



## Suivi environnemental 2021

Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude **TRACKBAT**®

Régulation **PRCBAT**®

Parc éolien de Longchamp  
4 éoliennes  
Cher (18), Centre-Val de Loire

Juin 2022

Innover

Etudier

Partager

Rédaction :  
[Roman Castel](#)  
Chef de projet ProBat/ProBird  
[roman.castel@sensoflife.com](mailto:roman.castel@sensoflife.com)

Technique :  
[Hubert Lagrange](#)  
Directeur R&D  
[hubert.lagrange@sensoflife.com](mailto:hubert.lagrange@sensoflife.com)

Contrôle Qualité :  
[Pauline Rico](#)  
Directrice d'études  
[pauline.rico@sensoflife.com](mailto:pauline.rico@sensoflife.com)

3 rue Cope Cambe  
34230 PLAISSAN  
RCS Montpellier 809 520 588  
+ 33 (0)467 885 822

SAS au capital variable de 6000€  
N°SIRET 809 520 588 000 25



## SOMMAIRE

<b>I. Cadre général du parc</b>	<b>4</b>
I.1. Contexte de l'étude	4
I.2. Localisation et description du parc	4
I.3. Objectifs	4
<b>II. Rappel de l'état initial</b>	<b>7</b>
II.1. Flore et habitats	7
II.2. Avifaune	7
II.3. Chiroptères	7
II.4. Mammifères terrestres	7
<b>III. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères</b>	<b>7</b>
III.1. Sensibilité des oiseaux	7
III.1.1. Collision	7
III.1.2. Perte d'habitat	9
III.1.3. Effet barrière	10
III.2. Sensibilité des chiroptères	11
III.2.1. Généralités	11
III.2.2. Mortalité directe et mortalité indirecte	12
<b>IV. Suivi de l'activité des chiroptères par TrackBat</b>	<b>13</b>
IV.1. Matériel et méthodes	13
IV.1.1. Enregistrement acoustique	13
IV.1.2. Méthode d'analyse des sons	14
IV.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique	15
IV.2.1. Activité corrigée par espèce	15
IV.2.1. Activité en fonction de la date et de l'heure	16
IV.2.2. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température	17
IV.2.3. Zoom sur les espèces présentes	17
IV.3. Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes	21
<b>V. Régulation pour la préservation des chiroptères - ProBat</b>	<b>22</b>
V.1. Présentation de la régulation ProBat	22
V.1.1. Détermination de l'activité chiroptérologique théorique	22
V.1.2. Détermination de l'activité des chiroptères en temps réel	23
V.1.3. Arrêts machines sur LOCA-03 du parc de Longchamp pour la préservation des chiroptères	25
V.2. Evaluation du risque résiduel	26
<b>VI. Discussion</b>	<b>26</b>
VI.1. Répartition de l'activité des chiroptères sur le parc éolien de Longchamp	26
<b>VII. Conclusion</b>	<b>27</b>
<b>VIII. Bibliographie</b>	<b>27</b>

## IX. Annexes..... 31

IX.1. Tableau 11 : Référentiel d'activité des chiroptères en altitude, Nord-Est de la France, Sens of Life (2021)	31
IX.2. Tableau 12 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).	32

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de Longchamp. ....	6
Carte 2 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius.....	18
Figure 1 : Roitelet à Triple bandeau, espèce la plus impactée en France concernant la mortalité par collision avec les pales d'éoliennes, (Sens Of Life 2020). ....	9
Figure 2 : éolienne avec une pale peinte en noire. ....	9
Figure 3 : Aigle royal. CCO domaine public.....	10
Figure 4 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001).....	11
Figure 5 : Description du phénomène de barotraumatisme.....	12
Figure 6 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.....	13
Figure 7 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite). ....	14
Figure 8 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces.....	14
Figure 9 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission.....	15
Figure 10 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.....	17
Figure 11 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune.....	18
Figure 12 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.....	18
Figure 13 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl.....	19
Figure 14 : Pipistrelle de Kuhl. CCO domaine public.....	19
Figure 15 : Sérotine commune. CCO domaine public.....	19
Figure 16 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune.....	20
Figure 17 : Noctule commune. CCO domaine public.....	20
Figure 18 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune.....	20
Figure 19 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.....	20
Figure 20 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler.....	21
Figure 21 : Représentation de l'activité des chiroptères en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de Bouin en 2009 (Lagrange et al., 2009).....	22
Figure 22 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6 m.s <sup>-1</sup> et 10°C, zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique enregistrée (patatoïde bleu à jaune).....	23
Figure 23 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6m.s <sup>-1</sup> et 10°C, zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique protégée (patatoïde bleu à jaune).....	24
Figure 24: Principe de fonctionnement du système ProBat.....	24
Figure 25 : Répartition de l'activité des chiroptères du 20 juillet au 1 <sup>er</sup> novembre sur LOCA-03 en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de Longchamp.....	25
Figure 26: Répartition des arrêts ProBat en fonction de la date et de l'heure du 20 juillet au 1 <sup>er</sup> novembre 2021 sur l'éolienne LOCA-03 du parc éolien de Longchamp.....	25
Figure 27 : Répartition des contacts de chauves-souris ayant eu lieu lorsque que le rotor de LOCA-03 tournait. ....	26
Graphique 1 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Source : Rapport LPO, Geoffrey Marx, 2016).....	8
Graphique 2 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua 2006).....	9
Graphique 3 : Proportion de chaque espèce dans les contacts corrigés totaux sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.....	16
Graphique 4 : Activité des chiroptères en fonction de la date sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.....	16
Graphique 5 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.....	17
Graphique 6 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent.....	23

Graphique 7 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la température.....	23
Graphique 8 : Répartition des arrêts ProBat en fonction des espèces contactées du 20 juillet au 1 <sup>er</sup> novembre 2021 sur l'éolienne LOCA-03 du parc éolien de Longchamp.....	25
Graphique 9 : Nombre de contacts à risque résiduel par espèces du 20 juillet au 1 <sup>er</sup> novembre 2021 sur l'éolienne LOCA-03 du parc éolien de Longchamp.....	26

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes de Longchamp, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator.....	4
Tableau 2 : Comparaison indicative des différentes causes de mortalité anthropique de l'avifaune en France (en haut, LPO, AMBE - 2010) et aux Etats-Unis (en bas, Erickson et al., 2005).....	8
Tableau 3 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016).....	12
Tableau 4 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.....	14
Tableau 5 : Coefficient de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes.....	15
Tableau 6 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Longchamp, entre mai et octobre 2021.....	15
Tableau 7 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration automnale sur le parc éolien de Longchamp, entre mai et octobre 2021.....	16
Tableau 8 : Caractérisation du niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères enregistrée sur le parc de Longchamp entre mai et octobre 2021, en fonction du cycle biologique.....	16
Tableau 9 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s <sup>-1</sup> ) sur le parc éolien de Longchamp, entre mai et octobre 2021.....	17
Tableau 10 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.....	21
IX.1. Tableau 11 : Référentiel d'activité des chiroptères en altitude, Nord-Est de la France, Sens of Life (2021).....	31
IX.2. Tableau 12 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).....	32

## I. Cadre général du parc

### I.1. Contexte de l'étude

WPO est l'opérateur du parc éolien des Longchamp, composé de 4 éoliennes, implanté dans le Cher (18). Cette installation a été mise en service en 2012, elle est donc réputée ICPE. Une expertise environnementale initiale a été réalisée par l'association Nature 18, la Fédération Départementale des Chasseurs du Cher et le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges en 2007 :

- L'association Nature 18 a travaillé sur les parties avifaune et flore locales remarquables,
- La Fédération des Chasseurs du Cher a étudié les zones sensibles pour l'avifaune et les mammifères terrestres,
- Le Muséum de Bourges a étudié les chiroptères.

Selon l'arrêté ICPE du 26 août 2011 et l'arrêté modificatif du 22 juin 2020, relatifs aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, l'exploitant d'une installation soumise à autorisation ou bien à déclaration<sup>1</sup> au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, doit réaliser un suivi environnemental dans les 12 mois qui suivent la mise en service du parc éolien puis une fois tous les dix ans. Ce suivi post-implantation sert à estimer l'incidence du parc sur l'avifaune et les chiroptères, notamment en termes de mortalité due à la présence des aérogénérateurs, mais aussi à s'assurer que la construction et l'exploitation du parc ne dégradent pas l'état de conservation de certaines espèces et des habitats protégés.

Le suivi environnemental doit être réalisé avec le protocole reconnu par le ministère chargé des installations classées et doit également être conforme à la réglementation de l'étude d'impact qui définit les modalités de suivi des effets du parc sur l'avifaune et les chauves-souris (Article R122-14 du code de l'environnement). Il comprend un suivi de l'activité chiroptérologique en altitude, en continu et sans aucun échantillonnage de durée sur l'ensemble de la période d'activité des chauves-souris, ainsi qu'un suivi de la mortalité au pied des éoliennes. Ce suivi de mortalité a été réalisé en 2020 par le bureau d'études Sens of Life, et a conclu à une mortalité induite de 4,4 à 8,9 chiroptères par an et par éoliennes, soit une mortalité plus élevée que celle de référence trouvée dans la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010). L'installation du dispositif de bridage intelligent ProBat avait alors été préconisé de juin à octobre.

En 2021, le système ProBat a donc été installé et a régulé les quatre éoliennes du parc de Longchamp du 20 juillet au 31 octobre. Ce rapport présente les résultats du suivi d'activité des chiroptères en nacelle et de la première année de régulation ProBat.

### I.2. Localisation et description du parc

Ce parc, constitué de 4 éoliennes, se situe sur la commune de Nohant-en-Graçay (18310), dans le département du Cher (18), en région Centre-Val de Loire. Les quatre turbines sont des Nordex N100, pour une puissance totale installée de 10 MW. Le Tableau 1 indique les coordonnées géographiques des éoliennes, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator.

Eolienne	X	Y
LOCA-01	47.124748	1.934830
LOCA-02	47.122242	1.936700
LOCA-03	47.119760	1.938446
LOCA-04	47.116811	1.940530

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes de Longchamp, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator.

Le parc éolien de Longchamp est implanté sur un plateau dont l'aire d'étude immédiate culmine à 137 mètres d'altitude. Les quatre éoliennes sont alignées dans un paysage dominé par des parcelles agricoles exploitées de manière intensive et situé entre les communes de Nohant-en-Graçay et Saint-Pierre-de-Jards et au sud de l'autoroute A20 et de la forêt de Longchamp. Aucune mare n'a été identifiée dans leur périmètre immédiat, mais un affluent du Cher, le Flouzon est à noter à proximité de l'éolienne LOCA-03. Les cultures présentes sont en grande majorité des graminées et des brassicacées.

Dans les environs du parc, dans un rayon de 30 km, 35 zones naturelles d'intérêt reconnu ont été recensées.

Dans l'aire d'étude intermédiaire (à moins de 10 km du site), 3 zones ont été recensées :

- 1 site inscrit au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 2 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),

Dans l'aire d'étude éloignée (entre 10 et 30 km du site), 32 zones ont été recensées :

- 3 sites inscrits au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 3 sites inscrits au titre de la Directive Oiseaux (ZICO, ZPS),
- 22 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),
- 4 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type II (ZNIEFF II).

### I.3. Objectifs

Les parcs éoliens peuvent avoir une incidence sur certaines espèces protégées, dont certains oiseaux et les chiroptères. Les impacts potentiels peuvent être classés en trois catégories :

- Une mortalité directe, accidentelle :
  - o Par collision avec les pales en mouvement,
  - o Par barotraumatisme à proximité de l'extrados des pales en mouvement,
  - o De manière plus anecdotique par collision contre le mât.
- Une perte d'habitat, temporaire en phase travaux ou permanente après construction, liée à la destruction d'espace de vie, de chasse ou de reproduction ;
- Un effet épouvantail, à nouveau temporaire et/ou permanent lié aux bruits, aux vibrations, à l'éclairage par exemple, perturbant les animaux résidents ou présentant un effet barrière aux migrants. Ces dérangements peuvent aussi bien éloigner les animaux (bruit, phobie des structures verticales et autres) que les attirer (chaleur des machines attirant les insectes, proies des chauves-souris par exemple).

Ces impacts peuvent être très faibles à critiques suivant les configurations des parcs éoliens. Ils dépendent du site, de son utilisation par les chauves-souris et de la sensibilité des espèces présentes. Ils dépendent également du type d'éoliennes, de leur organisation, de leur fonctionnement, de la configuration du parc éolien, de son

<sup>1</sup> Point 3.7 de l'annexe I de l'arrêté du 26 août 2011 et article 9 de l'arrêté du 22 juin 2020.

environnement et des conditions météorologiques. Les exploitants de parcs doivent donc s'assurer que la construction et l'exploitation de chaque parc ne dégradent pas l'état de conservation des espèces et des habitats.

L'étude d'activité chiroptérologique en nacelle grâce au dispositif TrackBat permet de caractériser le cortège d'espèce fréquentant les éoliennes du parc ainsi que leur activité : hiérarchisation des espèces, variations temporelle et spatiale de l'activité, variations selon les conditions météorologiques... Ces analyses permettent de déterminer les critères de date, heure et conditions météorologique sur le parc qui encadrent 90% de l'activité chiroptérologique.

En effet, la définition de ces paramètres permet de calculer un risque théorique en temps réel pour les chiroptères sur la base de courbes multivariées de leur activité. Ce risque théorique est utilisé dans la régulation ProBat et associé à une détection de l'activité en temps réel pour déclencher des arrêts pertinents dont l'objectif est de préserver 90% des contacts enregistrés sur la période de fonctionnement.

**Ce rapport présente donc les résultats du suivi d'activité chiroptérologique en nacelle du parc éolien de Longchamp ainsi que ceux de la régulation ProBat sur 2021.**



# Approche scalaire du site d'implantation Parc éolien de Longchamp Cher (18)



Sens Of Life, 2020. Fond de carte : Google satellite.

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de Longchamp.

## II. Rappel de l'état initial

L'objectif de cette partie est de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées lors de l'étude d'impact réalisée par Nature 18, la Fédération Départementale des Chasseurs du Cher et le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges en 2007.

### II.1. Flore et habitats

Aucun inventaire floristique détaillé n'a été réalisé au cours de l'étude d'impact en 2005.

La zone d'étude se situe en Champagne Berrichonne caractérisée par des milieux ouverts constitués de cultures céréalières intensives composés majoritairement de cultures de blé, orge, colza, maïs et tournesol. Plusieurs vallées caractérisent le milieu : la vallée de l'Yèvre, de l'Auron et de l'Arnon. Quelques pelouses calcaires persistent et abritent une faune et une flore remarquables. Quelques bois, forêt et haies caractérisent également ce milieu, attirant notamment de nombreuses espèces d'oiseaux inféodées à ce type de milieu.

### II.2. Avifaune

L'association Nature 18 et la Fédération des Chasseurs du Cher ont effectué le suivi de l'avifaune au cours de différentes sorties.

Sur la zone d'étude, une liste de 38 espèces a été réalisée par Nature 18, en mettant en avant trois espèces remarquables : le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), la **Bondrée apivore** (*Pernis apivorus*) et le **Milan royal** (*Milvus milvus*).

Une attention particulière a été portée sur la **Grue cendrée** (*Grus grus*), puisque le principal couloir de migration pré- et postnuptial de l'espèce en France, situé dans l'axe Nord-Est/Sud-Ouest, passe par le Cher. Le département est également propice à l'hivernage de l'espèce, notamment un site connu : l'étang de Craon situé à l'est de Bourges (une centaine d'individus). En migration pré-nuptiale, 47 communes du Cher ont été survolées par les Grues cendrées et 45 communes survolées lors de la migration postnuptiale en 2005. Des passages concernant la migration pré-nuptiale ont été observés en 2005 en moyenne de la mi-février à la mi-mars. Au niveau des effectifs, ce sont environ 2500 individus qui ont été contactés lors de l'étude d'impact. Pour la migration postnuptiale, des passages ont été observés de la mi-octobre à la mi-novembre en 2005 dans le département du Cher, toutefois, très peu de passage a été noté au cours de l'étude en 2007.

La Fédération des Chasseurs du Cher a listé 32 espèces sur la zone d'étude. Parmi elles, deux espèces sont protégées au niveau européen et classées en annexe I de la Directive Oiseaux : le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*) et l'**Œdicnème criard** (*Burhinus oedichnemus*).

Au niveau national, 21 espèces sont protégées : l'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*), la **Bergeronnette printanière** (*Motacilla citrinella*), le **Bruant proyer** (*Emberiza calandra*), le **Chardonneret élégant** (*Carduelis carduelis*), la **Fauvette grisette** (*Sylvia communis*), l'**Hirondelle rustique** (*Hirunda rustica*), la **Mésange bleue** (*Parus caeruleus*), la **Mésange charbonnière** (*Parus major*), le **Moineau domestique** (*Passer domesticus*), le **Pinson des arbres** (*Fringilla coelebs*), le **Rougegorge familier** (*Erithacus rubecula*), le **Traquet motteux** (*Oenanthe oenanthe*), le **Tarier pâtre** (*Saxicola torquata*), le **Pic épeichette** (*Dendrocopos minor*), le **Pic épeiche** (*Dendrocopos major*), l'**Œdicnème criard** (*Burhinus oedichnemus*), le **Héron cendré** (*Ardea cinerea*), le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), l'**Autour des palombes** (*Accipiter gentilis*), la **Buse variable** (*Buteo buteo*) et le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*).

Au niveau régional, 3 espèces sont considérées comme rares : le **Pic épeichette** (*Dendrocopos minor*), l'**Œdicnème criard** (*Burhinus oedichnemus*) et l'**Autour des palombes** (*Accipiter gentilis*).

## II.3. Chiroptères

Le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges a étudié les chiroptères par un comptage en altitude (80 m) via un micro embarqué sur un ballon d'hélium. Deux points d'écoute ont ainsi été réalisés en août 2005 et ont mis en évidence 15 contacts au sol et aucun en altitude. Aucune identification à l'espèce n'a été réalisée. Au vu des données, le Muséum n'a pas poursuivi son étude.

## II.4. Mammifères terrestres

La Fédération des Chasseurs du Cher a répertorié 5 espèces de mammifères terrestres : le **Chevreuil d'Europe** (*Capreolus capreolus*), le **Lièvre d'Europe** (*Lepus europeus*), le **Lapin de garenne** (*Oryctolagus cuniculus*), le **Ragondin** (*Myocastor coypus*) et le **Rat musqué** (*Ondatra zibethicus*).

## III. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères

### III.1. Sensibilité des oiseaux

L'effet des parcs éoliens sur l'avifaune est très variable et dépend de plusieurs facteurs :

- La phénologie des espèces (hivernage, nidification, passage migratoire ou oiseaux sédentaires) et les modalités d'utilisation du site par les oiseaux ;
- La sensibilité des espèces aux différents effets potentiels de l'activité éolienne :
  - Effets directs (Smith & Dwyer, 2016) : la collision directe avec les pales d'éoliennes, causant la mort des individus,
  - Effets indirects (Smith & Dwyer, 2016) : les perturbations ou dérangements, qui provoquent l'évitement de ces infrastructures et se manifestent de différente façon : la perte d'habitat et l'effet « barrière ».
- Les caractéristiques du projet (nombre et positionnement des éoliennes, hauteur des mâts, orientation du parc...), de l'environnement local (Kitano and Shiraki 2013) et des conditions météorologiques (Barrios & Rodríguez, 2004 ; De Lucas *et al.*, 2008 ; Kerlinger *et al.*, 2010).

Les données de la littérature scientifique internationale sur les suivis de parcs éoliens en phase d'exploitation permettent d'apprécier des sensibilités divergentes pour deux catégories d'espèces :

- Une première sensible aux perturbations engendrées par ces infrastructures, qui subissent l'effet « barrière », l'éloignement, voire de dérangement au nid, et donc au risque de perte de territoire vital. Ces espèces farouches sont en général peu sensibles au risque de collision ;
- La seconde, à l'inverse, avec des espèces sensibles aux risques de collision avec les pales, qui sont moins concernées par les effets d'évitement (Grünkorn *et al.*, 2009), de perte de territoire ou de dérangement.

Cette approche caricaturale nécessite beaucoup de précautions dans l'analyse des impacts d'un projet éolien. Les paragraphes suivants détaillent l'état actuel des connaissances sur les sensibilités de l'avifaune en fonction des espèces, et de leur statut sur site.

#### III.1.1. Collision

En comparaison avec d'autres origines anthropiques (lignes électriques, routes, prédation par les animaux domestiques, chasse, pesticides...), les parcs éoliens ont un faible impact sur la mortalité directe de l'avifaune (Erickson *et al.*, 2005, Loss *et al.*, 2015) .

Le risque de collision avec les éoliennes est très variable et dépend :

- De la sensibilité des espèces, avec plusieurs groupes d'espèces impactées (migrateurs : Johnson *et al.*, 2003 ; déclin d'une population de *Lyrurus tetrax* : Zeiler & Grünschachner-Berger, 2009 ; les

rapaces : De Lucas *et al.*, 2008, Hernández-Pliego *et al.*, 2015 ; les oiseaux chanteurs : Morinha *et al.*, 2014;

- De la saison (Barrios & Rodríguez, 2004) ;
- Des caractéristiques du site d'étude (de Lucas *et al.*, 2008) ; Ana Teresa Marques *et al.*, 2014, (Thaxter *et al.*, 2017).

Cette affirmation est confirmée au niveau national par de nombreuses publications scientifiques, comme le confirme la synthèse des suivis de mortalité réalisée par la LPO sur 12,5 % des parcs éoliens en exploitation en France (Marx, 2017).

Cause de mortalité en France (LPO, AMBE – 2010)	Estimation de la mortalité annuelle	
Ligne HT (> 63 kV)	80 à 120 oiseaux / km / an (en zone sensible) / réseau aérien de 10 000 km : estimation = 8 à 12 millions / an.	
Ligne MT (20 à 63 kV)	40 à 100 oiseaux / km / an (en zone sensible) / réseau aérien de 460 000 km : estimation = 18 à 46 millions / an.	
Autoroute	30 à 100 oiseaux / km / an / réseau terrestre de 10 000 km : estimation = 300 000 à 1 million / an.	
Cause de mortalité aux USA (Erickson <i>et al.</i> 2005)	Estimation de la mortalité annuelle	Pourcentage
Bâtiments et fenêtres	550 000 000	58,20 %
Installations électriques (pylônes et câbles)	130 000 000	13,70 %
Chats (prédation)	100 000 000	10,60 %
Véhicules (trafic routier)	80 000 000	8,50 %
Antennes et tours de communication	4 500 000	0,50 %
Eoliennes	28 500	<0,01 %
Avions	25 000	<0,01 %
Autres causes (marées noires, pêches accidentelles, etc.)	Non calculée	Non calculé

Tableau 2 : Comparaison indicative des différentes causes de mortalité anthropique de l'avifaune en France (en haut, LPO, AMBE - 2010) et aux Etats-Unis (en bas, Erickson *et al.*, 2005)

Le manque de standardisation de protocoles de suivi de mortalité et la robustesse très variable de ces suivis (Marx, 2017) empêchent d'avoir des chiffres de mortalité représentatifs par pays. En France, les données varient entre 0,74 oiseau/éolienne/an (sur les 91 parcs qui ont réalisé des suivis de mortalité entre 1997 et 2015) à 2,15 oiseaux/éolienne/an (sur les 9 parcs analysés avec des suivis plus robustes, réalisés sur 48 semaines avec 1 prospection/semaine et un rayon de 50 mètres).

Le nombre de cadavres dans le monde est inconnu (Pagel *et al.*, 2013), mais ceux comptabilisés jusqu'à présent en Europe s'élèvent à 14 822 individus de plus de 250 espèces différentes, dont 5545 cas de mortalité en Espagne, 4196 en Allemagne, 1791 en Belgique et 1391 en France (Dürr, 2020).

Les espèces les plus touchées en Europe (Dürr, 2020) sont :

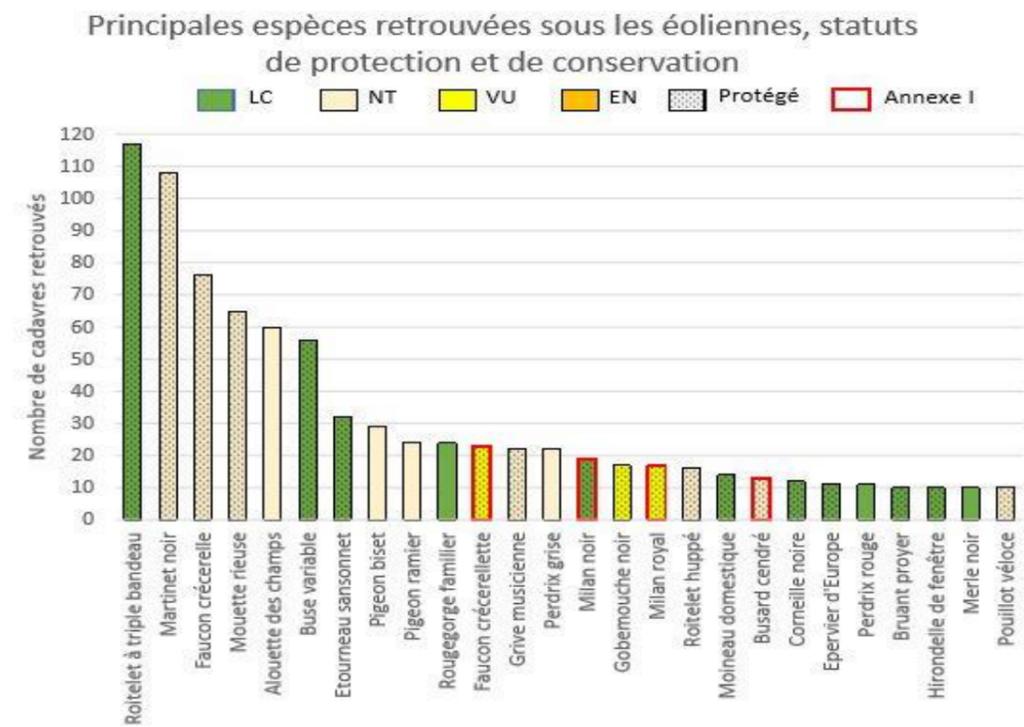
- Le Vautour fauve (quasi exclusivement en Espagne),
- Le Goéland argenté puis la Mouette rieuse (en Belgique essentiellement),
- La Buse variable (en Allemagne principalement),
- La Mouette rieuse (en Belgique principalement),
- Le Milan royal (en Allemagne principalement),
- Le Faucon crécerelle (en Espagne et en moindre mesure en France et Allemagne),
- Le Martinet noir (surtout en France et en Allemagne),

- L'Alouette des champs (surtout en Allemagne, France et Espagne),
- Le Canard colvert (en Allemagne principalement),
- Le Pygargue à queue blanche (en Allemagne principalement),
- Le Bruant proyer (en Espagne principalement).

Même si le nombre de cadavres augmente à chaque actualisation de la synthèse des données de mortalité en Europe réalisée par Tobias Dürr, l'ordre du classement reste sensiblement le même depuis 2015, confirmant la sensibilité de ces espèces à l'impact éolien.

En France, les oiseaux les plus impactés par les éoliennes sont les Passériformes, avec 49,3 % des cadavres totaux (Marx, 2017). Les espèces les plus sensibles sont les suivantes (Dürr, 2020 ; Marx, 2017) :

- Le Roitelet triple-bandeau (en migration postnuptiale essentiellement),
- Le Martinet noir (envol des jeunes et migration),
- Le Faucon crécerelle (espèce la plus touchée au niveau de la population nationale),
- L'Alouette des champs,
- La Buse variable (en migration postnuptiale essentiellement),
- La Mouette rieuse,
- L'Étourneau sansonnet...



Graphique 1 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Source : Rapport LPO, Geoffrey Marx, 2016)

Pour les oiseaux migrateurs, le risque de collision peut dépendre de la hauteur de déplacement, de la phénologie migratoire des espèces (solitaire, en groupes familiaux, sociaux, etc.), mais aussi de l'importance du flux migratoire (probabilité de collision proportionnelle aux effectifs). Le rapport entre intensité de la migration et nombre de victimes de collisions, au sein de la période de migration n'est cependant pas toujours vérifié, et est plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'à présent. Les conditions de visibilité, dépendantes de la météo, jouent certainement un grand rôle (Aschwanden *et al.*, 2018). Le risque de collision dépend donc des éoliennes, certaines étant plus impactantes que d'autres, par leur emplacement ou leur

disposition (en zone de nidification d'une espèce sensible, perpendiculaire aux axes migratoires majeurs, mât treillis...) (Thaxter *et al.*, 2017 ; Marques *et al.*, 2020).

Les oiseaux sédentaires et nicheurs semblent intégrer la présence des éoliennes sur leur territoire et se tiennent en général à distance des turbines (100-300 m) (Strickland *et al.*, 2001 ; Winkelman, 1992 ; Thomas, 2000) sauf en cas de facteur attractif à proximité comme des champs labourés ou moissonnés qui augmentent les ressources alimentaires (Janss, 2000, Pedersen & Poulsen, 1991, Winkelman, 1985). Les oiseaux semblent toutefois capables de percevoir si les éoliennes sont en fonctionnement et de réagir en conséquence (Albouy *et al.*, 1997), bien que certaines espèces apparaissent moins aptes à prendre en compte la présence des éoliennes lorsqu'ils sont concentrés sur une proie (cas notamment des vautours et des milans qui ne nichent pas près du parc). La sensibilité varie néanmoins d'une espèce à l'autre suivant son mode de vie et sa façon de percevoir un parc éolien dans son environnement. Les espèces les plus sensibles aux collisions sont souvent aussi celles qui sont les moins farouches. Inversement, les espèces les plus sensibles au risque d'évitement ou aux effets « barrière », sont aussi les moins sensibles au risque de collision.



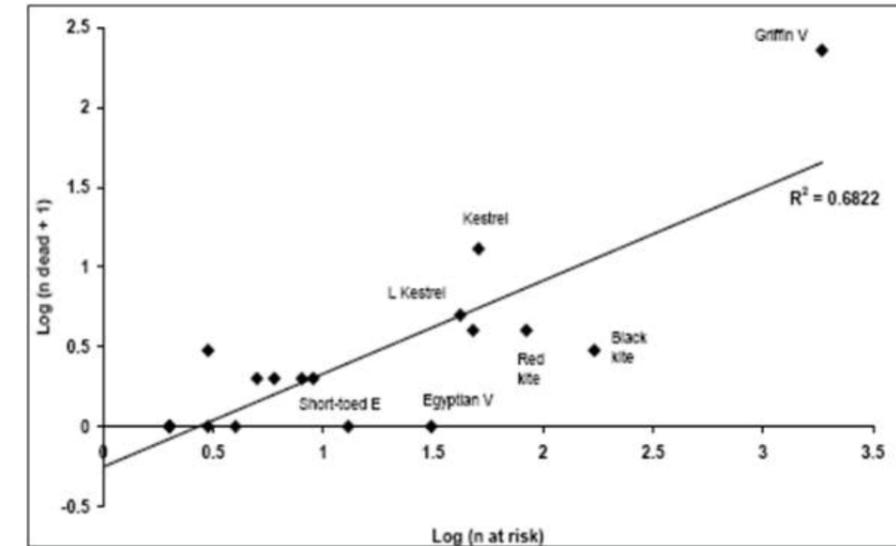
Figure 1 : Roitelet à Triple bandeau, espèce la plus impactée en France concernant la mortalité par collision avec les pales d'éoliennes, (Sens Of Life 2020).

Les rapaces et les migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les éoliennes (Curry & Kerlinger, 1998 ; Hill *et al.*, 2014). Les collisions peuvent être plus fréquentes la nuit, les migrateurs étant attirés par les lumières des éoliennes, ou par mauvais temps, lorsqu'ils sont obligés de voler à faible hauteur. Cependant, l'utilisation de lumière rouge n'a pas d'impact sur le taux de collision des migrateurs nocturnes (Kerlinger *et al.*, 2010).

Durant une journée de migration typique, l'aube et au crépuscule sont des périodes durant lesquelles les oiseaux risquent d'entrer en collision avec les structures des parcs éoliens, car leur altitude varie beaucoup (Richardson, 1998 ; Langston & Pullan, 2003). Le degré de sensibilité générale de l'avifaune migratrice est donné ci-dessous :

- De novembre à janvier : sensibilité très faible à nulle,
- En février : sensibilité faible à moyenne,
- **De mars à avril : sensibilité moyenne,**
- En mai : sensibilité faible à moyenne,
- De juin à juillet : sensibilité faible,
- **D'août à octobre : sensibilité forte en raison des effectifs plus importants.**

Une étude de corrélation (Whitfield & Madders, 2006), entre les comportements de vols à risques et la mortalité observée sur 13 parcs éoliens du nord de l'Espagne pendant 3 ans (Lekuona *et al.*, 2006) permet une appréciation comparative des sensibilités au risque de collision pour les rapaces diurnes. Le graphique suivant apporte une vision synthétique des résultats, que les suivis de mortalité ne confortent cependant pas toujours.



Graphique 2 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua 2006).

Pour pallier le risque de collision des oiseaux sur les pales d'éoliennes, une étude menée par des chercheurs du Norwegian Institute for Nature research (NINA) a été menée entre 2006 et 2016, sur un parc éolien de l'archipel de Smøla en Norvège. Sur les 68 turbines en place sur le site, 4 ont eu une de leur pale peinte en noir, et les résultats des 9500 suivis réalisés durant les 10 années ont montré que ces quatre éoliennes affichaient un taux de mortalité réduit de 70% par rapport aux autres éoliennes du parc. En effet, une pale peinte en noir permettrait à l'éolienne d'être beaucoup mieux visible et plus facilement détectable par un oiseau en vol. On notera qu'il s'agit d'extrapolations à partir de peu d'oiseaux retrouvés morts et peu d'éoliennes expérimentales, et que cette étude concerne principalement les rapaces et notamment le Pygargue à queue blanche. Cette solution semble prometteuse et devrait être développée sur d'autres parcs afin d'évaluer son efficacité avec plus de précisions (May *et al.*, 2020).



Figure 2 : éolienne avec une pale peinte en noire.

La collision des oiseaux avec les pales est l'impact le plus couramment cité lorsque l'on évoque l'énergie éolienne (American Wind Wildlife Institute, 2016). Il s'agit, en effet, de l'impact le plus facile à constater ; pour autant, il n'est pas certain qu'il soit le plus préjudiciable à la bonne conservation des populations d'oiseaux. Le dérangement des espèces nicheuses en phase d'exploitation a probablement un impact plus néfaste sur les espèces les plus patrimoniales, en particulier celles à maturité lente et à faible productivité annuelle (Gaultier *et al.*, 2019).

### III.1.2. Perte d'habitat

La bibliographie révèle des effets variables sur la perte d'habitat de l'avifaune avant et après l'implantation des parcs éoliens (Schuster *et al.*, 2015). Les effets positifs découlent d'une modification d'habitat qui pourrait améliorer la qualité du milieu pour certaines espèces et les attirer (Pearce-Higgins *et al.*, 2012) ; (Shaffer & Buhl, 2016) et les négatifs, les plus communs, sont souvent liés à un dérangement provoquant un déplacement (Osborn *et al.*, 1998 ; Leddy *et al.*, 1999 ; Smith & Dwyer, 2016).

Il s'agit principalement de destruction ou d'altération d'habitats naturels ou d'habitats d'espèces, et de destruction de stations végétales. Ils ne se distinguent pas sensiblement des effets des autres types d'aménagements et d'infrastructures mais il faut toutefois prêter une attention particulière au fait que les parcs sont installés sans connexion avec le tissu urbanisé ou industrialisé, dans les milieux agricoles ou naturels et que de ce fait les perturbations sur les milieux ou sur les espèces peuvent être plus importants que d'autres types d'aménagements et d'infrastructures qui s'implantent dans des zones où l'état de la biodiversité peut être davantage dégradé (Perret, 2017).

Les oiseaux friands d'espaces ouverts évitent les structures verticales telles que les éoliennes. A proximité de celles-ci, ils se sentent souvent dérangés. Ces situations de stress chez les hôtes hivernants ou les migrateurs en escale peuvent générer un affaiblissement physique, qui réduit leurs chances de survie. Les oiseaux nicheurs n'ont en général qu'un taux de reproduction médiocre en cas de stress, ce qui peut avoir pour effet que les populations locales diminuent ou même disparaissent (Vogelwarte, 2016). Les éoliennes peuvent être assimilées par certains oiseaux comme réservoirs de rapaces (Kreuziger, 2008). D'autres espèces sont dérangées par le bruit des machines ou des travaux de construction (Larsen & Madsen, 2000 ; Garvin *et al.*, 2011 ; Johnston *et al.*, 2014).

La corrélation positive entre la hauteur des éoliennes et la distance d'évitement est moins importante pour les oiseaux nicheurs (Hötker *et al.*, 2006). En effet, plusieurs études soulignent la capacité d'adaptation des espèces à la présence des éoliennes (Percival, 1998 ; Guyonne & Clave, 2000 ; Kingsley & Whittam, 2001 ; James & Coady, 2004), avec une diminution progressive de la distance d'éloignement.

L'incidence critique de nombreuses activités humaines (dont un projet éolien fait partie) sur les oiseaux en période de nidification ou de migration est le risque de modifications comportementales à un moment particulièrement vulnérable du cycle biologique des oiseaux (vulnérabilité des couvées et des jeunes, forte activité des parents qui peut se traduire par l'abandon de la phase de nidification, voire de l'habitat, abandon des zones de halte migratoire) (Schuster *et al.*, 2015 ; Smith & Dwyer, 2016).

Le risque de modification comportementale pourra avoir un caractère soit temporaire, lié aux dérangements occasionnés par les travaux d'installation des éoliennes, soit permanent, directement lié au fonctionnement des éoliennes. Les aménagements associés à la construction des parcs comme la création de routes d'accès peuvent également générer une perte d'habitat (Larsen & Madsen, 2000).

Avant la ponte, ces modifications de comportement peuvent varier entre une modification de la répartition du site entre les individus (incidence patrimoniale faible), et un abandon du nid, voire du site, par l'espèce (incidence patrimoniale forte). Pour certaines espèces reconnues comme très sensibles ou remarquables à l'échelle européenne, nationale ou régionale, l'abandon d'un territoire nuptial peut porter directement atteinte à la dynamique des populations, et indirectement à la pérennité de l'espèce (Smith & Dwyer, 2016). A cet égard, les rapaces sont particulièrement sensibles au début de la période de nidification (Gensbol, 2004).

Mais c'est plutôt après la ponte que la vulnérabilité de l'espèce est la plus marquée (activité fortement consommatrice d'énergie pour les parents et fragilité des œufs et des jeunes). Si les travaux d'implantation des éoliennes interviennent alors que la nidification est commencée, le risque le plus important est l'abandon des œufs ou des jeunes par les parents. Les chances d'un remplacement de la nichée abandonnée sont alors très réduites, d'autant plus que la nichée initiale était avancée (stress et fatigue des parents, intensification progressive des contraintes climatiques, diminution des ressources trophiques).

En ce qui concerne la phase d'exploitation des éoliennes, son impact résultera du rapport entre les implantations précises des machines et l'occupation du site par les oiseaux en comportement nuptial (défense du territoire nuptial, parade nuptiale, recherche de matériaux pour la construction des nids, recherche de nourriture...). Des modifications de comportement peuvent également avoir lieu. Là encore,

pour les espèces les plus sensibles, une simple modification de comportement après la ponte, voire un abandon des jeunes, peut porter directement atteinte à la dynamique des populations de l'espèce en question et indirectement à sa pérennité.

Le suivi par GPS d'un couple d'aigle royal a permis d'étudier leur comportement suite à l'implantation de plusieurs parcs éoliens sur leur domaine et a permis de conclure que : bien qu'il soit difficile de généraliser à partir du suivi d'un seul couple, cet exemple montre que l'installation de trois parcs éoliens sur un territoire d'aigle a un impact significatif sur l'organisation de ses déplacements et sur le choix de ses zones de chasses. Globalement, la construction de parcs éoliens génère une perte d'habitats pour les aigles et perturbe leurs déplacements d'une zone à l'autre (Itty & Duriez, 2017). Il serait intéressant d'étudier si la mise en place de mesures de compensation comme les placettes d'alimentation ou les garennes à lapin à l'extérieur des zones d'implantation des parcs n'ont pas également eu un impact sur la modification de l'aire vitale de l'aigle royal. Une étude similaire avait été menée par la LPO Aude de 1998 à 2007 et avait également abouti aux mêmes conclusions de pertes d'habitat pour l'aigle royal, dans une autre région de France (Riols-Loyrette, 2015). Cette perte d'habitat fonctionnel a également été constatée pour des Milans noirs suite à l'implantation d'éoliennes au Portugal (Marques *et al.*, 2020)

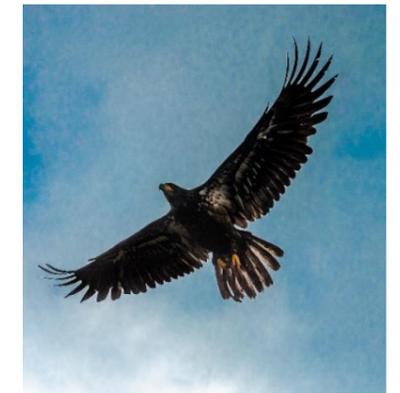


Figure 3 : Aigle royal. CCO domaine public.

L'éloignement des zones de reproduction est donc recommandé pour les espèces les plus sensibles et qui revêtent un caractère patrimonial marqué. L'intérêt de cette mesure consiste à éviter de créer des situations à risque au sein des zones les plus fréquentées entre zones de reproduction et zones d'alimentation à une période cruciale du cycle biologique des oiseaux, mais aussi parfois pour des raisons de risques directs de dérangement au nid (en période de travaux et en phase d'exploitation).

La littérature existante sur les autres impacts des parcs éoliens souligne les effets indirects sur le succès reproducteur, la survie des individus ou encore les interférences dans la communication entre individus à cause du bruit des machines (Smith & Dwyer, 2016).

### III.1.3. Effet barrière

L'effet barrière correspond à la modification du comportement de vol des oiseaux pour éviter un obstacle, et se matérialise par différentes réactions : déviation de la trajectoire dans l'axe horizontal (Winkelman, 1985 ; ADEME, 1999 ; Curry & Kerlinger, 1998 ; Dirksen *et al.*, 2000 ; Percival, 2001), dans l'axe vertical ou bien franchissement entre les obstacles.

Le taux de réaction est proportionnellement plus important pour les éoliennes érigées de façon perpendiculaire à l'axe migratoire (G. D. Johnson *et al.*, 2003) car elles constituent un barrage que les oiseaux doivent franchir. La position des parcs par rapport aux axes migratoires (perpendiculaire ou parallèle par exemple) est donc un facteur important (Larsen & Madsen, 2000 ; Albouy *et al.*, 2001). Les caractéristiques météorologiques (plafond nuageux bas, nappes de brouillards persistants, vent de face) peuvent conduire à des situations plus risquées.

L'impact dépend des espèces concernées, de la hauteur du vol, de la distance aux éoliennes, de l'heure de la journée, de la force et de la direction du vent, ces réactions nécessitent une dépense d'énergie supplémentaire qui vient s'ajouter aux multiples efforts et risques rencontrés lors des voyages migratoires.

Des évitements fréquents ont été observés chez les canards et les oies (Larsen & Madsen, 2000 ; Loesch *et al.*, 2013), un peu moins chez les échassiers et les grives, dont certaines migrent la nuit, et les corvidés (Dooling & Lohr, 2000 ; Winkelman, 1985).

Il faut considérer les risques de collision et d'effarouchement comme les deux faces d'une même pièce. Les oiseaux qui ne montrent pas de réaction d'évitement par rapport aux éoliennes seront souvent plus sujets aux collisions que ceux qui sont effarouchés. Les grues cendrées, par exemple, peuvent être considérées comme sensibles à l'effarouchement dans le sens où elles ont tendance à contourner les parcs (le plus souvent bien en amont et sans montrer de réaction vive). De fait, aucun cadavre de grue cendrée n'a, à ce jour, été répertorié en France (Marx, 2017) et seuls 25 cadavres ont été recensés en Europe (Dürr, 2020). Cependant, cette faible mortalité constatée résulte en partie du faible nombre d'éoliennes implantées jusqu'ici sur le couloir de migration ou à proximité des sites d'hivernage des Grues cendrées et du faible nombre de rapports de suivis de mortalité disponibles. Le coût engendré par le contournement des parcs éoliens reste un domaine de recherche à explorer (Gaultier *et al.*, 2019). Les cygnes en migration semblent également sensibles à l'effet barrière puisqu'ils contournent les sites d'implantation (Moriguchi *et al.*, 2019). Le nombre de collisions est supérieur aux extrémités des alignements d'éoliennes (Anderson *et al.*, 2001 ; Cade, 1994 ; Thelander & Ruge, 2000). Les distances de réaction varient de 300 à 500 mètres des éoliennes pour la majorité des migrateurs diurnes (contre 20 mètres pour les migrateurs nocturnes) (Albouy *et al.*, 1997 ; Winkelman, 1994). Des effets indirects cumulatifs peuvent être envisagés lorsqu'une modification de la trajectoire initiale implique de nouveaux obstacles (lignes électriques à haute tension par exemple).

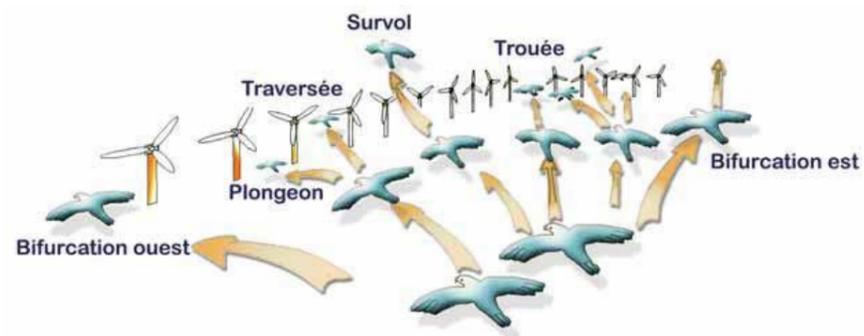


Figure 4 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

L'impact doit être évalué à la fois au cours des migrations pré-nuptiales et post-nuptiales puisqu'une même espèce n'utilise pas forcément le même axe migratoire au printemps et à l'automne. Néanmoins, le risque peut apparaître plus important pour les migrations post-nuptiales, puisqu'il s'agit des premiers mouvements migratoires pour les jeunes de l'année, plus fragiles et plus exposés aux dangers divers de la migration. Le flux migratoire post-nuptial est également numériquement plus important. Il semblerait que les vols post-nuptiaux s'effectuent généralement à plus faible hauteur qu'en période pré-nuptiale (tendance mise en évidence par le biais de suivis radar, selon Greet Ingénierie, 2006).

### III.2. Sensibilité des chiroptères

#### III.2.1. Généralités

Les premiers cas de mortalité de chiroptères provoqués par des éoliennes ont été décrits au début des années 70 (Hall & Richards, 1972). Cependant, il a fallu attendre le milieu des années 1990 pour voir apparaître les premières études consacrées à l'impact des parcs éoliens sur les chauves-souris. Elles ont été menées aux Etats-Unis, principalement dans le Minnesota, l'Oregon et le Wyoming (Johnson *et al.*, 2003; Osborn *et al.*, 1996 ; Puzen, 2002).

En Europe, des études sur le sujet ont vu le jour à la suite des protocoles de suivi sur la mortalité des oiseaux, qui ont révélé des cas de collision avec les chauves-souris. Ces études se sont déroulées principalement en Allemagne (travaux de Bach, 2001 ; Bach *et al.*, 1999 ; Brinkmann *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002) et en Espagne (Alcalde, 2003 ; Lekuona, 2001). L'étude de cette problématique a été plus tardive en France (Beucher *et al.*, 2011 ; Cornut & Vincent, 2010 ; Dulac, 2008 ; Lagrange *et al.*, 2009 ; Rico *et al.*, 2012 ; Rico & Lagrange, 2011 ; Allouche *et al.*, 2010). Depuis, ces suivis de mortalité se sont répandus en Europe. Dans sa dernière publication « Guidelines for consideration of bats in wind farm projects, Revision 2014 » et ses annexes, le groupe de travail EUROBATs propose une compilation aussi exhaustive que possible de ces travaux à travers l'Europe.

La compilation chiffrée des données disponibles est régulièrement mise à jour, au niveau européen, par T. Dürr. Certaines études montrent une mortalité plus importante sur les chiroptères que sur les oiseaux (Smallwood, 2013) : aux Etats-Unis, la mortalité annuelle évaluée sous les éoliennes serait de 888 000 chauves-souris pour 573 000 oiseaux. Cette sensibilité particulière des chiroptères à l'éolien pourrait être due à plusieurs phénomènes :

- Une possible attraction des chauves-souris par les éoliennes, notamment par les insectes concentrés autour des parties chaudes des éoliennes (Bennett *et al.*, 2017 ; Foo *et al.*, 2017). Les pics d'activité des chiroptères sont liés à l'essaimage des insectes : un pic à la fin du printemps - début été (coïncide avec la période de mise bas des chiroptères) et un autre fin été - début automne (migration, émancipation des jeunes chiroptères) (Beucher *et al.*, 2017) ;
- Elles pourraient rechercher des gîtes dans les éoliennes en les confondant avec des grands arbres (Bennett & Hale, 2014 ; Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020 ; Kunz *et al.*, 2007), ou encore en voulant s'en servir comme sites de reproduction (Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020) ou simplement explorer les éoliennes par curiosité (Cryan & Barclay, 2009) ;
- Un problème de détection des pales en mouvement : les extrémités de pale se déplacent à des vitesses linéaires importantes (plus de 250 km.h<sup>-1</sup>), tout en présentant une faible surface réfléchissante pour les ultrasons utilisés par le système d'écholocation des chiroptères. Cette contrainte est augmentée par la génération d'un effet Doppler important : sur une cible arrivant à 250 km.h<sup>-1</sup>, l'écho revient vers l'animal avec un décalage en fréquence de 20 kHz. Il entraîne obligatoirement une erreur de mesure (la chauve-souris perçoit la cible plus éloignée qu'elle ne l'est en réalité). Le signal pourrait aussi simplement être ininterprétable ou inaudible pour l'animal qui n'a que quelques fractions de seconde pour réagir.

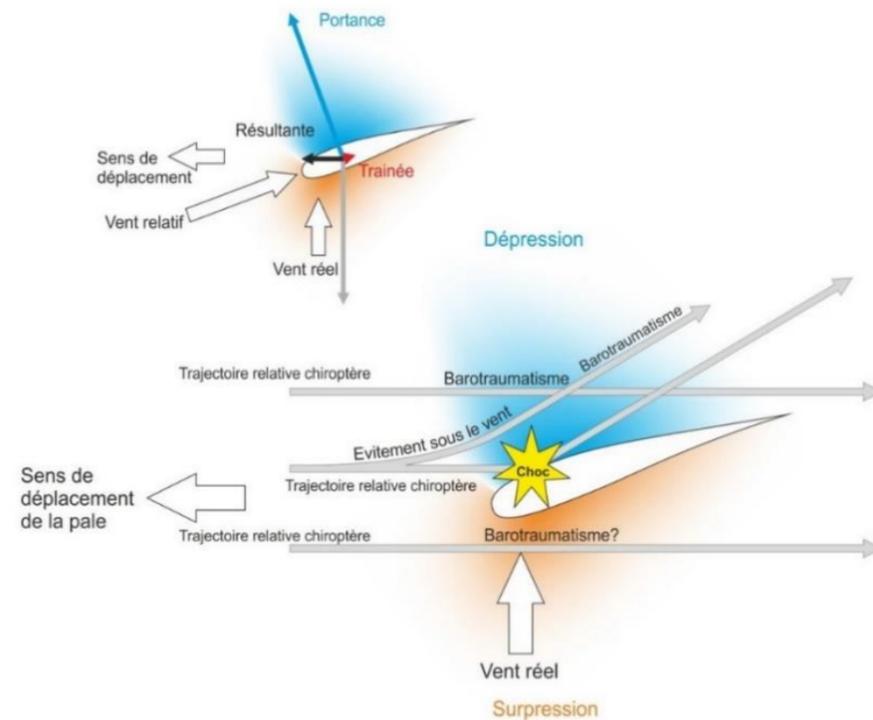


Figure 5 : Description du phénomène de barotraumatisme.

Le phénomène de barotraumatisme (

Figure 5) décrit par Baerwald *et al.* (2008) et Seiche (2007) puis par Baerwald & Barclay (2009) résulterait du passage de la pale à proximité de la chauve-souris. L'animal pourrait donc être impacté dans certaines conditions même s'il a évité la pale. En effet, à proximité immédiate de l'extrados des pales en mouvement, les chauves-souris traversent une zone de dépression brutale. Cette variation de pression entraîne la rupture des vaisseaux capillaires (pulmonaires essentiellement) et provoque une hémorragie létale sans qu'il n'y ait eu de contact avec la pale. Ce phénomène explique que la plupart des cadavres récupérés et examinés ne présentent aucune lésion externe. Horn *et al.* (2008) montrent que les risques sont plus importants lorsque la vitesse de rotation des pales n'est pas très élevée, ce qui se produit par vent faible. La mort par barotraumatisme n'étant pas directe, il est possible que l'individu soit encore capable de voler quelques temps après le traumatisme et donc que le cadavre ne soit pas retrouvé sous l'éolienne (Gaultier *et al.*, 2020).

La sensibilité des chiroptères vis-à-vis des éoliennes est variable en fonction de :

- L'écologie des espèces concernées, avec une sensibilité plus importante pour des espèces dites de haut-vol (> 40 m) appartenant principalement aux groupes des Sérotules (*Epistecus-Nyctalus*) et des Pipistrelles (Heitz & Jung, 2016) ; en Europe, les espèces les plus touchées seraient la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) et la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) (Gaultier *et al.*, 2020). Au contraire, les Rhinolophes et le genre *Myotis* chassent plutôt près du sol ou directement dans la végétation ce qui réduit les risques de collision (Gaultier *et al.*, 2020 ; Rydell *et al.*, 2010a) ;
- Du sexe, par exemple, les femelles de Noctule commune auraient un territoire de chasse plus grand et exploreraient plus de nouveaux territoires que les mâles, elle n'hésiterait donc pas à chasser à proximité des éoliennes (Roeleke *et al.*, 2016) ;

- Du milieu d'implantation des éoliennes avec des mortalités plus importantes en milieu forestier, sur des crêtes, le long de grands cours d'eau ou des zones littorales, moins importantes en milieu agricoles diversifiées et minimales sur des plaines agricoles (Rydell *et al.*, 2010b) ;
- De la saison, avec des pics de mortalité en fin d'été et début de l'automne, période de dispersion des jeunes et de migration (Heitz & Jung, 2016 ; Marx, 2017) ;
- De l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart *et al.*, 2013) ;
- Des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de 6,5 m.s<sup>-1</sup> et avec hautes températures (Beucher, 2020 ; Joiris, 2012). Pour les espèces de lisières comme les Pipistrelles, les pics d'activité ont lieu pour des vitesses de vent d'environ 2 m.s<sup>-1</sup> et des températures comprises entre 10 et 15°C (Beucher *et al.*, 2017). Les espèces comme les Noctules présentent un pic d'activité vers 5 m.s<sup>-1</sup> (Beucher *et al.*, 2017). Nous avons étudié la différence entre activité et mortalité des chiroptères grâce à des caméras thermiques (Rico & Lagrange, 2015) : la forte activité a lieu pour des vitesses de vent faibles, lorsque l'éolienne ne tourne pas, il n'y a donc pas de mortalité, mais lorsque le vent atteint 5 à 6 m.s<sup>-1</sup>, l'éolienne commence à tourner alors qu'il y a encore de l'activité chiroptérologique, ce qui induit donc des cas de mortalité ;
- Des caractéristiques des éoliennes (hauteur du mât, diamètre du rotor, longueur des pales, vitesse de rotation), avec une sensibilité maximale pour les éoliennes de moins de 30 mètres de garde au sol et un grand diamètre de rotor qui implique une plus grande surface balayée (Heitz & Jung, 2016). Plus les éoliennes sont larges et hautes, plus le risque de mortalité sera élevé (Gaultier *et al.*, 2020 ; Rydell *et al.*, 2010a). La distance entre chaque éolienne va également jouer un rôle : des turbines plus proches les unes des autres peuvent réduire l'effet d'évitement du parc éolien et l'emprise du parc dans l'environnement (Barré, 2018), mais diminuent également la possibilité de déplacement entre chaque éolienne.

### III.2.2. Mortalité directe et mortalité indirecte

#### a) Mortalité directe

La mortalité directe, qu'elle soit produite par barotraumatisme ou collision, génère une mortalité qui est de mieux en mieux documentée. Il apparaît que toutes les espèces ne sont pas impactées de la même manière par ce phénomène. Le comportement et l'écologie des animaux influenceraient fortement leur sensibilité à l'éolien. Ainsi, les chauves-souris chassant en plein ciel (espèces de haut vol) ou réalisant des migrations, seraient beaucoup plus impactées que les espèces sédentaires glanant leur nourriture au sol ou dans la canopée (Roemer *et al.*, 2017). En Europe, le Tableau 12 compilé par Tobias Dürr permet de constater le nombre de cas de mortalité, relevé par espèce et par pays. En croisant ces données avec la vulnérabilité des espèces, il est possible de définir la sensibilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 3).

Sensibilité élevée	Sensibilité moyenne	Sensibilité faible
Noctules spp.	Sérotines spp.	Murins spp.
Pipistrelles spp.	Barbastelle d'Europe	Oreillards spp.
Vespertilion bicolore		Rhinolophes spp.
Vespère de Savi		
Minioptère de Schreibers		
Molosse de Cestoni		

Tableau 3 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFPEM, 2016)

#### b) Mortalité indirecte

La mortalité directe n'est pas le seul facteur affectant les chauves-souris, celles-ci peuvent également être victime de perte d'habitat ou du dérangement résultant de l'implantation et du fonctionnement d'un parc éolien. Les effets indirects de l'aménagement et du fonctionnement des parcs éoliens peuvent induire un

impact supplémentaire sur les populations de chauves-souris (individus, habitats et proies), qu'elles soient résidentes ou migratrices. Ces perturbations peuvent être de plusieurs natures :

- Déplacement ou barrière sur les voies de migration et les voies de transit locales,
- Dégradations, déplacement ou destruction des habitats de chasse,
- Dégradations, déplacement ou destruction des gîtes (plus probable pour des éoliennes en milieu forestier ou près de bâtiments),
- Désorientation des chauves-souris en vol par les ultrasons émis par les éoliennes.

L'activité des chiroptères serait plus faible au niveau des parcelles où une éolienne y était implantée qu'au niveau des sites témoins (Millon *et al.*, 2015, 2018). Cette observation rejoint les observations faites sur l'activité des chauves-souris en France qui ont montré qu'après installation d'un parc éolien, l'activité des chauves-souris (toutes espèces confondues) est décroissante le long des haies dans un rayon de 1 km autour des éoliennes (Barré, 2018). Les Pipistrelles communes (*Pipistrellus pipistrellus*) et les Pipistrelles pygmées (*Pipistrellus pygmaeus*) présenteraient une activité plus faible à moins de 100 m des éoliennes (Minderman *et al.*, 2017).

Les espèces du genre *Myotis* utilisent beaucoup les milieux forestiers pour se déplacer et chercher de la nourriture, elles sont donc les plus impactées par l'effet barrière que représente un parc éolien, contrairement aux espèces qui utilisent les milieux ouverts pour se déplacer comme la Pipistrelle de Nathusius (Gaultier *et al.*, 2020).

## IV. Suivi de l'activité des chiroptères par TrackBat

### IV.1. Matériel et méthodes

#### IV.1.1. Enregistrement acoustique

Les suivis d'activité chiroptérologique en altitude permettent de définir précisément les niveaux d'activité et les cortèges d'espèces qui interagiront réellement avec les pales des machines. Le suivi des chiroptères a été réalisé du 26 mai au 1<sup>er</sup> novembre 2021, afin de comprendre comment le site est utilisé par ces espèces. Afin de qualifier les déplacements en hauteur, un TrackBat (version acoustique) a été mis en place sur l'éolienne LOCA-03 (Carte 1).

La pose de ces enregistreurs a pour objectifs :

- De caractériser le cortège d'espèces présent sur le site et ses variations au cours de la période d'étude,
- De quantifier l'activité de chaque espèce et ses variations au cours de la période d'étude.

- **Enregistreurs**

Les enregistreurs du dispositif TrackBat mis à disposition sont des enregistreurs numériques à deux voies, configurés pour échantillonner à 196 kHz sur 16 bits. L'enregistrement est déclenché uniquement :

- Entre une heure avant le coucher du soleil et une heure après le coucher du soleil,
- Si l'intensité sonore au-dessus de 10 kHz dépasse le bruit de fond de 5 dB.

Ce paramétrage permet de détecter l'ensemble des espèces européennes (le Petit rhinolophe étant détecté grâce à ses harmoniques basses) (Figure 6).

Le stockage est réalisé sur une clef USB de 256 Go : cette capacité de stockage permet de limiter les opérations de maintenance. Ils disposent d'une connexion 3G permettant d'évaluer à distance les paramètres critiques du fonctionnement du matériel (nombre de fichiers enregistrés, tension d'alimentation,

espace de stockage libre). Ces enregistreurs sont montés dans un boîtier métallique étanche (IP68) assurant un blindage contre les perturbations électromagnétiques.

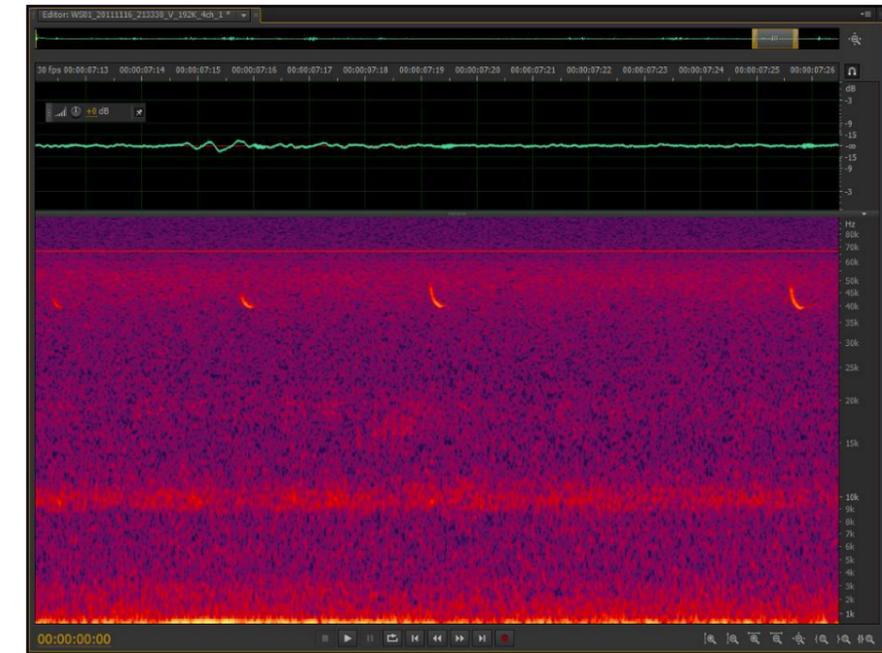


Figure 6 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.

- **Microphones**

Les microphones sont construits autour d'une capsule Mem's blindée électromagnétiquement, omnidirectionnelle, connectée à deux étages d'amplification et des stabilisateurs d'alimentation. L'ensemble est protégé par une coque en acier inoxydable et une membrane hydrophobe assurant la protection du microphone contre les intempéries. Les microphones sont connectés à leurs câbles blindés par des connecteurs IP68 en acier inoxydable. Ces microphones, développés spécifiquement pour des études sur les nacelles des éoliennes, présentent des performances optimales à la fois en termes de sensibilité et en termes de résistance aux intempéries et aux perturbations électromagnétiques.

Ils sont montés grâce à un support amortisseur évitant les propagations des bruits de la structure dans les microphones (vibrations de la machine, bruits de fonctionnement...). Les microphones sont intégrés aux boîtiers qui sont fixés à l'intérieur de la nacelle.



Figure 7 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite).

#### IV.1.2. Méthode d'analyse des sons

Lors de suivis sur de longues périodes, le principe de l'identification des chiroptères est fondé sur :

- L'analyse de leurs émissions ultrasonores (fréquence terminale, incursion en fréquence, fréquence de maximum d'énergie, durée, intervalle...),
- La comparaison de ces mesures à des bases de données telles que celles discutées par Michel Barataud dans l'ouvrage « Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe » (2012).

Néanmoins, l'utilisation des signaux d'écholocation pour l'identification des différentes espèces de chiroptères n'est pas toujours possible, compte tenu des recouvrements de caractéristiques entre certains signaux provenant d'espèces différentes. Ces limites sont accentuées par la qualité des sons enregistrés : un fort bruit de fond ou des parasites gênent l'identification en accentuant les recouvrements entre espèces. Dans ce cas, l'identification est limitée au groupe d'espèces, comme présentée dans le Tableau 4.

Nom Français	Nom Latin	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements très favorables	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements défavorables
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>		Rhinolophe euryale
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>		Petit Rhinolophe
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>		Grand Rhinolophe
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>		Grands Myotis
Petit murin	<i>Myotis blythii</i>		
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Murin de Daubenton	Petits Myotis
Murin de capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Murin de capaccini	
Murin à moustache	<i>Myotis mystacinus</i>	Murin à moustaches	
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Murin d'Alcathoe	
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Murin à oreilles échancrées	
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Murin de Bechstein	
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Murin de Natterer	Nyctaloids
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Noctule de Leisler	
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	
Sérotine Bicolore	<i>Vespertilio Murinus</i>	Sérotine bicolore	
Vespère de savi	<i>Hypsugo savii</i>		Vespère de savi
Pipistrelle soprane	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle soprane	Pipistrelle / Minioptère
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Minioptère de Schreibers	
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Pipistrelle de Kuhl / Nathusius
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de Nathusius	
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>		Oreillards sp.
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>		
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrotularis</i>		Barbastelle d'Europe
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>		
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Grande Noctule	Molosse / Grande Noctule
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Molosse de Cestoni	

Tableau 4 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.

Les sons bruts sont analysés par un logiciel automatique avec un contrôle manuel des identifications ambiguës. Cette analyse permet d'identifier les espèces fréquentant le site en altitude. Compte tenu des incertitudes de classification de certaines espèces, les identifications à l'espèce ne sont pas utilisées pour le groupe des murins. Ce groupe d'espèces volant à basse altitude, il n'est habituellement peu ou pas retrouvé à hauteur de nacelle et est donc très peu impacté par les pales des éoliennes.

Dans cette étude, l'identification a été menée en combinant trois outils :

- Audacity, un logiciel libre d'analyse et de traitement de son (<http://audacity.fr/>). Il a été utilisé pour vérifier rapidement les sons ;
- Un système de mesure comparable à Sonobat 3.2, un logiciel payant de mesure de sons, dédié à l'identification de chauves-souris (<http://www.sonobat.com/>). Grâce à des algorithmes d'analyse intelligents, Sonobat génère des mesures automatiques des cris d'écholocation identifiés dans les enregistrements. 76 valeurs sont mesurées sur chaque cri. Les fichiers .csv obtenus sont ensuite utilisés pour l'identification proprement dite ;
- Un analogue d'IbatsID (<http://ibatsid.cloudapp.net/>), une plateforme Java mobilisant des réseaux de neurones artificiels pour identifier les chauves-souris européennes à partir de leurs enregistrements ultrasonores.

#### Evaluation des indices d'activité

Avec les réserves formulées dans le paragraphe précédent, les indices d'activité ont été déterminés de manière brute, ainsi qu'en prenant en compte une correction du volume de détection. En effet, les espèces rencontrées émettent avec une intensité différente des cris dont les fréquences sont atténuées de manière différente par l'atmosphère (Figure 8 et Figure 9).

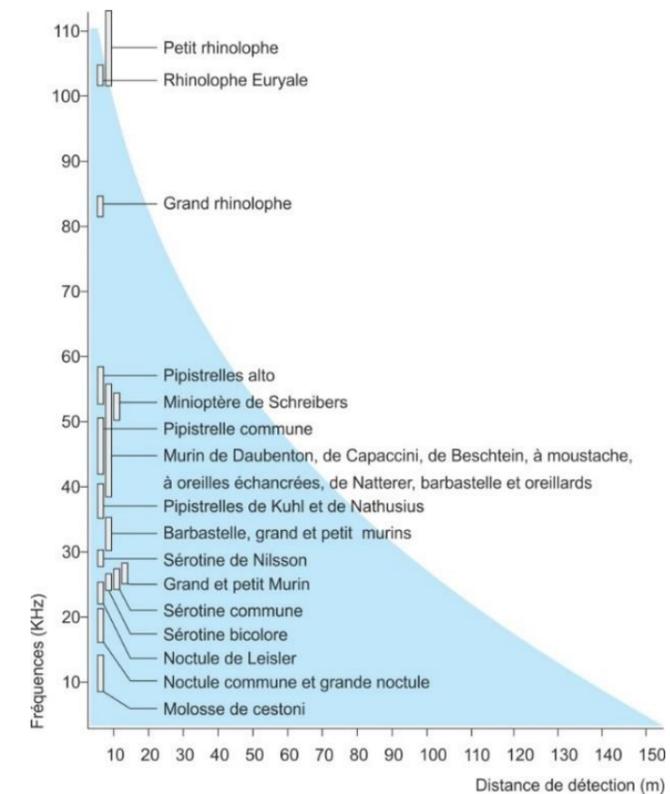


Figure 8 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

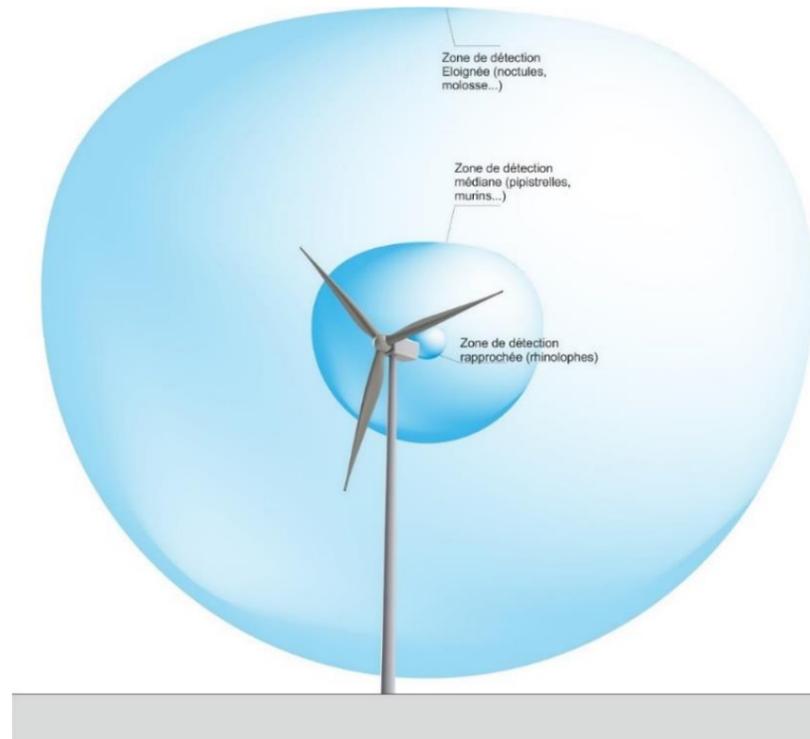


Figure 9 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

## IV.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique

### IV.2.1. Activité corrigée par espèce

Les enregistrements des ultrasons ont eu lieu en continu du 26 mai au 1<sup>er</sup> novembre 2021. Ces suivis permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leurs activités. Le Tableau 6 synthétise le nombre de contacts bruts et corrigés pour chaque espèce contactée à hauteur de la nacelle de l'éolienne LOCA-03. Au total, 821 contacts de chiroptères ont été enregistrés sur le parc de Longchamp. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 666,33 contacts sont comptabilisés.

Six espèces ont été contactées et déterminées avec précision :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 72,7 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 16,1 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 8,7 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 1,5 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 0,6 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 0,2 % des contacts.

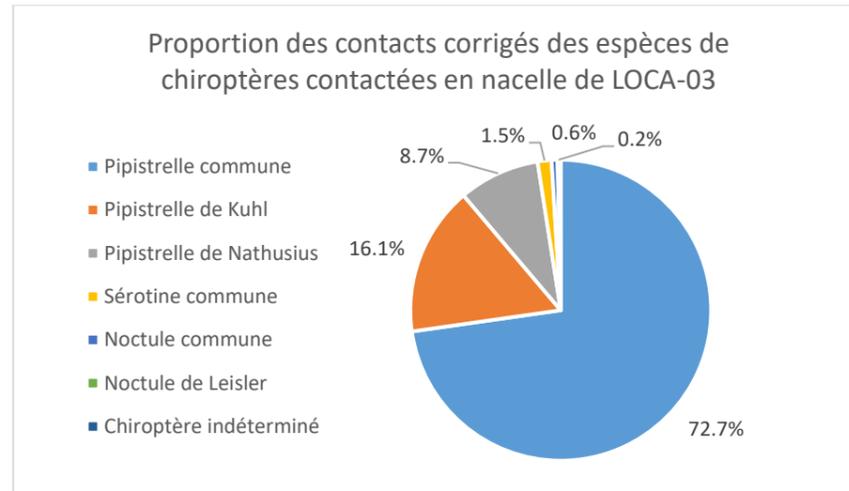
Les contacts de chiroptères dont l'espèce n'a pas été identifiée représentent 0,1% des contacts totaux.

milieu ouvert				sous-bois			
Intensité d'émission	Espèces	distance de détection	coefficient de détectabilité	Intensité d'émission	Espèces	distance de détection	coefficient de détectabilité
faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00	faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00
	<i>Rhinolophus ferr/eur/m.eh.</i>	10	2,50		<i>Plecotus spp</i>	5	5,00
	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50		<i>Myotis emarginatus</i>	8	3,10
	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50		<i>Myotis nattereri</i>	8	3,10
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50		<i>Rhinolophus ferr/eur/m.eh.</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50		<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,70		<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,70		<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis bechsteini</i>	15	1,70		<i>Myotis daubentonii</i>	10	2,50
	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70		<i>Myotis bechsteini</i>	10	2,50
moyenne	<i>Myotis oxygnathus</i>	20	1,20	moyenne	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,20		<i>Myotis oxygnathus</i>	15	1,70
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00		<i>Myotis myotis</i>	15	1,70
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,20
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	30	0,83		<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,20
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
forte	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	forte	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,71		<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,71		<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
très forte	<i>Plecotus spp</i>	40	0,71	très forte	<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50		<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50		<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31		<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25		<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17		<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17		

Tableau 5 : Coefficient de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

Espèces	Contacts bruts	Contacts corrigés	Proportion
<b>Pipistrelle commune</b>	584	484.72	72.7%
<b>Pipistrelle de Kuhl</b>	129	107.07	16.1%
<b>Pipistrelle de Nathusius</b>	70	58.1	8.7%
<b>Sérotine commune</b>	12	9.96	1.5%
<b>Noctule commune</b>	17	4.25	0.6%
<b>Noctule de Leisler</b>	5	1.55	0.2%
<b>Chiroptère indéterminé</b>	4	0.68	0.1%
<b>Total</b>	<b>821</b>	<b>666.33</b>	

Tableau 6 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Longchamp, entre mai et octobre 2021.



Graphique 3 : Proportion de chaque espèce dans les contacts corrigés totaux sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021

L'activité des chiroptères a été enregistrée sur le parc éolien de Longchamp du 26 mai au 1<sup>er</sup> novembre 2021, et couvre donc entièrement ou partiellement deux périodes du cycle biologique des chiroptères :

- Du 16/05/2021 au 15/08/2021, soit 81 nuits d'enregistrement pour la **parturition**,
- Du 16/08/2021 au 31/10/2021, soit 76 nuits d'enregistrement pour la **migration automnale**.

Le Tableau 7 précise le détail de l'activité corrigée de chaque espèce de chiroptères par nuit, soit en prenant en compte toutes les nuits d'enregistrement, respectivement lors de la parturition et de la migration automnale.

Espèces	Parturition		Migration automnale	
	Contacts	Cont./nuit	Contacts	Cont./nuit
Pipistrelle commune	187.58	2.3158	297.14	3.9097
Pipistrelle de Kuhl	35.69	0.4406	71.38	0.9392
Pipistrelle de Nathusius	18.26	0.2254	39.84	0.5242
Sérotine commune	0.83	0.0102	9.13	0.1201
Noctule commune	0.25	0.0031	4	0.0526
Noctule de Leisler	0.62	0.0077	0.93	0.0122
<b>Total</b>	<b>243.23</b>	<b>3.0028</b>	<b>422.42</b>	<b>5.5582</b>

Tableau 7 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration automnale sur le parc éolien de Longchamp, entre mai et octobre 2021

Un référentiel d'activité des chiroptères en altitude a été établi par R. Castel, de Sens Of Life, à partir d'une importante base de données provenant de mesures réalisées en nacelle de 89 éoliennes en France et en Belgique. Tout comme le référentiel d'activité au sol de Vigie-chiro, le niveau d'activité peut alors être caractérisé par comparaison à des valeurs seuils (Q2, Q25, Q75 et Q98). L'activité est caractérisée comme suit :

- Si l'activité enregistrée est inférieure à Q2, alors elle est définie comme « très faible » ;
- Si l'activité enregistrée est comprise entre Q2 et Q25, alors elle est définie comme « faible » ;
- Si l'activité enregistrée est comprise entre Q25 et Q75, alors elle est définie comme « moyenne » ;

- Si l'activité enregistrée est comprise entre Q75 et Q98, alors elle est définie comme « forte » ;
- Si l'activité enregistrée est supérieure à Q98, alors elle est définie comme « très forte ».

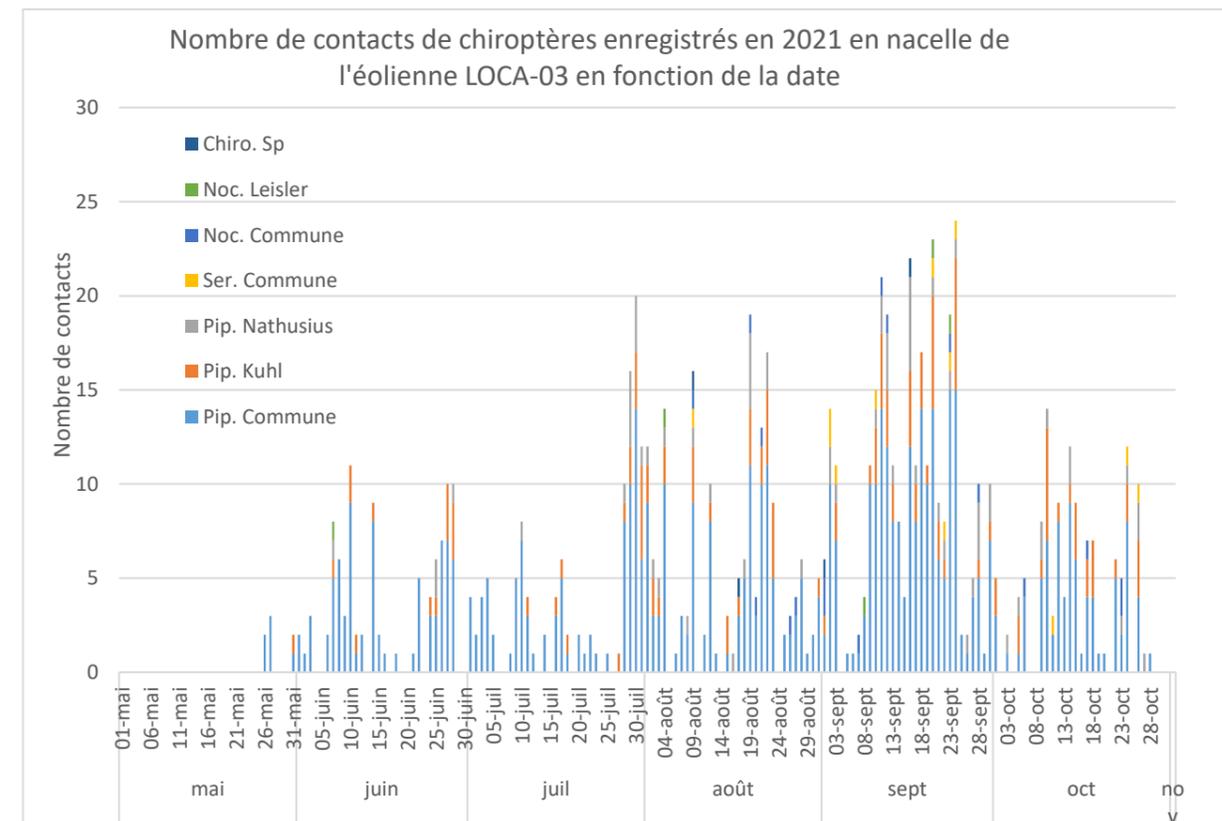
Ainsi, le référentiel Sens Of Life définit des valeurs seuils pour les espèces contactées sur le parc de Longchamp (détaillées en annexe VII.2) qui nous permettent de caractériser le niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères en fonction de la saison (Tableau 8).

	Parturition	Migr. automnale
Pipistrelle commune	T. forte	T. forte
Pipistrelle de Kuhl	Moyenne	T. forte
Pipistrelle de Nathusius	Faible	T. forte
Sérotine commune	T. faible	T. faible
Noctule commune	T. faible	Moyenne
Noctule de Leisler	T. faible	T. faible

Tableau 8 : Caractérisation du niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères enregistrée sur le parc de Longchamp entre mai et octobre 2021, en fonction du cycle biologique

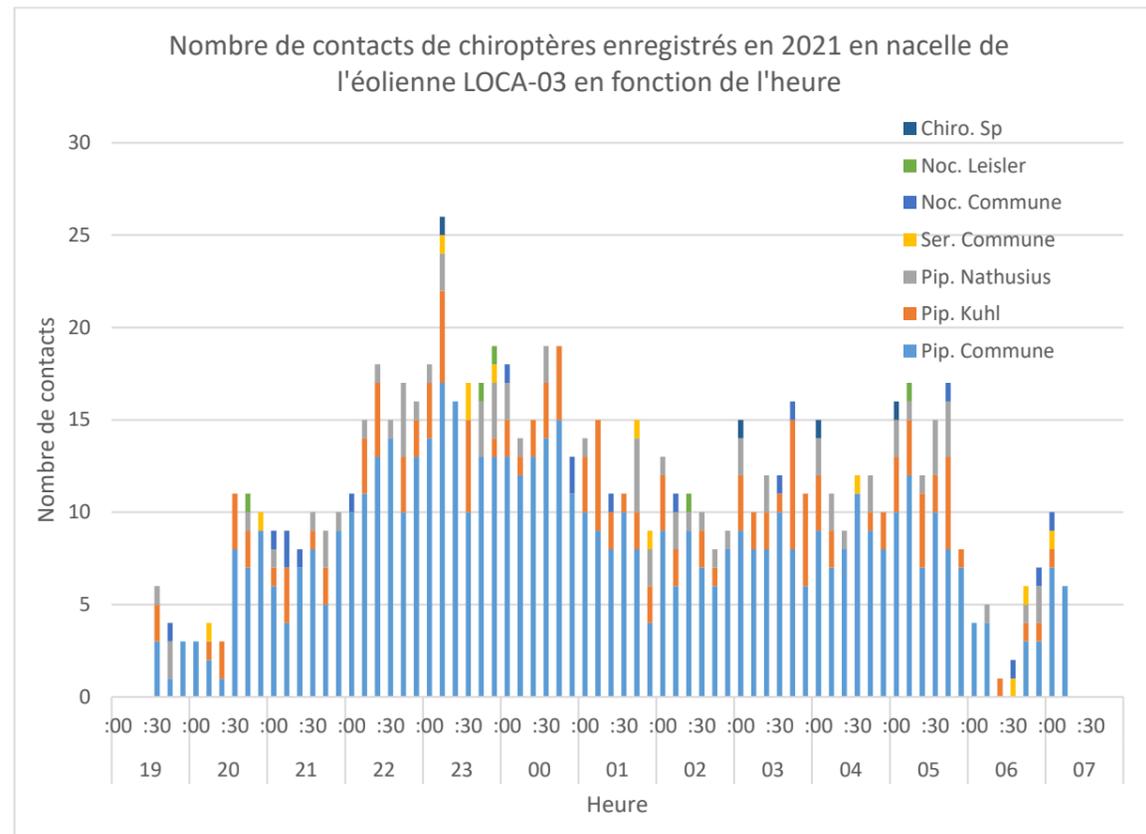
#### IV.2.1. Activité en fonction de la date et de l'heure

En nacelle de l'éolienne LOCA-03, la totalité des contacts a été enregistrée du 26 mai au 28 octobre 2021 (Graphique 4). Le mois de septembre enregistre la plus forte activité avec quatre pics d'activité qui se succèdent le 11, le 16, le 20 et le 24 septembre. Plus de 90% des contacts de chiroptères autour de cette éolienne sont concentrés entre le 25 juin et le 24 octobre 2021.



Graphique 4 : Activité des chiroptères en fonction de la date sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.

En nacelle de l'éolienne LOCA-03, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h30 et 07h10 (Graphique 5). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec un fort pic d'activité à 23h10, représentant à lui seul 3,2% de l'activité totale enregistrée. Il est composé de 17 contacts de Pipistrelle commune, 5 contacts de Pipistrelle de Kuhl, 2 contacts de Pipistrelle de Nathusius, 1 contact de Sérotine commune et 1 contact de chiroptère indéterminé. A l'échelle d'une nuit, plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre 20h50 et 05h40, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne.



Graphique 5 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.

#### IV.2.2. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température

Le Tableau 9 présente l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent et de la température combinées. Pour plus de lisibilité, les températures extrêmes et les fortes vitesses de vent n'enregistrant aucun contact de chiroptère n'ont pas été incluses dans le tableau.

	Vitesse de vent (m.s <sup>-1</sup> )														Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
10	0	1	0	0	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	12
11	0	1	0	2	1	3	2	0	1	0	0	0	0	0	10
12	0	3	3	0	4	4	9	4	0	0	0	0	0	0	27
13	0	2	10	5	5	3	5	1	0	0	0	0	0	0	31
14	0	2	0	1	10	16	12	7	3	0	0	0	0	0	51
15	0	6	14	22	26	22	23	11	1	1	0	0	0	0	126
16	1	6	9	20	27	16	16	3	1	1	0	1	0	0	101
17	1	1	11	11	23	25	13	8	0	1	0	0	0	0	94
18	0	1	9	15	14	18	13	1	1	0	0	0	0	0	72
19	0	3	13	15	6	19	22	9	1	0	0	0	0	0	88
20	0	6	15	18	5	9	7	5	1	0	1	0	1	0	68
21	0	0	10	8	2	7	5	4	0	0	0	0	1	0	37
22	0	0	2	6	9	5	5	1	0	0	0	0	0	0	28
23	0	2	10	5	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	23
24	0	4	5	4	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	17
25	0	1	2	0	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	10
26	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	4
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	2	39	113	133	141	157	144	57	9	3	1	1	2	0	802

Tableau 9 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s<sup>-1</sup>) sur le parc éolien de Longchamp, entre mai et octobre 2021.

En nacelle de l'éolienne LOCA-03, l'activité des chiroptères a eu lieu pour des vitesses de vent allant de 0 à 12 m.s<sup>-1</sup> et pour des températures allant de 9 à 26 °C. La plus forte activité a été enregistrée pour une vitesse de vent de 4 m.s<sup>-1</sup> combinée à une température de 16°C (27 contacts). Plus de 90% des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6 m.s<sup>-1</sup> et pour des températures supérieures ou égales à 14°C.

#### IV.2.3. Zoom sur les espèces présentes

##### a) Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)



Figure 10 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.

La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe II de la Convention Bonn, annexe I de l'accord EUROBATS et annexe II de la Convention de Berne) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Cette espèce fréquente tous les types de milieux, même les zones fortement urbanisées. Pour la chasse, on note une préférence pour les zones humides, les jardins et parcs, puis les milieux forestiers et enfin les milieux agricoles. Peu lucifuge, elle est capable de s'alimenter autour des éclairages. Elle est active dans le premier quart d'heure qui suit le coucher du soleil. Les distances de prospection varient en fonction des milieux mais dépassent rarement quelques kilomètres. Très opportuniste, elle chasse les insectes volants,



Espèce forestière, la Pipistrelle de Nathusius patrouille à basse altitude le long des zones humides et chasse aussi en plein ciel à grande hauteur, préférentiellement en milieux boisés diversifiés, ou à proximité de structures linéaires (haies, lisières forestières...) mais aussi en milieu urbain sous des lampadaires. Elle quitte son gîte en moyenne 50 minutes après le coucher du soleil. Elle consomme essentiellement des Chironomes, et occasionnellement des Trichoptères, Névroptères, Lépidoptères, Hyménoptères et Coléoptères. Son vol de chasse est généralement situé entre 3 et 20 mètres de haut. Cette hauteur de vol peut aussi être plus importante notamment lors des phases de transit ou de migration. Son domaine vital peut atteindre une vingtaine de kilomètres carrés et elle s'éloigne jusqu'à une demi-douzaine de kilomètres de son gîte.

Ses émissions sonores sont comprises entre 34 et 42 kHz, de 4 à 11 ms.

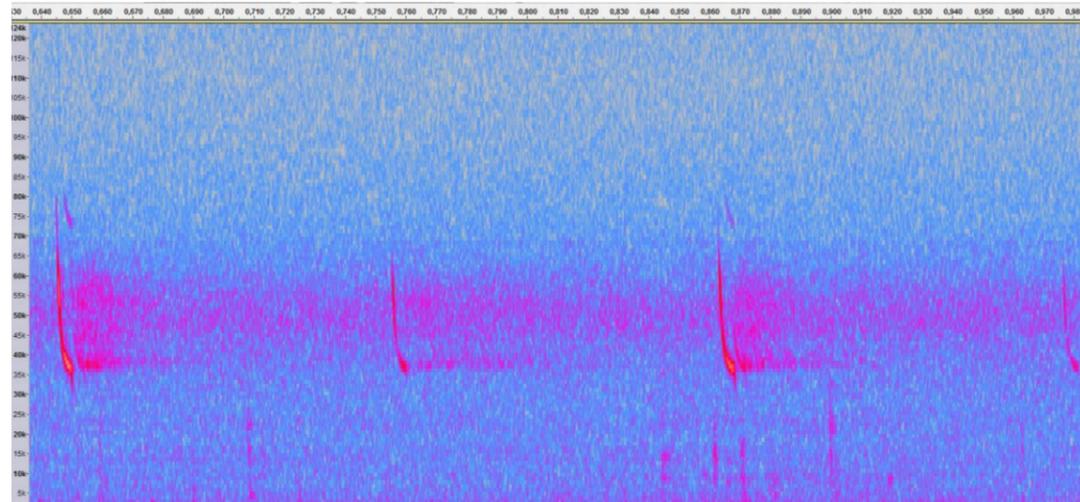


Figure 13 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

La Pipistrelle de Nathusius apparaît comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes : avec 1 623 cas recensés en Europe dont 276 en France (Dürr, 2021), elle est la 2<sup>ème</sup> espèce de chiroptères la plus impactée. Les éoliennes situées à proximité de lisières et des voies de migrations semblent être les plus à risque. **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée (3,5/4,5).**

#### c) Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)



Figure 14 : Pipistrelle de Kuhl.  
CCO domaine public.

La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe II de la Convention Bonn, annexe I de l'accord EUROBATS et annexe II de la Convention de Berne) et classée comme « Préoccupation mineure » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Cette espèce se retrouve autour du bassin méditerranéen et dans l'Ouest de l'Asie, jusqu'au Pakistan et à la frontière de l'Inde. En Europe occidentale, elle est présente tout au long de la côte Atlantique.

Opportuniste, elle se nourrit des Culicidés, des Lépidoptères, des Chironomes, des Hyménoptères, des Brachycères, des Tipulidés et des Coléoptères, qu'elle chasse soit directement à la gueule, soit en utilisant ses membranes. C'est une espèce anthropophile. On la trouve dans les zones sèches, près des falaises, des rivières mais aussi les paysages agricoles, les milieux humides et les forêts de faible altitude. Elle se nourrit préférentiellement dans les parcs urbains avec éclairages publics mais elle chasse également dans les espaces

boisés, ouverts, les zones humides et montre une nette attirance pour les zones urbaines avec parcs, jardins et éclairages publics. Elle devient active dans la première demi-heure succédant au coucher du soleil.

Elle hiberne avec d'autres Pipistrelles et préfère les anfractuosités des bâtiments frais même s'il est également possible de la retrouver dans des fissures de falaises ou dans des caves. Pour la mise-bas, ces Pipistrelles forment des colonies allant de 20 à une centaine d'individus et s'installent dans n'importe quel type d'anfractuosités sur les bâtiments. Il est beaucoup plus rare de les retrouver dans des cavités arboricoles. Les femelles sont fidèles à leur colonie de naissance. En fonction de la zone géographique, les naissances s'effectuent de mai à début juin. Les jumeaux sont fréquents. L'époque des parades se déroule entre la fin du mois d'août jusqu'au mois de septembre et les Pipistrelles utilisent des gîtes intermédiaires. Cette espèce ne semble pas être migratrice. La longévité maximale observée est de huit ans et l'espérance de vie moyenne est située entre 2 et 3 ans.

L'espèce est abondante et même en expansion depuis quelques années. Elle jouit d'une grande aire de répartition. Cependant, par son caractère anthropophile, cette chauve-souris est souvent victime de dérangement ou de destruction de ses gîtes et les chats et les collisions automobiles sont les deux causes les plus connues d'accidents (Arthur, 2009). Les suivis de mortalité réalisés sur les éoliennes montrent que la Pipistrelle de Kuhl est la 5<sup>ème</sup> espèce la plus impactée, soit par collision, soit par barotraumatisme, avec 469 cadavres recensés en Europe (Dürr, 2021), dont 219 en France. Ceci s'explique par son affinité pour les milieux ouverts, sa tendance à suivre les structures verticales et par sa curiosité (LPO Rhône-Alpes). **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est relativement élevée (2,5/4,5).**

#### d) Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)



Figure 15 : Sérotine commune.  
CCO domaine public.

C'est une espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

La Sérotine commune est une grande espèce de chauve-souris très répandue en France. Espèce de plaine, elle est campagnarde ou urbaine, avec une nette préférence pour les milieux mixtes (pâtures, haies, lisières forestières, milieux urbains, plans d'eau et cours d'eau...). Une végétation clairsemée avec des feuillus semble être recherchée. Elle ne s'aventure guère en milieu fermé. En forêt, elle suit les chemins forestiers et les coupes feu. Son territoire de chasse est souvent situé à moins de 5km de son gîte.

Très sédentaire, la distance entre ses gîtes d'hiver et d'été est souvent inférieure à 50km. Elle gîte en hiver dans des greniers, des églises, entre l'isolation et les toitures... Elle hiberne de novembre à fin mars et ne quittera pas son gîte si la température baisse et risque de mourir si celle-ci s'effondre (Beucher Y., com. pers.). En été, elle s'installe dans des bâtiments très chauds, au sein de combles. Espèce lucifuge, elle ne tolère pas l'éclairage des accès à son gîte.

La Sérotine commune chasse les insectes en vol du sol jusqu'à la canopée, le long des structures arborées ou au-dessus de lampadaires. Elle chasse le plus souvent à hauteur de végétation, survolant les vergers, les prairies, les pelouses, les plans d'eau ou les éclairages publics. La taille moyenne de son domaine vital est d'environ 15km<sup>2</sup>. Opportuniste, elle se nourrit de nombreux insectes, Coléoptères, Lépidoptères, Trichoptères, Diptères et Hyménoptères, qu'elle capture en vol. Crépusculaire à nocturne, elle se met généralement en chasse quinze minutes après le coucher de soleil durant 1 à 2,5 heures. Elle chasse en petite escadrille ou en solitaire (Arthur et Lemaire, 2009).

Les mâles sont solitaires tandis que les femelles vont se regrouper pour la mise-bas en colonie de 10 à 50 individus. La femelle donne naissance à un jeune, courant juin. Celui-ci tentera ses premiers vols à environ vingt jours et il quittera pour la première fois son lieu de naissance entre 4 et 5 semaines. Très fidèle à son gîte, elle y reviendra tant qu'il reste accessible. La plus vieille femelle baguée a atteint l'âge de 24 ans. Elle émet des ultrasons dans une fréquence modulaire aplanie comprise entre 20 et 26 kHz.

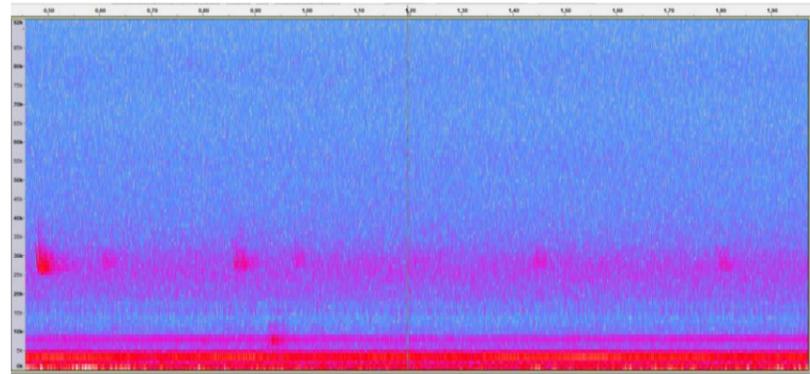


Figure 16 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

La Sérotine commune est la 10<sup>ème</sup> espèce la plus impactée par l'éolien en Europe : 123 cas ont été attribués de manière certaine à la Sérotine commune, dont 34 en France, et 115 cas en Europe où la détermination n'a pu discriminer la Sérotine commune et la Sérotine isabelle (Dürr, 2021). Les éoliennes situées à proximité de lisières et dont le champ de rotation des pales passe proche des structures de végétation (canopée, lisières...) sont les plus dangereuses.

#### e) Noctule commune (*Nyctalus noctula*)



Figure 17 : Noctule commune.  
CCO domaine public.

La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe II de la Convention Bonn, annexe I de l'accord EUROBATS et annexe II de la Convention de Berne) et classée comme « Vulnérable » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Espèce forestière, la Noctule commune s'est adaptée à la vie urbaine. Sa présence est liée à la proximité de l'eau. Elle exploite une grande diversité de territoires : massifs forestiers, prairies, étangs, alignements d'arbres, halos de lumière...

Elle quitte son gîte quand il fait encore clair, voire jour. La Noctule commune peut chasser sur une grande diversité d'habitats (du massif forestier à la prairie, en passant par des zones humides et des secteurs urbanisés). Elle survole le plus souvent ces secteurs de chasse à haute altitude (30 à 100 mètres). Ses territoires de chasse sont vastes (jusqu'à 50 hectares) et sont éloignés du gîte d'environ 10km en moyenne (Dietz, 2009). Elle chasse le plus souvent en groupe, et consomme ses proies en vol. Exclusivement insectivore et opportuniste, son régime alimentaire va des microdiptères aux Coléoptères (Arthur et Lemaire, 2009). Elle hiberne de novembre à mars, souvent en groupe mixte, en forêt (larges cavités, loges de pics, ...) comme en ville (corniches de pont, immeuble, ...). En été, la Noctule commune est présente dans les mêmes types de gîtes qu'en hiver, en solitaire, ou en petits essaims.

Espèce migratrice, elle est capable d'accomplir des parcours de plusieurs centaines de kilomètres (jusqu'à 1546 km). En quelques semaines, l'essentiel des femelles va migrer vers des territoires de mise-bas à l'Est et au Nord de l'Europe, et il ne restera plus que des mâles et quelques très rares colonies de parturition

dispersées en France. Elles mettent bas à partir de mi-juin, d'un ou deux petits. Elles peuvent être aptes à la reproduction dès leur première année. L'émancipation est atteinte au bout de sept à huit semaines. Le retour s'effectue avec les jeunes de septembre à octobre, pour rejoindre les mâles (plus sédentaires) sur les sites de parades, et pour retourner dans leur secteur d'hibernation. Lors de ces déplacements, il est possible d'observer des noctules communes en vol parmi des groupes d'oiseaux migrateurs à une centaine de mètres d'altitude en plein jour. Une partie des populations européennes montre des tendances sédentaires. Comparée à toutes les autres espèces, la Noctule commune montre une très courte espérance de vie estimée à 2,2 ans (Arthur et Lemaire, 2009). Actuellement, le record de longévité connu n'est que de douze ans.

Les émissions sonores de la Noctule commune sont très puissantes, entre 16 et 24kHz ; elles peuvent porter jusqu'à 150m.

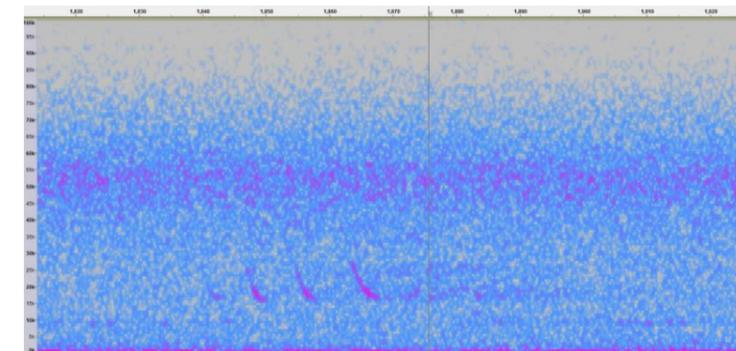


Figure 18 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune

La Noctule commune est la 3<sup>ème</sup> espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 1565 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à la Noctule commune, dont 104 en France (Dürr, 2021). Son comportement de chasse et ses déplacements à des altitudes élevées la rendent particulièrement sensible à cet impact. **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée (4/4,5).**

#### f) Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)

La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe II de la Convention Bonn, annexe I de l'accord EUROBATS et annexe II de la Convention de Berne) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.



Figure 19 : Noctule de Leisler.  
CCO domaine public.

La Noctule de Leisler est une espèce d'Europe centrale dont la répartition s'étend vers le Sud jusqu'en Espagne en même temps qu'elle se raréfie.

La Noctule de Leisler peut chasser sur pratiquement tous les types de milieux (du sous-bois à la plaine céréalière en passant par des zones humides et des secteurs urbanisés). Espèce forestière, elle a une préférence pour les massifs à essences caduques assez ouverts et recherche la proximité des milieux humides. Les femelles chassent essentiellement à moins d'une dizaine de kilomètres du gîte, l'envol se fait dès le coucher du soleil. Durant sa chasse, la Noctule de Leisler peut voler à des hauteurs de vol de plus de 100 mètres, notamment au-dessus de la canopée. Ses proies sont de petite et de moyenne taille : Diptères, Lépidoptères, Coléoptères, Hémiptères, Chrysopidés et aussi Ephéméroptères, Trichoptères ou Chironomes (Arthur et Lemaire, 2009). Durant la migration et les phases de transit, il est probable que les

hauteurs de vols soient également assez élevées (de l'ordre de 100 mètres). Pour l'hibernation, l'espèce n'est pas cavernicole, elle occupe essentiellement des cavités arboricoles parfois mixtes avec la Noctule commune. En France, les gîtes de mise-bas sont rares mais on en découvre chaque année du Nord de la France à la Corse. Les nurseries en cavité arboricole comptent habituellement de 20 à 40 femelles, parfois 100, et peuvent atteindre 150 dans les bâtiments. Les naissances s'échelonnent de mi-juin à début juillet, les jumeaux ne sont pas rares. Les jeunes sont presque tous volants début août. A la fin de l'été, le retour des femelles revenant de l'Est de l'Europe sonne le début des parades, les mâles vont former des harems regroupant jusqu'à dix femelles et s'accoupler.

L'essentiel des effectifs migrants sont des femelles qui doivent relier les secteurs d'hibernation du Sud-Ouest de l'Europe pour remonter vers les sites de mise bas au Nord-Est, même si des colonies de mise bas sont récemment découvertes en Europe de l'Ouest. La migration de printemps semble se dérouler durant le mois d'avril. Les retours dans le sud de l'Europe interviennent à partir de début août et peuvent être effectifs jusqu'au mois d'octobre. Elle accomplit de très longs déplacements (pouvant atteindre 1567 km entre le Nord de l'Allemagne et l'Espagne). Son espérance de vie moyenne est estimée à 2,7 ans, la plus vieille Noctule de Leisler connue a atteint l'âge de onze ans.

Les émissions sonores de la Noctule de Leisler sont comprises entre 21 et 26kHz.

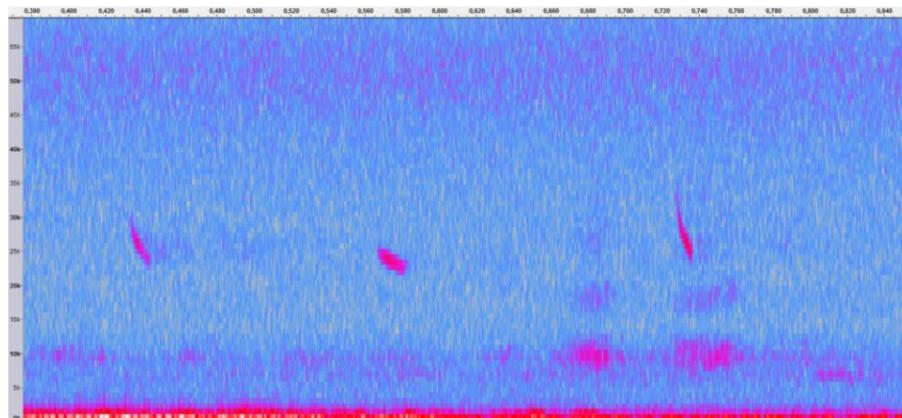


Figure 20 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

La Noctule de Leisler est la 4<sup>ème</sup> espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 719 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à cette espèce, dont 153 en France (Dürr, 2021). Sa technique de chasse en hauteur et ses grands déplacements à des altitudes à risque expliquent sa sensibilité. **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée (3,5/4,5).**

#### IV.3. Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes

Le Tableau 10 présente l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi annuel, en fonction de leur caractère patrimonial (statuts de protection et de conservation) et de leur sensibilité aux collisions avec les éoliennes.

Toutes les espèces de chauves-souris présentes en France sont intégralement protégées par l'Arrêté Ministériel du 17 avril 1981 relatif à la protection de l'environnement. Depuis 1979, au niveau international, la Convention de Bonn et la Convention de Berne demandent aux états contractants d'assurer la protection de toutes les espèces de chauves-souris décrites dans les annexes, ainsi que la protection des gîtes de reproduction et d'hibernation. En 1992, la Directive « Habitat - Faune – Flore » demande aux pays de la

#### ⇒ Synthèse du suivi d'activité des chiroptères sur le parc éolien de Longchamp par TrackBat

Avec un total de 666,33 contacts corrigés, six espèces ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 72,7 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 16,1 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 8,7 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 1,5 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 0,6 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 0,2 % des contacts.

L'ensemble des contacts a été enregistré du 26 mai au 28 octobre 2021. Plus de 90% des contacts sont concentrés entre le 25 juin et le 24 octobre 2021, avec des pics d'activité enregistrés durant la deuxième moitié de septembre 2021.

L'ensemble de l'activité se déroule entre 19h30 et 07h10, avec un pic d'activité à 23h10. Plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre 20h50 et 05h40, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des vitesses de vent inférieures à 12 m.s<sup>-1</sup>, dont 90% de cette activité pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6 m.s<sup>-1</sup>. Un pic d'activité a été enregistré pour une vitesse de vent de 5 m.s<sup>-1</sup>.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des températures comprises entre 9°C et 26°C, dont 90% de cette activité pour des températures supérieures ou égales à 14°C. Un pic d'activité a été enregistré pour une température de 15°C.

L'activité des espèces en parturition est globalement faible, excepté pour la Pipistrelle commune qui montre un niveau d'activité très fort et la Pipistrelle de Kuhl qui a une activité moyenne. En revanche, en période de migration automnale, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle de Kuhl ont des activités très fortes, la Noctule commune a une activité moyenne et la Sérotine commune et la Noctule de Leisler ont toujours des activités très faibles.

Communauté Européenne la protection stricte de toutes les espèces de chiroptères (elles figurent à l'annexe IV), ainsi que la désignation de Zones Spéciales de Conservation pour les 12 espèces figurant à l'annexe II. Dix-neuf espèces sont classées dans la liste rouge de la faune menacée de France et 13 espèces sont présentes sur la liste rouge mondiale.

Espèce	Directive Habitats	Berne	Bonn	EUROBATS	LR Europe	LR France	Indice de vulnérabilité
<b>Noctule commune</b>	IV	III	II	I	LC	VU	<b>4</b>
<b>Pipistrelle de Nathusius</b>	IV	-	II	I	LC	NT	<b>3,5</b>
<b>Pipistrelle commune</b>	IV	-	II	I	LC	NT	<b>3,5</b>
<b>Noctule de Leisler</b>	IV	-	II	I	LC	NT	<b>3,5</b>
<b>Sérotine commune</b>	IV	-	II	I	LC	NT	<b>3</b>
<b>Pipistrelle de Kuhl</b>	IV	-	II	I	LC	LC	<b>2,5</b>

Tableau 10 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Longchamp entre mai et octobre 2021.

#### Légende :

Directive Habitats = Annexe de la Directive européenne dite Directive Habitats-Faune-Flore

Berne/Bonn = Annexe des conventions de Berne/Bonn  
 EUROBATS = Annexe de la convention de Bonn, accord EUROBATS  
 LR Europe/France = Liste rouge Européenne / Française (2017) / Régionale (2013, validée par le CSRPN, Centre-Val de Loire).

**VU** : Vulnérable / **NT** : Quasi menacée / **LC** : Préoccupation mineure

La Noctule commune est l'espèce la plus vulnérable face au risque de collision avec les pales des éoliennes, suivie de près par la Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle commune et la Noctule de Leisler. La Sérotine commune présente une vulnérabilité moins élevée, et celle de la Pipistrelle de Kuhl est la plus faible.

## V. Régulation pour la préservation des chiroptères - ProBat

### V.1. Présentation de la régulation ProBat

Le système ProBat développé par Sens Of Life permet de réguler pertinemment les éoliennes pour préserver les chiroptères. Cet outil est fondé sur un risque de collision calculé à partir de :

- L'activité théorique des chiroptères modélisée selon un algorithme multifactoriel prenant en compte les paramètres météorologiques relevés sur le parc, la date et l'heure ;
- L'activité détectée en temps réel par un enregistreur ultrasonore TrackBat ou par des caméras infrarouges avec leurs illuminateurs.

En 2021, la régulation ProBat a eu lieu du 20 juillet au 1<sup>er</sup> novembre.

#### v.1.1. Détermination de l'activité chiroptérologique théorique

Eva Schuster et ses co-auteurs ont publié, en 2015, un travail synthétisant les différents facteurs pouvant influencer le comportement et la mortalité des chauves-souris sur les parcs éoliens. Ce travail liste les différents travaux proposant des informations plus ou moins contradictoires. De manière consensuelle, il apparaît que 3 facteurs, listés ci-dessous influencent l'activité des chauves-souris :

#### Les variations journalières

Bien sûr les chauves-souris volent essentiellement de nuit, mais cette activité n'est pas pour autant régulière tout au long de la nuit. Des vols sont régulièrement observés de jour, notamment lors des migrations. Le Graphique 6 illustre la répartition de l'activité sur le parc éolien de Bouin en fonction de la date et de l'heure (Lagrange et al., 2009). Elle met en évidence de fortes variations au cours d'une même nuit, avec des pics d'activité généralement centrés sur le début de nuit et la fin de nuit. Sur un site donné, cette activité peut également être influencée par la distance que les animaux doivent parcourir entre leur gîte et le terrain de chasse.

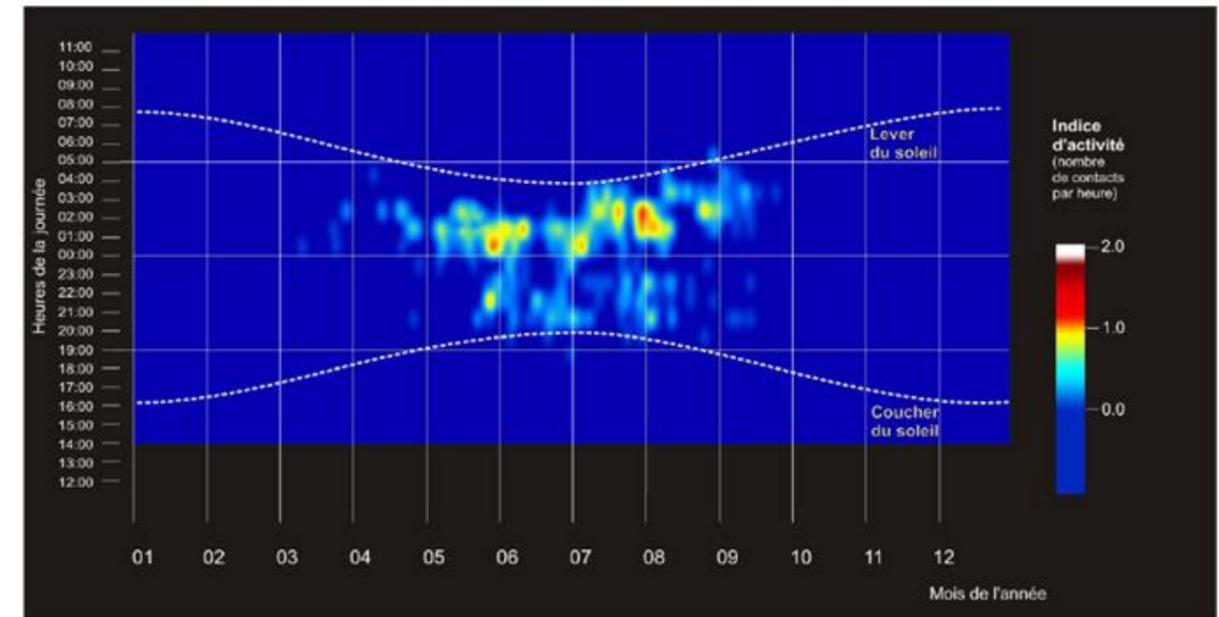


Figure 21 : Représentation de l'activité des chiroptères en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de Bouin en 2009 (Lagrange et al., 2009)

#### Les variations saisonnières

L'activité des chauves-souris, et les occurrences de mortalité, sont fortement influencées par les saisons (Figure 21). Sous nos latitudes, la plupart des espèces présentes sont des animaux hibernants, très peu actifs au cours des saisons défavorables. Les suivis post implantations montrent que l'essentiel de l'activité et de la mortalité est enregistré au cours de l'été et de l'automne (Arnett et al., 2006; Doty & Martin, 2013; Dürr, 2002; Hull & Cawthen, 2013). En 2010, Rydell et ses co-auteurs notaient que 90 % de la mortalité annuelle se produisait entre août et septembre. Cette répartition pourrait indiquer un rôle important des migrations dans la surmortalité constatée à partir du milieu de l'été (Johnson et al., 2011). Ces migrations peuvent aussi être des phénomènes à large échelle, les chauves-souris traversant une grande partie de l'Europe, comme ce qui est décrit pour la Pipistrelle de Nathusius. Elles peuvent aussi résulter de mouvements liés à des formations paysagères ou des régions (Kerns et al., 2005). Ces migrations automnales peuvent s'étaler sur de longues périodes, peut-être à des altitudes plus basses que les migrations printanières (Furmankiewicz & Kucharska, 2009). L'élévation du niveau de mortalité pendant ces épisodes migratoires pourraient simplement découler de la présence d'un plus grand nombre d'individus, mais aussi de comportements particuliers (poursuites) liées aux parades et affrontements lors de la formation de couples et à la reproduction (Cryan & Brown, 2007).

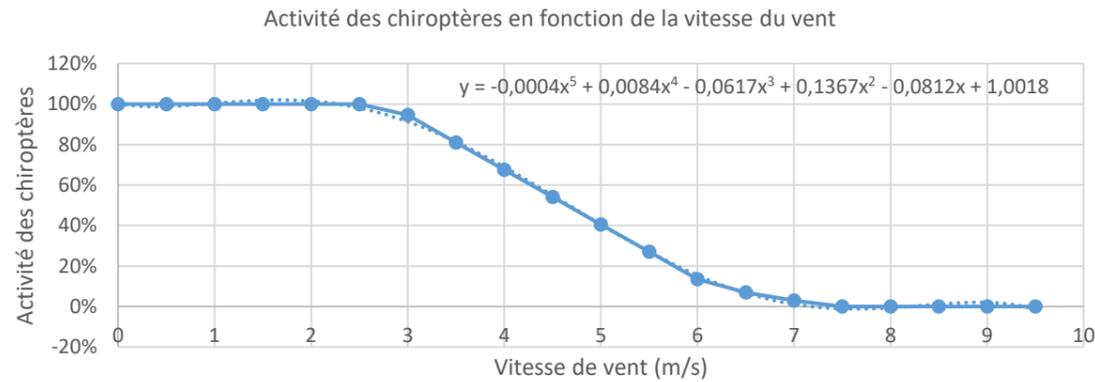
#### La météorologie

L'activité et la mortalité des chauves-souris sont fortement influencées par les variables climatiques (Baerwald & Barclay, 2011). Ces paramètres peuvent être utilisés pour prédire les périodes de fort risque de collision, servant de cadre de travail pour les protocoles de régulation du fonctionnement des éoliennes en vue de diminuer l'impact des parcs éoliens sur les chiroptères (Brinkmann, 2011). Les paramètres les plus influents sont la vitesse du vent, la température et le niveau de précipitation (Behr et al., 2011). La pression atmosphérique pourrait également jouer un rôle dans les variations d'activité des chiroptères (Kerns et al., 2005), tout comme l'illumination apportée par la lune (Baerwald & Barclay, 2011; Cryan et al., 2014). Ces paramètres affectent différemment les espèces, cependant, les variations de vitesse de vent constituent un paramètre influençant fortement l'activité des chauves-souris (Baerwald & Barclay, 2011; Behr et al., 2011). Certains auteurs (Arnett et al., 2006; Rydell, 2006) décrivent que l'activité des chauves-souris décroît de 5 à

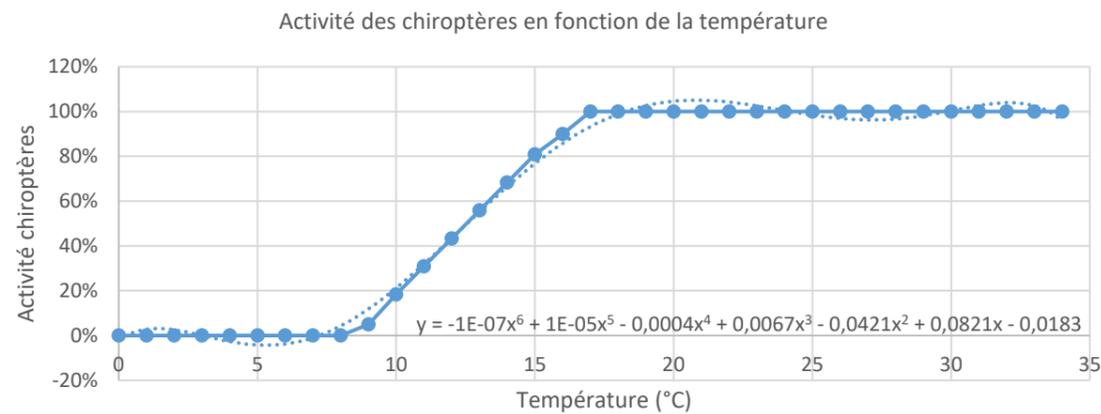
40 % pour chaque augmentation de la vitesse du vent d'un mètre par seconde. En 2010, Rydell et ses co-auteurs ont synthétisé ces résultats de la manière suivante :

- Activité maximale des chiroptères pour des vitesses de vent comprises entre 0 et 2 m.s<sup>-1</sup>,
- Déclin de l'activité des chiroptères pour des vitesses de vent comprises entre 2 et 8 m.s<sup>-1</sup>,
- Activité résiduelle des chiroptères très faible pour des vitesses de vent supérieures à 8 m.s<sup>-1</sup>.

Ces données régulièrement collectées ont permis de modéliser la courbe d'activité en fonction de la vitesse de vent et de la température, dont les équations correspondantes sont affichées sur les graphiques suivants.



Graphique 6 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent



Graphique 7 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la température

Ces équations permettent de définir les seuils permettant de préserver 90% des chiroptères. Cependant, l'application de seuils maximise les périodes d'arrêt alors que l'activité des chiroptères dépend des 4 facteurs -vent, température, date, heure- pondérés entre eux (Figure 22).

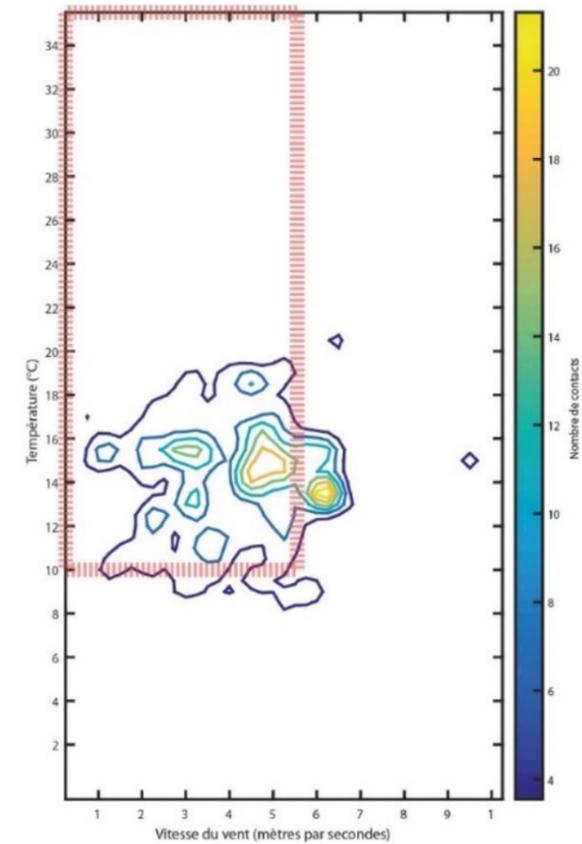


Figure 22 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6 m.s<sup>-1</sup> et 10°C, zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique enregistrée (patatoïde bleu à jaune)

Les 2 équations, avec celles modélisant l'activité des chauves-souris en fonction de la date et de l'heure forment un algorithme multifactoriel permettant de décrire le pourcentage global de l'activité selon ces 4 paramètres. Cet algorithme permet de modéliser au plus près les variations d'activité des chiroptères en fonction des 4 paramètres. Il en résulte un risque allant de 0 à 100%, recalculée toute les minutes (sur la moyenne des données consultées toutes les 10 secondes sur le SCADA).

#### v.1.2. Détermination de l'activité des chiroptères en temps réel

La Figure 23 permet de montrer l'activité des chiroptères non prise en compte par un bridage sur seuils. Il apparaît donc important de vérifier le taux d'activité en temps réel pour réguler les éoliennes le plus pertinemment possible :

- Sans arrêt alors que l'activité est faible, mais que les paramètres météo sont favorables à l'activité,
- Avec des arrêts très ponctuels pour des pics d'activité (migration par exemple) de chiroptères ayant lieu lors de conditions météo défavorables.

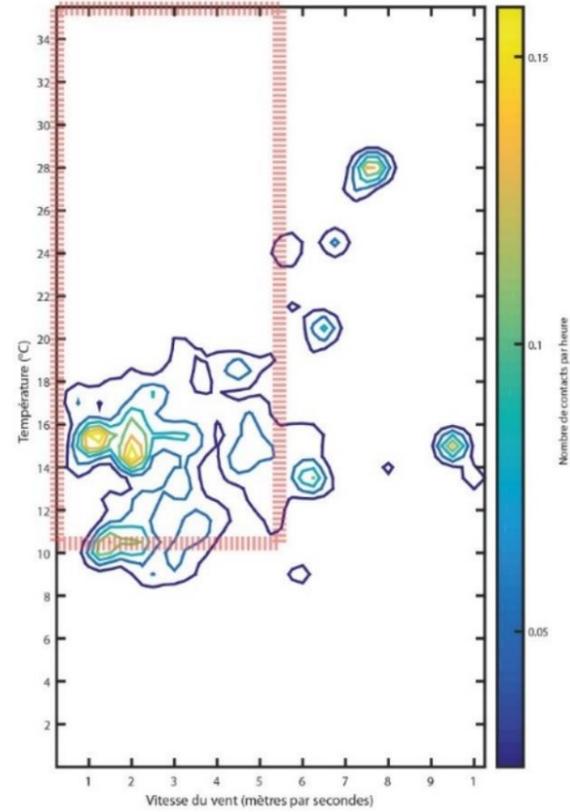


Figure 23 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils ( $6m.s^{-1}$  et  $10^{\circ}C$ , zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique protégée (patatoïde bleu à jaune)

Les sons détectés par le TrackBat en nacelle sont analysés automatiquement en temps réel et seul l'indice d'activité (nombre de contacts par minute toutes espèces confondues) est transmis vers le serveur Sens Of Life centralisant les risques. Il utilise cette donnée pour pondérer le risque de collision défini théoriquement par l'activité en temps réel dans l'objectif de préserver 90% des contacts de chiroptères enregistrés.

Ainsi, si durant les 60 dernières minutes, 6 minutes ont enregistré une activité de chiroptères, le risque dépasse alors 10% et l'éolienne est mise à l'arrêt. Cette moyenne est glissante sur la durée.

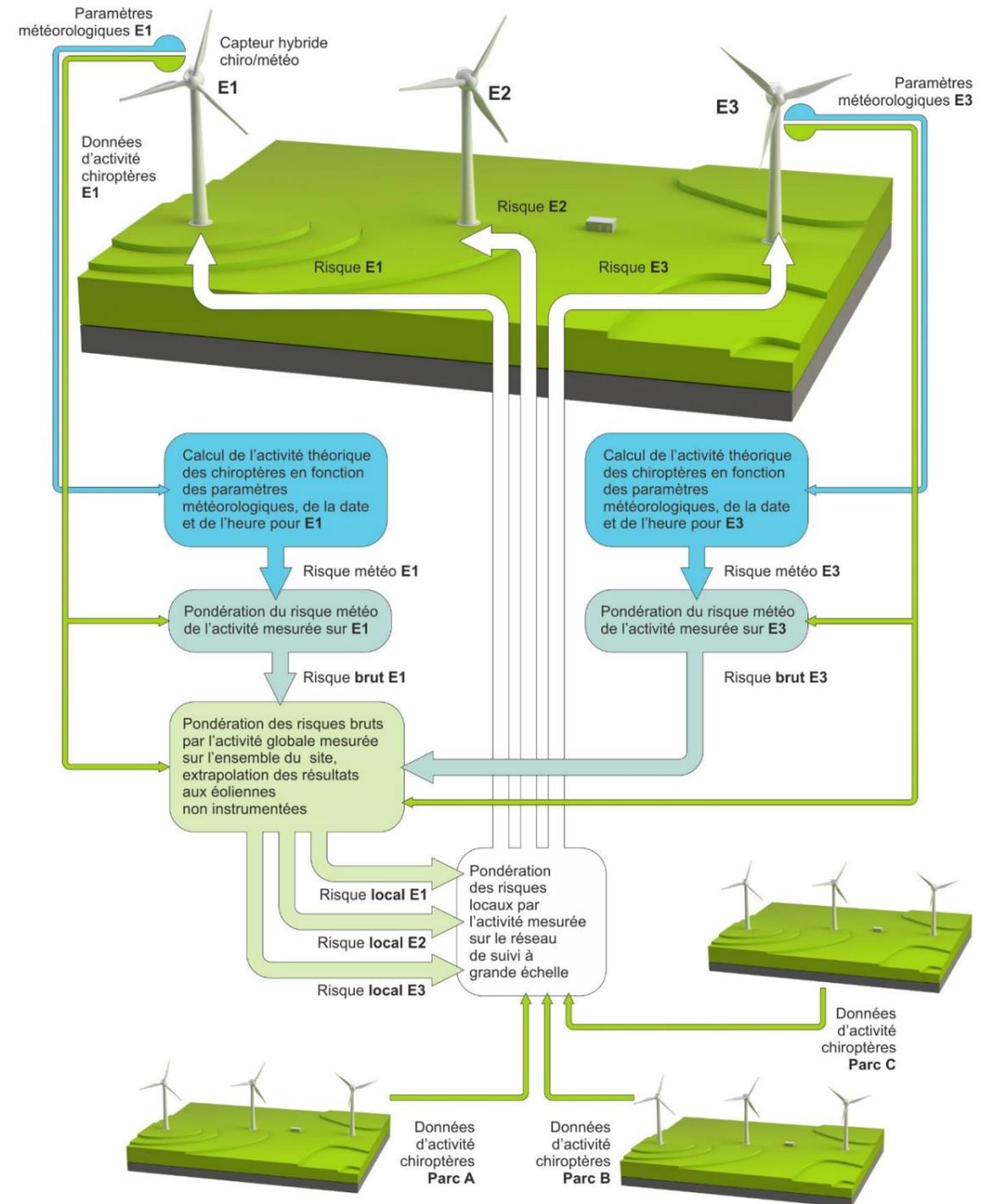


Figure 24: Principe de fonctionnement du système ProBat

### v.1.3. Arrêts machines sur LOCA-03 du parc de Longchamp pour la préservation des chiroptères

L'activité chiroptérologique a été analysé précédemment dans le rapport, et il a été vu qu'elle se répartit aux abords de LOCA-03 selon la distribution temporelle représentée dans la Figure 25.

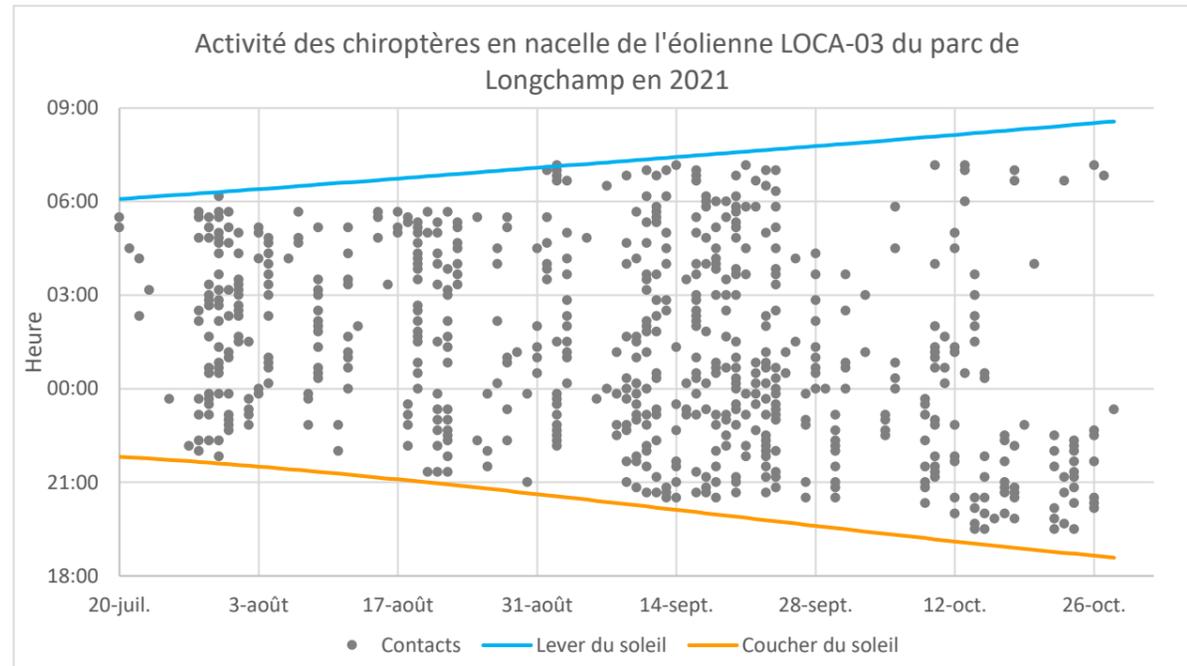


Figure 25 : Répartition de l'activité des chiroptères du 20 juillet au 1<sup>er</sup> novembre sur LOCA-03 en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de Longchamp

La combinaison de la régulation prédictive et de la régulation fondée sur la détection des chiroptères en temps réel a abouti à la réalisation de 3 467 plages d'arrêt de 10 minutes, représentant un temps d'arrêt total de 578 heures, soit environ 49% du temps nocturne entre le 20 juillet et le 31 octobre 2021. 72% des arrêts machines se produisent pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s<sup>-1</sup>, et 95% des arrêts ont lieu pour des vitesses de vent inférieures à 8 m.s<sup>-1</sup>.

Les arrêts ProBat sont déclenchés lorsque les conditions météorologiques et/ou l'activité des chiroptères détectée en temps réel présente un risque de collision important.

Ainsi, il est possible de savoir pour quelles espèces les arrêts ont été déclenchés. Il apparait ici que le nombre d'arrêts déclenchés par espèce suit à peu près les mêmes proportions que l'activité détectée par le TrackBat. Pour la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, la Sérotine commune et la Noctule de Leisler la fréquence d'arrêt est égale à l'activité de ces espèces à 1% près. Une légère différence apparait pour la Pipistrelle commune pour laquelle la fréquence d'arrêts est moins importante par rapport à l'activité de cette espèce. Inversement, Noctule commune déclenche plus d'arrêts par rapport à son pourcentage dans les contacts totaux.

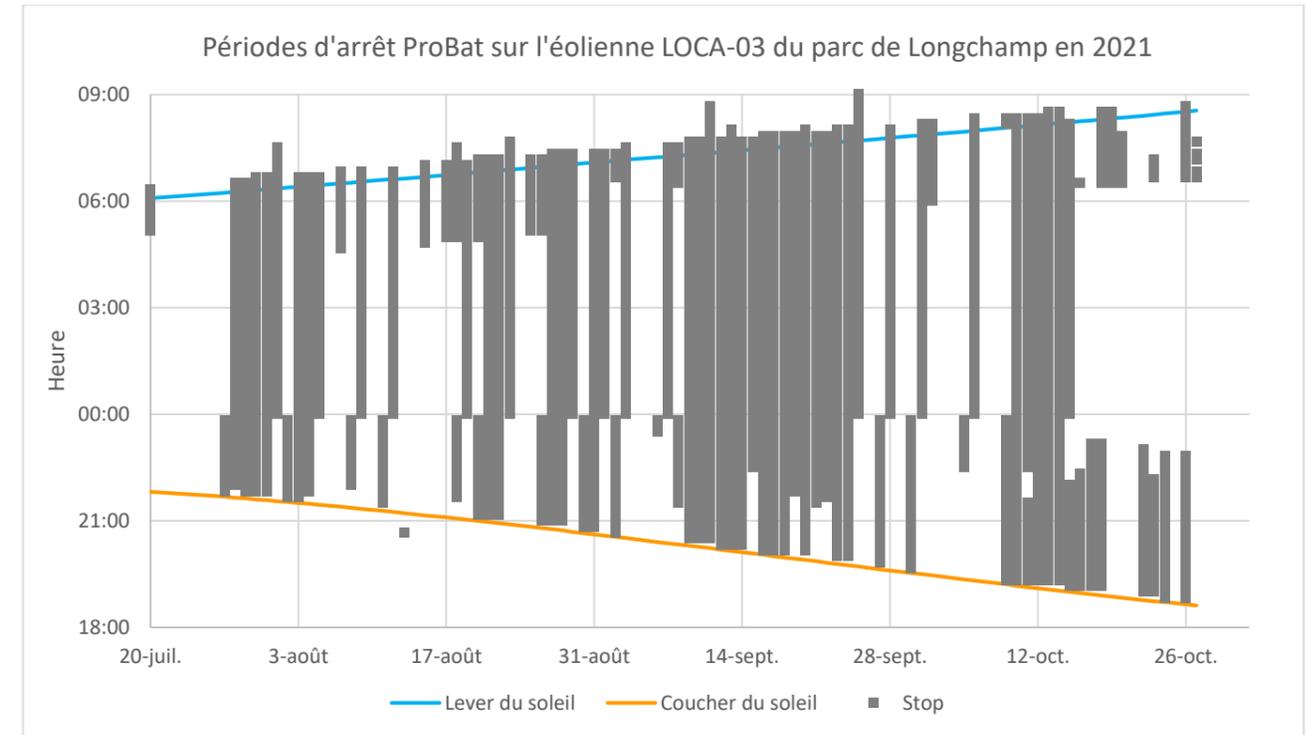
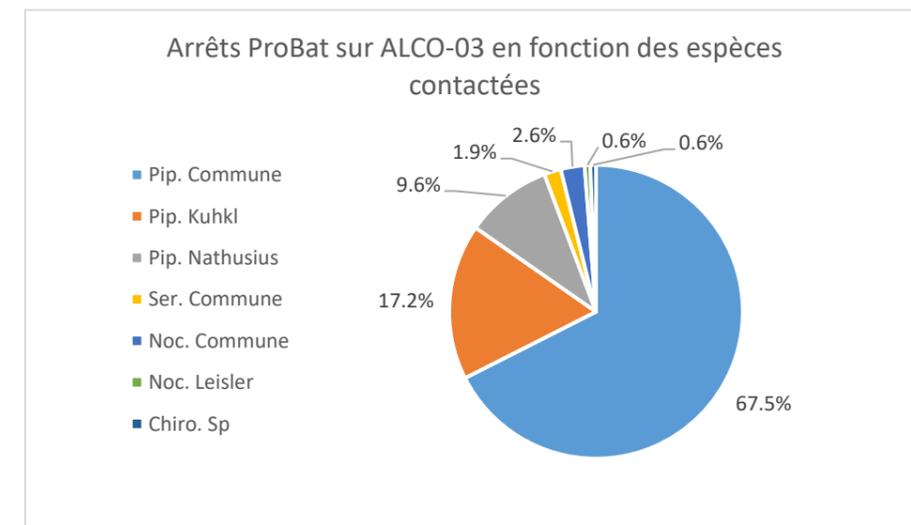


Figure 26: Répartition des arrêts ProBat en fonction de la date et de l'heure du 20 juillet au 1<sup>er</sup> novembre 2021 sur l'éolienne LOCA-03 du parc éolien de Longchamp

Le Graphique 8 présente la proportion de contacts ayant eu lieu lors des arrêts ProBat par espèce de chiroptère sur l'éolienne LOCA-03.



Graphique 8 : Répartition des arrêts ProBat en fonction des espèces contactées du 20 juillet au 1<sup>er</sup> novembre 2021 sur l'éolienne LOCA-03 du parc éolien de Longchamp

## V.2. Evaluation du risque résiduel

Pendant la période de régulation, 21 passages cumulés de chauves-souris ont été détectés alors que l'éolienne LOCA-03 était en fonctionnement. Rapporté aux 668 passages enregistrés sur cette éolienne et cette période, la régulation a donc été active pendant 96,9% des passages enregistrés sur le parc éolien.

La soustraction du nombre de Stops à l'activité chiroptérologique (Figure 27) met en lumière les contacts à risque. Cette répartition temporelle des passages de chauves-souris alors que les rotors des éoliennes étaient encore en rotation est représentée en Figure 27.

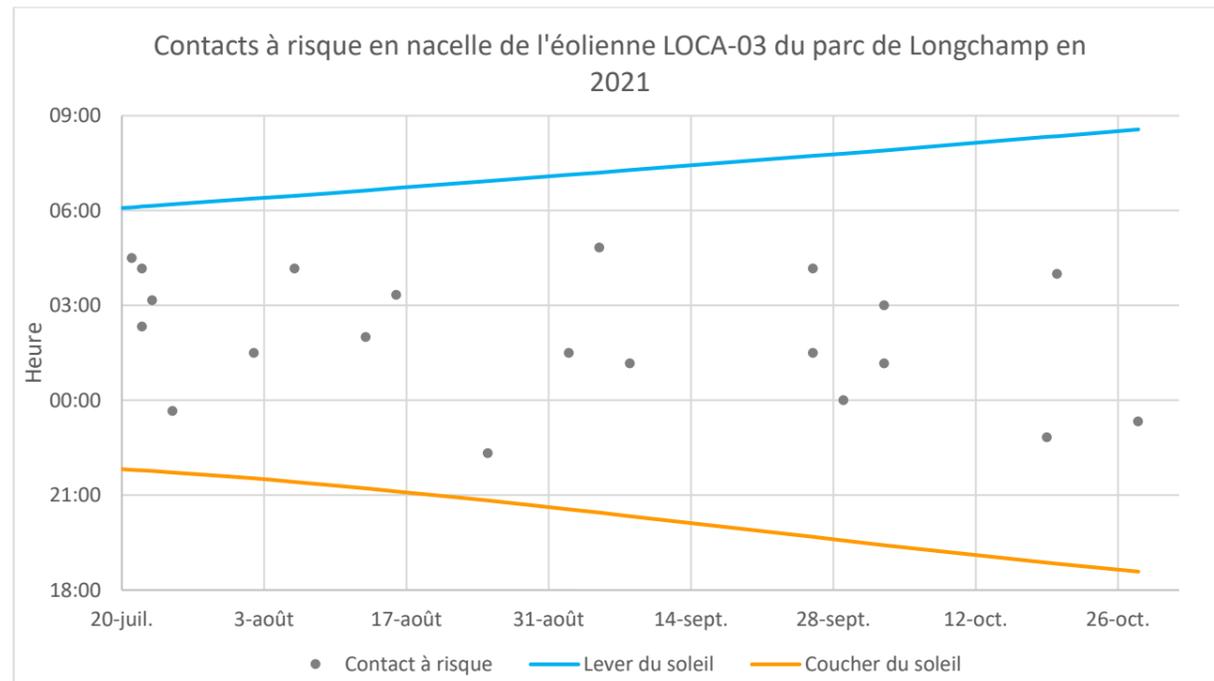


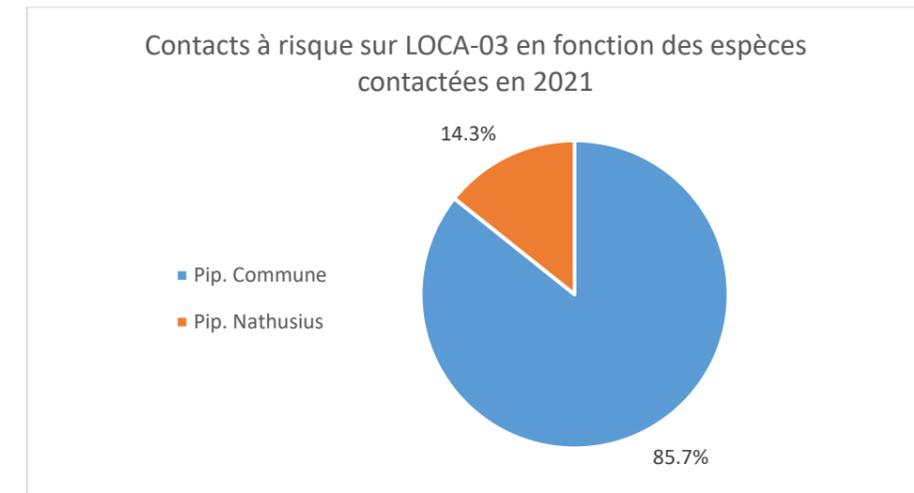
Figure 27 : Répartition des contacts de chauves-souris ayant eu lieu lorsque que le rotor de LOCA-03 tournait

Il faut garder en tête que suite à l'envoi de la commande STOP du système de bridage à l'éolienne, il faut en moyenne une trentaine de secondes pour que la vitesse du rotor atteigne 2 tours/min, puis 1 minute et 30 secondes pour un arrêt complet de la machine. Ce temps dépend des types de machine. Cette vitesse de 40 km/h en bout de pale est considérée comme suffisante pour réduire significativement le risque de collision.

Il est possible d'évaluer le ratio entre le nombre de passages et la mortalité résiduelle en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'une évaluation, extrapolée à partir de mesures réalisées sur des parcs équipés d'éoliennes de gabarit similaire, mais au cours d'années antérieures.

La détection ne couvre pas tout le volume brassé par les pales. Pour une pipistrelle, la distance de détection (30 m) et la longueur des pales (35 m) laissent envisager que les 5 derniers mètres ne sont pas suivis. Inversement, le disque parcouru par les pales à au plus une épaisseur de 5 mètres alors que le volume de détection est beaucoup plus important.

Le Graphique 9 présente la proportion de contacts à risque par espèce de chiroptère sur l'éolienne LOCA-03.



Graphique 9 : Nombre de contacts à risque résiduel par espèces du 20 juillet au 1<sup>er</sup> novembre 2021 sur l'éolienne LOCA-03 du parc éolien de Longchamp.

Les études réalisées avec des caméras thermiques en 2015 (une éolienne dans la Province du Hainaut - 7 interactions sur 352 passages soit 2 %), une éolienne dans la province de Namur – 6 interactions sur 295 passages soit 2 %) et en 2016 (une éolienne dans la province de Namur 5 interactions sur 307 passages soit 1,6 %) laissent penser que le risque de collision est de 0.0210 +/- 0.0016 par passage. Le nombre de passages résiduels est de 21 contacts sur LOCA-03. La mortalité résiduelle peut alors être évaluée à environ 0,44 +/- 0,03 chauves-souris par éolienne et par an. Ce chiffre est bien inférieur aux chiffres de mortalité attendus retrouvés dans la bibliographie pour ce type de milieu.

## VI. Discussion

### VI.1. Répartition de l'activité des chiroptères sur le parc éolien de Longchamp

Avec un total de 666,33 contacts corrigés, six espèces patrimoniales et sensibles à l'éolien ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 72,7 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 16,1 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 8,7 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 1,5 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 0,6 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 0,2 % des contacts.

Au cours du suivi environnemental de 2020 réalisé par Sens of Life, les six mêmes espèces de chiroptères avaient également été recensées en nacelle de l'éolienne LOCA-03. Les proportions de chacune des espèces diffèrent entre 2020 et 2021 : en effet, sur la même période d'enregistrement, seules 226 Pipistrelles communes ont été contactées en 2020 (584 en 2021). De même, la Pipistrelle de Nathusius montre beaucoup moins de contacts en 2020 qu'en 2021. Par conséquent, les autres espèces voient leurs proportions diminuer en 2021 dans le nombre de contacts total, en particulier les Noctules qui montraient plus de contacts en 2020 qu'en 2021.

90% des contacts sont enregistrés entre le 25 juin et le 24 octobre. En 2020, cette concentration des contacts apparaissait un peu plus tôt dans l'année (du 04 juin au 12 octobre). Des pics d'activité ont été enregistrés

au cours de la deuxième quinzaine de septembre, correspondant à la période de transition automnale et d'accouplement des chiroptères.

A l'échelle d'une nuit, le pic d'activité se situe à 23h10. Plus de 90% de l'activité chiroptérologique du site se déroule entre 20h50 et 05h40, ce qui témoigne d'une activité légèrement plus concentrée qu'en 2020 où 90% de l'activité avait lieu de 20h40 à 6h10.

La totalité des contacts a eu lieu pour des vitesses de vent comprises entre 0 et 12 m.s<sup>-1</sup> et pour des températures comprises entre 9 et 26 °C. En 2020, ces paramètres encadrant l'activité étaient les mêmes, excepté pour la température maximale d'activité qui était de 34 °C. En 2021, plus de 90% de l'activité chiroptérologique du site se déroule pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s<sup>-1</sup> et pour des températures supérieures à 14°C (contre 11°C en 2020).

En raison de la forte proportion de cette espèce parmi les espèces de chiroptères présentes, une attention particulière doit être portée sur la Pipistrelle commune, qui est également l'espèce la plus impactée par les éoliennes (Dürr, 2021).

## VII. Conclusion

Pendant la durée de l'étude, sur l'ensemble du parc éolien de Longchamp, environ 90 % de l'activité chiroptérologique a été caractérisée par les paramètres suivants :

- Entre le 25 juin et le 24 octobre 2021,
- Entre 20h50 et 05h40,
- Pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s<sup>-1</sup>,
- Pour des températures supérieures à 14°C.

En 2020, 90 % de l'activité chiroptérologique avait été caractérisée par les paramètres suivants :

- Entre le 4 juin et le 12 octobre,
- Entre 20h40 et 6h10,
- Pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s<sup>-1</sup>,
- Pour des températures supérieures à 11°C.

Ces différences interannuelles de paramètres encadrant 90% de l'activité des chiroptères montrent bien la difficulté de définir des seuils fixes de bridage efficaces sur ces paramètres, et montrent la pertinence d'un bridage dynamique.

Le fonctionnement du parc éolien de Longchamp a été régulé au cours de l'année 2021 pour réduire son impact sur les populations de chauves-souris exploitant ce site. Cette régulation a eu lieu du 20 juillet au 1<sup>er</sup> novembre. Elle a été réalisée par une combinaison d'un système prédictif de l'activité des chauves-souris et d'une détection de leur activité en temps réel sur les 4 éoliennes du parc.

Cette régulation a permis de protéger 96,9% des contacts des chiroptères enregistrés sur l'éolienne LOCA-03. Le risque de mortalité a été ramené à 0,44 chauves-souris potentiellement tuées par éolienne sur la période de suivi. Ces chiffres sont inférieurs à ceux cités dans la bibliographie (Rydell, 2010) pour ce type de milieu.

En 2022, la régulation ProBat continuera à préserver les chiroptères et à enregistrer l'activité chiroptérologique. Cette année d'étude supplémentaire permettra d'obtenir de nouvelles données sur le cortège d'espèces fréquentant le parc, notamment sur les proportions des contacts attribués à chaque espèce.

## VIII. Bibliographie

- ADEME. (1999). *Guide du porteur de projet de parc éolien*. (ADEME Edition).
- Albouy, S., Clément, D., Jonard, A., Massé, P., Pagès, J.-M., & Nea, P. (1997). *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle : Rapport final*. (p. 67). Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.
- Albouy, S., Dubois, Y., Picq, H., Picq, H., Aude, L., & Neau, P. (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude)—Résultats 2006-2009* (p. 76). LPO Aube et Abies. <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>
- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Allouche, L., AVES environnement, & Groupe Chiroptères de Provence. (2010). *Etude de la mortalité des chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13)*. (p. 1-31). Energie du Delta.
- Anderson, R. L., Strickland, D., Tom, J., Neumann, N., Erickson, W., Cleckler, J., Mayorga, G., Nuhn, G., Leuders, A., Schneider, J., Backus, L., Becker, P., & Flagg, N. (2001). *Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Geronio Pass wind resource areas, California : Phase 1 Preliminary Results*. 16.
- Arnett, E. B., Hayes, J., & Huso, M. M. (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*.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. (Publications scientifiques du muséum). Biotope édition.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2015). *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse, Deuxième édition*. (Publication scientifique du muséum). Biotope édition.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T., Schmid, B., & Liechti, F. (2018). Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biological Conservation*, 220, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.005>
- Bach, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—Reale Probleme oder Einbildung ? *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 33, 119-124.
- Bach, L., Brinckmann Robert, Limpens Herman, Rahmel Ulf, Reichenbach, M., & Roschen Axel. (1999). Bewertung und planerische umsetzung von fledermausdaten im rahmen der windkraftplanung. *Bremer Beitrage für Naturkunde und Naturschutz, Themenheft « Voegel und Windkraft »*(Band 4), 163-170.
- Baerwald, E.F., & Barclay, R. M. R. (2011). *Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada*. 75: 1103-1114. <https://doi.org/10.1002/jwmg.147>
- Baerwald, Erin 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. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-104R.1>
- Baerwald, Erin F., D'Amours, G. H., Klug, B. J., & Barclay, R. M. R. (2008). Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology*, 18(16), R695-R696. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.06.029>
- Barré, K. (2018). Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats\_ Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 10.
- Barrios, L., & Rodríguez, A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines : Bird mortality at wind power plants. *Journal of Applied Ecology*, 41(1), 72-81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x>
- Bastos, R., Santos, M., & Cabral, J. A. (2013). A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34, 428-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.003>
- Behr, O., Brinckmann, R., Niermann, I., & Korner-Nievergelt, F. (2011). *Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen*. 4: 177-286.

- Bennett, V. J., & Hale, A. M. (2014). Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions : Bats are not attracted to aviation lighting. *Animal Conservation*, 17(4), 354-358. <https://doi.org/10.1111/acv.12102>
- Bennett, V. J., Hale, A. M., & Williams, D. A. (2017). When the excrement hits the fan : Fecal surveys reveal species-specific bat activity at wind turbines. *Mammalian Biology*, 87, 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.08.003>
- Beucher, Y. (2020). *Maîtrise des impacts éoliens sur les chauves-souris : Actions et stratégie du Groupe Technique éolien de la SFEPM*. 7.
- Beucher, Y., Kelm, V., Geyelin, M., & Pick, D. (2011). *Réduction significative de la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes—Poster*.
- Beucher, Y., Langlois, A., Albespy, F., & Mounetou, R. (2017). *Les pics d'activité des chauves-souris en plein ciel : Vers une nouvelle perception de la typologie des risques d'impacts éoliens*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20519.80803>
- Brinkmann, R. (Éd.). (2011). *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen : Ergebnisse eines Forschungsvorhabens* (1. Aufl). Cuvillier.
- Brinkmann, R., Schauer-Weissahn, H., & Bontadina, F. (2006). *Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg* (Projekt 0410 L; p. 66). Regierungspräsidium Freiburg.
- Cade, T. J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. *Wind Power*, 156.
- Cieślak et Dul. (2006). *Feather identification for bird conservation* (Natura publishing house).
- Cornut, J., & Vincent, S. (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes* (p. 43). LPO Drôme.
- Cryan, P. M. (2008). *Mating Behavior as a Possible Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines*. 72 (3), 845–849.
- Cryan, P. M., & Barclay, R. M. R. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines : Hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1330-1340. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-076R1.1>
- Cryan, P. M., & Brown, A. C. (2007). Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biol. Conserv.*, 11.
- Cryan, Paul. 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). Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(42), 15126-15131. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406672111>
- Curry, R. C., & Kerlinger, P. (1998). *Avian Mitigation Plan : Kenetech Model Wind Turbines, Altamont Pass WRA, California*. 214.
- De Lucas, M., Janss, G. F. E., Whitfield, D. P., & Ferrer, M. (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*, 45(6), 1695-1703. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x>
- Dietz, C., von Helversen, O., & Nill, D. (2009). *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du nord Biologie, Caractéristiques, Protection*. (Delachaux et Niestlé).
- Dirksen, S., Spaans, A. L., & Van der Winden, J. (2000). *Studies on Nocturnal Flight Paths and Altitudes of Waterbirds in Relation to Wind Turbines : A Review of Current Research in The Netherlands*. In : *PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 97-109*.
- Dooling, R., & Lohr, B. (2000, mai). *The role of hearing in avian avoidance of wind turbines*. National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California.
- Doty, A., & Martin, A. (2013). Assessment of bat and avian mortality at a pilot wind turbine at Coega, Port Elizabeth, Eastern Cape, South Africa. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 75-80. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.741068>
- DREAL. (2015). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- DREAL. (2018). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- DREAL Centre-Val de Loire. (2012). *Liste rouge des chauves-souris de la région Centre-Val de Loire (2012)*.
- DREAL Centre-Val de Loire. (2013). *Liste rouge des oiseaux nicheurs de la région Centre (2013)*. 5.
- Dubourg-Savage, M. (2004). Impacts des éoliennes sur les Chiroptères, de l'hypothèse à la réalité. *Arvicola*, XVI(2).
- Dulac, P. (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi* (p. 106). Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire.
- Dürr, T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus*, 8(2), 115-118.
- Dürr, T. (2020). *Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de janvier 2020*.
- Erickson, W. P., Johnson, G. D., & Young, D. P. J. (2005). A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep., PSW-GTR-191*, 14.
- Foo, C. F., Bennett, V. J., Hale, A. M., Korstian, J. M., Schildt, A. J., & Williams, D. A. (2017). Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ*, 5, e3985. <https://doi.org/10.7717/peerj.3985>
- Furmankiewicz, J., & Kucharska, M. (2009). *Migration of bats along a large river valley in Southwestern Poland*. [https://doi.org/90\(6\):1310-1317](https://doi.org/90(6):1310-1317).
- Garvin, J. C., Jennelle, C. S., Drake, D., & Grodsky, S. M. (2011). Response of raptors to a windfarm : Raptor behaviour within a windfarm. *Journal of Applied Ecology*, 48(1), 199-209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x>
- Gaultier, S. P., Blomberg, A. S., Ijäs, A., Vasko, V., Vesterinen, E. J., Brommer, J. E., & Lilley, T. M. (2020). Bats and Wind Farms : The Role and Importance of the Baltic Sea Countries in the European Context of Power Transition and Biodiversity Conservation. *Environmental Science & Technology*, 54(17), 10385-10398. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00070>
- Gaultier, S. P., Marx, G., & Roux, D. (2019). *Éoliennes et biodiversité Synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer* (p. 120). LPO et Office national de la chasse et de la faune sauvage. [https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo\\_oncfs\\_2019.pdf](https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf)
- Gensbol, B. (2004). *Guide des rapaces diurnes d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient* (Delachaux et Niestlé). Editions Delachaux et Niestlé.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM. (2016). *Suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères—Actualisation 2016 des recommandations de la SFEPM*. (Version 2; p. 17). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères (SFEPM).
- Grünkorn, T., Diederichs, A., Poszig, D., Diederichs, B., & Nehls, G. (2009). Wie viele Vogel kollidieren mit Windenergieanlagen? *Natur und Landschaft*, 84(7), 309-314.
- Guyonne, J., & Clave, A. T. (2000). *A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations*. *Proc. Nat. Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego*.
- Hall, L. S., & Richards, G. C. (1972). *Notes on Tadarida australis (Chiroptera : Molossidae)*. 46-47.
- Haquart, A., Christian, K., Aurélien, B., Luc, B., & Jocelyn, F. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Éléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École Pratique des Hautes Études.
- Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique)* (p. 149). Ecospère.
- Hernández-Pliego, J., de Lucas, M., Muñoz, A.-R., & Ferrer, M. (2015). Effects of wind farms on Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in Southern Spain. *Biological Conservation*, 191, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.040>
- Hill, R., Hill, K., Aumüller, R., Schulz, A., Dittmann, T., Kulemever, C., & Coppack, T. (2014). *Of birds, blades and barriers : Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus*. In : *Federal Maritime and Hydrographic Agency, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (eds.) Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus, Springer Fachmedien, Wiesbaden 2014*. 111-131.
- Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123-132. <https://doi.org/10.2193/2006-465>

- Hötter, H., Thomsen, K.-M., & Jeromin, H. (2006). *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : The example of birds and bats—Facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen.
- Hull, C., & Cawthen, L. (2013). Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia : Bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 5-15. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.731006>
- Huso, M. M. P. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318-329. <https://doi.org/10.1002/env.1052>
- Itty, C., & Duriez, O. (2017). *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : L'exemple de l'aigle royal (Aquila chrysaetos) dans le sud du massif central*. 42-48.
- James, R. D., & Coady, G. (2004). Bird monitoring at Toronto's exhibition place wind turbine. *Ontario Birds*, 22(2), 78-88.
- Johnson, G. D., Erickson, W. P., Dale Strickland, M., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A., & Sarappo, S. A. (2003). Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 150(2), 332-342. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2003\)150\[0332:MOBAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2003)150[0332:MOBAAL]2.0.CO;2)
- Johnson, J. S., Watrous, K. S., Giunarro, G. J., Peterson, T. S., Boyden, S. A., & Lacki, M. J. (2011). Seasonal and Geographic Trends in Acoustic Detection of Tree-Roosting Bats. *Acta Chiropterologica*, 13(1), 157-168. <https://doi.org/10.3161/150811011X578705>
- Johnston, N. N., Bradley, J. E., & Otter, K. A. (2014). Increased flight altitudes among migrating Golden Eagles suggest turbine avoidance at a rocky mountain wind installation. *PLoS ONE*, 9(3), e93030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093030>
- Joiris, E. (2012, mars 24). *High altitude bat monitoring* [Preliminary results Hainaut & Ardennes]. CSD Ingénieurs.
- Jones, G., Cooper-Bohannon, R., Barlow, K., & Parsons, K. (2009). *Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain* [Scoping and method development report]. University of Bristol, Bat Conservation Trust.
- Kerlinger, P., Gehring, J. L., Erickson, W. P., Curry, R., Jain, A., & Guarnaccia, J. (2010). Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. *The Wilson Journal of Ornithology*, 122(4), 744-754. <https://doi.org/10.1676/06-075.1>
- Kerns, J., Erickson, W. P., & Arnett, E. B. (2005). *Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia, chapter 2 : 24–95*. In : Arnett EB (tech. Ed.) : *Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia : An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines*.
- Kingsley, A., & Whittam, B. (2001). *Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island* (p. 33). Bird Studies Canada, Atlantic Region.
- Kreuziger, J. (2008). *Kulissenwirkung und Vögel. Methodische Rahmenbedingungen für die Auswirkungsanalyse in der FFH-VP*. Vilmer Expertentagung.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats : Questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), 315-324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- Lagrange, H., Roussel, E., Anne-Lise Ughetto, Boulnois, R., Haquart, A., & Melki, F. (2009). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin—2009*. Ecosphère. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.10316.21129>
- Langston, R., & Pullan, J. (2003). Windfarms and birds : An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. *23rd Meeting*, 58.
- Larsen, J. K., & Madsen, J. (2000). Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*) : A landscape perspective. *Landscape Ecology*, 15(8), 755-764. <https://doi.org/10.1023/A:1008127702944>
- Leddy, K. L., Higgins, K. F., & Naugle, D. E. (1999). Effects of wind turbines on upland nesting birds in conservation reserve program grasslands. *Wilson Bulletin*, 111(1), 100-104.
- Lekuona, J. M. (2001). *Usa del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual* (p. 155). Dirección General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra.
- Lekuona, J. M., Ursua, C., Janss, G., & Ferrer, M. (2006). *Avian mortality in wind plants of Navarra (northern Spain)*. In : De Lucas M., Janss G. & Ferrer M. (eds). *Birds and Wind Power*. (lynx Edicions).
- Loesch, C. R., Walker, J. A., Reynolds, R. E., Gleason, J. S., Niemuth, N. D., Stephens, S. E., & Erickson, M. A. (2013). Effect of wind energy development on breeding duck densities in the Prairie Pothole Region : Wind Energy and Breeding Ducks. *The Journal of Wildlife Management*, 77(3), 587-598. <https://doi.org/10.1002/jwmg.481>
- Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 99-120. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms : An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M., & Silva, J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 93-103. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>
- Marx, G. (2017). *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015* (LN 1216-54). LPO France.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black : Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*, 10(16), 8927-8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- Millon, L., Colin, C., Brescia, F., & Kerbiriou, C. (2018). Wind turbines impact bat activity, leading to high losses of habitat use in a biodiversity hotspot. *Ecological Engineering*, 112, 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.024>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F., & Park, K. J. (2017). Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation*, 20(5), 455-462. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>
- Moriguchi, S., Mukai, H., Komachi, R., & Sekijima, T. (2019). Wind farm effects on migratory flight of Swans and foraging distribution at their stopover site. In R. Bispo, J. Bernardino, H. Coelho, & J. Lino Costa (Éds.), *Wind Energy and Wildlife Impacts* (p. 125-133). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_8)
- Morinha, F., Travassos, P., Seixas, F., Martins, A., Bastos, R., Carvalho, D., Magalhães, P., Santos, M., Bastos, E., & Cabral, J. A. (2014). Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study*, 61(2), 255-259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>
- Osborn, R. G., Dieter, C. D., Higgins, K. F., & Usgaard, R. E. (1998). Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 139(1), 29-38. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(1998\)139\[0029:BFCNWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(1998)139[0029:BFCNWT]2.0.CO;2)
- Osborn, R. G., Higgins, K. F., Dieter, C. D., & Usgaard, R. E. (1996). *Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota*. 37(4), 105-108.
- Pagel, J. E., Kritz, K. J., Millsap, B. A., Murphy, R. K., Kershner, E. L., & Covington, S. (2013). Bald Eagle and Golden Eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. *Journal of Raptor Research*, 47(3), 311-315. <https://doi.org/10.3356/JRR-12-00019.1>
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Douse, A., & Langston, R. H. W. (2012). Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation : Results of a multi-site and multi-

- species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 386-394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x>
- Percival, S. M. (1998). *Birds and wind turbines—Managing potential planning issues*. 345-350.
- Percival, S. M. (2001). *Assessment of the effects of offshore wind farms on birds* (DTI/Pub URN 01/1434; p. 96).
- Perret, M. (2017). *Eolien et biodiversité : Prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français*. 6.
- Puzen, S. C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. *Wisconsin Public Service Corporation, Green Bay, USA*.
- Richardson, W. J. (1998). *Bird migration and wind turbines : Migration timing, flight behavior, and collision risk*. 214.
- Rico, P., & Lagrange, H. (2011). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2011*. Biotope. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23108.83849>
- Rico, P., & Lagrange, H. (2015). *Etude de l'impact des parcs éoliens sur l'activité et la mortalité des chiroptères par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherche de cadavres au sol—Contributions aux évaluations des incidences sur l'environnement*. (p. 174). Sens Of Life, DGO3, SPW.
- Rico, P., Lagrange, H., Cosson, E., & Allouche, L. (2012). *Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)- 2012* (p. 67). Biotope.
- Riols-Loyrette, C. (2015). Impact de parcs éoliens sur un couple d'aigle royal *Aquila chrysaetos* dans les Corbières. *Ornithos*, 22(4), 196-207.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y., & Voigt, C. C. (2016). Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*, 6(1), 28961. <https://doi.org/10.1038/srep28961>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002>
- Rydell, J. (2006). *Bats and their insect prey at streetlights*. 43-60.
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010a). Bat mortality at wind turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12(2), 261-274. <https://doi.org/10.3161/150811010X537846>
- 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? *European Journal of Wildlife Research*, 56(6), 823-827. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0444-3>
- Schuster, E., Bulling, L., & Köppel, J. (2015). Consolidating the state of knowledge : A synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental Management*, 56(2), 300-331. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>
- Seiche, K. (2007). *Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006*. (Naturschutz und Landschaftspflege). Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Shaffer, J. A., & Buhl, D. A. (2016). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions : Wind-energy effects on grassland birds. *Conservation Biology*, 30(1), 59-71. <https://doi.org/10.1111/cobi.12569>
- Smallwood, K. S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33. <https://doi.org/10.1002/wsb.260>
- Smith, J. A., & Dwyer, J. F. (2016). Avian interactions with renewable energy infrastructure : An update. *The Condor*, 118(2), 411-423. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-61.1>
- Strickland, M. D., Johnson, G., Erickson, W. P., & Kronner, K. (2001). *Avian studies at wind plants located at Buffalo Ridge, Minnesota and Vansycle Ridge, Oregon*. 38-52.
- Svensson, L., Mullarney, K., & Zetterström, D. (2015). *Le Guide Ornitho* (Delachaux et Niestlé).
- Thaxter, C. B., Buchanan, G. M., Carr, J., Butchart, S. H. M., Newbold, T., Green, R. E., Tobias, J. A., Foden, W. B., O'Brien, S., & Pearce-Higgins, J. W. (2017). Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1862), 20170829. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>
- Thelander, C. G., & Ruge, L. (2000). *Examining relationships between bird risk behaviors and fatalities at the Altamont wind resource area : A second year's progress report*. 5-14.
- Thomas, R. (2000). *An Assessment of the Impact of Wind Turbines on Birds at Ten Windfarm Sites in the UK*. 215-219.
- Vogelwarte. (2016). *Energie eolienne et protection des oiseaux*.
- Whitfield, D. P., & Madders, M. (2006). A review of the impacts of wind farms on Hen Harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. *Natural Research Ltd*, 33.
- Winkelman, J. E. (1985). Vogelhinder door middelgrote windturbines—Over vlieggedrag, slachtoffers en verstorings [Bird impact by middle-sized wind turbines on flight behaviour, victims, and disturbance]. *Limosa*, 58, 117-121.
- Winkelman, J. E. (1992). *De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1 : Aanvaringslachtoffers. [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1 : Collision victims.]* (RIN-rapport92/2; p. 144). DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek.
- Winkelman, J. E. (1994). Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. *Wind Power*, 156.
- Zeiler, H. P., & Grünsachner-Berger, V. (2009). Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica*, 58(2), 173-182.

## IX. Annexes

IX.1. Tableau 11 : Référentiel d'activité des chiroptères en altitude, Nord-Est de la France, Sens of Life (2021)

Espèce	Période	Toutes nuits			
		Q2	Q25	Q75	Q98
<i>Barbastella barbastellus</i>	Migr. printanière	0	0	0	0
	Mise bas / élevage des jeunes	0	0	0.01848	0.05543
	Migr. automnale	0	0	0.02237	0.06711
<i>Epseticus serotinus</i>	Migr. printanière	0.00934	0.03737	0.08408	0.18684
	Mise bas / élevage des jeunes	0.11576	0.16978	0.23924	0.30870
	Migr. automnale	0.10276	0.16816	0.23355	0.32697
<i>Hypsugo savii</i>	Migr. printanière	0.00000	0.01868	0.04671	0.09342
	Mise bas / élevage des jeunes	0.01543	0.04630	0.08489	0.13120
	Migr. automnale	0.00934	0.02803	0.06539	0.11211
<i>Miniopterus schreibersii</i>	Migr. printanière	0	0	0.01092	0.02184
	Mise bas / élevage des jeunes	0	0	0.01804	0.04511
	Migr. automnale	0	0	0.02184	0.04368
<i>Myotis myotis</i>	Migr. printanière	0	0	0	0
	Mise bas / élevage des jeunes	0	0.02609	0.05217	0.10435
	Migr. automnale	0	0	0.03158	0.06316
<i>Nyctalus leisleri</i>	Migr. printanière	0	0.00816	0.01632	0.03263
	Mise bas / élevage des jeunes	0.01685	0.03033	0.05054	0.07304
	Migr. automnale	0.02039	0.04079	0.06395	0.09250
<i>Nyctalus noctula</i>	Migr. printanière	0	0.00658	0.01645	0.02632
	Mise bas / élevage des jeunes	0.02717	0.04348	0.06250	0.08152
	Migr. automnale	0.02632	0.04605	0.06908	0.09868
<i>Nyctaloids</i>	Migr. printanière	0.03132	0.06470	0.11411	0.21145
	Mise bas / élevage des jeunes	0.20105	0.27355	0.35632	0.45263
	Migr. automnale	0.19526	0.27342	0.35688	0.45685
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Migr. printanière	0.02184	0.06553	0.14197	0.26211
	Mise bas / élevage des jeunes	0.26163	0.36087	0.47815	0.60446
	Migr. automnale	0.22934	0.33855	0.45868	0.60066
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Migr. printanière	0	0.03276	0.09829	0.20750
	Mise bas / élevage des jeunes	0.17141	0.25261	0.35185	0.46011
	Migr. automnale	0.16382	0.25118	0.34947	0.46961
	Migr. printanière	0.04368	0.12013	0.27303	0.53535

<i>Pipistrellus nathusii/kuhlii</i>	Mise bas / élevage des jeunes	0.49620	0.64957	0.81196	1.00141
	Migr. automnale	0.44776	0.61158	0.78632	1.00474
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Migr. printanière	0.16382	0.30579	0.49145	0.74263
	Mise bas / élevage des jeunes	1.06457	1.33522	1.61489	1.94870
	Migr. automnale	0.90645	1.17947	1.48526	1.84566
	Migr. printanière	0.00000	0.03947	0.07895	0.14474
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Mise bas / élevage des jeunes	0.20652	0.31522	0.45652	0.63043
	Migr. automnale	0.28947	0.44737	0.64474	0.89474
<i>Plecotus sp.</i>	Migr. printanière	0	0	0	0
	Mise bas / élevage des jeunes	0	0.01868	0.05605	0.10276
	Migr. automnale	0	0	0.01868	0.02803
	Migr. printanière	0	0	0	0
<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Mise bas / élevage des jeunes	0.05435	0.21739	0.38043	0.59783
	Migr. automnale	0.06579	0.19737	0.39474	0.65789
<i>Tadarida teniotis</i>	Migr. printanière	0	0	0.00224	0.00671
	Mise bas / élevage des jeunes	0	0.00185	0.00554	0.01109
	Migr. automnale	0.00224	0.00895	0.02013	0.03132

IX.2. Tableau 12 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).

Art		A	BE	CH	CR	CZ	D	DK	ES	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	PT	PL	RO	S	UK	ges.
<i>Nyctalus noctula</i>	Großer Abendsegler	46	1			31	1252		1			104	10					2	17	76	14	11	1565
<i>N. lasiopterus</i>	Riesenabendsegler								21			10	1					9					41
<i>N. leislerii</i>	Kleiner Abendsegler			1	4	3	195		15			153	58	2				273	5	10			719
<i>Nyctalus spec.</i>							2		2			1						17					22
<i>Eptesicus serotinus</i>	Breitflügelvedermaus	1				11	68		2			34	1			2			3	1			123
<i>E. isabellinus</i>	Isabellfledermaus								117									3					120
<i>E. serotinus / isabellinus</i>									98									17					115
<i>E. nilssonii</i>	Nordfledermaus	1				1	6			2	6				13		1		1	1	13		45
<i>Vespertilio murinus</i>	Zweifarbvedermaus	2	1		17	6	150					11	1		1				9	15	2		215
<i>Myotis myotis</i>	Großes Mausohr						2		2			3											7
<i>M. blythii</i>	Kleines Mausohr								6			1											7
<i>M. dasycneme</i>	Teichfledermaus						3																3
<i>M. daubentonii</i>	Wasserfledermaus						8					1						2					11
<i>M. bechsteini</i>	Bechsteinfledermaus											1											1
<i>M. nattereri</i>	Fransenfledermaus						2															1	3
<i>M. emarginatus</i>	Wimperfledermaus								1			3						1					5
<i>M. brandtii</i>	Große Bartfledermaus						2																2
<i>M. brandtii</i>	Kleine Bartfledermaus																						2
<i>M. mystacinus</i>	Bartfledermaus						3					1	1										5
<i>Myotis spec.</i>							2		3			1								4			10
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Zwergfledermaus	2	28	6	5	16	758		211			1012	0	1		15		323	5	6	1	46	2435
<i>P. nathusii</i>	Rauhautfledermaus	13	6	6	17	7	1115	2				276	35	1	23	10			16	90	5	1	1623
<i>P. pygmaeus</i>	Mückenfledermaus	4			1	2	149					176	0		1			42	1	5	18	52	451
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>		1		2			3		271			40	54					38	1	2			412
<i>P. kuhlii</i>	Weißbrandfledermaus					144			44			219	1					51		10			469
<i>Pipistrellus spec.</i>	<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		102	9	96		25			305	1		2			128	2	48		12	740
<i>Hypsugo savii</i>	Alpenfledermaus	1			137		1		50			57	28	12				56		2			344
<i>Barbastella barbastellus</i>	Mopsfledermaus						1		1			4											6
<i>Plecotus austriacus</i>	Graues Langohr	1					8																9
<i>P. auritus</i>	Braunes Langohr						7															1	8
<i>Tadarida teniotis</i>	Bulldoggfledermaus				7				36			2						39					84
<i>Miniopterus schreibersi</i>	Langflügelvedermaus								2			7						4					13
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Große Hufeisennase								1														1
<i>R. mehelyi</i>	Mehely-Hufeisennase								1														1
<i>Rhinolophus spec.</i>	Hufeisennase unbest.								1														1
<i>Chiroptera spec.</i>	<i>Fledermaus spec.</i>	1	11		60	1	77		320	1		439	8	1				120	3	15	30	9	1096
<b>gesamt:</b>		<b>81</b>	<b>49</b>	<b>15</b>	<b>494</b>	<b>87</b>	<b>3910</b>	<b>2</b>	<b>1231</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2861</b>	<b>199</b>	<b>17</b>	<b>40</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>1125</b>	<b>63</b>	<b>285</b>	<b>83</b>	<b>133</b>	<b>10712</b>

A = Österreich, BE = Belgien, CH = Schweiz, CR = Kroatien, CZ = Tschechien, D = Deutschland, DK = Dänemark, ES = Spanien, EST = Estland, FI = Finnland, FR = Frankreich, GR = Griechenland, IT = Italien, LV = Lettland, NL = Niederlande, N = Norwegen, PT = Portugal, PL = Polen, RO = Rumänien, S = Schweden, UK = Großbritannien