

Programme de Recherches et Développement n°37

ÉTUDE DES COMPORTEMENTS DE DEPLACEMENTS DES CHIROPTERES ET LES FACTEURS LES INFLUENÇANT

Coordinateur / Rédacteur :

Marie LABOURÉ, chiroptérologue, Responsable d'études et développement

Comité de lecture :

Michaël LEROY, Responsable de l'Agence Écologie de Limoges

Quentin SUREAU, Responsable d'études et développement

Pierre PAPON, Docteur en Géographie, Directeur du pôle écologie d'ENCIS Environnement

Sylvain LE ROUX, Docteur en Géographie, Directeur d'ENCIS Environnement

Date : 18/01/2024



Sommaire

1	INTRODUCTION ET ETAT DE L'ART BIBLIOGRAPHIQUE	4
2	MATERIELS ET METHODES	7
	2.1 Description du jeu de données.....	8
	2.2 Collecte et analyse des sons	10
	2.3 Attribution des données météorologiques et horaires	10
	2.4 Sélection des espèces analysées.....	10
	2.5 Analyses menées sur le jeu de données	11
	2.6 Limites de l'étude.....	11
3	RESULTATS.....	12
	3.1 Analyses statistiques sur les variables périodiques	13
	3.1.1 Analyses par saisons.....	13
	3.1.2 Analyses par mois	15
	3.1.1 Analyses par semaine.....	17
	3.2 Analyses statistiques multivariées	18
	3.3 Répartition dynamique des contacts de chiroptères.....	20
	3.3.1 Répartitions globales	20
	3.3.1 Répartitions annuelles.....	21
	3.4 Répartition elliptique des contacts de chiroptères.....	23
	3.4.1 Répartition par saison	23
	3.4.1 Répartition par mois d'inventaire	24
4	CONCLUSION ET DISCUSSION	26

RÉSUMÉ

Sept années d'études de l'activité des chiroptères ont permis d'acquérir des jeux de données conséquents permettant l'étude des déplacements des chiroptères. Les inventaires ont été menés en hauteur, sur mâts de mesures météorologiques et en nacelles d'éoliennes, et sont répartis sur 90 sites représentatifs du grand centre ouest de la France. Dans cet article, les thématiques de déplacements et de répartitions des espèces de chauves-souris à tendance migratrice de longue distance au niveau européen sont étudiées en fonction de différentes saisonnalités et d'autres facteurs pouvant influencer les déplacements.

MOTS CLÉS : chiroptères, déplacement, migration, météorologie, hauteur, acoustique, cycle circadien



1 INTRODUCTION ET ETAT DE L'ART BIBLIOGRAPHIQUE

Les chiroptères possèdent un cycle biologique présentant une phase d'hibernation de novembre à février, une phase de migration printanière vers les gîtes estivaux de mars à mai, une phase de mise-bas au sein de ces gîtes de juin à juillet-août, une période de migration vers les secteurs de swarming (accouplements) et vers les gîtes hivernaux d'août à octobre.

Sur l'ensemble de ces saisons, hormis l'hibernation, des cas de mortalité liés aux éoliennes sur des populations locales ou migratrices sont observés (Brinkmann *et al.* 2011, Voigt *et al.* 2012). Cependant, la majorité des auteurs s'accorde sur le fait que la saisonnalité joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique, et donc la mortalité, sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne, ce qui correspond à une période de migration des chauves-souris (Alcalde 2003, Arnett *et al.* 2008, Rydell *et al.* 2010a, Brinkmann *et al.* 2011, Amorim *et al.* 2012, Limpens *et al.* 2013). Des hécatombes de mortalité ont également été relevées au printemps et en début d'été dans le sud de l'Europe (Georgiakakis *et al.* 2012, Beucher *et al.* 2013). Cette observation a ainsi conduit de nombreux auteurs à considérer que la mortalité par collision est intrinsèquement liée au comportement migratoire, et plus particulièrement automnal. Si ce fait est avéré, ce n'est pas seulement le comportement migratoire des chauves-souris qui induirait cette mortalité importante (collisions lors de vols directs), mais plutôt un comportement saisonnier. Les espèces migratrices ne seraient, de ce fait, pas forcément plus touchées que les populations locales (Behr *et al.* 2007 ; Brinkmann *et al.* 2006 ; Rydell *et al.* 2010 ; Voigt *et al.* 2012). Ainsi, Lenhert *et al.* ont mené une étude en 2014 montrant une mortalité supérieure sur les individus locaux (72 %) que sur les individus migrants (28 %) durant la période de migration de la Noctule commune (espèce la plus impactée en Allemagne). Parmi les individus impactés, la proportion de juvéniles est élevée (38 % chez les individus locaux et 32 % chez les migrants) et le sex-ratio est équilibré pour les individus locaux mais montre une majorité de femelles chez les migrants (62 %). Selon Cryan & Brown (2007), la période migratoire automnale impliquerait en fait une activité accrue d'individus lors des pauses migratoires destinées à reconstituer les réserves, gîter ou se reproduire, augmentant ainsi le risque de collision. Le besoin de stocker des réserves énergétiques en vue de l'hibernation serait également la cause d'une activité accrue en automne (Furmankiewicz & Kucharska 2009). De plus, lors des migrations, les chauves-souris traversent des zones moins bien connues que leurs territoires de chasse et/ou n'émettent que peu ou pas d'émissions sonar lors de ces trajets, elles seraient ainsi moins à même de repérer les pales en mouvement (Bach 2001 in Behr *et al.* 2007 ; Johnson *et al.* 2003).

Ces différents constats posent la question des comportements de déplacements et de migration chez les chiroptères. Dans un premier temps il apparaît important de reprendre la définition de la migration. Selon le dictionnaire Larousse, la migration animale est un « voyage annuel d'une population animale depuis son aire de reproduction jusqu'à une aire d'hivernage parfois très éloignée et un voyage de retour, généralement par le même chemin ». Selon Hugh Dingle, la migration animale peut être qualifiée de migration si elle possède les caractéristiques suivantes : un mouvement persistant année après année, non-hasardeux, un comportement non stéréotypé des individus et des changements biologiques en vue de la migration.

Les chauves-souris sont en partie des espèces migratrices parfois sur de longues distances comme la Pipistrelle de Nathusius, le Minioptères de Schreibers, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Grande Noctule ou encore la Sérotine de Nilsson (Hutterer *et al.* 2005, Arthur et Lemaire 2015). Ces espèces migratrices, après avoir reconstitué leurs réserves alimentaires à la sortie de l'hibernation, migrent dès le

printemps vers des zones où elles passent l'été, pour ensuite revenir hiberner sur la zone initiale par une deuxième migration en fin d'été et début d'automne (Dechmann *et al.* 2014, Dechmann *et al.* 2017). Les autres espèces de chiroptères réalisent également des déplacements saisonniers sur des distances plus réduites à l'échelle régionale ou locale, pour rallier des gîtes estivaux ou hivernaux.

Bien que les voies de migration chez les chiroptères soient encore assez mal connues, certaines études relatent des axes importants au niveau du littoral et des vallées fluviales, à la fois pour des espèces migratrices de longue distance que pour les espèces régionales (Wieringa *et al.* 2020, Kunz *et al.* 2007b, Cryan *et al.* 2014b, Hayes *et al.* 2019b, Furmankiewicz & Kucharska 2009, Telleria *et al.* 2009, Cryan *et al.* 2011). Ainsi, le dérangement des chiroptères sur les voies de migration peut impacter ces animaux sur de longues distances en créant des « effets barrières » (Voigt *et al.* 2012, Brinkmann *et al.* 2011). À noter cependant que les espèces migratrices semblent moins sensibles aux dérangements par les parcs éoliens que les individus locaux (Million *et al.* 2015, Lehnert *et al.* 2014).

Cet état des connaissances indique tout d'abord que des comportements de déplacements et de migrations chez les chiroptères sont connus au niveau européen. Cependant, hormis quelques études sur des espèces ciblées comme la Pipistrelle de Nathusius au nord de l'Europe, très peu de voies migratoires ont été étudiées pour les chiroptères. Ainsi, la présente étude a pour but d'explorer les jeux de données d'enregistrements acoustiques des chiroptères en hauteur, afin de voir si des déplacements saisonniers pourraient être assimilés à des tracés et des comportements migratoires.



2 MATERIELS ET METHODES

2.1 Description du jeu de données

Le jeu de données est composé de 365 144 données chiroptérologiques (contacts de chiroptères de 5 secondes maximum). Ces données sont enregistrées en hauteur sur un mât de mesures ou en nacelles d'éoliennes entre 2016 et 2022. Elles sont issues de 90 sites d'inventaire représentatifs du grand centre ouest de la France. Les hauteurs d'écoute sont comprises entre 75 m et 140 m. Les saisons sont réparties pour le printemps du 16/03 au 31/05, pour l'été du 01/06 au 15/08, pour l'automne du 16/08 au 15/11 et pour l'hiver du 16/11 au 15/03.

Type de suivis	Type de données	Nombre de données
Étude d'impact environnementale sur mât de mesure météorologiques	Nombre de sites	54
	Contacts de chiroptères	221 975
Suivi environnemental en nacelle d'éolienne	Nombre de sites	36
	Contacts de chiroptères	143 071
TOTAL	Nombre de sites	90
	Contacts de chiroptères	385 046

Tableau 1 : Détails du jeu de données par type de suivis

Type de données	Nombre de données
Nombre de contacts de Minioptères / Pipistrelles / Vespères sp.	202 713
Nombre de contacts de Sérotines / Noctules sp.	158 492
Nombre de contacts de Barbastelle / Murins / Oreillards sp.	1 786
Nombre de contacts de Pipistrelle de Nathusius	8 034
Nombre de contacts de Grande Noctule	5 067
Nombre de contacts de Noctule commune	40 480
Nombre de contacts de Noctule de Leisler	93 607

Tableau 2 : Détails du jeu de données par groupes d'espèces ou espèces

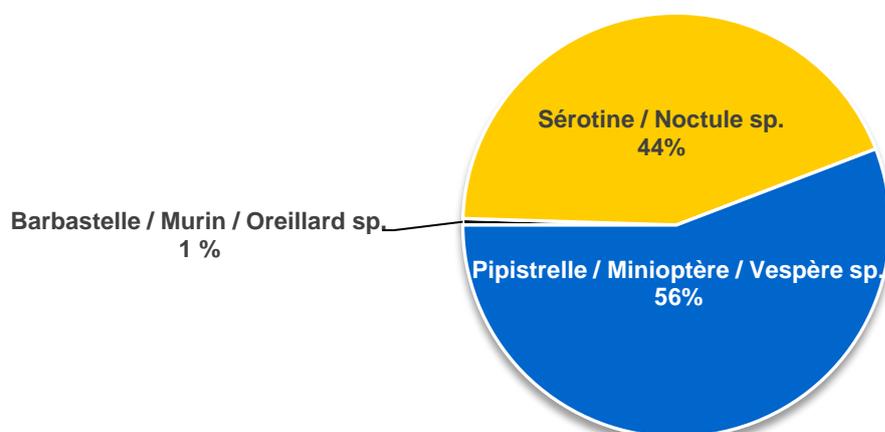


Figure 3 : Répartition des données de contacts de chiroptères en fonction des groupes d'espèces

Saisons	Type de données	Nombre de données
Transits printaniers et gestation (TPG)	Nombre de sites	81
	Contacts de chiroptères	73 916
Mise-bas et élevage des jeunes (MBEJ)	Nombre de sites	89
	Contacts de chiroptères	112 644
Transits automnaux et swarming (TAS)	Nombre de sites	90
	Contacts de chiroptères	178 173
Hibernation (HIV)	Nombre de sites	22
	Contacts de chiroptères	313

Tableau 4 : Détails du jeu de données par saisons

Type de données	Nombre de données
Nombre de contacts en Janvier	52
Nombre de contacts en Février	50
Nombre de contacts en Mars	4 500
Nombre de contacts en Avril	35 028
Nombre de contacts en Mai	34 732
Nombre de contacts en Juin	39 078
Nombre de contacts en Juillet	44 652
Nombre de contacts en Aout	72 165
Nombre de contacts en Septembre	91 029
Nombre de contacts en Octobre	40 271
Nombre de contacts en Novembre	3 478
Nombre de contacts en Décembre	11

Tableau 5 : Détails du jeu de données par mois

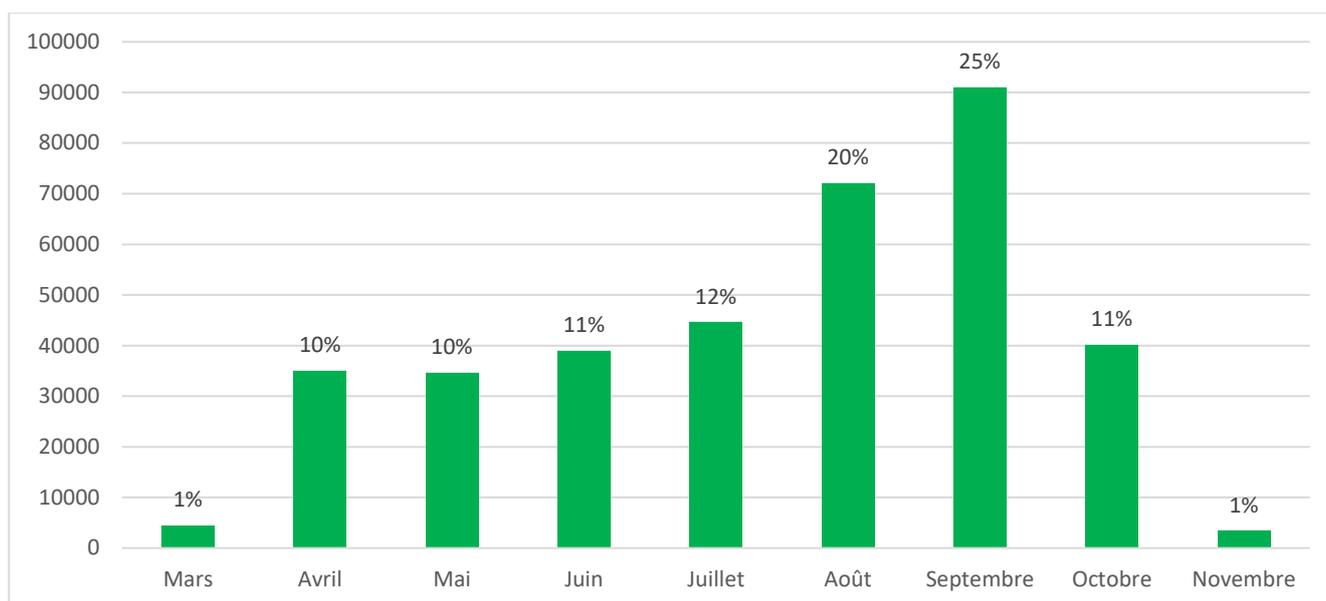


Figure 6 : Répartition des données de contacts de chiroptères en fonction des mois

2.2 Collecte et analyse des sons

Le matériel utilisé est composé d'enregistreurs automatiques d'ultrasons de type SM4bat (associé à des microphone SMMU2), BATmode S et BATmode S+, identiquement paramétrés, et équipés de micros étalonnés tous les ans, et dont le fonctionnement est vérifié chaque jour.

Les écoutes débutent une heure avant le coucher du soleil et s'arrêtent une heure après le lever. Les données sont téléchargées mensuellement. Par la suite, l'ensemble des données est converti à l'aide du logiciel Kaléidoscope (Wildlife Acoustics), puis analysé par le logiciel Sonochiro (Biotope), permettant d'obtenir des indices de confiance de 0 à 10 par identification. Une vérification par un chiroptérologue de ces indices, à l'aide du logiciel Batsound, est ensuite mise en place afin d'avoir des proportions d'espèces les plus représentatives possible.

2.3 Attribution des données météorologiques et horaires

Suite à la validation des pistes sonores de chiroptères, les données de vitesse de vent et de température sont associées à chaque son. Parallèlement, les horaires du coucher et du lever du soleil de chaque localité sont associés à chaque contact de chauves-souris.

2.4 Sélection des espèces analysées

Parmi l'ensemble des espèces inventoriées lors des inventaires en hauteur, le choix a été fait de sélectionner les espèces susceptibles de réaliser les plus grands déplacements. Ainsi, sur la base des données bibliographiques les espèces migratrices de longues distances comme la Pipistrelle de Nathusius, le Minioptère de Schreibers, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Grande Noctule, la Sérotine de Nilsson (Hutterer *et al.* 2005, Arthur et Lemaire 2015) ont été ciblées. Aux vues du jeu de données disponible parmi les espèces précitées, la **Pipistrelle de Nathusius**, la **Noctule commune**, la **Noctule de Leisler** et la **Grande Noctule** ont été sélectionnées pour les analyses dans le présent rapport. Le Minioptère de Schreibers et la Sérotine de Nilsson n'ont pas été suffisamment contactées pour constituer un jeu de données permettant une analyse solide.

2.5 Analyses menées sur le jeu de données

- Analyses statistiques des données

Afin de définir l'influence des différentes périodes (saisons, mois, semaines) sur l'activité des chiroptères, des tests statistiques ont été menés. Ces tests sont des modèles linéaires généralisés, avec la mise en place d'Anova et une comparaison deux à deux via des régressions linéaires et des tests de Tukey.

Parallèlement, une analyse de l'influence des autres variables influençant l'activité des chiroptères (température, vent, horaire) via des modèles de linéaires généralisés, avec la mise en place d'Anova a été réalisé afin de pouvoir observer les variables influençant le plus les données.

- Répartition dynamique des contacts

Les contacts de chiroptères ont été regroupées puis réparties sur une carte dynamique en fonction de la semaine durant laquelle ils ont été enregistrés. Ces représentations dynamiques permettent d'observer de manière schématique le déplacement des chiroptères dans le temps.

- Répartition elliptique des contacts

Les contacts de chiroptères ont été regroupées puis réparties sur une carte avec des ellipses par saison ou par mois. Ces ellipses permettent d'observer géographiquement l'étendu des présences de chiroptères sur des périodes fixes.

À noter que dans le cadre de cette étude les résultats sont jugés significatifs (jugés fiables) lorsque le seuil de confiance est inférieur à 0,05 (p-value).

2.6 Limites de l'étude

Au cours de cette étude, certaines limites sont apparues :

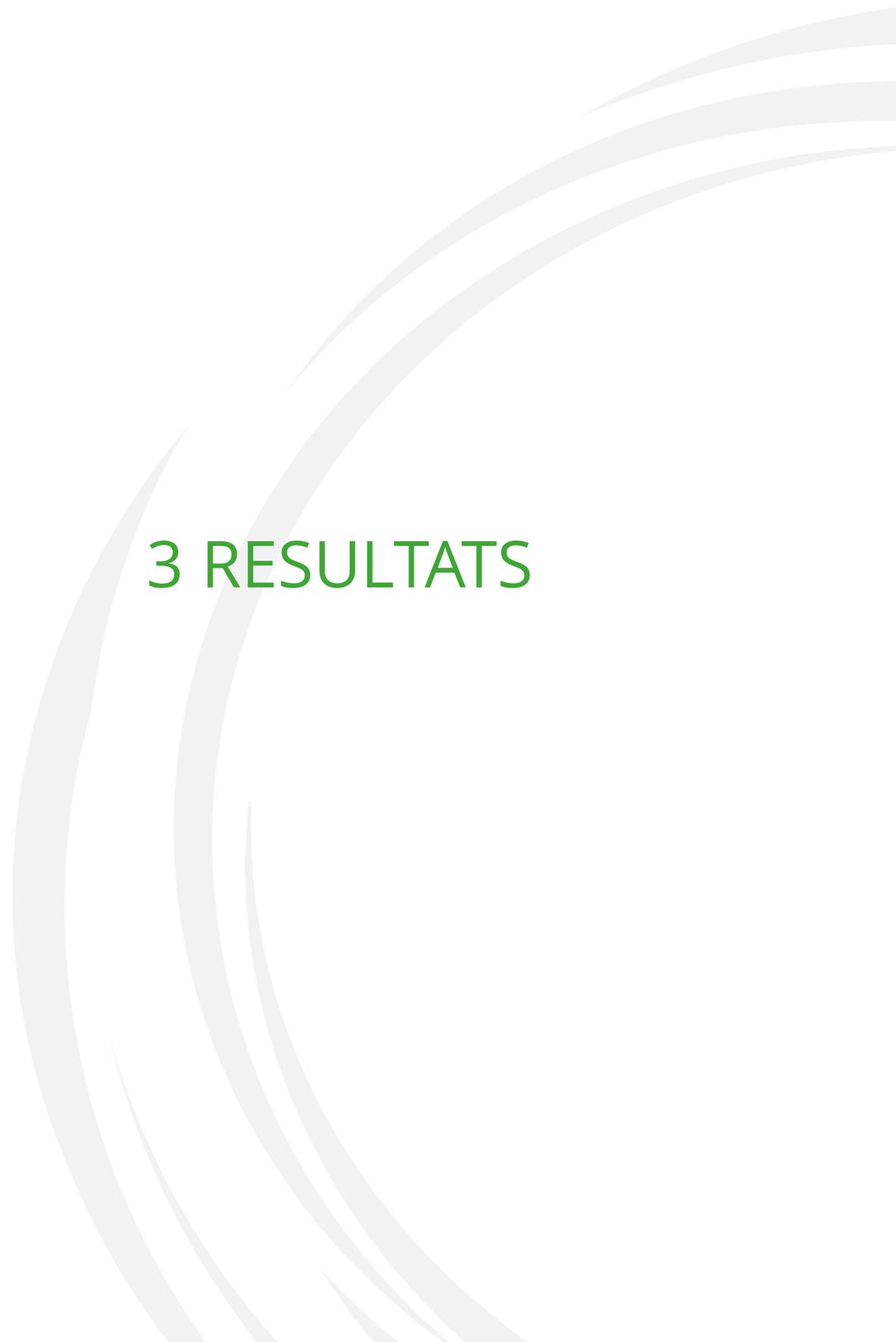
- l'utilisation de deux matériels d'écoutes différents, installés sur deux types de supports différents (mât météorologique et éolienne),
- la présence de parasites et la fiabilité d'identification,
- la localité des sites d'études,
- la sous représentativité de l'hiver et du printemps : cette étude étant basée sur des suivis de l'activité en nacelle suite à l'implantation des parcs éolien, la période d'étude démarre généralement en mai.

Limites méthodologiques	Réduction de la limite
Protocoles d'écoutes différents	Programmations identiques des enregistreurs
	Mise en place de microphones neufs ou recalibrés sur l'ensemble des dispositifs
Présence de parasites et fiabilité d'identification	Vérification poussée par un chiroptérologue via Batsound
Localisation des sites d'études	Représentatif du centre ouest de la France
	Ne pas extrapoler à l'aire biogéographique
Printemps et hiver sous représentés	Jeu de données important
	Pas de conclusion stable sur la période hivernale et dans une moindre mesure pour la période printanière

Tableau 7 : Réduction des limites méthodologiques



3 RESULTATS



3.1 Analyses statistiques sur les variables périodiques

Dans un premier temps, des analyses statistiques ont été menées sur les différentes variables périodiques afin d’observer l’influence de ces dernières sur l’activité des chiroptères.

3.1.1 Analyses par saisons

Dans un premier temps une analyse par saison du cycle biologique a été réalisée sur l’ensemble des espèces étudiées. Ainsi, le tableau suivant présente les résultats obtenus lors de cette analyse.

Influence de la saison par espèces	Graphique de l’activité en fonction de la saison d’inventaire	Comparaisons des saisons entre elles
Pipistrelle de Nathusius		
<p>Influence significative de la saison sur l’activité chiroptérologique (p-value=0,02534)</p>		<p>Aucune saison ne montre de différence significative d’activité par rapport aux autres</p>
<p>Grande Noctule Influence non significative de la saison sur l’activité chiroptérologique (p-value=0,991566) La saison de mise-bas et élevage des jeunes montre une différence significative (p-value=0,058) d’activité par rapport aux autres saisons</p>		

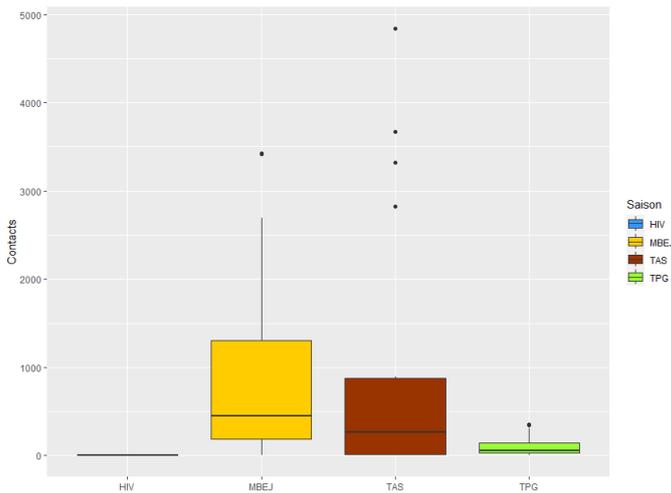
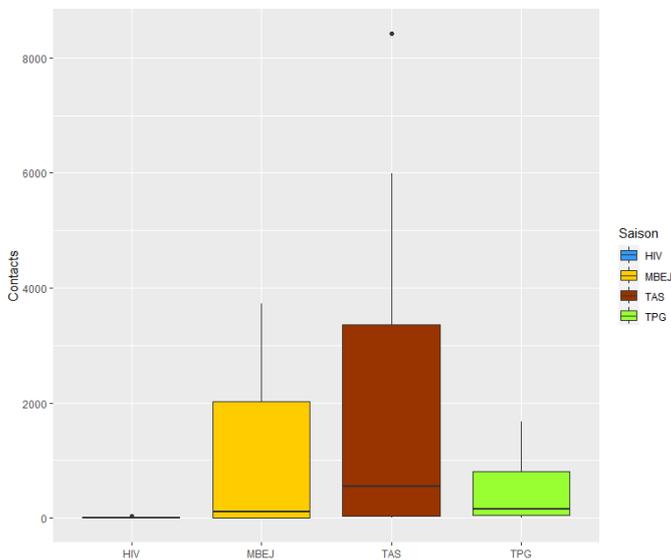
<p>Noctule commune</p> <p>Influence significative de la saison sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,003223)</p> <p>Les saisons de transits automnaux et swarming et de mise-bas et élevage des jeunes montre une différence significative (p-value=0,0142 / p-value=0,0205) d'activité par rapport aux autres saisons</p>	 <p>Detailed description: A box plot titled 'Noctule commune' showing the distribution of 'Contacts' (Y-axis, 0 to 5000) across four seasons (X-axis: HIV, MBEJ, TAS, TPG). The legend indicates: HIV (blue), MBEJ (yellow), TAS (brown), and TPG (green). HIV has a median near 0. MBEJ has a median around 400, with a box from ~200 to ~1300 and whiskers extending from 0 to ~2800. TAS has a median around 200, with a box from ~100 to ~900 and whiskers from 0 to ~3500. TPG has a median around 100, with a box from ~50 to ~200 and whiskers from 0 to ~400. Outliers are present for MBEJ (~3500) and TAS (~2800, ~3300, ~3700, ~4900).</p>	
<p>Noctule de Leisler</p> <p>Influence significative de la saison sur l'activité chiroptérologique (p-value=2,799e-06)</p> <p>Les saisons de transits automnaux et swarming et de mise-bas et élevage des jeunes montre une différence significative (p-value=7,91e-05 / p-value=0,0293) d'activité par rapport aux autres saisons</p>	 <p>Detailed description: A box plot titled 'Noctule de Leisler' showing the distribution of 'Contacts' (Y-axis, 0 to 8000) across four seasons (X-axis: HIV, MBEJ, TAS, TPG). The legend indicates: HIV (blue), MBEJ (yellow), TAS (brown), and TPG (green). HIV has a median near 0. MBEJ has a median around 100, with a box from ~50 to ~2000 and whiskers from 0 to ~3800. TAS has a median around 500, with a box from ~200 to ~3500 and whiskers from 0 to ~6000. TPG has a median around 100, with a box from ~50 to ~800 and whiskers from 0 to ~1800. Outliers are present for MBEJ (~3800) and TAS (~8500).</p>	

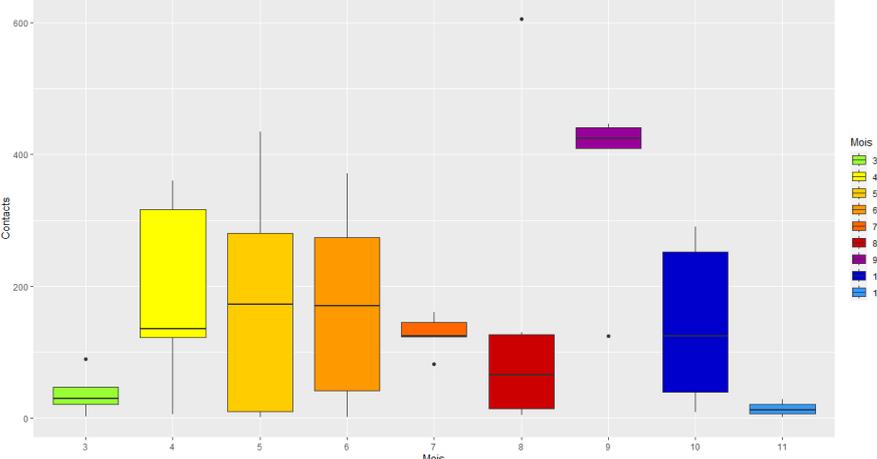
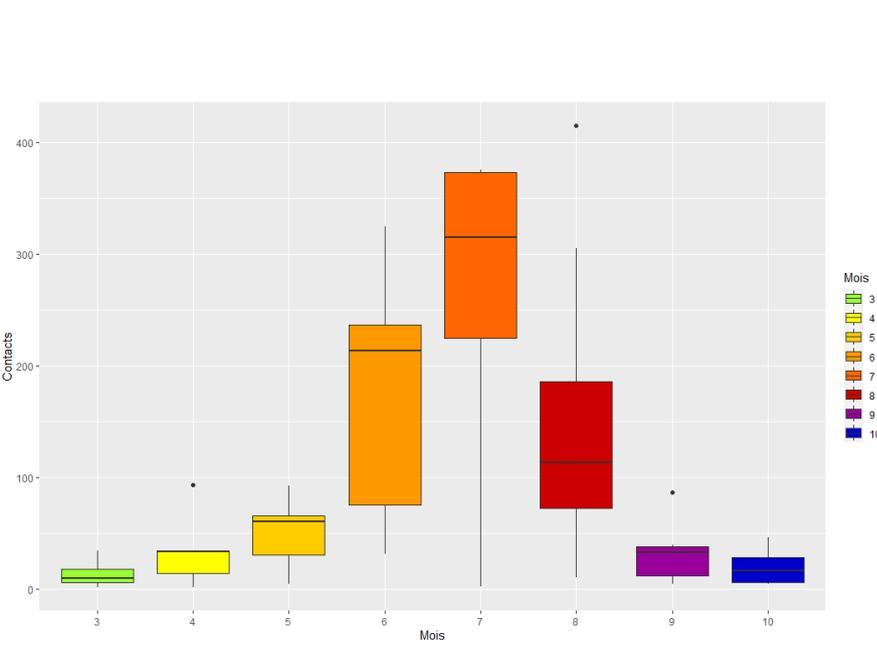
Tableau 8 : Analyse de l'influence de la saison sur l'activité des chiroptères.

L'analyse menée spécifiquement sur les saisons indiquent une influence significative de la saison sur l'activité chiroptérologique pour les espèces étudiées hormis la Grande Noctule.

Lorsque l'on s'intéresse indépendamment à l'influence des différentes saisons entre elles, la saison de mise-bas et élevage des jeunes (MBEJ) et celle des transits automnaux et swarming (TAS) montrent globalement une influence significative sur l'activité des chiroptères par rapport aux autres saisons (hibernation – HIV et transits printaniers et gestation – TPG) pour la majorité des espèces étudiées.

3.1.2 Analyses par mois

Dans un second temps une analyse par mois d'inventaire (d'avril à novembre) a été réalisée sur l'ensemble des espèces étudiées. Ainsi, le tableau suivant présente les résultats obtenus lors de cette analyse.

Influence du mois d'inventaire par espèces	Graphique de l'activité en fonction du mois d'inventaire	Comparaisons des mois entre eux
Pipistrelle de Nathusius		
<p>Influence significative du mois sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,0449)</p>		<p>Seul le mois de septembre montre une différence significative (p-value=0,00129) d'activité par rapport aux autres</p>
<p>Grande Noctule Influence non significative du mois sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,570)</p> <p>Les mois de juin, de juillet et d'août montrent une différence significative (p-value=0,00969 / p-value=0,000138 / p-value=0,019855) d'activité par rapport aux autres</p>		

<p>Noctule commune</p> <p>Influence significative du mois sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,0181)</p> <p>Les mois de juillet, d'août et de septembre montrent une différence significative (p-value=0,02611 / p-value=9,34^e-05 / p-value=0,00311) d'activité par rapport aux autres</p>		
<p>Noctule de Leisler</p> <p>Influence significative du mois sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,0181)</p> <p>Les mois d'août et de septembre montrent une différence significative (p-value=0,00837 / p-value=0,00357) d'activité par rapport aux autres</p>		

Tableau 9 : Analyse de l'influence du mois d'inventaire sur l'activité des chiroptères.

L'analyse menée spécifiquement sur les mois d'inventaire indiquent une influence significative du mois sur l'activité chiroptérologique pour les espèces étudiées hormis la Grande Noctule.

Lorsque l'on s'intéresse indépendamment à l'influence des différents mois entre eux, les mois de juin, de juillet et d'août affichent des influences significatives sur une ou plusieurs des espèces étudiées.

3.1.3 Analyses par semaine

Enfin, une analyse par semaine d'inventaire a été réalisée sur l'ensemble des espèces étudiées. Ainsi, le tableau suivant présente les résultats obtenus lors de cette analyse.

Influence de la semaine d'inventaire par espèces	Graphique de l'activité en fonction de la semaine d'inventaire
<p>Pipistrelle de Nathusius</p> <p>Influence significative de la semaine sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,0442)</p> <p>Les semaines 20, 35, 37, 38 et 39 montrent une différence significative (p-value=0,03454* / p-v=0,00434** / p-v=0,03877* / p-v=0,03183* / p-v=0,04605*) d'activité par rapport aux autres</p>	
<p>Grande Noctule</p> <p>Influence significative de la semaine sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,356)</p> <p>Les semaines 25, 28, 29 et 30 montrent une différence significative (p-value=0,0376* / p-v=0,0185* / p-v=0,0207* / p-v=0,0185*) d'activité par rapport aux autres</p>	
<p>Noctule commune</p> <p>Influence significative de la semaine sur l'activité chiroptérologique (p-value=0,0183)</p> <p>Les semaines 30 et 35 montrent une différence significative (p-value=0,0404* / p-value=0,0337*) d'activité par rapport aux autres</p>	

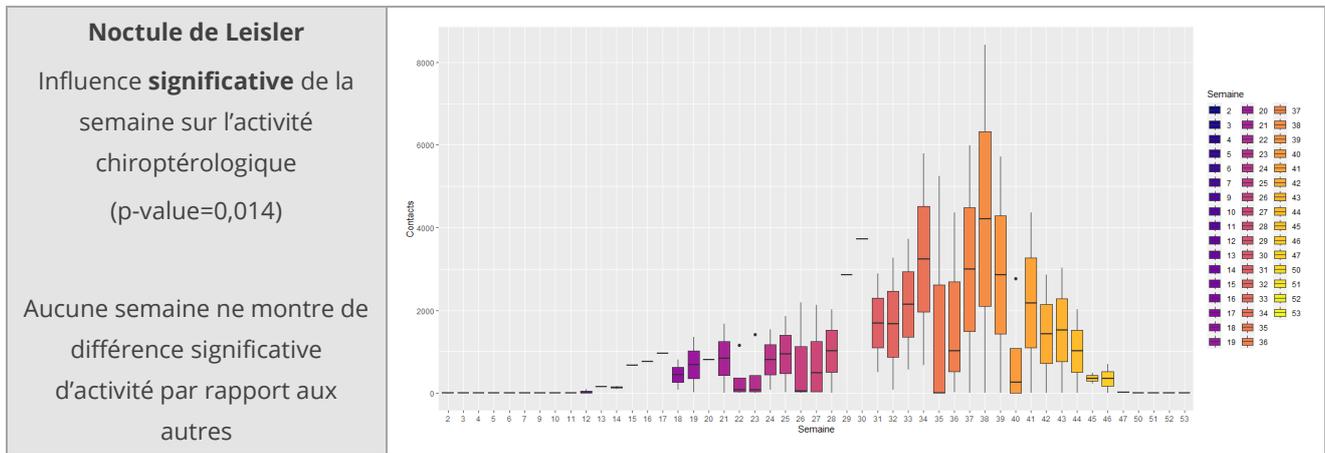


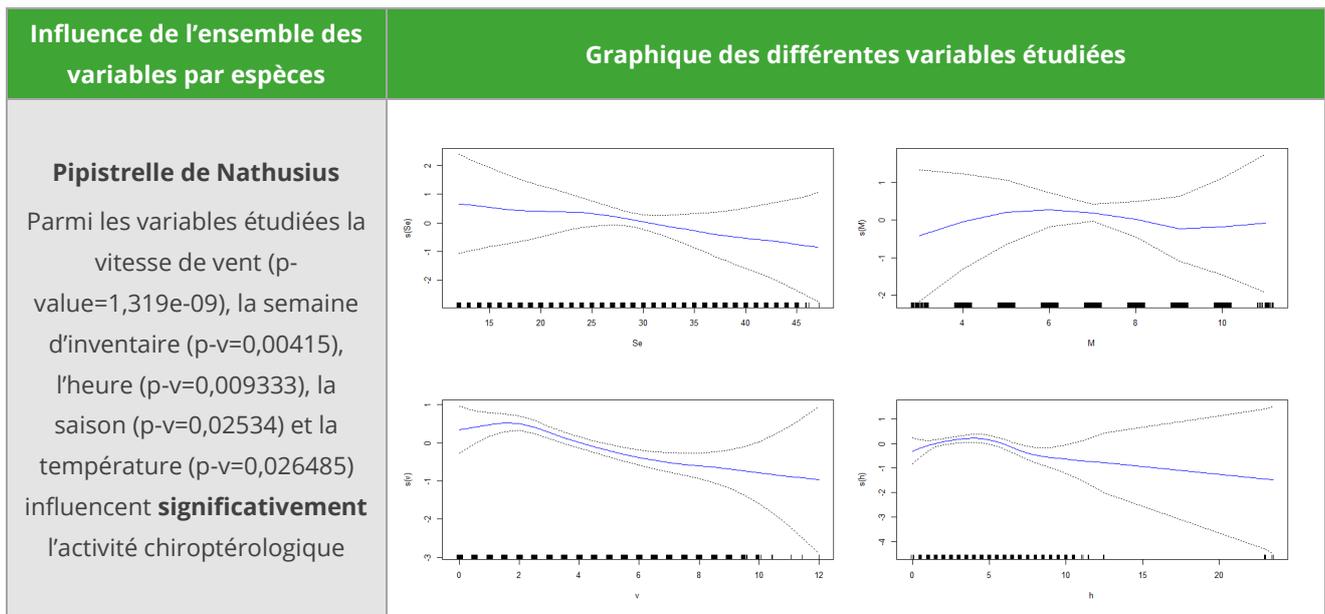
Tableau 10 : Analyse de l'influence de la semaine d'inventaire sur l'activité des chiroptères.

L'analyse menée spécifiquement sur les semaines d'inventaire indiquent une influence significative de la semaine sur l'activité chiroptérologique pour toutes les espèces étudiées.

Lorsque l'on s'intéresse indépendamment à l'influence des différentes semaines entre elles, certaines affichent des influences significatives sur une ou plusieurs des espèces étudiées.

3.2 Analyses statistiques multivariées

Plusieurs autres variables sont susceptibles d'influencer l'activité des chiroptères. Ainsi, des analyses sur un large panel de variables (saison, mois, semaine, heure, température et vitesse de vent) ont été réalisées pour l'ensemble des espèces étudiées afin d'observer les facteurs qui expliquent le mieux l'activité des chiroptères.



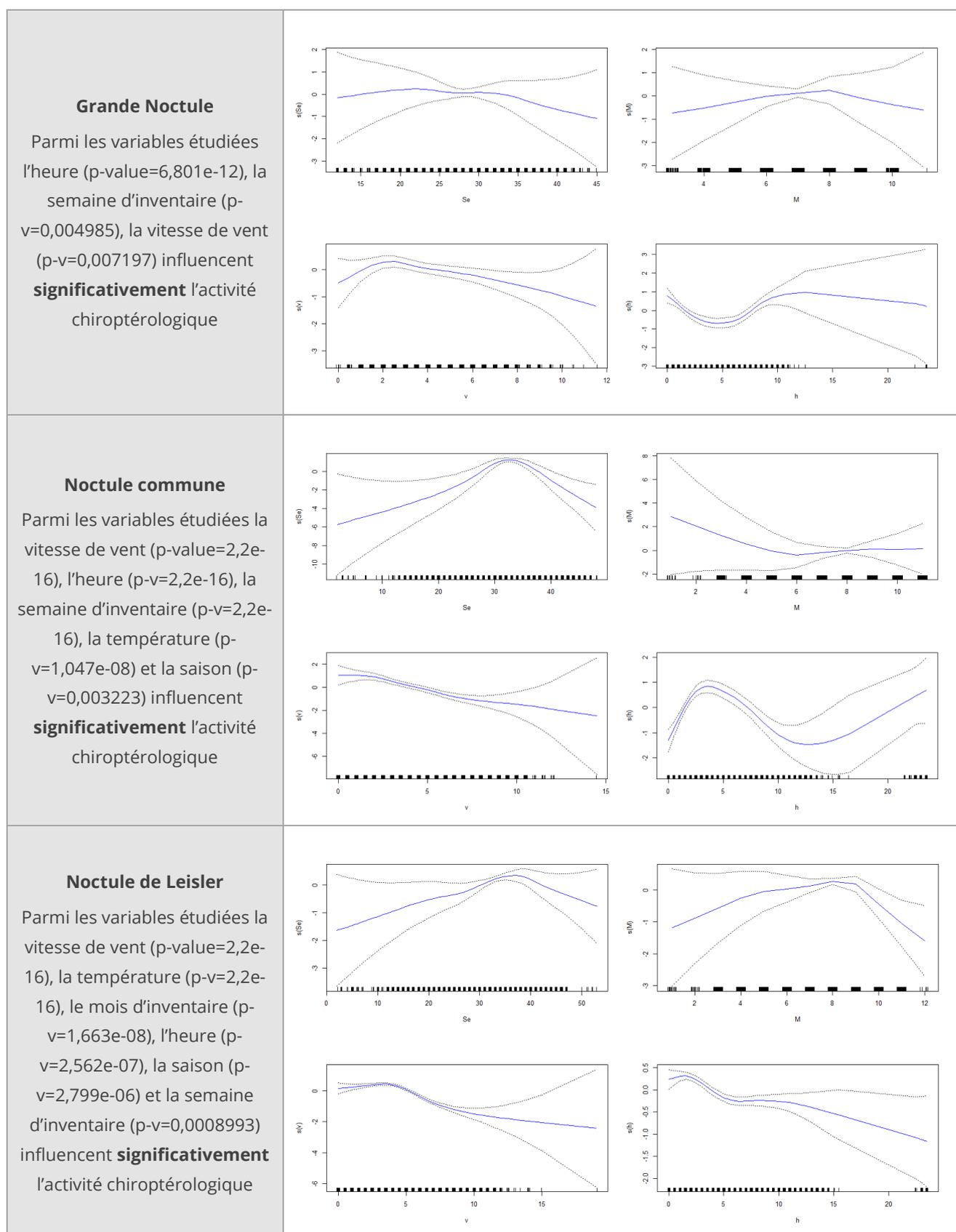


Tableau 11 : Analyse de l'influence des plusieurs variables sur l'activité des chiroptères.

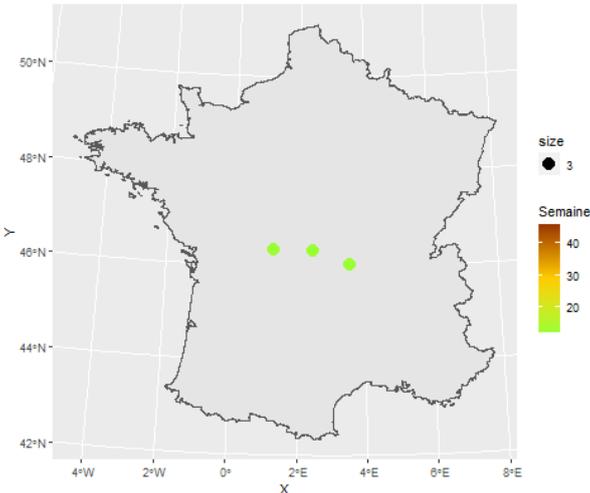
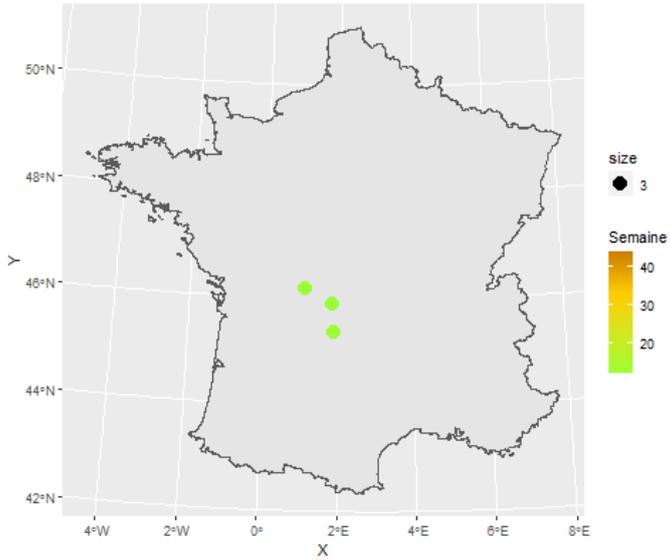
Les résultats de l'analyse multivariée montrent une influence de plusieurs facteurs sur l'activité des chiroptères. À noter que pour l'ensemble des espèces des variables de périodes (saison, mois d'inventaire ou semaine d'inventaire) influence significativement l'activité des espèces étudiées de façon positive.

3.3 Répartition dynamique des contacts de chiroptères

Afin de mieux comprendre les déplacements des chiroptères au cours de leur cycle biologique une approche géographique sur l'ensemble des espèces étudiées a été réalisée.

3.3.1 Répartitions globales

Les cartographies dynamiques présentées ci-après illustrent les détections de chiroptères au fil de la semaine de l'année pour chaque espèce étudiée.

Espèce concernée	Cartographie dynamique globale en fonction de la semaine
<p>Pipistrelle de Nathusius</p> <p>La cartographie dynamique illustre une concentration des contacts de chiroptères en début et en fin de cycle biologique sur la partie sud des zones étudiées avec une progression vers l'ensemble des zones étudiées et notamment la partie nord. Ces déplacements montrent des tendances cohérentes avec de potentiels transits migratoires.</p>	
<p>Grande Noctule</p> <p>La cartographie dynamique illustre une concentration des contacts de chiroptères dans le centre de la zone étudiée sur l'ensemble de la période étudiée. Ces déplacements ne montrent pas de tendances cohérentes avec de potentiels transits migratoires.</p>	

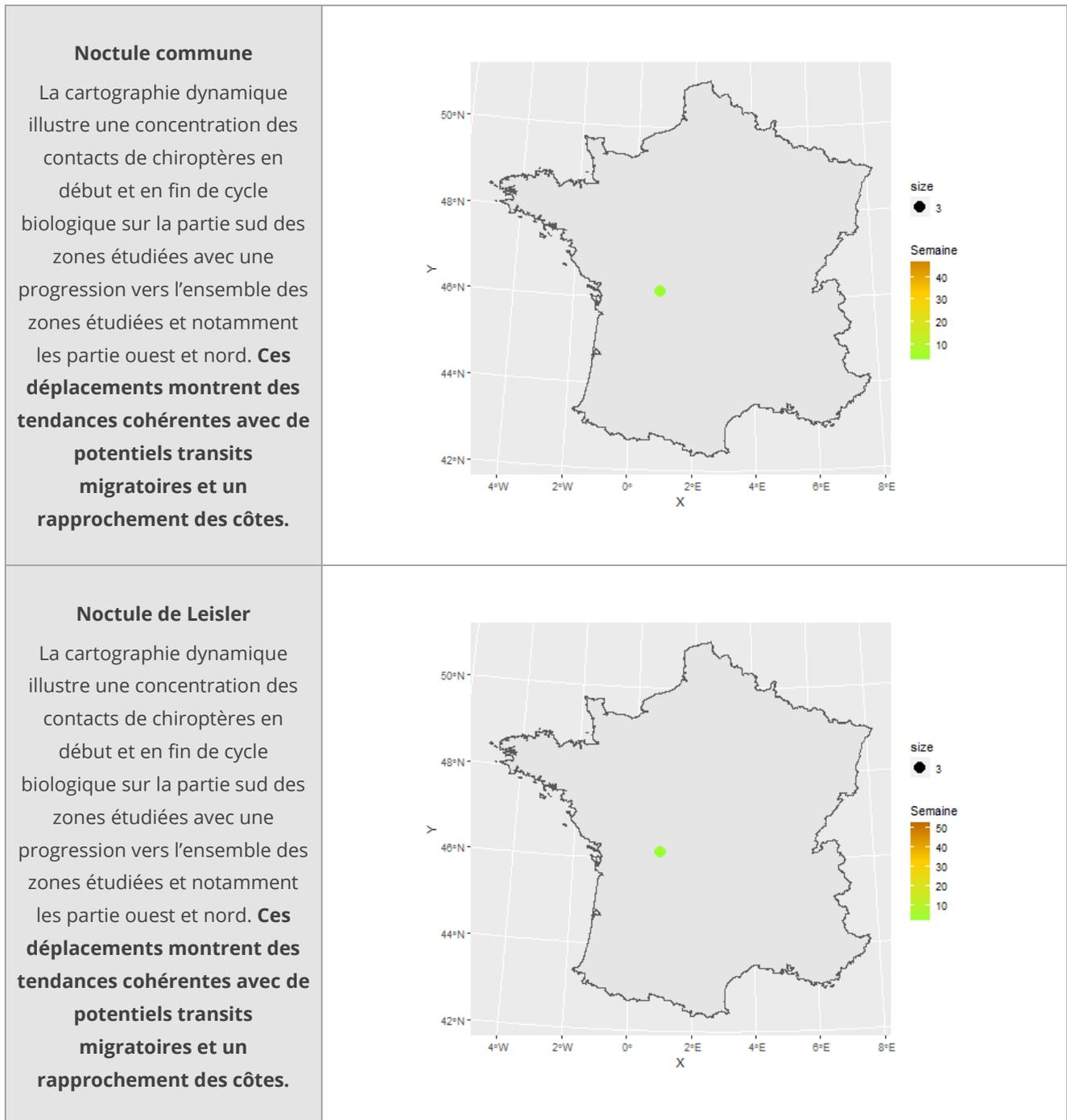
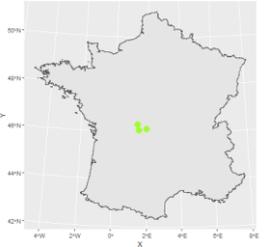
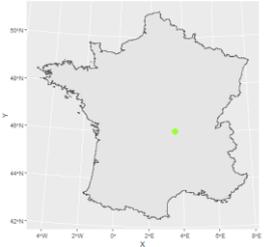
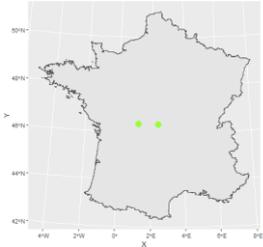
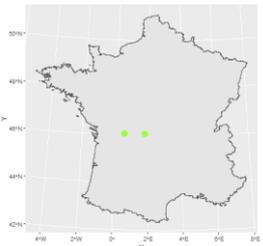
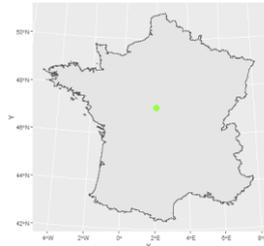
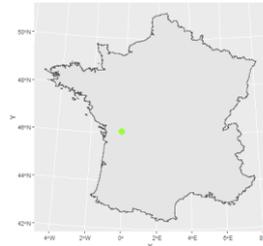
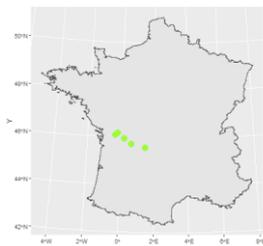
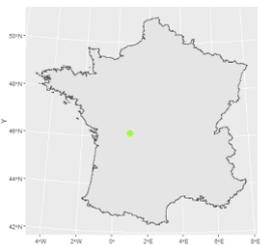


Tableau 12 : Cartographies dynamiques des contacts de chiroptères en fonction de la semaine d'inventaire

Les répartitions cartographiques affichent globalement des concentrations de contacts de chiroptères sur les secteurs les plus au sud de la zone étudiée en début et fin de période d'activité des chiroptères ce qui est une tendance cohérente avec des déplacements migratoires Nord/Sud. Au cours du temps les contacts s'étendent vers le nord et l'ensemble de la zone étudiée. Ces déplacements permettent de rallier les différentes zones de gîtes.

3.3.2 Répartitions annuelles

Les cartographies dynamiques présentées ci-après illustrent les détections de chiroptères au fil de la semaine pour chaque année d'inventaire et pour chaque espèce étudiée.

Espèce concernée	Cartographie dynamique en fonction de la semaine et de l'année			
<p>Pipistrelle de Nathusius</p> <p>L'ensemble des cartographies dynamiques, quelle que soit l'année, illustre les mêmes tendances que précédemment avec une concentration des contacts de chiroptères en début et en fin de cycle biologique sur la partie sud des zones étudiées avec une progression vers l'ensemble des zones étudiées et notamment le nord et la côte ouest. Ces déplacements montrent des tendances cohérentes avec de potentiels transits migratoires.</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2018</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2019</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2020</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2021</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2022</p>  </div> </div>			
<p>Noctule commune</p> <p>L'ensemble des cartographies dynamiques, quelle que soit l'année, illustre les mêmes tendances que précédemment avec une concentration des contacts de chiroptères en début et en fin de cycle biologique sur la partie sud des zones étudiées avec une progression vers l'ensemble des zones étudiées et notamment le nord et la côte ouest. Ces déplacements montrent des tendances cohérentes avec de potentiels transits migratoires.</p>	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2018</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2019</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2020</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2021</p>  </div> <div style="text-align: center; margin: 5px;"> <p>2022</p>  </div> </div>			

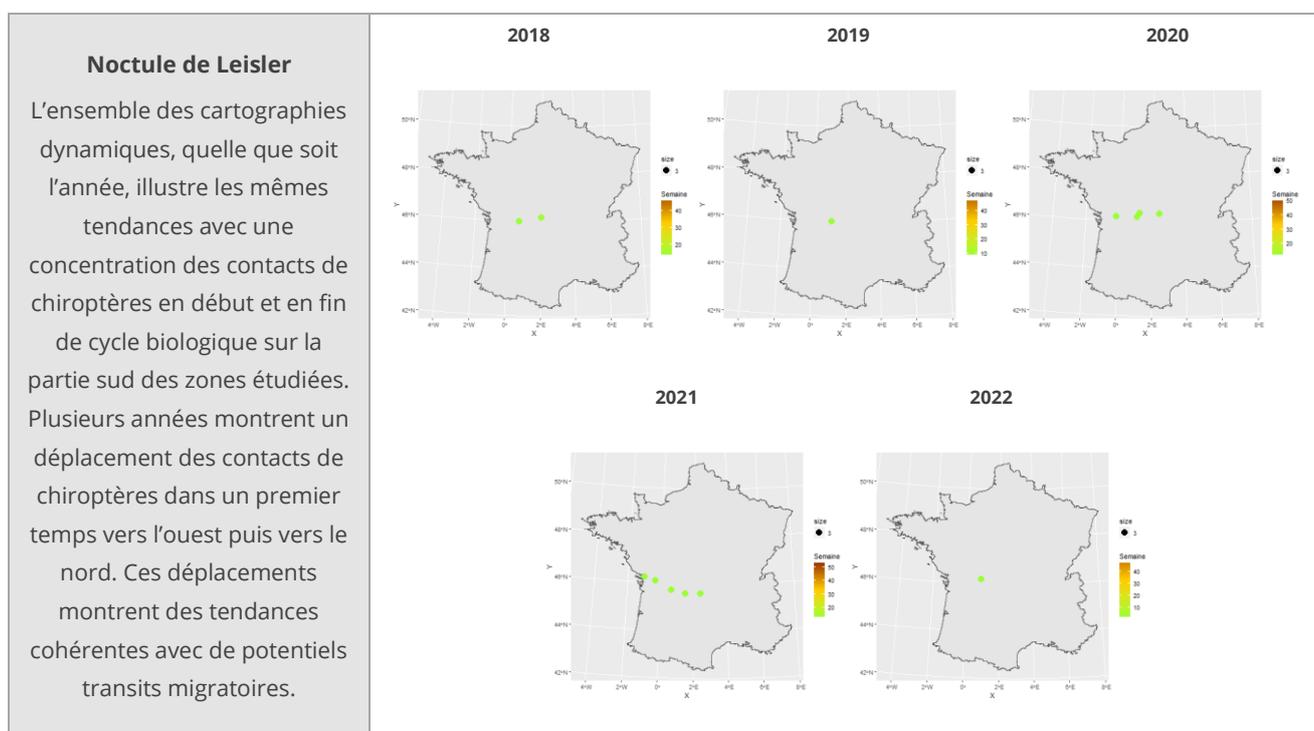


Tableau 13 : Cartographies dynamiques des contacts de chiroptères en fonction de la semaine et de l'année d'inventaire

Les cartographies obtenues par année d'inventaire affichent les mêmes tendances que celles observées globalement. Ainsi, les déplacements observés ne sont pas liés à une année spécifiquement mais apparaissent être des tendances récurrentes pour les espèces étudiées dans la zone inventoriée. La concentration des contacts de chiroptères en début et fin de cycle biologique dans le sud de la zone étudiée et les déplacements ensuite notamment vers l'ouest et le nord puis l'ensemble de la zone d'étude laissent à penser à des déplacements saisonniers et récurrents qui pourraient être assimilés à des comportements migratoires. D'autant plus avec un rapprochement des côtes vers l'ouest qui pourraient servir de corridors migratoires.

3.4 Répartition elliptique des contacts de chiroptères

Afin de pouvoir comparer au fil des périodes étudiées (saison, mois d'inventaire) la localisation des chiroptères une approche géographique à l'aide d'ellipse sur l'ensemble des espèces étudiées a été réalisée.

3.4.1 Répartition par saison

Dans un premier temps une répartition par saison du cycle biologique a été réalisée sur l'ensemble des espèces étudiées. Ainsi, le tableau suivant présente les ellipses obtenues par saison.

Espèce concernée	Répartition des ellipses en fonction de la saison	
<p>Pipistrelle de Nathusius</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent la présence d'individus plus étendu sur la zone étudiée en période estivale (MBEJ) alors que les saisons de transits entre les gîtes (TPG et TAS) affichent des ellipses plus centrées vers le sud.</p>		
<p>Grande Noctule</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent des localisations similaires quelle que soit la saison d'inventaire. Les données sont principalement localisées sur le centre de la zone étudiées, ce qui correspondrait à un comportement plutôt sédentaire.</p>		
<p>Noctule commune</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent les localisations similaires quelle que soit la saison d'inventaire. Les données sont principalement localisées sur le centre de la zone étudiées, ce qui correspondrait à un comportement plutôt sédentaire.</p>		
<p>Noctule de Leisler</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent les localisations similaires pour les périodes estivales et automnales (MBEJ et TAS). La période printanière se resserre sur la partie sud de la zone étude et la période hivernale présente une ellipse restreinte au sud également.</p>		

Tableau 14 : Cartographies de répartition par ellipses des contacts de chiroptères en fonction de la saison

3.4.2 Répartition par mois d'inventaire

Afin d'affiner la répartition des chiroptères sur une période plus restreinte, des ellipses ont été réalisées par mois d'inventaire sur l'ensemble des espèces étudiées. Ainsi, le tableau suivant présente les ellipses obtenues.

Espèce concernée	Répartition des ellipses en fonction du mois d'inventaire
<p>Pipistrelle de Nathusius</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent des localisations contrastées entre les mois de mars, avril et août orientés ONO-ESE, les mois de mai, juin, juillet et octobre orientés NO-SE, le mois de septembre orienté O-E et le mois de novembre orienté SO-NE à l'opposé de l'ensemble des autres mois d'inventaire. Ces observations montrent le caractère proche du littoral de cette espèce et de ses potentiels déplacements migratoires, notamment à l'approche de l'hibernation.</p>	
<p>Grande Noctule</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent des localisations contrastées entre les mois « froids » (septembre, octobre et mars) et les mois plus « tempérés ». Les mois de septembre et octobre affichent des ellipses orientées NO-SE, le mois de mars N-S et les autres mois NNE-SSO. Ces observations montrent bien une répartition différentes des individus en fonction des périodes et notamment des périodes propices aux déplacements.</p>	
<p>Noctule commune</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent des localisations globalement orientées E-O. Les mois de mars-avril sont restreint sur la partie sud, les mois de juillet, août plus orientés E-NE et le mois de novembre également orienté E-NE mais restreint sur la partie sud. Ces observations pourraient montrer de potentiels trajectoires migratoires pour les mois d'août, de septembre et de novembre ?</p>	
<p>Noctule commune</p> <p>Les ellipses de répartition illustrent des localisations globalement orientées E-O. Le mois précédant et suivant les phases d'hibernation affichent cependant des tendances opposées avec des orientations différentes. Ainsi, le mois de mars est orienté NO-SE et celui de novembre SO-NE. Ces observations montrent des orientations inverses à des périodes clés du cycle biologique des chiroptères qui pourraient montrer des comportements migratoires</p>	

Tableau 15 : Cartographies de répartition par ellipses des contacts de chiroptères en fonction du mois d'inventaire



4 CONCLUSION ET DISCUSSION

La prise en compte des déplacements de chiroptères notamment dans le cadre d'implantation de projet éolien apparaît essentielle pour mieux appréhender les potentiels risques de mortalité (Brinkmann *et al.* 2011, Voigt *et al.* 2012). En effet, les plus grandes proportions de collisions sont observées durant les périodes de migration (Lehnert *et al.* 2014). Parmi les espèces régulièrement impactées, plusieurs sont migratrices, à l'instar de la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Nathusius ou encore la Sérotine bicolore (Cryan *et al.* 2011, Fleming & Eby 2003, Lehnert *et al.* 2014). Le manque de données empiriques sur les populations et la démographie des espèces migratrices, limite les possibilités d'évaluer quantitativement l'impact potentiel des éoliennes sur ces espèces (Diffendorfer *et al.* 2016). Des études récentes ont simulé l'impact par la mortalité des éoliennes sur les populations à partir de différents taux d'accroissement, ont montrées que les populations d'espèces migratrices pouvaient chuter drastiquement sur un pas de temps de moins de 50 ans (Frick *et al.* 2017).

La présente étude s'inscrit dans un premier temps dans une volonté de mieux comprendre et prendre en compte le déplacement des chiroptères au cours de leur cycle biologique. Les espèces migratrices de longues distances ont été ciblées afin d'augmenter les chances dans le cadre de cette étude d'observer des déplacements de large échelle voire des phénomènes migratoires.

La première orientation de cette étude a été d'observer si des différences d'activité existaient au cours de plusieurs échelles périodiques du cycle d'activité biologiques des chiroptères. Ainsi, les premiers résultats montrent des activités de la majorité des espèces étudiées sur les périodes estivale et automnale, ce qui pour la première correspond à des individus locaux, et pour la seconde peut correspondre à la fois à des individus locaux ou en déplacements. À noter que la saison de transits printaniers semble présenter les activités les plus faibles, résultats à interpréter avec prudence car potentiellement liés à un échantillonnage plus restreint sur cette saison. Les résultats à l'échelle mensuelle affichent des activités significativement plus élevées au mois de septembre pour la Pipistrelle de Nathusius, d'août et de septembre pour la Noctule commune et la Noctule de Leisler. Ces résultats par mois illustrent bien une augmentation de l'activité lors d'une période de transit propice à la migration. Ces tendances sont confirmées sur l'analyse hebdomadaire notamment pour la Pipistrelle de Nathusius qui affiche une augmentation significative de son activité début mai, puis de fin août à fin septembre, deux périodes privilégiées pour la migration.

La prise en compte de facteurs comme les conditions météorologiques est également essentielle car ces derniers fournissent des repères stables parmi lesquels les espèces de chiroptères migratrices peuvent choisir les conditions optimales pour migrer plus ou moins tôt dans la saison (Dechmann *et al.* 2017). La seconde orientation de cette étude a ainsi été de regarder dans des modèles multivariés, l'influence des différentes variables disponibles et notamment météorologiques sur l'activité des espèces étudiées. Les résultats obtenus sur la vitesse de vent, la température et le cycle circadien montrent une influence significative de ces différents facteurs sur l'activité de l'ensemble des espèces étudiées. Ces premiers résultats montrent l'intérêt d'étudier ces facteurs environnementaux pour mieux appréhender les déplacements des chiroptères et les potentiels phénomènes migratoires. Ainsi, une analyse plus approfondie des conditions météorologiques et notamment des orientations du vent lors des périodes de migration des chiroptères et notamment des pics d'activité chiroptérologiques observés apparaît cruciale dans la compréhension des déplacements chiroptérologiques au cours de leur cycle biologique.

La troisième orientation de cette étude a été d'observer géographiquement la répartition des contacts de chiroptères dans la zone étudiée au cours du temps. Les cartographies dynamiques montrent que, quelle

que soit l'espèce étudiée, et l'année d'étude, les premiers et derniers contacts du cycle biologique actif des chiroptères se situent dans la partie centrale ou sud de la zone étudiée, avant de s'étendre sur l'ensemble de celle-ci et plus particulièrement vers l'ouest et le nord. Ces premières observations montrent des déplacements « cyclique » pouvant s'apparenter à de potentielles migrations. Parallèlement, les cartographies figurant la répartition des contacts sous forme d'ellipses, ne montrent pas de réelles tendances à l'échelle de la saison, mais des observations intéressantes par mensualité. Ainsi, la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule commune affichent des orientations d'ellipses opposées sur le ou les premiers mois, et le ou les derniers mois d'activité du cycle biologique des chiroptères. Ces orientations nord-ouest – sud-est en début de saison et sud-ouest – nord-est en fin de saison apparaissent cohérentes avec les données bibliographiques sur ces espèces migratrices (Petersons 1990, Alcade *et al.* 2013, Bogdanowicz & Ruprecht 2004, Schmidt 2004, Hutterer *et al.* 2005). La même orientation sud-ouest – nord-est est observée sur plusieurs mois pour la Noctule commune.

En conclusion, il ressort de cette étude la confirmation de déplacements des chiroptères au cours du cycle d'activité biologique, ainsi que des hypothèses sur de potentiels phénomènes migratoires. Des analyses complémentaires notamment sur les pics d'activité, les facteurs influençant les comportements migratoires, les corridors pouvant servir de voies migratoires, seraient nécessaires pour mieux comprendre les transits et potentiels phénomènes migratoires pré-identifiés par la présente étude. Enfin, un protocole acoustique développé spécifiquement pour cette question pourrait être mis en place afin d'étoffer ces résultats. Par exemple en disposant des dispositifs de détection en altitude de manière régulière sur un axe nord/sud et proche des côtes, avec un seul référent pour les analyses acoustiques. Cela pourrait permettre de mieux visualiser le parcours des espèces migratrices et ainsi améliorer les connaissances sur les effets cumulés des parcs éoliens sur les chiroptères.

Pour faire progresser la conservation des chauves-souris migratrices, il est donc essentiel de comprendre leurs modèles de migratoires, lorsqu'ils existent. L'identification des schémas de déplacement permettrait de planifier l'emplacements des parcs éoliens pour atténuer les impacts sur les populations de chauves-souris. Cette information pourrait également être utilisée pour établir des normes pour une réduction « intelligente » (Kunz *et al.* 2007b, Cryan *et al.* 2014b, Hayes *et al.* 2019b, Wieringa *et al.* 2020).

BIBLIOGRAPHIE

- Alcade J.T. (2003): Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. *Barbastella* 2: 3-6.
- Alcade J.T, Ibáñez C., Antón I & Nyssen P. 2013. First case of migration of a Leisler's bat (*Nyctalus leisleri*) between Spain and Belgium. *Le Rhinolophe* 19:87-88
- Amorim, F., H. Rebelo & L. Rodrigues (2012): Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2): 439-457.
- Arnett, E.B., W.K. Brown, W.P. Erickson, J.K. Fiedler, B.L. Hamilton, T.H. Henry, A. Jain, G.D. Johnson, J. Kerns, R.R. Koford, C.P. Nicholson, T.J. O'Connell, M.D. Piorkowski & R.D. Tankersley (2008): Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *J. Wildl. Manag.* 72(1): 61-78.
- Arthur L. et Lemaire M., 2015, *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse* – Edition 2. Biotope, coll. Parthénope, Mèze, 576 p.
- Behr, O. & O. von Helvesen (2006): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahre 2005. Unpubl. report for 2005 on behalf of Regiowind GmbH & Co. KG Freiburg, 32 pages + maps.
- Beucher, Y., V. Kelm, F. Albespy, M. Geyelin, L. Nazon & D. Pick (2013): Parc éolien de Castelnaud-Pegayrols (12): Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d'exploitation (2009-2001), 111 pages
- Ireneusz Ruczyński, Wiesław Bogdanowicz, Summer Roost Selection by Tree-Dwelling Bats *Nyctalus noctula* and *N. leisleri*: A Multiscale Analysis, *Journal of Mammalogy*, Volume 89, Issue 4, 15 August 2008, Pages 942–951, <https://doi.org/10.1644/07-MAMM-A-134.1>
- Brinkmann, R., H. Schauer-Weissahn & F. Bontadina (2006): Survey of possible operational impacts on bats by wind facilities in Southern Germany. Final report submitted by the Administrative District of Freiburg, Department of Conservation and Landscape management and supported by the foundation Naturschutzfonds
- Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (ed.) (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4, 457 pages
- Cryan, P.M., 2011. Wind turbines as landscape impediments to the migratory connectivity of bats. *Environmental Law*, Vol 41, No 2, 355-370p.
- Cryan, P.M., P.M. Gorresen, C.D. Hein, M.R. Schirmacher, R.H. Diehl, M.M. Huso, D.T.S. Hayman, P.D. Fricker, F.J. Bonaccorso, D.H. Johnson, H. Hesit & D.C. Dalton (2014a): Behavior of bats at wind turbines. *PNAS*. doi: 10.1073/pnas.1406672111
- Dechmann, D.K.N., Wikelski, M., Ellis-Soto, D., Safi, K. & O'Mara, M.T. (2017) Determinants of spring migration departure decision in a bat. *Biology letters*, 13, 20170395.
- Frick, W.F., Baerwald, E.F., Pollock, J.F., Barclay, R.M.R., Szymanski, J.A., Weller, T.J., Russell, A.L., Loeb, S.C., Medellín, R.A. & McGuire, L.P. (2017) Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biological Conservation*, 209, 172–177.
- Furmankiewicz J. & Kucharska M. 2009. Migration of bats along a large river valley in southwestern Poland. *Journal of Mammalogy*, 90(6):1310-1317.

- Georgiakakis, P., E. Kret, B. Cárcamo, B. Doutau, A. Kafkaletou-Diez, D. Vasilakis & E. Papadatou (2012): Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece. *Acta Chiropterologica* 14 (2): 459-468.
- Hayes, M. A., L. A. Hooton, K. L. Gilland, C. Grandgent, R. L. Smith, S. R. Lindsay, J. D. Collins, S. M. Schumacher, P. A. Rabie, J. C. Gruver, and J. Goodrich-Mahoney. (2019) A smart curtailment approach for reducing bat fatalities and curtailment time at wind energy facilities. *Ecological Applications* 00(00):e01881.
- Hutterer R., Ivanova T., Meyer-Cords C. & Rodrigues L., 2005, Bat migrations in Europe : A review of literature and analysis of banding data. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 28 : 1-172.
- Johnson, G.D., W.P. Erickson, M.D. Strickland, M.F. Shepherd & D.A. Shepherd (2003): Mortality of bats at a Large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. – *Am. Midl. Nat.* 150: 332-342.
- Kunz, T.H., Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., Strickland M.D., R.W. Thresher & M.D. Tuttle (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs and hypotheses. *Frontiers in Ecology* 5: 315–324.
- Limpens, H.J.G.A., M. Boonman, F. Korner-Nievergelt, E.A. Jansen, M. van der Valk, M.J.J. La Haye, S. Dirksen & S.J. Vreugdenhil (2013): Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013. 12, Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg.
- Lehnert, L.S., Kramer-Schadt, S., Schönborn, S., Lindecke, O., Niermann, I. & Voigt, C.C. (2014) Wind farm facilities in Germany kill noctule bats from near and far. *PLoS ONE*, 9, e103106.
- Millon, L., Julien, J.-F., Julliard, R. & Kerbiriou, C. (2015) Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250–257.
- Petersons, G. (1990): Die Rauhhaufledermaus, *Pipistrellus nathusii* (Keyserling u. Blasius, 1839), in Lettland: Vorkommen, Phänologie und Migration. - *Nyctalus* 3: 81-98.
- Rydell, J., L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, M. Green, L. Rodrigues & A. Hedenström (2010a): Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12(2): 261-274
- Telleria, J.L. (2009). Wind power plants and the conservation of birds and bats in Spain: a geographical assessment. *Biodivers Conserv* 18:1781-1791. DOI 10.1007/s10531-008-9558-2
- Voigt, Ch.C., A.G. Popa-Lisseanu, I. Niermann & S. Kramer-Schadt (2012): The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. *Biological Conservation* 153: 80-86
- Wieringa JG, Nagel J, Nelson DM, Carstens BC, Gibbs HL. 2020. Using trace elements to identify the geographic origin of migratory bats. *PeerJ* 8:e10082