

# Activité et mortalité des Chiroptères dans le cadre des suivis réglementaires post-implantation des parcs éoliens

Marie LABOURÉ\*

\*ENCIS environnement,  
21 rue Columbia, Parc ESTER Technopole, 87068 Limoges  
[marie.laboure@encis-eu.com](mailto:marie.laboure@encis-eu.com)

**Résumé.** - Dans le cadre de l'implantation de parcs éoliens en France des études réglementaires de suivi post-implantation sont mises en place. Ces études visent à réaliser un suivi au sol de la mortalité liée aux éoliennes ainsi qu'un suivi du comportement de l'avifaune et des Chiroptères en présence des éoliennes. Dans l'optique de mieux comprendre les différents phénomènes engendrant la mortalité des Chiroptères, cette étude analyse les résultats obtenus sur les suivis comportementaux des Chiroptères en nacelle d'éolienne ainsi que la corrélation entre l'activité chiroptérologique observée et la mortalité recensée au sol. Sur la base de 18 sites d'écoute ultrasonique à hauteur de nacelle, et de 11 sites couplant ce type d'inventaires et le suivi de mortalité au sol, un jeu de données conséquent a pu être constitué. Ainsi, une analyse de la répartition des Chiroptères en fonction des conditions météorologiques et de sa répartition au cours de la nuit a été réalisée. Parallèlement aux variables influençant l'activité des Chiroptères, l'analyse de la mortalité au sol a été étudiée en fonction des résultats obtenus sur l'activité chiroptérologique en nacelle d'éolienne. Les thématiques de températures, de vitesses de vent, de diversité spécifique en hauteur, de la répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien, et de la mortalité des Chiroptères liée à l'éolien terrestre, sont traitées.

**Mots clefs.** - Chiroptères, température, vitesse de vent, altitude, cycle circadien, acoustique, mortalité, éolien

## INTRODUCTION

En France, l'implantation de parc éolien fait l'objet de plusieurs suivis réglementaires. Parmi ceux-ci, le suivi environnemental pour les projets éoliens est référencé dans l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011 et mis à jour en 2020, stipulant pour une installation classée ICPE : « L'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des Chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Sauf cas particulier justifié et faisant l'objet d'un accord du Préfet, ce suivi doit débuter dans les 12 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation afin d'assurer un suivi sur un cycle biologique complet et continu adapté aux enjeux avifaune et Chiroptères susceptibles d'être présents. Dans le cas d'une dérogation accordée par le Préfet, le suivi doit débuter au plus tard dans les 24 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation. Ce suivi est renouvelé

dans les 12 mois si le précédent suivi a mis en évidence un impact significatif et qu'il est nécessaire de vérifier l'efficacité des mesures correctives. A minima, le suivi est renouvelé tous les 10 ans d'exploitation de l'installation. Les données brutes collectées dans le cadre du suivi environnemental sont versées, par l'exploitant ou toute personne qu'il aura mandatée à cette fin, dans l'outil de téléservice de "dépôt légal de données de biodiversité" créé en application de l'arrêté du 17 mai 2018 ».

C'est dans ce cadre que les données présentées dans cette étude ont été récoltées. Ainsi, le suivi environnemental analyse les impacts du projet sur l'avifaune et les Chiroptères et, pour les installations soumises à autorisation, sur toute espèce protégée identifiée, dont la sensibilité à l'éolien est avérée et présentant un enjeu dans l'évaluation environnementale préalable (dont étude d'impact). Deux protocoles sont ainsi appliqués concernant les Chiroptères :

- Le suivi de l'activité des chauves-souris qui permet d'évaluer la présence et le comportement des espèces de Chiroptères au niveau de l'espace aérien au niveau du parc éolien. Il a également pour objectif d'estimer l'impact direct ou indirect des éoliennes sur l'état de conservation de ces espèces, en prenant en compte l'ensemble des facteurs influençant la dynamique des populations. Ce suivi se traduit par un protocole d'écoute au niveau de la nacelle permettant de réaliser des inventaires sur une longue période et à hauteur de nacelle d'éolienne.
- Le suivi de la mortalité qui permet l'évaluation de létalité sur la faune volante (oiseaux et Chiroptères) engendrée par un parc éolien. Ce protocole passe par la recherche de cadavres au pied des aérogénérateurs. La technique consiste en une recherche visuelle au sol durant un trajet réalisé à pied, selon un parcours pré-défini et reproduit à chaque visite. La méthodologie s'inspire du « protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » rédigé en novembre 2015 et de sa mise à jour 2018, ainsi que des « suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères », document actualisé en 2016 par la SFPEM.

Différentes variables influencent l'activité chiroptérologique : la période de l'année, les conditions météorologiques, la hauteur de vol et l'heure de la nuit conditionnent en grande partie la présence de chauves-souris.

L'influence de la température sur la présence de Chiroptères est particulièrement controversée dans la bibliographie. Des articles concluent à une corrélation positive de ces deux variables [REDELL *et al.* 2006, ARNETT *et al.* 2007, BAERWALD & BARCLAY 2011], alors que d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant sur les chauves-souris [KERNES *et al.* 2005, HORN *et al.* 2008]. ARNETT *et al.* en 2006 démontrent que l'activité des Chiroptères au-dessus de 44 m n'apparaît pas comme affectée par les températures.

Sur les conditions de vitesses de vent, la validation de l'influence de cette variable paraît également complexe. Certaines espèces, à l'exemple des Noctules, robustes de par leur taille et leur vol puissant, apparaissent comme peu influencées par des conditions telles que la vitesse de vent [ARTHUR & LEMAIRE 2015].

Enfin, des articles présentent des répartitions différentes au cours de la nuit en fonction du groupe d'espèces voire de l'espèce. Les Pipistrelles, Noctules et Sérotines sont considérées comme des espèces crépusculaires et sont remplies peu à peu au cours de la nuit par des espèces plus nocturnes à l'instar des Barbastelles, Murins et Oreillards [BARATAUD, 2012]. D'autres études suggèrent un regain d'activité à l'aube [SWIFT 1980]. Les Noctules, et plus particulièrement la Noctule commune, affichent ce second pic d'activité en fin de nuit [KRONWITTER 1988, RACHWALD 1992, KANUCH 2007, ARTHUR & LEMAIRE 2015]. D'un point de vue de la répartition altitudinale, les différents groupes d'espèces de chauves-souris se répartissent selon un gradient assez sectorisé comme l'illustrent

COLLINS & JONES [2009] et SATTLER & BONTADINA [2005].

Le développement de l'éolien en France entraîne des modifications sur la biodiversité. Ainsi, la mise en place de plusieurs documents de référence pour une bonne prise en compte notamment des chauves-souris dans l'implantation de parc éolien à l'exemple d'Eurobats en 2016 et du groupe Chiroptères de la SFPEM 2016, permet de mieux cerner le comportement de Chiroptères et d'anticiper les potentiels risques liés à cette industrie récente. Ainsi, plusieurs articles sur les comportements des chauves-souris dans le contexte éolien voient le jour pour essayer de comprendre au mieux les variables influençant les Chiroptères [KELM *et al.* 2014, LACOEUILHE *et al.* 2016, O'SHEA *et al.* 2016, HEIM *et al.* 2016, ROEMER *et al.* 2017, MINDERMAN *et al.* 2017, BARRÉ 2017].

Selon certains auteurs, les aérogénérateurs constituent la plus grande source de mortalité des Chiroptères [O'SHEA *et al.* 2016], cependant l'impact par mortalité souffre d'un manque de connaissances important [ARNETT *et al.* 2016]. La mortalité des Chiroptères dans les parcs éoliens en fonctionnement a été reliée par certaines études à des conditions météorologiques comme des vitesses de vent faibles [ARNETT *et al.* 2008], des températures élevées [AMORIM *et al.* 2012], la pression atmosphérique [KERNES *et al.* 2005], la couverture nuageuse [O'DONNELL *et al.* 2010, VOIGT *et al.* 2015, HEIM *et al.* 2016] ou encore l'illumination lunaire [CRYAN *et al.* 2014]. Parallèlement, la période de l'année paraît également influencer la mortalité chiroptérologique comme le soulignent plusieurs auteurs relatant des pics du nombre de cadavres récoltés au printemps et en début d'été [ZAGMAJSTER *et al.* 2007, CAMINA *et al.* 2012, GEORGIAKAKIS *et al.* 2012 et BEUCHER *et al.* 2013] ainsi qu'en fin d'été et en automne [ARNETT *et al.* 2008, RYDELL *et al.* 2010a, BRINKMANN *et al.* 2011 et AMORIM *et al.* 2012]. Ces périodes correspondent à des phases migratoires, ce qui corrobore le fait que les espèces migratrices sont les plus fréquemment touchées [AHLÉN *et al.* 2002, RYDELL *et al.* 2010a, BRINKMANN *et al.* 2011]. Les caractéristiques techniques des parcs éoliens influencent également la mortalité avec les fréquences basses apparaissant attractives [ALHEN *et al.* 2003], la chaleur produite au niveau des nacelles attractive pour les insectes [HORN *et al.* 2008, RYDELL *et al.* 2010b], la lumière de projecteurs attirant également les insectes [BEUCHER *et al.* 2013], la couleur des éoliennes [KUNZ *et al.* 2007, LONG *et al.* 2011] ou encore la taille des rotors [ARNETT *et al.* 2008, GEORGIAKAKIS *et al.* 2012].

Ainsi, les variables influençant la mortalité des Chiroptères sur les parcs éoliens est directement reliée à l'activité et aux comportements des Chiroptères. La présente étude permet d'analyser et de corroborer le suivi comportemental des Chiroptères à hauteur de nacelle en parallèle du suivi mortalité au sol.

#### MATÉRIELS ET MÉTHODES

Le jeu de données est composé de 48 376 données chiroptérologiques et 317 364 données météorologiques

nocturnes pour l'analyse du suivi comportemental. Ces données ont été enregistrées à hauteur de nacelle d'éolienne, lors des saisons de 2018 et 2019. Elles sont issues de 18 sites comprenant une proportion de secteurs à tendances bocagère, puis des sites forestiers ou céréaliers. Les sites sont représentatifs du grand centre ouest de la France. Les saisons sont réparties, pour le printemps du 01/03 au 31/05, pour l'été du 01/06 au 15/08 et pour l'automne du 16/08 au 31/10. Parallèlement, un jeu de données comprenant les résultats de la mortalité sur 11 sites est constitué sur la base des résultats de chaque sortie.

#### *Collecte et analyse des sons*

Le matériel utilisé est composé d'enregistreurs automatiques d'ultrasons de type 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.

#### *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.

#### *Collecte et traitement des données de mortalité*

Le suivi de mortalité est réalisé sur une surface d'échantillonnage d'un carré d'au moins une centaine de mètres de côté pour chaque éolienne étudiée. Cette longueur, équivalente au diamètre du rotor, permet de parcourir l'ensemble de la zone de survol des pales. Le chercheur réalise un transect à suivre invariablement à chaque sortie d'inventaire. L'espacement entre les lignes ne devant pas être supérieur à 15 mètres (distance maximale de perception des cadavres par un observateur), les lignes de transect réalisées sont d'une longueur de 10 mètres. Au cours de chaque sortie, une fiche de données est remplie par le chercheur. De plus, chaque cadavre découvert est localisé à l'aide d'un GPS, pris en photo, et l'espèce est déterminée sur place. Dans tous les cas, la découverte d'un cadavre d'oiseau ou de chauves-souris fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées.

L'estimation de la mortalité doit prendre en compte un certain nombre de paramètres permettant d'intégrer

des biais méthodologiques induits par l'espacement temporel des visites.

Plusieurs formules mathématiques, issues de différents protocoles sont utilisables et considérées comme valides [WINKELMANN, 1989 ; ERIKSON, 2000 ; JONES, 2009 ; HUSO, 2010 ; KORNER, 2011 ; ETTERTSON, 2013]. D'une manière générale, outre le nombre de cadavres trouvés, plusieurs variables sont à évaluer :

- l'efficacité de la personne recherchant les cadavres au sol (taux de détection),
- le taux de prélèvement des cadavres par les animaux charognards (taux de prédation),
- l'intervalle des visites sur site,
- les surfaces non-prospectables (contraintes liées au couvert végétal, au dénivelé, à la maîtrise foncière, etc.),
- l'indice de confiance qui regroupe les résultats de toutes ces variables et établit les seuils de significativité.

#### *Analyses menées sur le jeu de données*

##### **Répartition des espèces en fonction de différentes périodes**

Le nombre de contacts de Chiroptères est réparti par espèce et analysé en fonction de cycle complet ainsi que de la mensualité. Cette dernière est représentée en histogramme cumulé par mensualité afin d'observer les potentielles variabilités saisonnières. Enfin, le nombre de contacts toutes espèces confondues est analysé en fonction de la nuit d'enregistrement sur l'ensemble du cycle d'activité des Chiroptères.

##### **Mise en parallèle des vitesses de vent, des températures nocturnes et de l'activité des Chiroptères.**

Ces graphiques sont constitués d'histogrammes des occurrences de données météorologiques nocturnes associés aux contacts chiroptérologiques cumulés.

##### **Répartition des contacts de Chiroptères en fonction du cycle circadien.**

Ces répartitions sont représentées par des cartes de chaleur réalisées via le logiciel R (package GGplot et Density). Ce gradient de chaleur est basé sur des densités de points, chaque point représentant un contact de Chiroptère.

##### **Analyse statistique des variables citées précédemment.**

Afin de définir les variables influençant le plus l'activité des Chiroptères, des tests statistiques ont été menés. Ces tests sont des modèles de régressions linéaires multiples, avec la mise en place d'Anova et une comparaison deux à deux via des tests de Tukey. Ces tests permettent également de mettre en évidence des valeurs apparaissant comme seuil en fonction des différentes variables.

**Comparaison entre les résultats d'activité obtenus sur mâts de mesure et sur les suivis en nacelle d'éolienne**

Afin, d'étudier la comparaison entre les résultats obtenus sur les mâts de mesure et ceux sur les suivis en nacelle le choix a été fait pour des raisons de cohérence scientifique de faire une comparaison de distribution de deux groupes de données via le test de Wilcoxon-Mann-Whitney.

**Corrélation entre le suivi d'activité et le suivi de la mortalité des Chiroptères**

Afin d'étudier la mortalité des Chiroptères plusieurs analyses sont menées sur le jeu de données en prenant en compte les variables météorologiques (vent et température) ainsi que la variable d'activité répertoriée lors des suivis en nacelle d'éolienne. Dans le but de mettre en relation ces différentes variables avec la mortalité des Chiroptères sur les parcs éoliens, des tests de corrélation associés à des modèles de régressions linéaires ont été réalisés.

**Limites de l'étude**

Au cours de cette étude certaines limites sont apparues :

- la présence de parasites et la fiabilité d'identification : mise en place d'une vérification poussée des sons par un chiroptérologue via Batsound,
- la localité des sites d'études : cette analyse est plutôt représentative du centre-ouest de la France et ne sera pas forcément transposable à l'échelle de l'aire biogéographique,
- la localisation des éoliennes : la majorité des sites étudiés est représentative du milieu bocager. Cependant,

l'intégralité des éoliennes sont installées au sein de zones ouvertes.

- la sous représentativité du printemps : cette étude étant basée sur des suivis de l'activité en nacelle suite à l'implantation des parcs éoliens, la période d'étude démarre généralement en mai, aucune conclusion ne sera ainsi prise sur cette période.
- la majorité des parcs éoliens suivis dans le cadre de cette étude sont déjà soumis à des mesures d'arrêt programmé réduisant déjà la mortalité des Chiroptères. Ainsi, la mortalité recensée sur l'ensemble des suivis n'affiche pas un nombre de cadavres assez élevé pour analyser plus profondément les variables influençant cette mortalité.

RÉSULTATS

*Répartition des espèces en fonction de différentes périodes*

*Analyse de la diversité spécifique sur le cycle complet*

La répartition des contacts des différentes espèces de Chiroptères sur le cycle complet (Figure 1) affiche une dominance des Pipistrelles commune et de Kuhl, avec 51 % des contacts enregistrés. Le second groupe d'espèces le plus contacté est celui des Noctules, avec plus de 40 % des contacts, comprenant la Noctule de Leisler (27 %), la Noctule commune (16 %) et la Grande noctule (1 %). La Sérotine commune, bien que beaucoup moins contactée, affiche un minimum de 3 % des contacts enregistrés. Les autres espèces ou groupes d'espèces, présentent un nombre de contacts inférieur ou égal à 2 %. À noter la présence, à hauteur de nacelle d'éolienne, de quelques

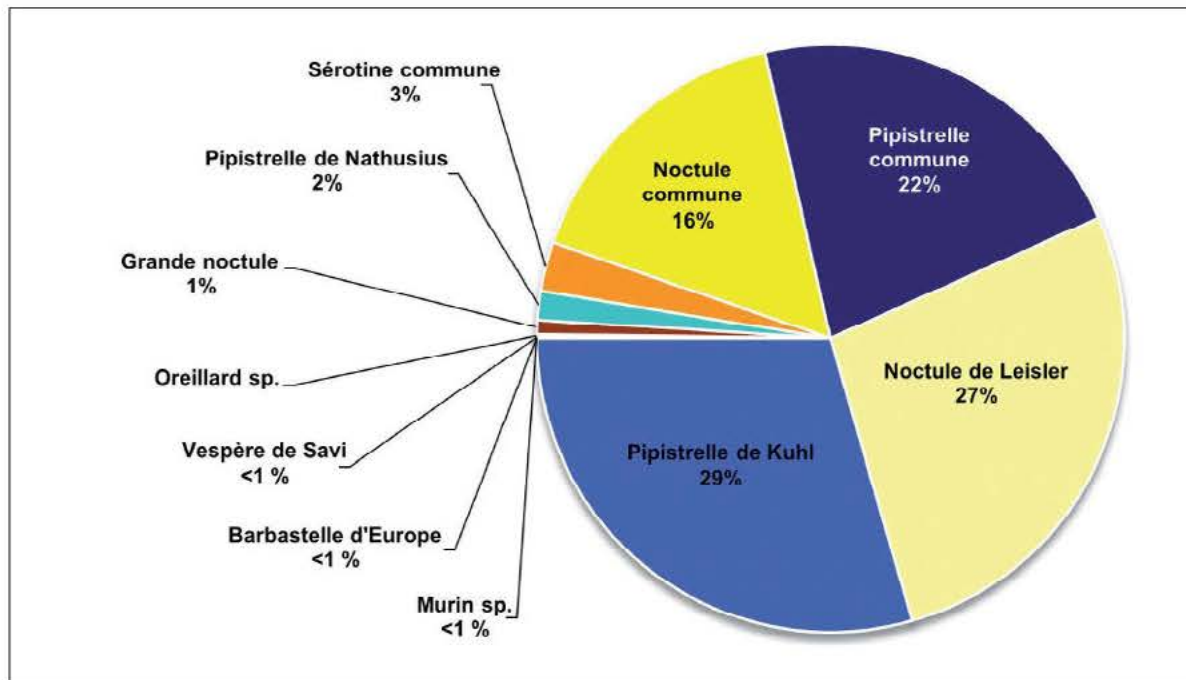


Figure 1. - Répartition des contacts de Chiroptères sur le cycle complet

Barbastelles d'Europe, Oreillards et Murins. Ce résultat pourrait correspondre à des individus qui auraient pu suivre la structure verticale du mât de l'éolienne plutôt qu'à des individus évoluant en hauteur.

**Analyse de la diversité spécifique et de l'activité des Chiroptères par mensualité sur le cycle complet**

Afin, d'analyser la répartition des différentes espèces de Chiroptères au cours du cycle complet, une analyse mensuelle a été menée (Figure 2). Ainsi, le graphique suivant présente un histogramme cumulé par mois des espèces contactées. L'activité chiroptérologique augmente progressivement de mai à septembre puis diminue au mois d'octobre, toutes proportions gardées pour les mois de mars et avril, qui affichent moins de temps d'inventaire et ne feront pas l'objet de conclusion dans ce rapport. Les mois de mai, juin, septembre et octobre montrent des proportions nettement supérieures de Pipistrelles par rapports aux Noctules/Sérotines. A l'inverse, les mois de juillet et août affichent une proportion plus élevée de Noctules/Sérotines que de Pipistrelles. À noter que les mois affichant le plus de contacts (54 %) sont les mois d'août et de septembre. Ces mois affichent également le plus de contacts de Pipistrelle de Nathusius, espèce connue pour être une migratrice sur de longues distances.

Ainsi, au cours du cycle complet, deux périodes clés se dessinent à savoir la fin de la période de mise bas et d'élevage des jeunes (juillet et début-août) ainsi que la période de transits automnaux et swarming (mi-août et septembre). Ces périodes apparaissent comme des périodes importantes de l'activité chiroptérologique en hauteur.

**Analyse de l'activité journalière des Chiroptères sur le cycle complet**

Enfin, la répartition des contacts de Chiroptères a été affinée en fonction de la nuit d'enregistrement (Figure 3). Ainsi, le nombre de contacts par nuit est très variable et complexe à anticiper. Le nombre de pics d'activité apparaît comme plus régulier et élevé au fil de l'année. Des maximas sont observables fin octobre avec des nuits affichant plus de 1 000 contacts. Ce graphique illustre également l'intérêt d'enregistrer dès le mois d'avril, très souvent sous échantillonné lors des protocoles de suivis de parc éolien, et la potentielle nécessité d'étendre ces inventaires jusqu'en novembre au vu des fortes activités présentes fin octobre et du peu de données sur l'activité chiroptérologique sur la période charnière entre les transits automnaux et swarming et l'hibernation.

**Mise en parallèle de la vitesse de vent nocturne et de l'activité chiroptérologique**

Figure 4, l'activité chiroptérologique, représentée en bleu, est répartie sur l'ensemble des conditions de vent nocturne disponibles. En d'autres termes, des chauves-souris ont été contactées de 0 à 13 m/s. Cependant, une « sélection » des plus faibles vitesses de vents est observable, avec un maximum de contacts entre 2,5 et 3,5 m/s. Notons que des contacts de chauves-souris ont été détectés jusqu'à 13 m/s soit 45 km/h.

Afin, de définir les valeurs de vitesse de vent qui apparaissent charnières pour l'activité des Chiroptères, des tests statistiques ont été menés. Ainsi, les résultats montrent que le vent influence très significativement

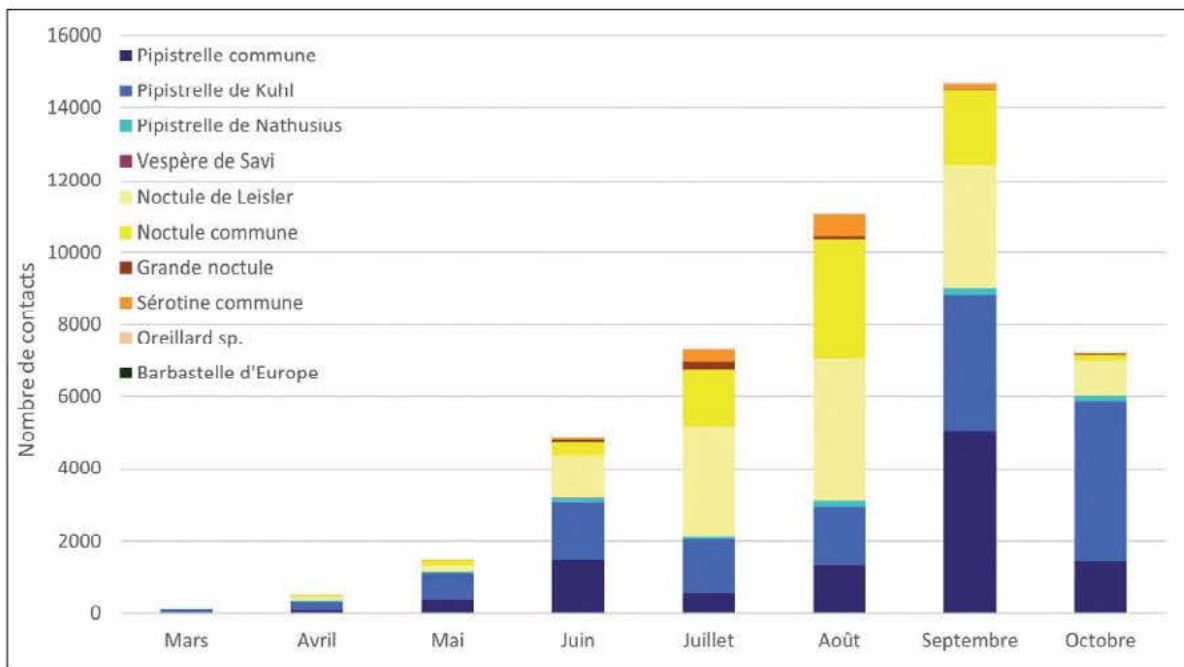


Figure 2. - Répartition des contacts de Chiroptères par mois

l'activité des Chiroptères (p-value=2e-16). Les contacts de chauves-souris se concentrent entre 0 m/s et 5,5 m/s qui apparaissent être des valeurs seuil pour la répartition de l'activité chiroptérologique en hauteur.

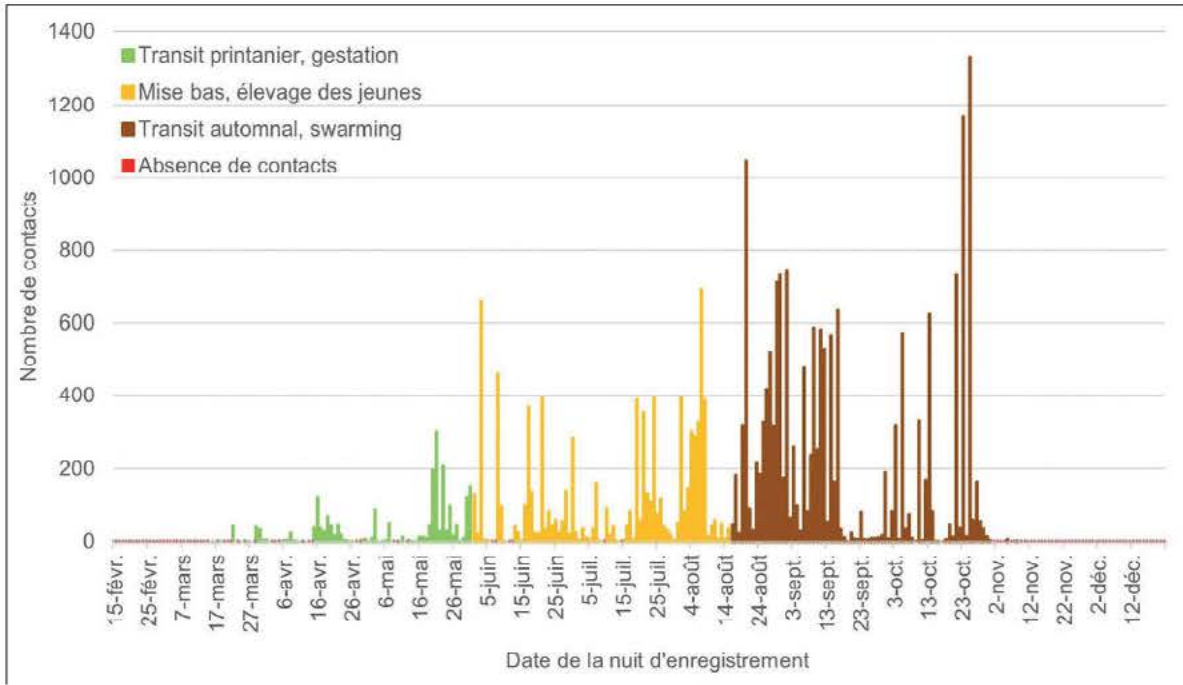


Figure 3. - Nombre de contacts de Chiroptères par nuit

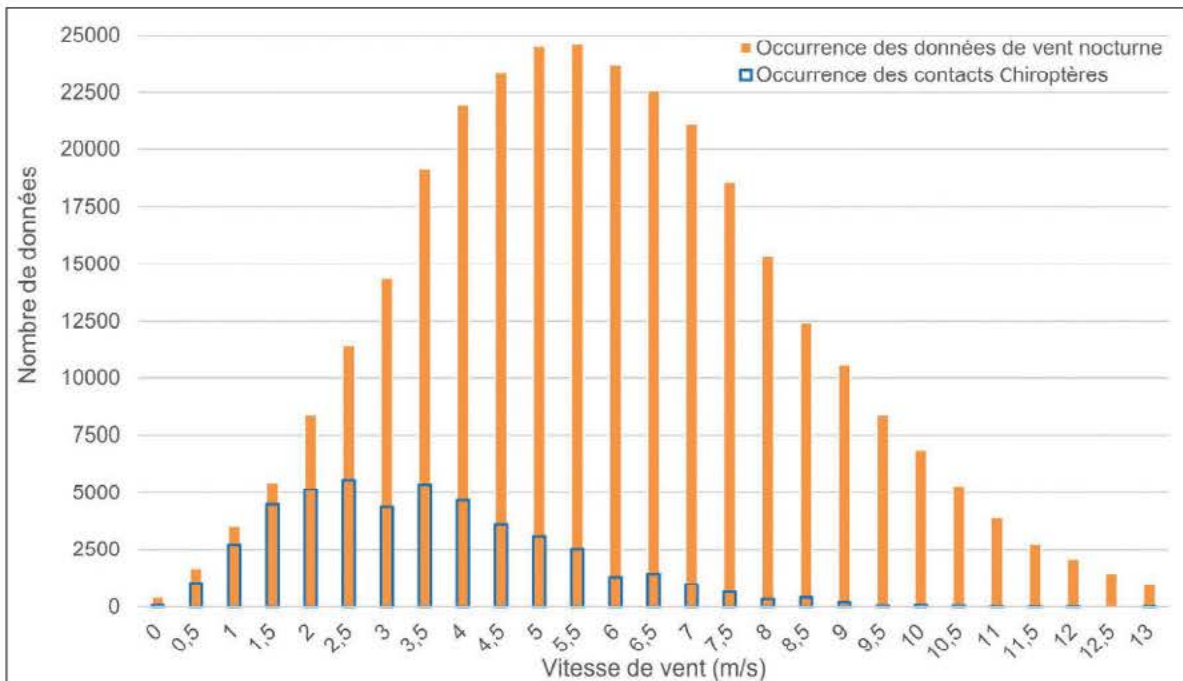


Figure 4. - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction des vitesses de vent nocturnes

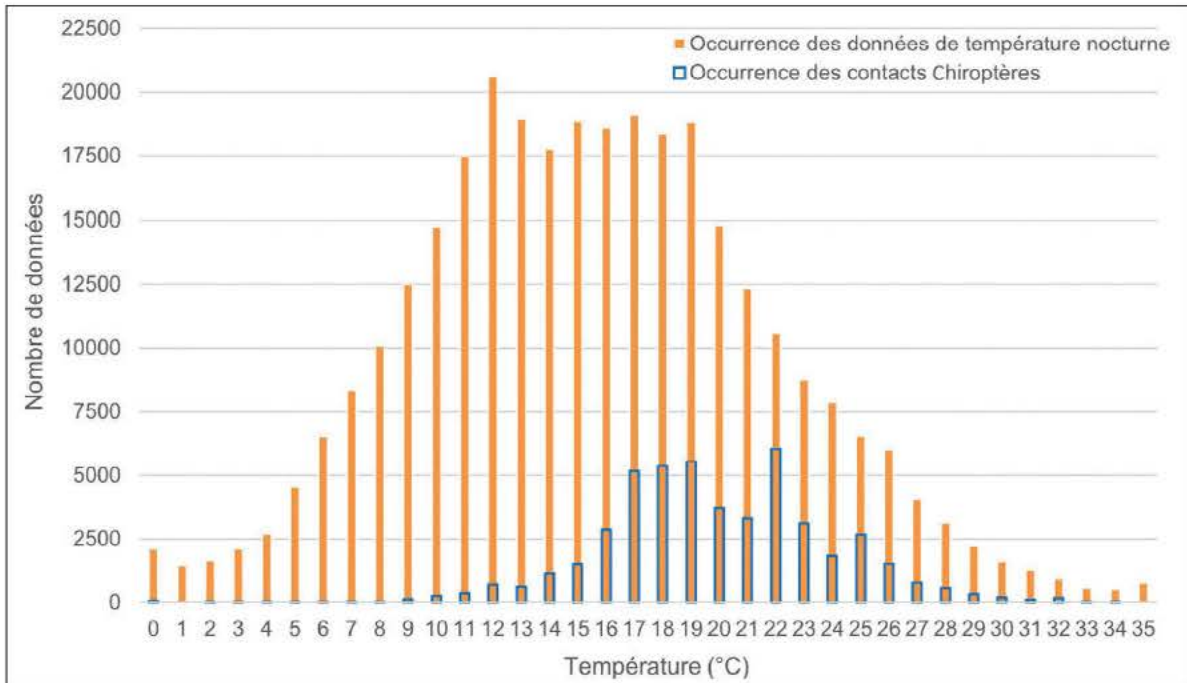


Figure 5. - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction des températures nocturnes

**Mise en parallèle de la température nocturne et de l'activité chiroptérologique**

La répartition des contacts de Chiroptères sur l'histogramme des occurrences de températures nocturnes (Figure 5) fait apparaître une « sélection » pour les températures plutôt élevées, avec un maximum de contacts à 22°C. À noter que des Chiroptères sont également contactés à des températures plus froides, inférieures à 5°C.

Afin de définir les valeurs de températures qui apparaissent comme charnières pour l'activité des Chiroptères, des tests statistiques ont été menés. Ainsi, les résultats montrent que la température influence très significativement l'activité des Chiroptères (p-value=8,13e-14). Les contacts de chauves-souris se concentrent entre 15°C et 27°C qui apparaissent être des valeurs seuil pour la répartition de l'activité chiroptérologique en hauteur.

**Répartition de l'activité en fonction du cycle circadien**

**Analyse de l'activité chiroptérologique cumulée en fonction du cycle circadien**

Les densités de points sur le cycle complet d'étude montrent une activité concentrée en début de nuit sur l'ensemble du cycle. Une variabilité est cependant visible entre les différentes périodes de l'année. Au cours du temps, une augmentation progressive de l'activité chiroptérologique et de sa durée au cours de la nuit est observable jusqu'à la fin du mois de septembre, suivi d'une baisse d'activité progressive jusqu'à fin octobre (arrêt des inventaires acoustiques).

Le graphique présenté en Figure 6, affiche quelques points remarquables :

- Concentration des contacts dans les premières heures de la nuit de mai à juillet puis de fin-septembre à octobre avec les premiers points chauds. Ces résultats pourraient être reliés à des périodes plus fraîches avec une ressource alimentaire potentiellement limitée.
- De juin à mi-août, l'activité est fortement concentrée dans les quatre premières heures de la nuit et s'étend dans une moindre mesure jusqu'au lever du soleil fin juillet.
- De mi-août à fin septembre, l'activité est élevée, du coucher du soleil jusqu'à une heure avant le lever du soleil. À noter un second point d'activité remarquable en fin de nuit (2 h avant le lever du soleil) au début du mois de septembre.

Pour affiner ces résultats graphiques, des tests statistiques ont été menés pour définir les valeurs qui semblent

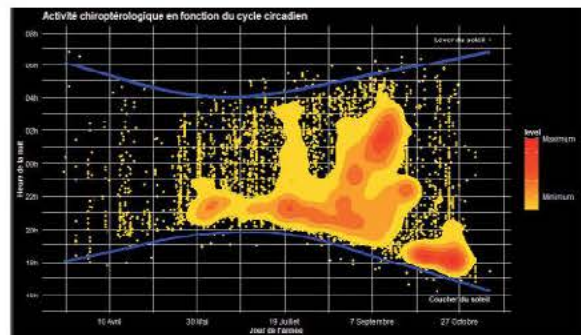


Figure 6. - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

être charnières pour l'activité des Chiroptères. Ainsi, les résultats affichent que l'heure de la nuit influence très significativement l'activité des Chiroptères ( $p\text{-value}=4,42e-12$ ). Les contacts de chauves-souris se concentrent majoritairement durant les cinq premières heures de la nuit (après le coucher du soleil). Cette plage horaire, relative au coucher du soleil, apparaît être importante dans la répartition de l'activité chiroptérologique en hauteur. À noter que sur les mois comprenant le nombre d'heures de nuit les plus courtes, cette durée de cinq heures après le coucher du soleil couvre une grande partie de la nuit.

*Analyse des différents patterns de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien*

Afin de mieux comprendre les comportements des Chiroptères en fonction du cycle circadien et d'affiner les résultats présentés en cumulés, une analyse indépendante par site d'étude a été faite permettant de présenter différents patterns comportementaux des Chiroptères au cours de la nuit et de l'année. Ces différents patterns sont détaillés ci-après.

- Pattern de début de nuit

Les graphiques de la *Figure 7* affichent une activité concentrée en début de nuit sur certaines périodes et une activité plutôt faible et éparse en dehors de ces horaires et périodes. Ces résultats pourraient s'expliquer par des sites à proximité de colonies qui dispersent en début de nuit pour chasser dans d'autres secteurs ou bien des passages

vers des territoires de chasse à la suite de la tombée de la nuit.

- Pattern de début de nuit étendu

Les graphiques de la *Figure 8* affichent une activité se concentrant en début de nuit et s'étendant partiellement au cours de la nuit. Ces résultats illustrent des concentrations de l'activité particulièrement marquées de juillet à septembre. Ce phénomène pourrait être relié à des colonies de reproduction présentes à proximité des sites et qui chassent en partie dans les secteurs d'étude.

- Pattern de début et milieu de nuit

Les graphiques de la *Figure 9* affichent une activité en début de nuit ainsi que des densités de contacts marquées en milieu de nuit. Ces résultats montrent des schémas différents. Soit d'un côté des contacts concentrés à partir de la fin de période de mise bas jusqu'à la fin des transits automnaux et swarming avec des maxima en milieu de nuit, et d'un autre côté ce même schéma auquel s'ajoute un point de chaleur en fin de période des transits printaniers et gestation. Ces résultats peuvent présenter différentes hypothèses quant aux comportements des Chiroptères sur ces sites. Ils pourraient ainsi être à la fois des territoires de chasse distants de leurs gîtes qui seraient ralliés au cours de la nuit ou des territoires de déplacements des Chiroptères à différentes périodes charnières comme les transits entre les gîtes de reproduction et d'hibernation et inversement.

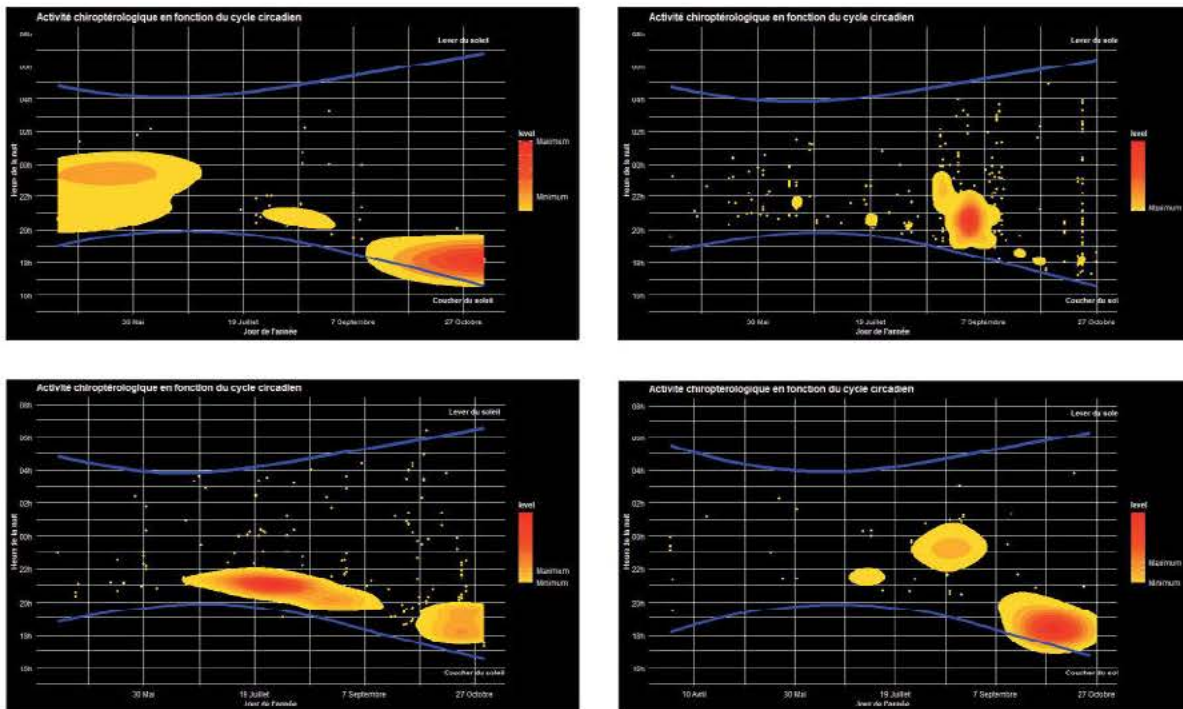


Figure 7. - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien - Pattern de début de nuit

Activité et mortalité des Chiroptères...

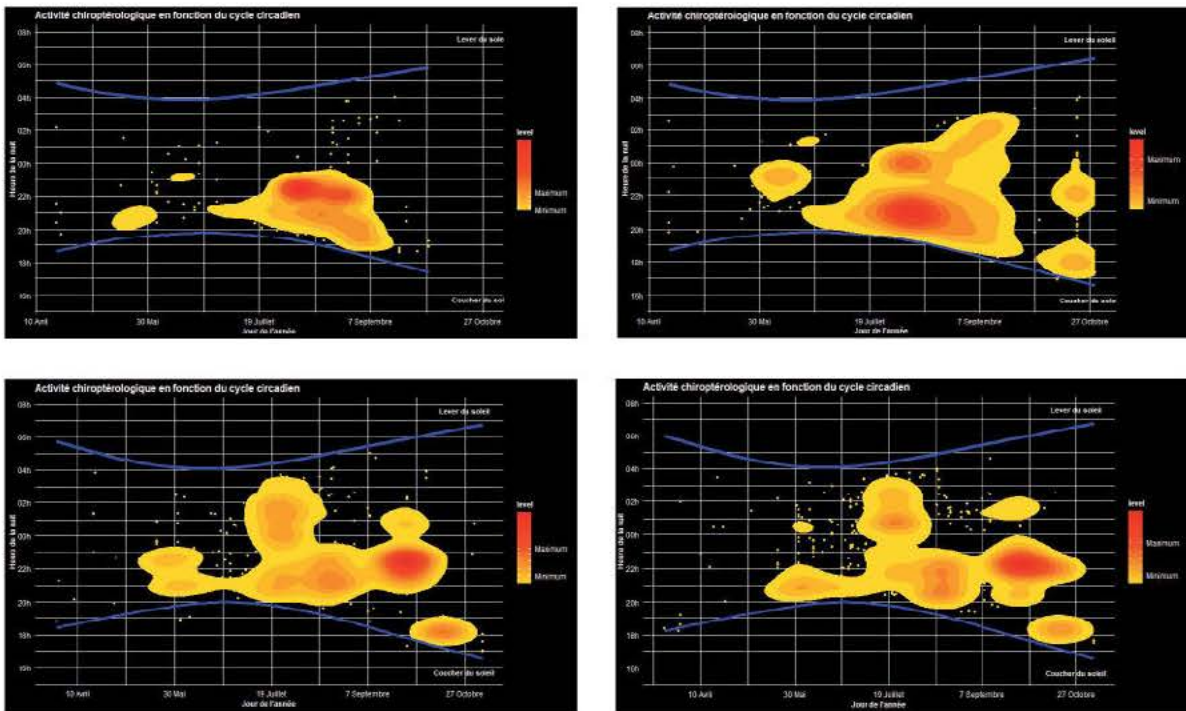


Figure 8. - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien - Pattern de début de nuit étendu

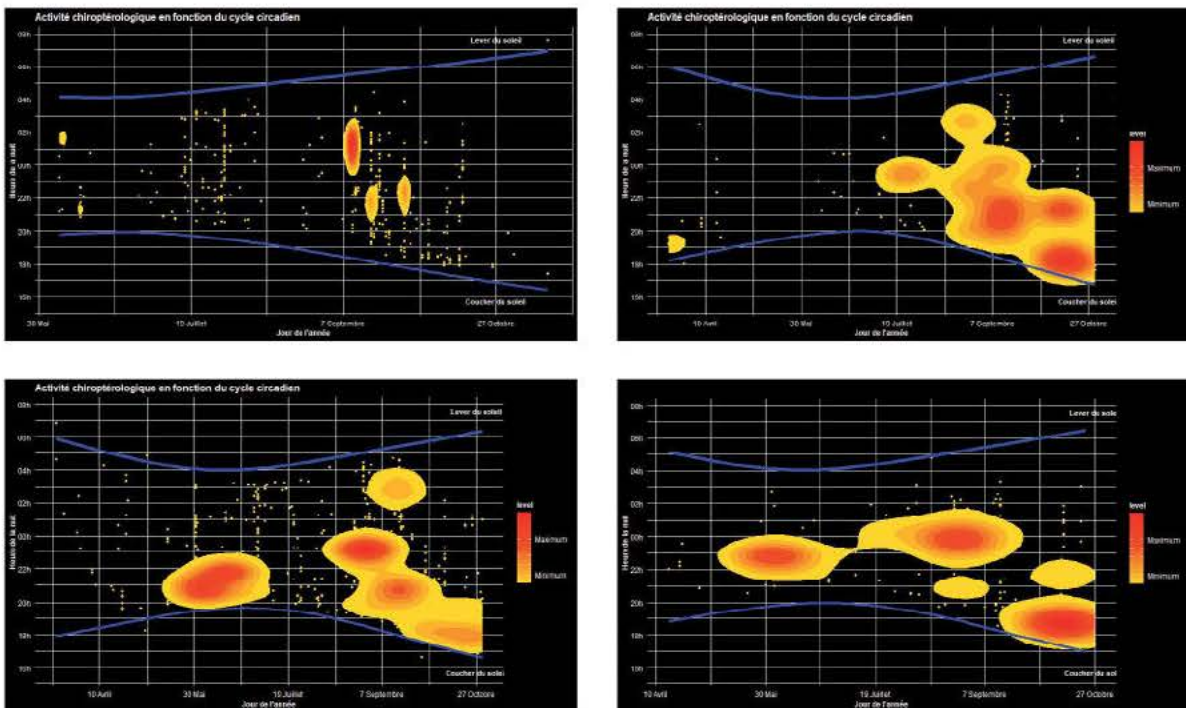


Figure 9. - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien - Pattern de début et milieu de nuit

- Pattern de nuit entière et fin de nuit

Les graphiques de la *Figure 10* affichent une activité marquée tout au long de la nuit avec des maxima globalement observables en milieu et fin de nuit. Ces résultats montrent des sites particulièrement attractifs pour les Chiroptères pouvant comprendre à la fois des gîtes (reproduction, hibernation ou swarming) avec des retours au matin dans les colonies, des territoires de chasse intéressants à proximité, ou encore des corridors de déplacement sélectionnés et fréquemment utilisés par les

Chiroptères. A noter que certaines espèces présentent des comportements avec plusieurs pics d'activité au cours de la nuit, à l'instar des Noctules. Ce phénomène est détaillé dans la partie suivante.

*Analyse de l'activité chiroptérologique par groupe d'espèces en fonction du cycle circadien*

Les précédents résultats présentant l'activité sur l'ensemble des espèces de Chiroptères confondues affichent des comportements intéressants et la question des diffé-

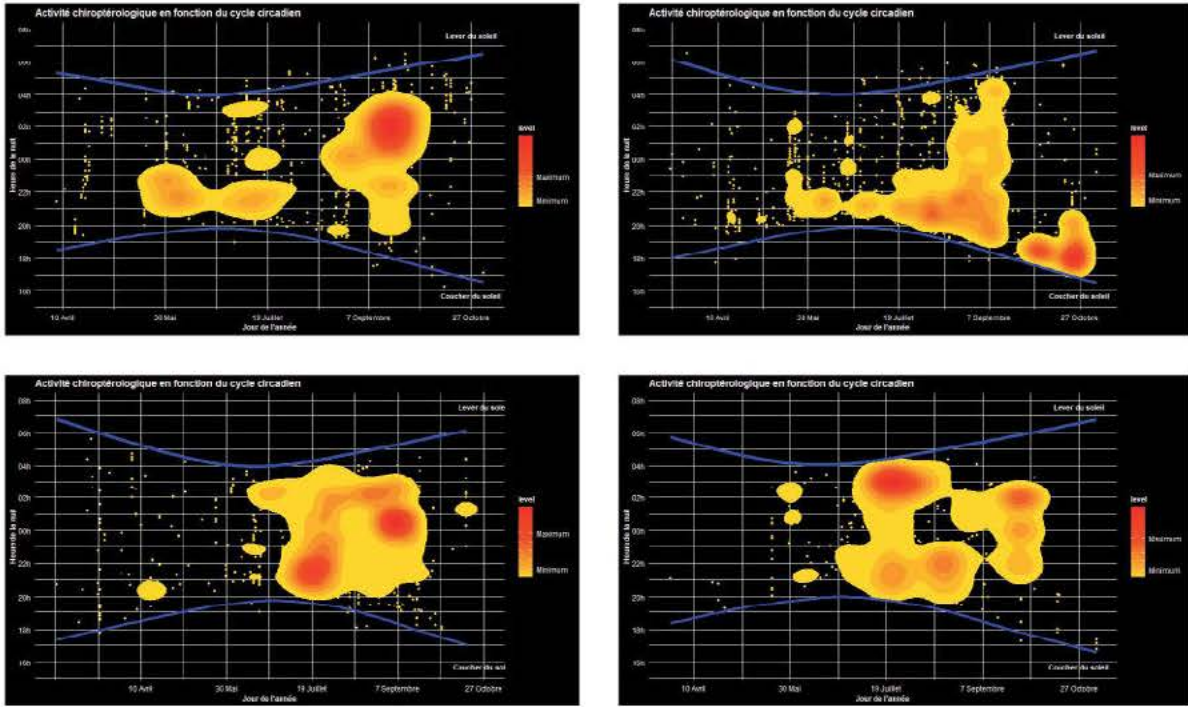


Figure 10 - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien - Pattern de nuit entière et fin de nuit

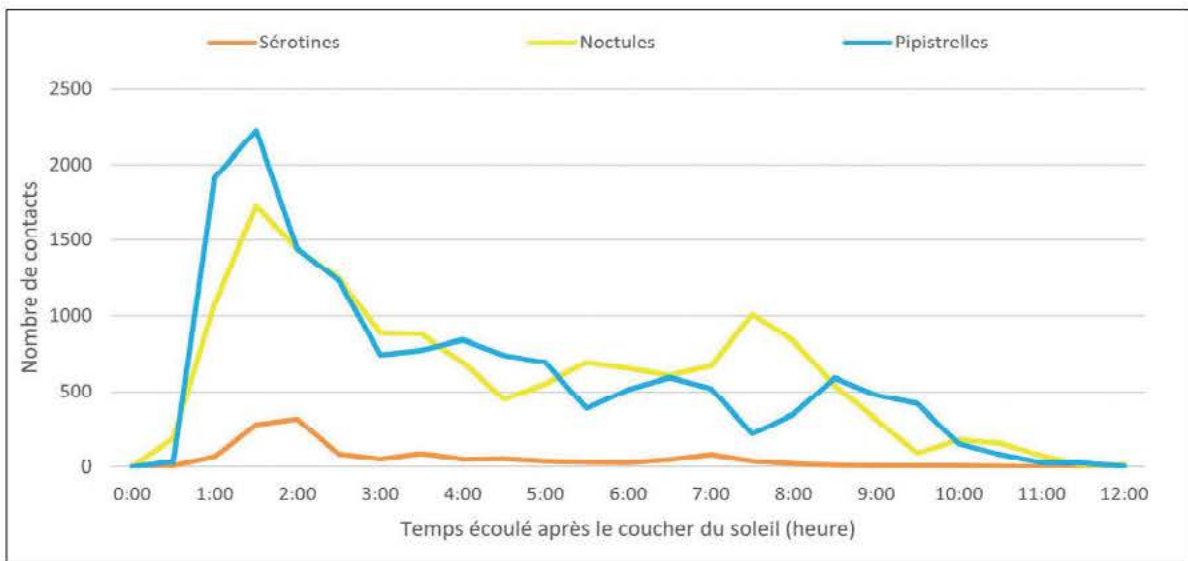


Figure 11 - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du coucher du soleil par groupe d'espèces

rences entre les groupes d'espèces apparaît importante à prendre en compte. Ainsi, le graphique de la *Figure 11* représente l'activité des différents groupes d'espèces présents en fonction des heures après le coucher du soleil. Le groupe des Pipistrelles affiche une forte activité en début de nuit, sur les trois premières heures après le coucher du soleil puis une diminution progressive du nombre de contacts jusqu'à la fin de la nuit. Les Sérotines, bien que moins contactées, dessinent le même schéma que les Pipistrelles. Les Noctules quant à elles, affichent également un pic d'activité maximal en début de nuit à l'instar des Pipistrelles, ainsi qu'un second pic en milieu/fin de nuit, en fonction des périodes entre 7 h et 9 h après le coucher du soleil. Ce phénomène connu dans la bibliographie est confirmé en hauteur dans le cadre de notre étude et pourrait également expliquer en partie les activités marquées en milieu et fin de nuit observées dans les patterns présentés précédemment.

**Analyse multivariée de l'influence des différentes variables sur l'activité des Chiroptères**

Afin d'étudier l'influence de l'ensemble des variables sur l'activité des Chiroptères, un modèle de régression linéaire multiple a été réalisé. Les trois variables étudiées influencent significativement ( $p\text{-value}=2^{-16}$ ) l'activité des Chiroptères. Cependant, ces variables n'influencent pas significativement l'activité chiroptérologique de la même façon :

- La vitesse de vent a une influence négative sur les contacts de chauves-souris. En effet, plus la vitesse de vent augmente, plus le nombre de contacts de chauves-souris est faible. Les résultats obtenus ont permis de montrer une concentration de l'activité en dessous de 5,5 m/s ( $p\text{-value}=2^{-16}$ )
- La température a une influence positive sur l'activité des Chiroptères. En effet, plus la température est élevée, plus le nombre de contacts de Chiroptères est important. Les résultats obtenus ont permis de montrer une concentration de l'activité au-dessus de 15°C ( $p\text{-value}=8^{-14}$ )
- L'heure de la nuit influence négativement les contacts de Chiroptères. En effet, plus l'heure avance au cours de la nuit, plus le nombre de Chiroptères détectés est faible. Les résultats obtenus ont permis de montrer une concentration de l'activité durant les cinq premières heures de la nuit ( $p\text{-value}=4,42^{-12}$ )

La *Figure 12* illustre la répartition des contacts de Chiroptères en fonction des trois variables étudiées. À ces résultats, sont ajoutées les valeurs charnières pour la vitesse de vent et l'heure de la nuit sous forme de ligne.

**Comparaison entre les résultats d'activité obtenus sur mâts de mesure et sur les suivis en nacelle d'éolienne**

Suite à plusieurs années d'inventaires ultrasoniques installés sur les mâts de mesure météorologiques, selon le même protocole que celui présenté dans le présent rap-

port, il est apparu intéressant de comparer les résultats obtenus en amont de l'implantation des parcs éoliens avec ceux obtenus au niveau des nacelles d'éolienne lors des suivis post-implantation pour la grande majorité.

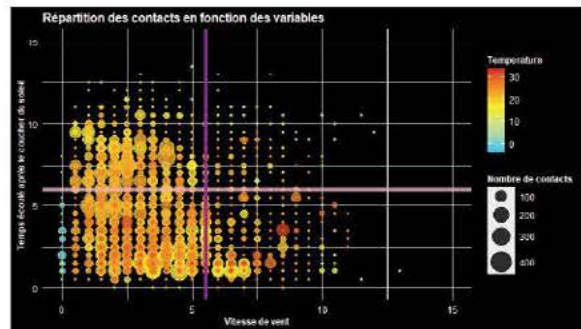
Ainsi, le graphique de la *Figure 13* représente une comparaison des médianes sur les résultats d'activité des Chiroptères en fonction du protocole. Une analyse statistique a été menée sur deux jeux de données et a permis de montrer qu'il n'y a pas de différence significative entre les résultats obtenus sur les mâts de mesures et ceux obtenus à hauteur de nacelle d'éolienne ( $p\text{-value}=0,08$ ). Ce résultat appuie d'autant plus l'intérêt de faire des écoutes en hauteur (sur mât de mesure) en amont de l'implantation des parcs éoliens pour quantifier l'activité des Chiroptères.

**Corrélation entre le suivi d'activité et le suivi de mortalité des Chiroptères**

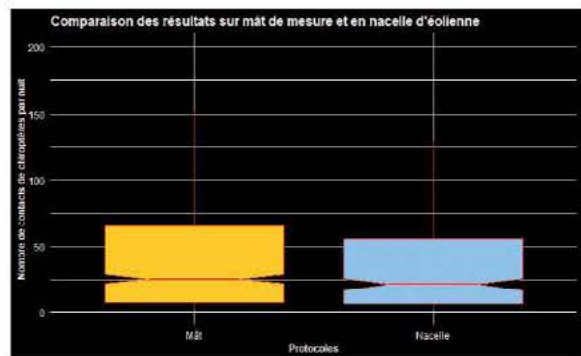
Afin de prendre au mieux en compte le risque de mortalité des Chiroptères dans le cadre de l'implantation d'un parc éolien, des tests ont été réalisés sur les résultats obtenus lors des suivis de mortalité menés en parallèle des suivis de l'activité chiroptérologique en nacelle d'éolienne.

Dans un premier temps, plusieurs tests de corrélation ont été réalisés :

- La mortalité brute observée a été testée avec les moyennes hebdomadaires des températures nocturnes. Le résultat n'affiche pas de corrélation marquée ( $p\text{-value}=0,09$ ).

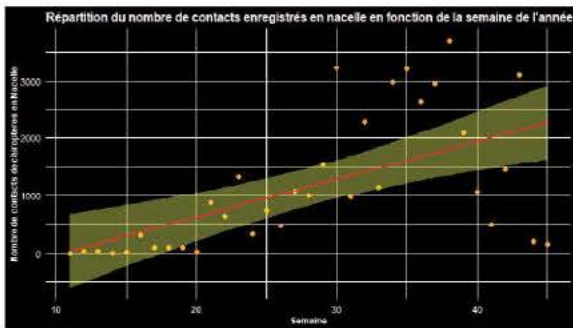


*Figure 12.* - Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction des trois variables étudiées



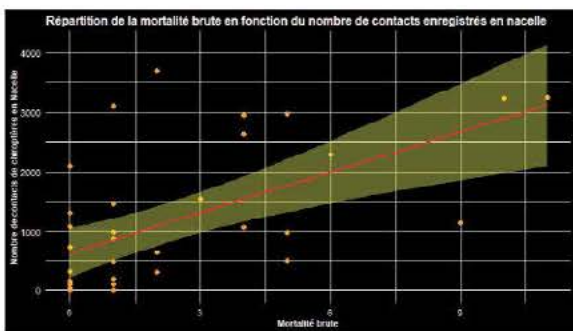
*Figure 13.* - Comparaison des résultats sur mât de mesure et en nacelle d'éolienne

- La mortalité brute observée a été testée avec les moyennes hebdomadaires des vitesses de vent nocturnes. Le résultat n'affiche pas de corrélation marquée ( $p\text{-value}=0,88$ ).
- La mortalité brute observée a été testée en fonction de la semaine de l'année. Le résultat affiche une corrélation significative ( $p\text{-value}=0,03$ ). La *Figure 14* représente ainsi la tendance observée entre la semaine de l'année et la mortalité observée. Ainsi, plus les semaines avancent au cours de l'année plus la mortalité brute augmente. Ainsi, la mortalité est plus élevée sur la période des transits automnaux et swarming (mi-août à mi-octobre).



*Figure 14.* - Répartition de la mortalité brute recensée en fonction de la semaine de l'année

- Enfin, la mortalité brute observée a été testée en fonction de l'activité recensée en nacelle d'éolienne. Le résultat montre une forte corrélation entre ces deux variables ( $p\text{-value}=0,0002$ ). Le graphique de la *Figure 15* représente ainsi la tendance observée entre l'activité des Chiroptères et la mortalité observée. Ainsi, la mortalité brute observée au sol augmente avec le nombre de contacts de Chiroptères.



*Figure 15.* - Répartition de la mortalité brute recensée en fonction de l'activité chiroptérologique enregistrée en nacelle

Ces résultats mettent clairement en évidence le lien entre l'activité chiroptérologique en hauteur et la mortalité observée au sol. Ainsi, l'ensemble des variables influençant l'activité des chauves-souris devrait influencer indirectement la mortalité au sol. Ce résultat n'est cependant

pas observé dans cette étude. Ceci est potentiellement lié au fait que les parcs éoliens étudiés sont soumis à une mesure d'arrêt programmé des éoliennes en faveur des Chiroptères, limitant la rotation des pales à des facteurs combinés comme la vitesse de vent « faible », la température « élevée » ou encore les horaires de début et fin de nuit.

L'hypothèse principale serait par conséquent l'efficacité des mesures d'arrêt programmé, permettant de décorréler l'activité des Chiroptères avec la mortalité de ces derniers. Cette hypothèse est malheureusement difficilement confirmable en raison des protocoles à mettre en place, et notamment celui qui consisterait à comparer des taux de mortalité avec et sans mesure d'arrêt de rotation des pales. Une suppression des arrêts risquerait en effet de provoquer une mortalité importante sur le site testé, ce qui n'est pas souhaitable, même sous le motif de la connaissance scientifique. Ainsi, il apparaît primordial de prendre en compte les variables influençant l'activité des Chiroptères pour limiter la mortalité liée aux parcs éoliens, comme le montre les résultats de corrélation entre l'activité et la mortalité.

#### CONCLUSION ET DISCUSSION

Cette étude permet d'appréhender l'activité chiroptérologique en hauteur et la mortalité observée au sol après l'implantation de parcs éoliens et de mieux comprendre les facteurs les influençant.

La première partie de cette étude est consacrée aux facteurs influençant l'activité des Chiroptères en hauteur.

Dans un premier temps, les espèces recensées lors des inventaires restent en adéquation avec le cortège d'espèces attendu à cette hauteur, à savoir les groupes des Pipistrelles et des Noctules en majorité, et dans une moindre mesure, la Sérotine commune et les autres espèces [COLLINS & JONES 2009, SATTLER & BONTADINA 2005].

Dans un second temps, les résultats de l'analyse des variables météorologiques contredisent en partie l'état de l'art. En effet, l'influence de la vitesse de vent sur l'activité chiroptérologique est controversée, notamment sur l'effet de ce facteur sur les Noctules [ARTHUR & LEMAIRE, 2015]. Les résultats obtenus dans ce rapport penchent au contraire en faveur de l'influence significative de la vitesse de vent sur l'activité des Chiroptères. La proportion de plus de 40 % des contacts appartenant au groupe des Noctules montre une influence de la vitesse de vent sur ces espèces.

Parallèlement, la température fait également l'objet de controverses sur son influence sur l'activité des Chiroptères, avec une des auteurs validant cette influence [REDELL *et al.* 2006, ARNETT *et al.* 2007, BAERWALD & BARCLAY 2011] et d'autres la contredisant [KERNS *et al.* 2005, HORN *et al.* 2008]. Cette étude tend à démontrer une influence significative de la température sur l'activité des Chiroptères en hauteur, contrairement à ARNETT *et al.* qui ne relevaient pas d'effet de la température au-delà de 44 m de hauteur.

L'étude de la répartition des contacts au cours de la nuit valide l'influence des horaires nocturnes de façon significative sur les Chiroptères. Ce résultat est en adéquation avec la bibliographie [BARATAUD 2012]. Certaines études suggèrent un regain d'activité en fin de nuit [SWIFT 1980] et plus particulièrement chez les Noctules [KRONWITTER 1988, RACHWALD 1992, KANUCH 2007, ARTHUR & LEMAIRE 2015]. Ce même résultat est observé dans la présente étude, plus particulièrement au mois de septembre.

La seconde partie de cette étude est consacrée aux corrélations entre les différents protocoles d'inventaires menés en hauteur et à la mortalité des Chiroptères observée au sol.

Les inventaires menés en hauteur permettent de quantifier l'activité des Chiroptères dans les zones où les rotors d'éoliennes vont se retrouver en action. Les recommandations dans le cadre des études d'impact liées aux projets éoliens, notamment les services de l'Etat à l'instar certaines DREAL [DREAL PAYS-DE-LA-LOIRE, 2019] et de groupes de travail européens sur le sujet [EUROBATS, 2016], stipulent l'intérêt de mettre en place des suivis en hauteur dès la phase d'étude du projet à l'aide de mâts de mesure météorologiques. Parallèlement, les protocoles de suivis post-implantation des parcs éoliens mettent également en place des dispositifs de suivis en nacelle d'éolienne afin de suivre l'activité chiroptérologique. La présente étude montre qu'il n'y a pas de différence significative de l'activité chiroptérologique entre ces deux types de protocoles. Ce résultat permet ainsi de justifier l'intérêt de mettre en place des écoutes chiroptérologiques en hauteur en amont de l'implantation des parcs éoliens. Se baser sur ces écoutes pour mettre en place des mesures de réduction du risque de mortalité des Chiroptères comme les arrêts programmés des éoliennes en fonction, entre autres, des différents facteurs étudiés dans cette étude (température, vitesse de vent, horaire nocturne) est ainsi capital.

Parallèlement, la mortalité observée au sol dans le cadre des suivis environnementaux des parcs éoliens, est corrélée significativement avec l'activité chiroptérologique relevée en hauteur. Ce résultat montre l'intérêt des mesures sur la base des données d'activité chiroptérologique en hauteur pour réduire le risque de mortalité des chauves-souris. Ce résultat est cohérent avec l'augmentation du risque de mortalité lié à la forte fréquentation des Chiroptères à hauteur des pales d'éoliennes [KELM *et al.* 2014, LACOEUILHE *et al.* 2016, O'SHEA *et al.* 2016, HEIN *et al.* 2016, ROEMER *et al.* 2017, MINDERMAN *et al.* 2017, BARRÉ 2017].

La répartition de l'activité, et de la mortalité chiroptérologiques, au cours de l'année présente des différences et des similarités avec les résultats précédemment cités dans la bibliographie. En effet, l'analyse présentée dans ce rapport ne permet pas d'observer une activité et mortalité marquées des Chiroptères au niveau des parcs éoliens sur la saison des transits printaniers et gestation (mars à mai) comme l'illustraient ZAGMAJSTER *et al.* 2007, CAMINA *et al.* 2012, GEORGIAKAKIS *et al.* 2012 et BEUCHER *et al.*

2013. À l'inverse, une activité importante des Chiroptères induisant une mortalité élevée sur la période des transits automnaux et swarming (août à octobre) confirme les observations d'ARNETT *et al.* 2008, de RYDELL *et al.* 2010a, de BRINKMANN *et al.* 2011 et d'AMORIM *et al.* 2012.

Parallèlement, plusieurs articles relient les conditions météorologiques à la mortalité des Chiroptères [ARNETT *et al.* 2008, AMORIM *et al.* 2012, O'DONNELL *et al.* 2010, VOIGT *et al.* 2015, HEIM *et al.* 2016]. Ce résultat n'a pas pu être observé dans le cadre de cette étude, cependant la corrélation de l'activité chiroptérologique à la mortalité au sol laissent à penser que l'influence des facteurs météorologiques sur l'activité est intrinsèquement reliée à la mortalité. Cette absence de résultat sur la mortalité pourrait être due au fait que certains parcs éoliens étudiés font déjà l'objet d'un arrêt programmé des éoliennes en faveur des Chiroptères, limitant ainsi la létalité de façon notable.

La mortalité brute est également corrélée à la période de l'année. Ce résultat valide le fait que certaines phases biologiques sont plus mortifères que d'autres, comme le stipulaient AHLEN *et al.* 2002, RYDELL *et al.* 2010a, BRINKMANN *et al.* 2011. Il s'agit ici des phases migratoires et plus particulièrement dans notre étude, de la phase de transits automnaux et swarming (août-octobre).

En conclusion, cette étude permet de mettre en évidence l'influence significative négative de la vitesse de vent, significative positive de la température, significative positive de la période de l'année et significative négative de l'heure de la nuit sur l'activité chiroptérologique à hauteur de nacelle, sur les parcs éoliens. Il apparaît important que ces facteurs soient concomitants, et il est nécessaire de prendre en compte une combinaison des trois facteurs pour couvrir au mieux l'activité chiroptérologique. L'influence significative positive de l'activité sur la mortalité des Chiroptères confirme l'importance de mettre en place des mesures couvrant au mieux l'activité chiroptérologique en hauteur pour diminuer le risque de mortalité au sol lié à l'éolien.

#### PERSPECTIVES DE L'ÉTUDE

Les résultats obtenus dans cette étude laissent plusieurs perspectives pour une meilleure prise en compte des Chiroptères dans le cadre des études d'impacts liées aux parcs éoliens :

- Réaliser des analyses détaillées par milieu afin de pouvoir définir les secteurs les plus à risque et les adaptations à mettre en place,
- Réaliser des analyses affinées des différents facteurs et de leurs valeurs charnières à une échelle mensuelle, et établir un pourcentage global d'activité sur ces seuils,
- Approfondir les échelles d'activité sur les Chiroptères, permettant de quantifier les risques, et ainsi d'appliquer des mesures adaptées,
- Intégrer d'autres variables pouvant influencer l'acti-

tivité chiroptérologique (pluviométrie, condensation, luminosité, facteurs influençant l'émergence d'insectes, etc.)

- Réaliser des analyses ciblées par espèces afin de mieux comprendre les comportements et les déplacements de ces dernières en hauteur, notamment en automne, et ainsi de protéger au mieux celles les plus à risque,
- Travailler sur plus de données afin de mettre en exergue l'influence directe des variables étudiées sur la mortalité. Pour cela des données sur des parcs non bridés sont nécessaires.
- Démontrer l'efficacité de ce même bridage sur la mortalité selon les variables étudiées, mais également sur les hauteurs de garde des pales d'éoliennes. Il apparaît intéressant de tester l'hypothèse que des bridages établis pour les Noctules, à hauteur de rotor, pourraient protéger également les espèces qui évoluent au niveau du sol. Les Noctules, espèces qui évoluent sous les plus fortes vitesses de vent, constitueraient ainsi l'espèce parapluie pour les bridages permettant de protéger l'ensemble du cortège indépendamment de la hauteur de garde.

#### REMERCIEMENTS.

Cette étude n'aurait pas pu être réalisée sans la confiance des porteurs de projets avec lesquels nous travaillons, qui nous ont laissé exploiter les données à des buts de recherche scientifique. Ces remerciements vont également à l'intégralité de l'équipe de chiroptérologues d'ENCIS Environnement pour leur collaboration et leur soutien lors de cette étude ainsi qu'à notre direction pour nous offrir la possibilité de travailler sur des projets de recherche et développement tels que celui-ci. Enfin, merci au Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges et à la SFPEM pour l'organisation de ces rencontres Chiroptères.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AHLÉN I., BACH L., BAAGØE H. J. ET PETERSSON J., 2007. - *Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia*. Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm, Sweden, Report 5571 : 1-35.
- AHLÉN I., BACH L. & BURKHARDT P., 2002. - Bat migration in southern Sweden. - Poster at IXth European Bat Research Symposium, Le Havre, France 2002.
- AMORIM F., REBELO H. & RODRIGUES L., 2012. - Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2) : 439-457.
- ARNETT E.B., BAERWALD E.F., MATHEWS F., RODRIGUES L., RODRIGUEZ-DURÁN A., RYDELL J., VILLEGAS-PATRACA R. & VOIGT C., 2016. - Impacts of wind energy development on bats : a global perspective. *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. Voigt and T. Kingston, eds.) 295-323. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- ARNETT E.B., JOHNSON G.D., ERICKSON W.P. & HEIN C.D., 2013 C. - *A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America*. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- ARNETT E.B., HUSO M.M.P., HAYES J.P. & SCHIRMACHER M., 2010. - *Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities*. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- ARNETT E.B., HUSO M.M.P., SCHIRMACHER M. & HAYES J.P., 2011. - Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Front. Ecol. Environ.* 9(4) : 209-214.
- ARNETT E.B., BARCLAY R.M.R. & HEIN C.D., 2013 A. - Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11 : 171-171. doi:10.1890/15409295-11.4.171
- ARNETT E.B., BROWN W.K., ERICKSON W.P., FIEDLER J.K., HAMILTON B.L., HENRY T.H., JAIN A., G.D. JOHNSON G.D., KERNS J., KOPFORD R.R., NICHOLSON C.P., O'CONNEL T.J., PIORKOWSKI M.D. & TANKERSLEY R.D., 2008. - Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *J. Wildl. Manag.* 72(1) : 61-78.
- ARNETT E.B., HAYES J.P., HUSO M.M.P., 2006. - *An evaluation of the use of acoustic monitoring to predict bat fatality at a proposed wind facility in southcentral Pennsylvania*. An annual report submitted to the bats and wind energy cooperative. Edited by bat conservation international. Austin, Texas, USA. [http://www.batsandwind.org/pdf/precon\\_pa.pdf](http://www.batsandwind.org/pdf/precon_pa.pdf). Accessed 25 June 2013
- ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2015. - *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. Biotopie, coll. Parthénope, Mèze, 544 p.
- BACH L. & BACH P., 2009. - Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Aktivität von Fledermäusen. *Nyctalus* (N.F.) 14 (1-2) : 3-13.
- BAERWALD E.F. & BARCLAY R., 2014. - Science-based strategies can save bats at wind farms. *Bats* 32 (2) : 2-4.
- BAERWALD E.F. & BARCLAY R.M.R., 2011. - Patterns of activity and fatalities of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *Journal of wildlife management* 75 : 1103-1114.
- BAERWALD E.F. & BARCLAY R.M.R., 2009. - Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy*, 90(6) : 1341-1349.
- BARATAUD M., 2012. - *Ecologie acoustique des Chiroptères d'Europe*. Biotopie, Mèze, 344 p.
- BARRÉ K., 2017. - Mesurer et compenser l'impact de l'éolien sur la biodiversité en milieu agricole - Mesur and offset of wind energy impacts on biodiversity in farming areas. DOI:10.13140/RG.2.2.10345.39524.
- BEHR O., BRINKMANN R., NIERMANN I. & KORNER-NIEVERGELT F., 2011. - Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & M. Reich, (Hrsg.) : *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergiean-*

- lagen. *Umwelt und Raum 4* : 177-286.
- BEUCHER Y., KELM V., ALBESPY F., GEYELIN M., NAZON L. ET PICK D., 2013. - *Parc éolien de Castelnaud Pegayrols (12). Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan de campagne des 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup> et 4<sup>e</sup> années d'exploitation (2009-2011)*. Exen et KJM Conseil. 116 p.
- BRINKMANN R., BEHR O., NIEMANN I. & REICH M. (ED.), 2011. - *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum 4*, 457 pages.
- CAMINA A., 2012. - Bat fatalities at wind farms in northern Spain - lessons to be learned. In: *Acta Chiropterologica*, 14(1) : 205-212.
- COLLINS J. & JONES G., 2009. - Differences in Bat Activity in Relation to Bat Detector Height: Implications for Bat Surveys at Proposed Windfarm Sites. *Acta Chiropterologica* 11(2) : 343-350. Disponible sur : <http://www.bioone.org/doi/abs/10.3161/150811009X485576>
- CRYAN P.M., GORRESEN, P.M. HEIN, C.D., SCHIRMACHER M.R., DIEHL R.H., HUSO M.M., HAYMAN D.T.S., FRICKER P.D., BONACCORSO F.J., JOHNSON D.H., HEIST K. & DALTON D.C., 2014 A. - Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 : 15126-15131.
- CRYAN P.M., GORRESEN P.M., HEIN C.D., SCHIRMACHER M.R., DIEHL R.H., HUSO M.M., HAYMAN D.T.S., FRICKER P.D., BONACCORSO F.J., JOHNSON D.H., HESIT II. & DALTON D.C., 2014 B. - Behavior of bats at wind turbines. PNAS. doi: 10.1073/pnas.1406672111.
- EUROBATS, 2016. - *Report of the IWG on "Wind Turbines and Bat Populations"*. 21st Meeting of the Advisory Committee. Zandvoort, Netherlands, 18 - 20 April 2016. 32p.
- GEORGIAKAKIS P., KRET E., CARCAMO B., DOUTAU B., KAFKALETOU-DIEZ A., VASILAKIS D. & PAPADATOU E., 2012. - Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece- *Acta Chiropterologica*, 14 (2) : 459-468.
- GROUPE CHIROPTÈRES DE LA SFEPM, 2016. - *Prise en compte des Chiroptères dans la planification des projets éoliens, Version 2.1 (janvier 2016)*. Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris. 11 pages.
- HEIN C.D., SCHIRMACHER M.N., 2016. - Impact of wind energy on bats: a summary of our current knowledge. *Human-Wildlife Interactions* 10(1) : 19-27.
- HEITZ C. ET JUNG L., 2016. - *Impact de l'activité éolienne sur les Chiroptères : Enjeux et solutions*. Étude bibliographique, Écosphère, 149p.
- HORN J.W., ARNETT E.B. & KUNZ T.H., 2008. - Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management* 72(1) : 123-132.
- KANUCH P., 2007. - Evening and morning activity schedules of the noctule bat (*Nyctalus noctula*) in Western Carpathians. *Mammalia - International Journal of the Systematics, Biology and Ecology of Mammals*, 71 (3).
- KELM D.H., LENSKI J., KELM V., TÖLCH U. & DZIOCK F., 2014. - Seasonal bat activity in relation to distance to hedgerows in an agricultural landscape in central Europe and implications for wind energy development - *Acta Chiropterologica*, 16(1) : 65-73.
- KERNS J., ERICKSON W. P. AND ARNETT E. B., 2005. - Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia. Pages 24-95 in E. B. Arnett, editor. *Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines*. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- KRONWITTER F., 1988. - Population structure, habitat use and activity patterns of the noctule bat, *Nyctalus noctula* Schreb. 1774 (Chiroptera, Vespertilionidae) revealed by radio-tracking. *Myotis* 26 : 23-84.
- KUNZ T., ARNETT E., ERICKSON W., HOAR A., JOHNSON G., LARKIN R., DALE STRICKLAND M., THRESHER R. ET TUTTLE M., 2007. - Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front. Ecol. Environ.*, 5(6) : 315-324.
- LACOEUILLE A., MACHON N., JULIEN J-F, KERBERIOU C., 2016. - Effects of hedgerows on bats and bush crickets at different spatial scales. *Acta Oecologica* 71 : 61-72.
- LAGRANGE H., RICO P., BAS Y., UGHETTO A-L., MELKI F. & KERBERIOU C., 2013. - Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of CHIROTECH®. Presentation at the CWE in Stockholm 5-7 February 2013 and at the 16th International Bat Research Conference, Costa Rica.
- LIMPENS II.J.G.A., BOONMAN M., KORNER-NIEVERGELT F., JANSEN E.A., VAN DER VALK M., LA HAYE M.J.J., DIRKSEN S. & VREUGDENHIL S.J., 2013. - *Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013*. 120p., Zoogdierverseniging & Bureau Waardenburg.
- LONG C.V., FLINT J.A., LEPPER P.A., 2011. - Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *Eur J Wildl Res*, published online DOI 10.1007/s10344-010-0432-7, Springer-Verlag, 9p.
- MARTIN C.M., ARNETT E.B., STEVENS R.D. & WALLACE M.C., 2017. - Reducing bat fatalities at wind facilities while improving the economic efficiency of operational mitigation. *Journal of Mammalogy*, 98 : 378-385.
- MINDERMAN J., GILLIS M.H., PARK K.J., 2017. - Landscape - scale effects of single and multiple small wind turbines on bat activity. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>.
- 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(3):n/a-n/a.
- RACHWALD A., 1992. - Habitat preference and activity of the noctule bat *Nyctalus noctula* in the Białowieża Primeval Forest. *Acta theriol.* 37 : 413-422.
- REDELL D., ARNETT E. B., HAYES J. P., AND HUSO M., 2006. - *Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Wisconsin. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative*. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- RYDELL J., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.-J., GREEN M., RODRIGUES L. & HEDENSTRÖM A., 2010A. - Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiroptero-*

- logica* 12(2) : 261-274.
- RYDELL J., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.-J., GREEN M., RODRIGUES L. & HEDENSTRÖM A., 2010B. - Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *Eur. J. Wildl. Res.* 56 : 823-827.
- ROEMER C., DISCA T., COULON A., BAS Y., 2017. - Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation* 215 : 116-122.
- SÄTTLER T., BONTADINA F., HIRZEL A.H., ARLETTAZ R., 2007. - Ecological niche modelling of two cryptic bat species calls for a reassessment of their conservation status. *Journal of Applied Ecology* 44 : 1188-1199.
- SWIFT S.M., 1980. - Activity patterns of Pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) in North-East Scotland. *J.Zool. Lond.* 190 : 285-295
- VOIGT C., LEHNERT L., PETERSONS G., ADORF F., BACH L., 2015. - Wildlife and renewable energy : German politics cross migratory bats. *European journal of wildlife research.* DOI :10.1007/s10344-015-0903-y.
- ZAGMAJSTER M., JANCAR T., MLAKAR J., 2007. - First records of dead bats (Chiroptera) from wind farms in Croatia. *Nyctalus* 12(2-3) : 234-237.

