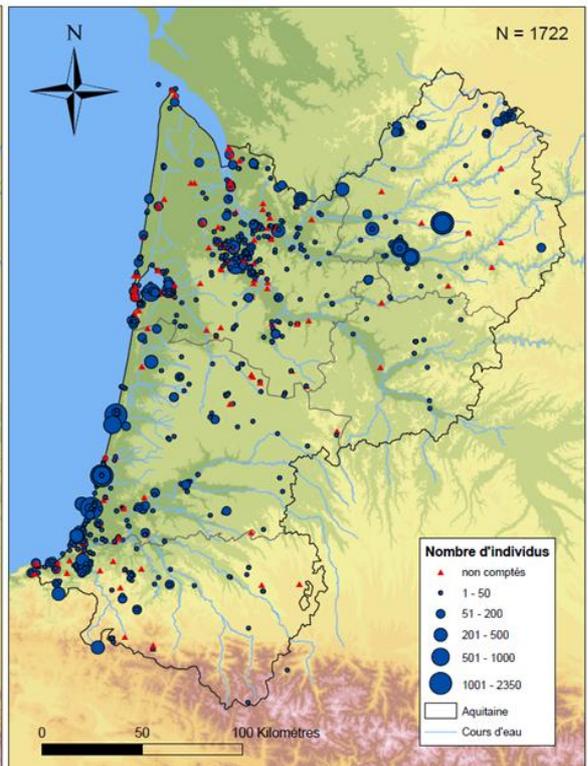
Répartition des observations de Chevalier sylvain en Aquitaine entre 2008 et 2014



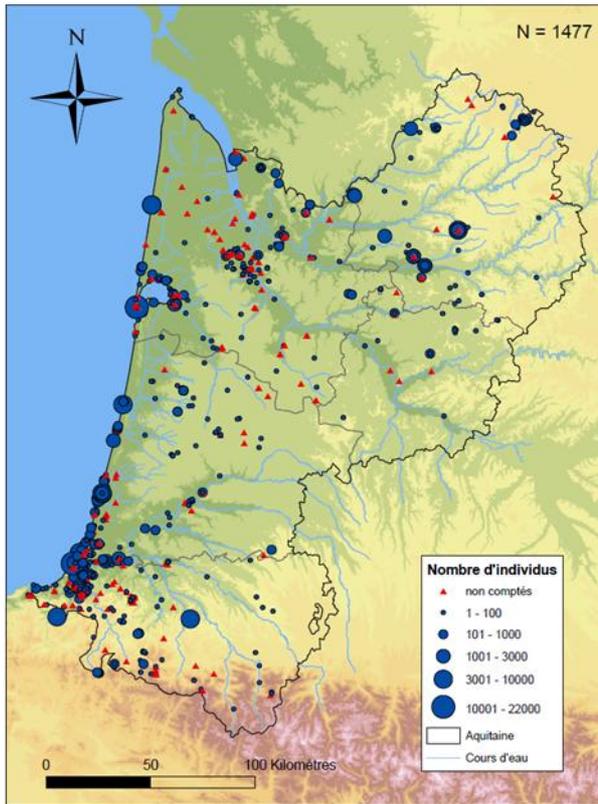
Répartition des observations de Sarcelle d'été en Aquitaine entre 2008 et 2014



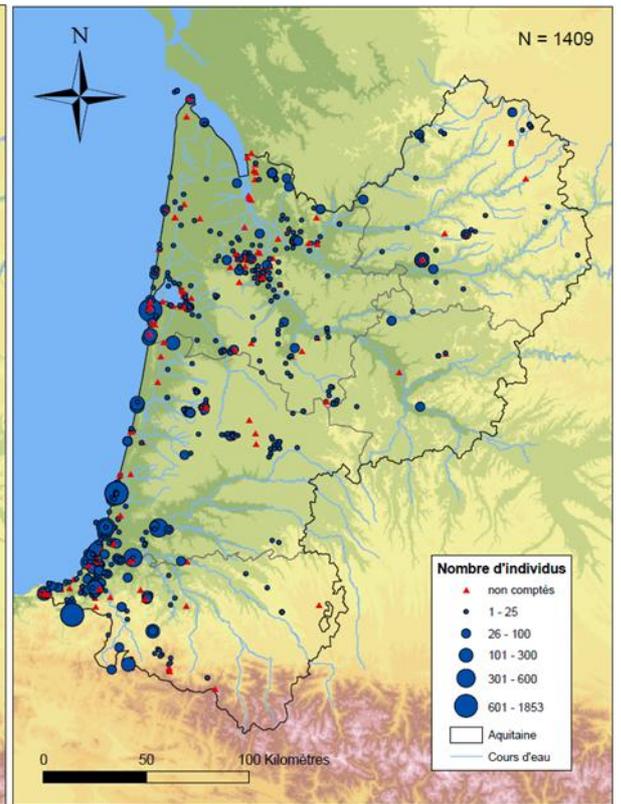
Répartition des observations d'Alouette des champs en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Répartition des observations de Pinson des arbres en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



Répartition des observations de Pipit farlouse en migration en Aquitaine entre 2008 et 2014



11.1.7. Phénologie de la migration prénuptiale et postnuptiale

Les intervalles qui contiennent 95 % et 50 % des migrateurs, ainsi que la date du pic et le nombre d'observations utilisées sont indiqués pour chaque période.

Migration prénuptiale

ESPECE	IC _{95%}	IC _{50%}	Pic	IC _{50%}	IC _{95%}	N
Alouette des champs	28-janv.	18-févr.	01-mars	12-mars	2-avr.	422
Balbuzard pêcheur	01-mars	20-mars	30-mars	9-avr.	29-avr.	1012
Bécasseau cocorli	9-avr.	27-avr.	06-mai	15-mai	02-juin	143
Bondrée apivore	24-avr.	04-mai	09-mai	15-mai	25-mai	285
Chevalier sylvain	14-mars	10-avr.	25-avr.	10-mai	06-juin	126
Cigogne blanche	8-janv.	16-févr.	07-mars	27-mars	05-mai	327
Cigogne noire	24-déc.	18-févr.	18-mars	17-avr.	12-juin	279
Courlis corlieu	1-avr.	19-avr.	29-avr.	08-mai	27-mai	1364
Gobemouche noir	8-avr.	20-avr.	27-avr.	03-mai	16-mai	252
Grue cendrée	8-févr.	20-févr.	26-févr.	03-mars	15-mars	2273
Guifette noire	11-mars	17-avr.	06-mai	26-mai	2-juil.	197
Hirondelle de fenêtre	23-févr.	4-avr.	25-avr.	16-mai	26-juin	156
Hirondelle de rivage	15-févr.	18-mars	4-avr.	21-avr.	23-mai	170
Hirondelle rustique	29-févr.	29-mars	14-avr.	29-avr.	29-mai	1470
Milan noir	19-févr.	02-mars	08-mars	15-mars	27-mars	723
Milan royal	1-févr.	20-févr.	01-mars	11-mars	30-mars	592
Pigeon ramier	2-févr.	24-févr.	07-mars	19-mars	10-avr.	329
Pinson des arbres	24-févr.	09-mars	16-mars	23-mars	6-avr.	347
Pipit farlouse	02-mars	21-mars	31-mars	10-avr.	30-avr.	458
Pouillot fitis	09-mars	28-mars	7-avr.	17-avr.	06-mai	1429
Sarcelle d'été	20-févr.	13-mars	24-mars	4-avr.	26-avr.	600
Spatule blanche	12-déc.	21-févr.	29-mars	05-mai	15-juil.	96
Vanneau huppé	9-févr.	27-févr.	07-mars	16-mars	2-avr.	489

Migration postnuptiale

ESPECE	IC_{95%}	IC_{50%}	Pic	IC_{50%}	IC_{95%}	N
Alouette des champs	1-oct.	14-oct.	21-oct.	28-oct.	10-nov.	1300
Balbuzard pêcheur	06-août	1-sept.	15-sept.	28-sept.	24-oct.	2154
Bécasseau cocorli	3-juil.	14-août	5-sept.	27-sept.	7-nov.	742
Bondrée apivore	09-août	21-août	27-août	3-sept.	15-sept.	618
Chevalier sylvain	14-juil.	06-août	18-août	30-août	22-sept.	737
Cigogne blanche	26-juin	10-août	2-sept.	26-sept.	9-nov.	351
Cigogne noire	6-juil.	10-août	29-août	17-sept.	23-oct.	463
Courlis corlieu	27-mai	22-juil.	21-août	20-sept.	15-nov.	1645
Gobemouche noir	08-août	27-août	6-sept.	16-sept.	4-oct.	5961
Grue cendrée	9-oct.	1-nov.	13-nov.	26-nov.	19-déc.	3850
Guifette noire	17-août	5-sept.	15-sept.	25-sept.	14-oct.	511
Hirondelle de fenêtre	27-juil.	31-août	16-sept.	3-oct.	6-nov.	249
Hirondelle de rivage	19-juil.	21-août	8-sept.	26-sept.	29-oct.	195
Hirondelle rustique	21-août	12-sept.	24-sept.	5-oct.	28-oct.	1477
Labbe parasite	28-juil.	26-sept.	27-oct.	27-nov.	26-janv.	308
Milan noir	1-juil.	21-juil.	01-août	11-août	1-sept.	405
Milan royal	26-sept.	13-oct.	21-oct.	30-oct.	16-nov.	1678
Pigeon ramier	4-oct.	16-oct.	22-oct.	28-oct.	8-nov.	1621
Pinson des arbres	2-oct.	13-oct.	19-oct.	25-oct.	5-nov.	1130
Pipit farlouse	20-sept.	6-oct.	15-oct.	23-oct.	8-nov.	951
Pouillot fitis	27-juil.	23-août	7-sept.	21-sept.	18-oct.	2303
Puffin des Baléares	2-sept.	4-oct.	21-oct.	6-nov.	9-déc.	546
Sarcelle d'été	11-juin	27-juil.	20-août	13-sept.	29-oct.	194
Spatule blanche	26-juil.	27-août	14-sept.	1-oct.	3-nov.	202
Vanneau huppé	20-août	12-oct.	9-nov.	6-déc.	28-janv.	153



11.1.8. Paramétrages du utilisés pour le traitement des données radar

PARAMETRES POUR L'EXTRACTION DES BLIPS	VALEUR	COMMENTAIRE
<i>Noise cutoff</i>	80	Valeur minimale pour retenir les petites cibles
<i>Learning scans</i>	48	Nombre de scans utilisés dans la technique de soustraction de fond
<i>Old stats weighting</i>	0,95	Paramètre utilisé dans la technique de soustraction de fond
<i>Hot score treshold high</i>	20	Déterminent l'intensité du <i>blip</i> pour différencier les cibles biologiques du bruit de fond
<i>Hot score treshold low</i>	-1280	
<i>Samples per cell</i>	24	Taille d'une cellule <i>stats</i>
<i>Pulses per cell</i>	24	
PARAMETRES DE L'ANTENNE	VALEUR	COMMENTAIRE
<i>Angle of beam</i>	0	Angle du faisceau au-dessus du plan de rotation
<i>Horizontal aperture</i>	1,8	Ouverture horizontal et vertical du faisceau
<i>Vertical aperture</i>	20	
<i>Bearing offset</i>	90	Décalage (en degré) entre l'axe du véhicule et l'axe de l'antenne
<i>Rotation axis elevation above horizontal</i>	90	Ligne autour de laquelle l'antenne du radar tourne
PARAMETRES POUR LA FORMATION DES TRACKS	VALEUR	COMMENTAIRE
<i>Min blip samples</i>	30	Taille minimale et maximale des patches
<i>Max blip samples</i>	5000	
<i>Min blip area</i>	200	Superficie minimale et maximale de la cible
<i>Max blip area</i>	20000	
<i>Min angular span</i>	2	Plage angulaire minimale et maximale
<i>Max angular span</i>	-1	
<i>Min radial span</i>	1	Etendue radiale minimale et maximale
<i>Max radial span</i>	-1	
<i>Min number of blips required for a track</i>	4	Nombre de cibles à partir duquel on peut tracer un <i>track</i>
<i>Max speed of tracked objects</i>	200	Vitesse maximale de la cible
<i>Min number of blips before a track is plotted</i>	4	Nombre de cibles sauvegardées dans le fichier .csv
<i>How long to retain plots of complete tracks</i>	30	Les <i>tracks</i> complets sont affichés si leur dernier <i>blip</i> n'est pas trop éloigné ; c'est ce paramètre qui fixe la limite
<i>Min gain for a blip to join a track</i>	10	Valeur de gain minimale des cibles dans un <i>track</i>

PARAMÈTRE	CRITERE DE SUPPRESSION
Distance maximale entre <i>blips</i>	> 100 m
Distance au radar	> 1500 m
Vitesse	< 20 km/h
Intensité	< 0,3
Superficie	< 200

11.1.9. Glossaire

Aire de répartition naturelle : aire de répartition d'une espèce ou d'un habitat à l'intérieur de laquelle l'habitat ou l'espèce est présent naturellement (non introduit).

Aire de répartition : territoire bien délimité géographiquement à l'intérieur duquel existe l'unité taxonomique ou l'habitat considéré(e). Elle est continue ou discontinue. Syn : Aire de distribution géographique

Chorologie : étude des aires de distribution géographique des espèces et des autres unités taxonomiques et de leurs causes. Ces aires de distribution ne sont pas figées. On observe des phénomènes d'expansion, de régression et d'extinction.

Directive « Habitats » : directive 92/43 du Conseil du 21 mai 1992 sur la conservation des habitats naturels et de la faune et de la flore sauvages. L'objectif de cette directive est de contribuer à la préservation de la biodiversité, par le biais de la conservation des habitats naturels et de la faune et de la flore sauvages, dans les territoires européens des États membres auxquels s'applique la convention pour la diversité biologique.

Directive « Oiseaux » : directive 79/49 du Conseil du 2 avril 1979 sur la conservation des oiseaux sauvages. L'objectif de cette directive est de protéger toutes les espèces d'oiseaux sauvages et les habitats des espèces listées, en particulier au travers de la désignation de zones de protection spéciale (ZPS).

DOCOB (DOCUMENT d'OBJECTIF) : document d'orientation établi pour chaque site Natura 2000, définissant notamment les orientations de gestion et de conservation, les modalités de leur mise en œuvre et les dispositions financières d'accompagnement. Le document d'objectif doit contenir « 1. Une analyse décrivant l'état initial de conservation et la localisation des habitats naturels et des espèces qui ont justifiés la désignation du site [...] 6. Les procédures de suivi et d'évaluation des mesures proposées et de l'état de conservation des habitats naturels et des espèces » décret n°2001-1216 du 20 décembre 2001 relatif à la gestion des sites Natura 2000 et modifiant le code rural (sous-section 3, art. R.214-24).

Faciès : un faciès écologique est un ensemble de caractères physiologiques particuliers au sein d'une formation végétale. Ces caractéristiques particulières, en général très localisées, permettent de distinguer des spécificités originales au sein des espèces végétales d'un même habitat. Les faciès écologiques sont donc une forme de biodiversité des associations végétales.

Formulaire Standard de Données (FSD) : « document accompagnant la décision de transmission d'un projet de site ou l'arrêt désignant un site, élaboré pour chaque site Natura 2000 et transmis à la Commission européenne par chaque État membre. Il présente les données identifiant les habitats naturels et les espèces qui justifient la désignation du site » Circulaire DNP/SDEN n° 2004-1, fiche 5

Pression : influence naturelle ou humaine passée ou actuelle qui affecte de manière cumulée ou séparée la viabilité à moyen ou long terme de l'espèce ou de l'habitat (ex : pratiques de gestion, d'aménagement du territoire, de pratiques agricoles, sylvicoles, etc.).

Réseau Natura 2000 : réseau écologique européen formé par l'ensemble des sites d'importance communautaire désignés au titre des Directives « Habitats » (ZSC) et « Oiseaux » (ZPS).

Zone Spéciale de Conservation (ZSC) : site d'importance communautaire désigné au titre de la Directive « Habitats » par un acte réglementaire, administratif et/ou contractuel où sont appliquées les mesures de conservation nécessaires au maintien ou au rétablissement, dans un état de conservation favorable, des habitats naturels et/ou des populations des espèces pour lequel le site est désigné au titre de la directive « Habitats » (art. 1^{er}).

Références bibliographiques

- ADEME. (2015) Impacts environnementaux de l'éolien français. , 1–8.
- Aguirre-Gutiérrez, J., Carvalheiro, L.G., Polce, C., van Loon, E.E., Raes, N., Reemer, M. & Biesmeijer, J.C. (2013a) Fit-for-Purpose: Species Distribution Model Performance Depends on Evaluation Criteria - Dutch Hoverflies as a Case Study. *PLoS ONE*, **8**.
- Aguirre-Gutiérrez, J., Carvalheiro, L.G., Polce, C., Raes, N., Reemer, M. & Biesmeijer, J.C. (2013b) Fit-for-Purpose : Species Distribution Model Performance Depends on Evaluation Criteria – Dutch Hoverflies as a Case Study. *PLOS ONE*, **8**.
- Alerstam, T. (1979) Wind as Selective Agent in Bird Migration. *Ornis Scandinavica*, **10**, 76.
- Alerstam, T. (2009) Flight by night or day? Optimal daily timing of bird migration. *Journal of Theoretical Biology*, **258**, 530–536.
- Arnett, E.B., Huso, M.M.P., Schirmacher, M.R. & Hayes, J.P. (2011) Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **9**, 209–214.
- Arthur, L. & Lemaire, M. (2015) *Les Chauves-Souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*.
- Barbet-Massin, M., Jiguet, F., Albert, C.H. & Thuiller, W. (2012) Selecting pseudo-absences for species distribution models: How, where and how many? *Methods in Ecology and Evolution*, **3**, 327–338.
- Barclay, R.M.R., Baerwald, E.F. & Gruver, J.C. (2007) Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Canadian Journal of Zoology*, **85**, 381–387.
- Barré, K., Julliard, R., Le Viol, I., Bas, Y. & Kerbiriou, C. (2017) Impact of wind turbines on bat activity: an omitted long-distance concern.
- Barrios, L. & Rodríguez, A. (2004) Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. *Journal of Applied Ecology*, **41**, 72–81.
- Boria, R.A., Olson, L.E., Goodman, S.M. & Anderson, R.P. (2014) Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecological Modelling*, **275**, 73–77.
- Braunisch, V., Coppes, J., Arlettaz, R., Suchant, R., Schmid, H. & Bollmann, K. (2013) Selecting from correlated climate variables : a major source of uncertainty for predicting species distributions under climate change. , 1–13.
- Bruderer, B. (1999) Three Decades of Tracking Radar Studies on Bird Migration in Europe and the Middle East. *Proceedings International Seminar on Birds and Flight Safety in the Middle East*, 107–141.
- Cabrera-Cruz, S.A., Mabee, T.J. & Patraca, R.V. (2013) Nocturnal bird migration in Mexico : First records from marine radar. *Ornitologia Neotropical*, **24**, 299–309.
- Carroll, C., Dunk, J.R. & Moilanen, A. (2010) Optimizing resiliency of reserve networks to climate change: multispecies conservation planning in the Pacific Northwest, USA. *Global Change Biology*, **16**, 891–904.
- Cointet, J.-P. & Joly, P.-B. (2015) *Analyse Scientométrique Des Publications Sur Les Sciences Participatives*.
- Cryan, P.M. & Barclay, R.M.R. (2009) Causes of bat fatalities at wind turbines: Hypothesis and predictions. *Journal of Mammalogy*, **90**, 1330–1340.
- Cryan, P.M. & Brown, A.C. (2007) Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biological Conservation*, **139**, 1–11.
- Dulac, P. (2008) *Evaluation de L'Impact Du Parc Éolien de Bouin (Vendée) Sur L'Avifaune et Les Chauves-Souris Bilan Des 5 Années de Suivi Ligue Pour La Protection Des Oiseaux*.
- Erickson, J.L. & West, S.D. (2002) The Influence of Regional Climate and Nightly Weather Conditions on Activity Patterns of Insectivorous Bats. *Acta Chiropterologica*, **4**, 17–24.
- Erni, B.F.L.L.S.U.B.B. (2002) Wind and Rain govern the intensity of nocturnal bird migration in central Europe - a log-linear regression analysis. *Ardea*, 155–166.
- Fourcade, Y., Engler, J.O., Rödder, D. & Secondi, J. (2014) Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias. *PloS one*, **9**, 1–13.
- Franklin, J. (2010) *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*, Cambridge. Cambridge.
- Gasteren, H. Van, Holleman, I., Bouten, W., Loon, E. Van & Shamoun-Baranes, J. (2008) Extracting bird migration information from C-band Doppler weather radars. *Ibis*, **150**, 674–686.
- Govaere, A., Devos, S., Elleboode, C., Andre, Y., Delcourt, V. & Lagrange, H. Étude des mouvements d'oiseaux par radar en France – Analyse des données existantes – , 51–64.

- Groupe Chiroptères de la SFPEM. (2016) Diagnostic chiroptérologique des projets éoliens terrestres. , **1**, 0–35.
- Guelin, F. *Méthodologie D'exploitation Phénologique Des Données VisioNature*.
- Harmata, A.R., Podruzny, K.M., Zelenak, J.R., Morrison, M.L., American, S., Naturalist, M. & Jan, N. (2009) The University of Notre Dame Passage Rates and Timing of Bird Migration in Montana Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/3082981> Passage Rates and Timing of Bird Migration in Montana. , **143**, 30–40.
- Hedenström, A., Johansson, L.C. & Spedding, G.R. (2009) Bird or bat: comparing airframe design and flight performance. *Bioinspiration & Biomimetics*, **4**, 15001.
- Hüppop, O. & Hill, R. (2016) Migration phenology and behaviour of bats at a research platform in the south-eastern North Sea. , **59**, 5–22.
- Jana, S. & Pogacnik., M. (2008) The impacts of wind farms on animal species. *Acta veterinaria*, **58**, 615–632.
- Joiris, E. (2012) *High Altitude Bat Monitoring*.
- Kremen, C., Cameron, a, Moilanen, a, Phillips, S.J., Thomas, C.D., Beentje, H., Dransfield, J., Fisher, B.L., Glaw, F., Good, T.C., Harper, G.J., Hijmans, R.J., Lees, D.C., Louis, E., Nussbaum, R. a, Raxworthy, C.J., Razafimpahanana, a, Schatz, G.E., Vences, M., Vieites, D.R., Wright, P.C. & Zjhra, M.L. (2008) Aligning conservation priorities across taxa in Madagascar with high-resolution planning tools. *Science (New York, N.Y.)*, **320**, 222–6.
- Kunz, T.H., Arnett, E.B., Erickson, W.P., Hoar, A.R., Johnson, G.D., Larkin, R.P., Strickland, M.D., Thresher, R.W. & Turtle, M.D. (2007) Ecological impacts of wind energy development on bats: Questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **5**, 315–324.
- Larkin, R.P. (1991) Flight speeds observed with radar, a correction: slow 'birds' are insects. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, **29**, 221–224.
- Leathwick, J., Moilanen, A., Francis, M., Elith, J., Taylor, P., Julian, K., Hastie, T. & Duffy, C. (2008) Novel methods for the design and evaluation of marine protected areas in offshore waters. *Conservation Letters*, **1**, 91–102.
- Leshem, Y. & Yom-Tov, Y. (1998) Routes of migrating soaring birds. *Ibis*, **140**, 41–52.
- Liger, J., Couzy, L. & Filippi-codaccioni, O. (2013) Faune-aquitaine : portail collaboratif sur la biodiversité régionale. *Networks and Communication Studies*, **27**, 224–231.
- Lintott, P.R., Richardson, S.M., Hosken, D.J., Fensome, S.A. & Mathews, F. (2016) Ecological impact assessments fail to reduce risk of bat. *Current Biology*, **26**, R1135–R1136.
- Loss, S.R., Will, T. & Marra, P.P. (2013) Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. *Biological Conservation*, **168**, 201–209.
- M. McPherson, J. & Jetz, W. (2007) Effects of species? ecology on the accuracy of distribution models. *Ecography*, **30**, 135–151.
- Mabee, T., Cooper, B., Plissner, J. & Young, D. (2006) Nocturnal bird migration over an Appalachian ridge at a proposed wind power project. *Wildlife Society Bulletin*, **34**, 682–690.
- Mabee, T.J., Plissner, J.H. & Cooper, B.A. (2005) A radar and visual study of nocturnal bird and bat migration at the proposed Flat Rock wind power project, New York, fall 2004. *Report prepared for Atlantic Renewable Energy Corporation, Dickerson, Maryland*.
- Moilanen, A. (2007) Landscape Zonation, benefit functions and target-based planning: Unifying reserve selection strategies. *Biological Conservation*, **134**, 571–579.
- Moilanen, A., Leathwick, J. & Elith, J. (2008) A method for spatial freshwater conservation prioritization. *Freshwater Biology*, **53**, 577–592.
- Moilanen, A., Wilson, K. & Possingham, H. (2009) *Spatial Conservation Prioritization: Quantitative Methods and Computational Tools*.
- O'Shea, T.J., Cryan, P.M., Hayman, D.T.S., Plowright, R.K. & Streicker, D.G. (2016) Multiple mortality events in bats: A global review. *Mammal Review*, **46**, 175–190.
- Oppliger, J. (2004) La migration des chiroptères aux cols de Jaman et de Bretolet. *Société des Enseignants Neuchâtelois de Sciences*, 1–27.
- Parsons, K.N., Jones, G. & Greenaway, F. (2003) Swarming activity of temperate zone microchiropteran bats: effects of season, time of night and weather conditions. *Journal of Zoology*, **261**, 257–264.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. & Schapire, R.E. (2006) Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological modelling*, **190**, 231–259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. & Schapire, R.E. (2004) A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning* p. 83. ACM, New York, New York, USA.

- R Development Core Team. (2012) R: A Language and Environment for Statistical Computing.
- Ransome, R.D. (1971) The effect of ambient temperature on the arousal frequency of the hibernating Greater horseshoe bat, *Rhinolophus ferrumequinum*, in relation to site selection and the hibernation state. *Journal of Zoology*, **164**, 353–371.
- Richardson, W.J. (1978) Timing and Amount of Bird Migration in Relation to Weather: A Review. *Oikos*, **30**, 224–272.
- Richardson, W.J. (1998) Bird migration and wind turbines: Migration timing, flight behaviour and collision risk. *Proceedings of the National Avian-wind ...*, 132–140.
- Robert, B., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (2012) *Développement de Méthodes Pour Étudier et Réduire Le Risque de Collision de Chauves-Souris Avec Les Éoliennes Terrestres*.
- Robinson Willmott, J., Forcey, G.M. & Hooton, L.A. (2015) Developing an automated risk management tool to minimize bird and bat mortality at wind facilities. *Ambio*, **44**, 557–571.
- Rodrigues, L., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Goodwin, J. & Harbusch, C. (2008) *Lignes Directrices Pour La Prise En Compte Des Chauves-Souris Dans Les Projets Éoliens*.
- Roscioni, F., Russo, D., Febbraro, M. Di, Frate, L., Carranza, M.L. & Loy, A. (2013) Regional-scale modelling of the cumulative impact of wind farms on bats.
- Ruys, T. & Bernard, Y. (2014) *Atlas Des Mammifères Sauvages d'Aquitaine – Tome 4 – Les Chiroptères.*, Cistude Na (eds LPO and Cistude.Nature).
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L. & Hedenström, A. (2010) Bat Mortality at Wind Turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, **12**, 261–274.
- Sansom, A., Pearce-higgins, J.W. & Douglas, D.J.T. (2016) Negative impact of wind energy development on a breeding shorebird assessed with a BACI study design. , 541–555.
- Smallwood, K.S. (2013) Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, **37**, 19–33.
- Taylor, P.D., Brzustowski, J.M., Matkovich, C., Peckford, M.L. & Wilson, D. (2010) radR: an open-source platform for acquiring and analysing data on biological targets observed by surveillance radar. *BMC ecology*, **10**, 22.
- Thuiller, W., Georges, D. & Engler, R. (2015) Package 'biomod2'.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. & Araújo, M.B. (2009) BIOMOD - A platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, **32**, 369–373.
- Wellig, S.D., Nusslé, S., Miltner, D., Kohle, O., Glaizot, O., Braunisch, V., Obrist, M.K. & Arlettaz, R. (2013) Mitigating the negative effects of tall wind turbines on bats : vertical activity profiles and relationships to wind speed Mitigating the negative effects of tall wind turbines on bats : vertical activity profiles and relationships to wind speed. *PLoS ONE*, 49.
- Winiarski, K.J., Miller, D.L., Paton, P.W.C. & McWilliams, S.R. (2014) A spatial conservation prioritization approach for protecting marine birds given proposed offshore wind energy development. *BIOLOGICAL CONSERVATION*, **169**, 79–88.
- Wisn, M.S., Hijmans, R.J., Li, J., Peterson, A.T., Graham, C.H. & Guisan, A. (2008a) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, **14**, 763–773.
- Wisn, M.S., Hijmans, R.J., Li, J., Peterson, a. T., Graham, C.H. & Guisan, a. (2008b) Effects of sample size on the performance of species distribution models. *Diversity and Distributions*, **14**, 763–773.
- Woltmann, S. & Cimprich, D. (2003) Effects of weather on autumn hawk movements at Fort Morgan, Alabama. *Southeastern Naturalist*, **2**, 317–326.
- Zucca, M. (2010) *La Migration Des Oiseaux : Comprendre Les Voyageurs Du Ciel*.

Index des tableaux et figures

Tableaux

Tableau 1 : liste des espèces qui ont fait l'objet d'une modélisation de leur distribution. n correspond au nombre de données d'occurrence utilisé dans le modèle.	13
Tableau 2 : Liste des variables environnementales considérées dans la modélisation de distribution des chiroptères	14
Tableau 3 : Liste des espèces qui ont fait l'objet d'une modélisation de leur distribution. Le tri des données correspond aux différents filtres qui ont été appliqués au jeu de données brut pour supprimer les données correspondant à des déplacements longs (migration ou erratisme). n correspond au nombre de données d'occurrence utilisé dans le modèle.	21
Tableau 4 : Liste des variables environnementales considérées.	24
Tableau 5 : Liste des indices utilisés dans le cadre de la procédure de hiérarchisation pour les oiseaux.	36
Tableau 6 : Liste des Indices utilisés dans le cadre de la procédure de hiérarchisation pour les chiroptères.	38
Tableau 7 : Nombre de contacts ultrasonores enregistrés pour chaque espèce au sol et à 90 m d'altitude. Le ratio correspond à la part de l'activité à 90 m (B) sur l'activité totale pour l'espèce (B+S).	48
Tableau 8 : Résultats du test de corrélation de Student entre l'activité mesurée au sol et à 90m pour les espèces dont l'activité à 90 m est suffisamment importante. Il n'y a pas de corrélation pour toutes les espèces (p-value > 0,05) sauf pour la Grande noctule qui présente un coefficient de corrélation positif (0,82).	49
Tableau 9 : Liste des espèces et le nombre de contact de chacune d'entre elles dans le cadre du protocole phénologie. Les titres de colonnes en gras correspondent au code des sites d'enregistrement.	54
Tableau 10 : Liste des espèces de murin identifiés dans le cadre du protocole et le nombre de contact de chacune d'entre elle dans le cadre du protocole phénologie. Les titres de colonnes en gras correspondent au code des sites d'enregistrement.	56
Tableau 11 : Indice d'activité mensuelle par espèce. Pour chaque espèce le mois avec le niveau d'activité maximal est artificiellement fixé à 100 pour permettre une comparaison plus facile des espèces. Seules les espèces avec un nombre de données supérieur à 100 ont été considérées.	62
Tableau 12 : Pourcentage de cibles détectées en fonction de l'altitude	90
Tableau 13 : Influence du vent et des variations jour/nuit sur la hauteur des vols. ns : $p \geq 0,05$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$	90
Tableau 14 : Comparaison des hauteurs de vols des cibles détectées le jour et la nuit. ns : $p \geq 0,05$; * : $p < 0,05$; ** : $p < 0,01$; *** : $p < 0,001$	91
Tableau 15 : Pourcentage de cibles détectées le jour et la nuit sur le radar vertical	93
Tableau 16 : Nombre de cibles et d'observations obtenues sur les trois sites échantillonnées	93
Tableau 17 : Note de responsabilité par grandes régions biogéographiques françaises calculée dans le cadre du Plan National d'Actions pour les chiroptères 2008-2013.	104

Figures

Figure 1 : Cartes de probabilité de présence des chiroptères (1/3).	16
Figure 2 : Cartes de probabilité de présence des chiroptères (2/3).	17
Figure 3 : Cartes de probabilité de présence des chiroptères (3/3).	18
Figure 4 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (1/7).....	26
Figure 5 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (2/7).....	27
Figure 6 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (3/7).....	28
Figure 7 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (4/7).....	29
Figure 8 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (5/7), N correspond à la carte en période de nidification et H en période d'hivernage.	30
Figure 9 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (6/7), N correspond à la carte en période de nidification et H en période d'hivernage.	31
Figure 10 : Cartes de probabilité de présence des oiseaux (7/7), N correspond à la carte en période de nidification et H en période d'hivernage.	32

Figure 11 : Carte de l'indice de sensibilité à l'éolien pour les oiseaux en Aquitaine basée sur les analyses Zonation.....	39
Figure 12 : Carte de l'indice de sensibilité à l'éolien pour les chiroptères en Aquitaine basée sur les analyses Zonation.....	40
Figure 13 : Courbes représentant la part restante des distributions pour les oiseaux et les chiroptères en fonction de la part de territoire impacté selon le meilleur scénario prédit par la méthode Zonation. La valeur représentée correspond à la moyenne pondérée par les indices de sensibilité.	41
Figure 14: Carte de l'indice de sensibilité à l'éolien pour les chiroptères et les oiseaux en Aquitaine basée sur les analyses Zonation. La carte est une moyenne des valeurs de l'indice de sensibilité pour les oiseaux et pour les chiroptères.	42
Figure 15 : Carte des sites d'échantillonnage en Aquitaine pour les deux protocoles d'étude de l'activité des chiroptères. n correspond au nombre de site échantillonné pour chaque protocole.	46
Figure 16 : Part de l'activité à 90 m sur l'activité totale selon les espèces de chiroptères (n = 15 034). Les espèces qui ont la valeur zéro n'ont pas été détectées en altitude.	47
Figure 17 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Noctule de Leisler. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.....	49
Figure 18 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Pipistrelle de Khul et la Pipistrelle commune. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.	50
Figure 19 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Pipistrelle de Nathusius et la Séroline commune. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.	50
Figure 20 : Part de l'activité mesurée à 90 m sur l'activité totale pour la Noctule commune et la Grande noctule. Des lettres différentes indiquent une différence significative entre les modalités, c'est-à-dire que les différences observées entre ces mois ne s'expliquent pas par le hasard (seuil $\alpha = 0,05$). n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.	51
Figure 21 : Niveau d'activité mesurée en altitude pour toutes les espèces cumulées exprimé en minute positive par nuit. n indique la taille d'échantillon pour chaque modalité et les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.	52
Figure 22 : Evolution de la part des fichiers qui correspondent à des cris sociaux (rouge) ou à une activité de chasse – buzz (bleu).	55
Figure 23 : Mesures moyennes de température (haut) et de vitesse du vent (bas) issues des 7 stations Météo-France les plus proches de nos sites d'étude. Les barres d'erreurs correspondent à l'écart-type.	57
Figure 24 : Phénologie mensuelle d'activité des chiroptères exprimée en nombre de contact par nuit (1/3).....	59
Figure 25 : Phénologie mensuelle d'activité des chiroptères exprimée en nombre de contact par nuit (2/3).....	60
Figure 26 : Phénologie mensuelle d'activité des chiroptères exprimée en nombre de contact par nuit (3/3).....	61
Figure 27 : Indice moyen d'activité des chiroptères en Aquitaine, la barre d'erreur correspond à l'écart-type.	63
Figure 28 : Phénologie d'activité mensuelle pour la Pipistrelle de Nathusius PIPNAT à Erdoia, la Pipistrelle de Nathusius PIPNAT au courant d'Huchet, la Pipistrelle commune à Erdoia PIPPIP et la Noctule de Leisler PIPLEI au courant d'Huchet.	64
Figure 29 : Nombre de contacts par jour toutes espèces confondues pour l'intégralité du protocole. L'axe des ordonnées est en échelle logarithmique.....	65
Figure 30 : Modélisation réalisée : Cumul du nombre d'observations en fonction du jour de l'année (exemple de l'Hirondelle rustique), les intervalles regroupant 95% et 50% du flux sont matérialisés par des pointillés gris. La migration pré-nuptiale est en bleue et la migration post-nuptiale en rouge.	69
Figure 31 : Répartition de la pression d'observation en Aquitaine	70
Figure 32 : En haut à gauche : Exemple de la répartition des observations d'une espèce qui migre le long de la côte. En haut à droite : Exemple de la répartition des observations d'une espèce qui migre	

au large mais dont les observations ont lieu depuis la côte. En bas : Couloir de migration marin/côtier.	72
Figure 33 : Répartition des observations de Cigogne blanche les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité de passage. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols de suivis de la migration postnuptiale.	73
Figure 34 : Répartition des observations de Grue cendrée les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité de passage. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols de suivis de la migration postnuptiale.....	74
Figure 35 : Répartition des observations de Pigeon ramier les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité de passage. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols de suivis de la migration postnuptiale.....	75
Figure 36 : Répartition des observations de Milan royal les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité de passage. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols de suivis de la migration postnuptiale.....	76
Figure 37 : Répartition des observations de Milan noir les plus importantes et son couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité de passage. Le taux de passage est basé sur le nombre moyen d'oiseaux observé sur chacun des trois cols de suivis de la migration postnuptiale.	77
Figure 38 : Répartition des observations de Gobemouche noir les plus importantes et son couloir de migration. Les données non comptées correspondent à des observations de l'espèce sans indication d'abondance.	78
Figure 39 : Répartition des observations du Vanneau huppé et couloir de migration. Les intensités de couleurs sont indicatives et ont été définies manuellement en fonction de l'intensité de passage.	79
Figure 40 : Phénologie de la migration pré-nuptiale (en bleue) et postnuptiale (en rouge) des espèces étudiées. En clair : intervalle qui contient 95% de la migration, en foncé : intervalle qui contient 50% et en noir : la médiane.....	81
Figure 41 : Principales routes de migration utilisées par l'avifaune migratrice pour traverser l'Aquitaine. À gauche : couloir de migration uniforme (en pointillés) et couloir de migration des espèces qui contournent les Pyrénées (en trait plein). À droite : Couloir de migration marin/côtier et couloir de migration des espèces qui traversent l'Aquitaine selon un axe nord-est/sud-ouest.....	82
Figure 42 : Dispositif radar en fonctionnement (à droite) © Arzak et vue de l'équipement intérieur (à gauche) © Filippi-Codaccioni.....	84
Figure 43 : Sites d'enregistrements Radar.....	85
Figure 44: Terminologie utilisée dans radR d'après Taylor et al.	86
Figure 45 : Projection des données obtenues à Escource sur le radar vertical après le traitement. En rouge : cibles créées à partir du bruit de fond.	88
Figure 46 : Espace aérien échantillonné par un radar marin en mode vertical d'après Mabee et al.....	88
Figure 48 : Variation des hauteurs de vol entre le jour et la nuit sur les trois sites étudiés. La barre horizontale en gras représente la médiane et la boîte est bornée par le 1 ^{er} et le 3 ^{ème} quartile.....	91
Figure 47 : Hauteur des vols en fonction des directions et forces du vent sur les trois sites étudiés. Les indices a et b indiquent s'il existe des différences significatives entre les catégories. N : vent du nord, S : vent du sud et NF : vent fort du nord. Des lettres différentes indiquent une différences significative entre les modalités.	91
Figure 49 : Comparaison du pourcentage des différents vents pendant l'échantillonnage (pourcentage attendu ; en bleu) avec le pourcentage de cibles détectées par types de vent (pourcentage obtenue ; en rouge) sur le radar horizontal à Escource. Un « F » après la direction du vent indique qu'il s'agit d'un vent fort.	92
Figure 50 : Espace aérien échantillonné par un radar marin en mode vertical d'après Mabee et al. (à gauche). Exemple d'une situation dans laquelle l'observateur et le radar détectent des choses différentes (à droite).	94

Sigles et acronymes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
COPIL	COmité de PIlotage
CSRPN	Conseil Scientifique Régional du Patrimoine Naturel
DIREN	Direction Régionale de l'Environnement maintenant appelée DREAL (Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement)
DO	Directive Oiseaux
DOCOB	DOCument d'OBjectif
FSD	Formulaire Standard de Données
LPO	Ligue pour la Protection des Oiseaux
MNHN	Muséum National d'Histoire Naturelle
ONCFS	Office National de la Chasse et de la Faune sauvage
ZICO	Zone Importante pour la Conservation des oiseaux
ZSC	Zone Spéciale de Conservation (Directive « Habitats »)
ZPS	Zone de Protection Spéciale (Directive « Oiseaux »)

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.





ETUDE DE LA SENSIBILITE A L'EOLIEN DE LA BIODIVERSITE EN AQUITAINE

Résumé Une meilleure prise en compte de la biodiversité dans le cadre du développement éolien nécessite une connaissance fine de la répartition spatiale et temporelle de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères.

Pour améliorer ces connaissances nous avons mobilisé à la fois des données issues des sciences participatives et mis en œuvre des protocoles d'acquisition massive de données par l'utilisation d'un dispositif radar et d'enregistreurs à ultrasons au sol et en altitude.

L'analyse de ces données a permis de produire des cartes hiérarchisées de la sensibilité des populations d'oiseaux et de chiroptères à l'échelle de l'Aquitaine. Cela a permis également de réaliser une description des phénologies de migration des oiseaux et de l'influence de la météo sur le comportement migratoire, ainsi que de décrire les phénologies d'activité des chiroptères au sol et à hauteur de pales.

Ces différents résultats ont permis de livrer des préconisations méthodologiques concernant les différentes phases des projets éoliens pour permettre un développement éolien le moins impactant possible sur les populations de ces espèces.

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

www.ademe.fr

