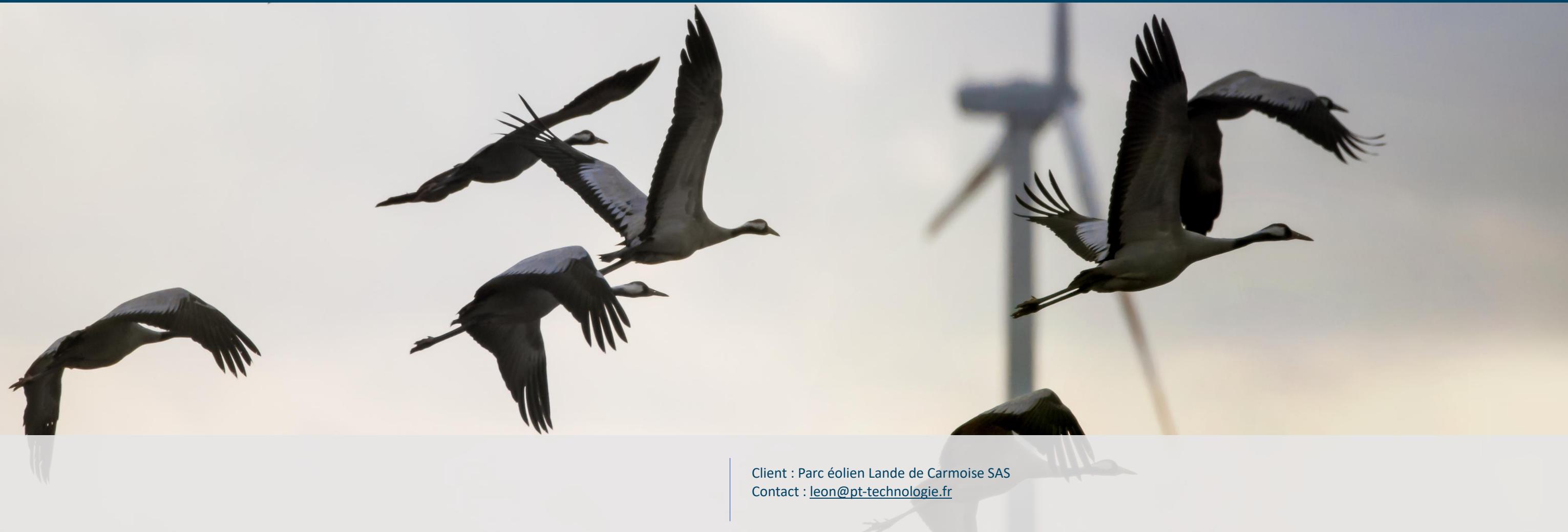


## RAPPORT DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL POST-IMPLANTATION

# SUIVI ENVIRONNEMENTAL 2023 PARC EOLIEN DE LA LANDE DE CARMOISE CÔTES-D'ARMOR (22), BRETAGNE

Référence du document : Rapport\_Enviro\_2023\_SOL\_Lande-de-Carmoise\_2024.03.25



Client : Parc éolien Lande de Carmoise SAS  
Contact : [leon@pt-technologie.fr](mailto:leon@pt-technologie.fr)

**Préambule : Ce rapport est la propriété de Sens Of Life jusqu'à validation finale des deux parties. Toute information contenue dans ce document ne peut être transmise à des tiers sans autorisation écrite de Sens Of Life.**

**Rédaction**  
**Tristan BOURHIS**  
 Chargé d'études naturalistes  
[tristan.bourhis@sensoflife.com](mailto:tristan.bourhis@sensoflife.com)

**Validation**  
**Caroline COSNARD**  
 Directrice Inter-Agences  
 +33 (0)7 69 18 46 56  
[caroline.cosnard@sensoflife.com](mailto:caroline.cosnard@sensoflife.com)

**Approbation**  
**Caroline COSNARD**  
 Directrice Inter-Agences  
 +33 (0)7 69 18 46 56  
[caroline.cosnard@sensoflife.com](mailto:caroline.cosnard@sensoflife.com)

Version	Date	Rédaction	Approbation	Commentaires
V1	01/02/2023	Tristan Bourhis	Caroline Cosnard	Rédaction initiale du rapport
V2	09/02/2023	Tristan Bourhis	Caroline Cosnard	Intégration des commentaires SOL
V3	04/03/2023	Tristan Bourhis	Caroline Cosnard	Intégration des commentaires client
V4	25/03/2023	Tristan Bourhis	Caroline Cosnard	Intégration des commentaires client

## SOMMAIRE

<b>1 Cadre général de l'étude .....</b>	<b>4</b>
1.1 Contexte réglementaire applicable aux parcs éoliens .....	4
1.2 Caractéristiques du parc éolien .....	4
1.3 Photographies du parc étudié.....	6
<b>2 Rappel des enjeux identifiés sur le site .....</b>	<b>7</b>
2.1 Zonages d'inventaires et réglementaires.....	7
2.2 Etude d'impact initiale réalisée en 2007.....	7
2.2.1 Flore et habitat.....	7
2.2.2 Avifaune .....	7
2.2.3 Chiroptères.....	7
2.2.4 Faune.....	7
2.3 Suivi environnemental post-implantation réalisé en 2016 .....	7
2.3.1 Suivi de la mortalité au sol.....	7
2.4 Suivi environnemental post-implantation réalisé en 2018 .....	7
2.4.1 Suivi acoustique des chiroptères .....	7
2.5 Suivi environnemental post-implantation réalisé en 2022 .....	8
2.5.1 Suivi de la mortalité au sol.....	8
2.5.2 Suivi acoustique des chiroptères .....	8
<b>3 Suivi de la mortalité au sol.....</b>	<b>10</b>
3.1 Protocole .....	10
3.2 Mortalité brute constatée au pied des éoliennes.....	11
3.3 Occupation du sol et surface prospectée .....	11
3.4 Test de préation .....	14
3.5 Tests du taux de détection .....	14
3.6 Estimation de la mortalité réelle.....	16
3.6.1 Mortalité réelle estimée des chiroptères sur le parc éolien .....	16
3.6.2 Mortalité réelle estimée des oiseaux sur le parc éolien .....	17
<b>4 Discussion .....</b>	<b>18</b>
4.1 Synthèse du suivi de la mortalité aviaire .....	18
4.2 Synthèse de la mortalité des chiroptères .....	18
<b>5 Conclusion et préconisations pour la suite de l'exploitation du parc .....</b>	<b>18</b>
<b>6 Annexes .....</b>	<b>20</b>
6.1 Sensibilité des oiseaux à l'éolien.....	20
6.1.1 Collision.....	20
6.1.2 Perte d'habitat .....	24
6.1.3 Effet barrière .....	25
6.2 Sensibilité des chiroptères à l'éolien.....	26
6.2.1 Généralités .....	26
6.2.2 Mortalité directe .....	27
6.2.3 Mortalité indirecte .....	27
6.3 Bibliographie .....	29

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Implantation du parc éolien de La Lande de Carmoise (22) .....	5
Carte 2 : Zones naturelles d'intérêt recensées dans un rayon de 20 kilomètres autour du parc éolien de La Lande de Carmoise (22) .....	9
Carte 3 : Surfaces théoriques prospectables au maximum et assolements, sous les quatre éoliennes du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.....	13
Figure 1 : Parc éolien de La Lande De Carmoise depuis l'éolienne E4 (éolienne E3 au premier plan).....	6
Figure 2 : Plateforme de l'éolienne E1 du parc de La Lande .....	6
Figure 3 : Plateforme et poste de livraison au niveau de l'éolienne E3 du parc de La Lande de Carmoise. ....	6
Figure 4 : Représentation du trajet de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne. ....	10
Figure 5 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler. ....	10
Figure 6 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection. ....	14
Figure 7 : Roitelet à triple bandeau .....	23
Figure 8 : Différentes méthodes de mise en évidence des éoliennes pour augmenter leur visibilité par les oiseaux .....	24
Figure 9 : Aigle royal .....	25
Figure 10 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001).....	25
Figure 11 : Description du phénomène de barotraumatisme.....	26
Graphique 1 : Surface moyenne prospectée sous chaque éolienne du parc éolien de La Lande de Carmoise entre juillet et octobre 2023.....	11
Graphique 2 : Principales espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes en France et leur statut de conservation (Dürr, 2023) .....	23
Graphique 3 : 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).....	23
Tableau 1 : Caractéristiques techniques des éoliennes de La Lande de Carmoise.....	4
Tableau 2 : Caractéristiques du parc éolien de La Lande de Carmoise .....	6
Tableau 3 : Conditions de bridage nocturne des éoliennes E1 et E4 à partir du 11/10/2023 .....	8
Tableau 4 : Comparaison des oiseaux recensés sur le parc éolien de La Lande de Carmoise lors de l'étude d'impact en 2007 et lors du suivi de la mortalité en 2016 et 2022.....	8
Tableau 5 : Conditions météorologiques observées lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de La Lande de Carmoise entre juillet et octobre 2023. ....	10
Tableau 6 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.....	12
Tableau 7 : Évaluation du biais de prédation sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.....	14
Tableau 8 : Évaluation du taux de détection des cadavres de chiroptères sous chaque éolienne du parc éolien La Lande de Carmoise en 2023. ....	14
Tableau 9 : Évaluation du taux de détection des cadavres d'oiseaux sous chaque éolienne du parc éolien La Lande de Carmoise en 2023.....	15
Tableau 10 : Synthèse des variables utilisées dans les différentes formules de calcul de la mortalité estimée, et leur valeur lors du suivi environnemental du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023 .....	16
Tableau 11 : Mortalité réelle estimée des chiroptères, selon les différentes formules, sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.....	16
Tableau 12 : Mortalité réelle estimée des oiseaux, selon les différentes formules, sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.....	17
Tableau 13 : Conditions de bridage nocturne des éoliennes E1 et E4 du parc éolien de La Lande de Carmoise à partir du 11/10/2023, afin de réduire le risque de mortalité des chiroptères. ....	18

Tableau 14 : 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).....	20
Tableau 15 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, août 2023) .....	22
Tableau 16 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016).....	27
Tableau 17 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, août 2023).....	27

## 1 CADRE GENERAL DE L'ETUDE

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 migrateurs. 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 les oiseaux 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 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.

### 1.1 Contexte réglementaire applicable aux parcs éoliens

Selon l'arrêté ICPE du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021, 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.

L'article 12 de cet arrêté stipule que :

- « *L'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Sauf cas particulier justifié et faisant l'objet d'un accord du Préfet, ce suivi doit débuter dans les 12 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation afin d'assurer un suivi sur un cycle biologique complet et continu adapté aux enjeux avifaune et chiroptères susceptibles d'être présents. Dans le cas d'une dérogation accordée par le Préfet, le suivi doit débuter au plus tard dans les 24 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation.*
- « *Ce suivi 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.*
- « *Ce suivi est renouvelé dans les 12 mois si le précédent suivi a mis en évidence un impact significatif et qu'il est nécessaire de vérifier l'efficacité des mesures correctives. A minima, le suivi est renouvelé tous les 10 ans d'exploitation de l'installation.*
- « *Le suivi mis en place par l'exploitant est conforme au protocole de suivi environnemental reconnu par le ministre chargé des installations classées.*

Ce rapport présente le suivi environnemental réalisé par Sens Of Life en 2023 afin d'évaluer de la non-significativité de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères induite par le fonctionnement du parc éolien de La Lande de Carmoise. Il inclut les résultats des inventaires sur le terrain, ainsi que les impacts et les mesures à adopter sur ce parc, au besoin, pour réduire l'incidence sur les oiseaux et les chauves-souris.

### 1.2 Caractéristiques du parc éolien

Parc éolien la Lande de Carmoise SAS est l'exploitant du parc éolien de La Lande de Carmoise, composé de 4 éoliennes.

Le parc éolien de La Lande de Carmoise est situé sur la commune de Guerlédan (22530) dans le département des Côtes-d'Armor (22), en région Bretagne. Le parc est composé de quatre éoliennes Enercon E70 d'une puissance unitaire de 2,3 MW. Ces éoliennes sont équipées d'un rotor de 70 mètres de diamètre et d'une tour de 64 mètres de hauteur, le bas de pale est donc à 29 mètres de hauteur. Le Tableau 1 indique les caractéristiques techniques des éoliennes du parc éolien de La Lande de Carmoise et la Carte 1 l'emplacement géographique de celles-ci.

Eolienne	Hauteur de mât	Hauteur en bout de pale	Diamètre du rotor	Hauteur de garde
E1	64 m	99 m	70 m	29 m
E2	64 m	99 m	70 m	29 m
E3	64 m	99 m	70 m	29 m
E4	64 m	99 m	70 m	29 m

Tableau 1 : Caractéristiques techniques des éoliennes de La Lande de Carmoise

Le parc éolien de La Lande de Carmoise est implanté sur un plateau dont l'aire d'étude immédiate culmine à 185 mètres d'altitude. Le paysage bocager est dominé par des parcelles agricoles exploitées de manière intensive. Le parc se trouve à proximité du ruisseau de Saint-Quidic sur son versant sud, la ripisylve arborée associée et un ruisseau adjacent séparent le parc entre les éoliennes E2 et E3. Ainsi, des haies arborées se trouvent à proximité immédiate des éoliennes E2 et E3. Les cultures présentes sont des poacées (blé, orge, maïs) et des brassicacées (colza).

<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.

**Parc éolien de La  
Lande De Carmoise****Approche scalaire du parc éolien de La Lande de Carmoise  
Côtes-d'Armor (22), Bretagne**

Sens Of Life 2023. Fond de carte : Google satellite.

Carte 1 : Implantation du parc éolien de La Lande de Carmoise (22)

Les informations générales relatives au parc sont présentées ci-dessous.

<b>Nom du parc éolien</b>	La Lande de Carmoise
<b>Exploitant</b>	Parc éolien la Lande de Carmoise SAS
<b>Région</b>	Bretagne
<b>Département</b>	Côtes-d'Armor
<b>Commune(s)</b>	Guerlédan (22530)
<b>Date de mise en service</b>	24/01/2011
<b>Nombre et modèle d'éoliennes</b>	4 éoliennes Enercon E70
<b>Date de réalisation de l'état initial pré-implantation</b>	05/2007
<b>Précédents suivis environnementaux</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un premier suivi environnemental (suivi de mortalité au sol) a été conduit AEPE Gingko en 2016-2017</li> <li>- Un second suivi environnemental (suivi d'activité chiroptérologique au sol) a été conduit par AEPE Gingko en 2018</li> <li>- Le suivi environnemental de la dixième année de mise en service du parc a été conduit par AEPE Gingko en 2022 (suivi de mortalité au sol et suivi acoustique des chiroptères en nacelle)</li> </ul>
<b>Mesures environnementales en place (type chiros ou SDA)</b>	<p>Un bridage, défini par la DREAL Bretagne<sup>2</sup>, en faveur des chiroptères a été implanté le 25/05/2023 selon les paramètres suivants pour les 4 éoliennes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entre 30 min avant le coucher du soleil jusqu'à 30 min après le lever du soleil</li> <li>- Du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre</li> <li>- Vitesse de vent inférieure ou égale à <math>7 \text{ m.s}^{-1}</math></li> <li>- Température supérieure ou égale à <math>12^\circ\text{C}</math></li> <li>- Pluviométrie inférieure ou égale à <math>0,83 \text{ mm/min}</math></li> </ul> <p>Un allégement du bridage sur les éoliennes E1 et E4 a été mis en place à partir du 11/10/2023 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En mars et avril, du coucher du soleil jusqu'à 7 heures après, pour une vitesse de vent inférieure ou égale à <math>5 \text{ m.s}^{-1}</math> et une température supérieure ou égale à <math>12^\circ\text{C}</math>,</li> <li>- En mai, du coucher du soleil jusqu'à 7 heures après, pour une vitesse de vent inférieure ou égale à <math>6,5 \text{ m.s}^{-1}</math> et une température supérieure ou égale à <math>12^\circ\text{C}</math>,</li> <li>- En juin et octobre, du coucher du soleil jusqu'à 6 heures après, pour une vitesse de vent inférieure ou égale à <math>6 \text{ m.s}^{-1}</math> et une température supérieure ou égale à <math>13^\circ\text{C}</math>,</li> <li>- En juillet et septembre, du coucher du soleil jusqu'à 6 heures après, pour une vitesse de vent inférieure ou égale à <math>6 \text{ m.s}^{-1}</math> et une température supérieure ou égale à <math>14^\circ\text{C}</math>,</li> <li>- En août, du coucher du soleil jusqu'à 8 heures après, pour une vitesse de vent inférieure ou égale à <math>6 \text{ m.s}^{-1}</math> et une température supérieure ou égale à <math>15^\circ\text{C}</math>,</li> <li>- De mars à octobre, pour une pluviométrie inférieure ou égale à <math>0,83 \text{ mm/min}</math></li> </ul>
<b>Objet du suivi réalisé en 2023</b>	Suivi de vérification de la non-significativité de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères
<b>Nature du suivi réalisé en 2023</b>	Suivi de mortalité au sol
<b>Protocole de référence</b>	Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres 2018, approuvé par le Ministère
<b>Information complémentaire</b>	...

Tableau 2 : Caractéristiques du parc éolien de La Lande de Carmoise

<sup>2</sup> DREAL Bretagne : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement de Bretagne.

### 1.3 Photographies du parc étudié



Figure 1 : Parc éolien de La Lande De Carmoise depuis l'éolienne E4 (éolienne E3 au premier plan).



Figure 3 : Plateforme de l'éolienne E1 du parc de La Lande de Carmoise.



Figure 2 : Plateforme et poste de livraison au niveau de l'éolienne E3 du parc de La Lande de Carmoise.

## 2 RAPPEL DES ENJEUX IDENTIFIES SUR LE SITE

L'objectif de cette partie est de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées dans le cadre de l'étude d'impact de 2007 lors des inventaires réalisés par le Groupe d'Etudes Ornithologiques des Côtes d'Armor (GEOCA) et par la Société pour l'Etude et la Protection de la Nature en Bretagne (SEPNB, Bretagne Vivante) afin de les comparer avec les résultats de ce suivi post-implantation en 2023.

### 2.1 Zonages d'inventaires et réglementaires

Dans l'aire d'étude rapprochée (5 km autour du parc éolien), 3 zones naturelles d'intérêt ont été recensées :

- 1 zone Natura 2000 inscrite au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 1 Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),
- 1 Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type II (ZNIEFF II).

Dans l'aire d'étude éloignée (20 km autour du parc éolien), 30 autres zones naturelles d'intérêt ont été recensées :

- 2 zones Natura 2000 inscrites au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 24 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).

La Carte 2 permet de visualiser ces zones naturelles par rapport au parc éolien de La Lande de Carmoise.

### 2.2 Etude d'impact initiale réalisée en 2007

#### 2.2.1 Flore et habitat

La zone d'implantation est caractérisée par de grandes cultures agricoles cultivées de manière intensive, tels que le blé, l'orge et le colza, la flore est donc peu diversifiée. Aucun intérêt floristique n'a été relevé sur le site d'étude. Le parc ne présentait pas de risque de destruction d'habitat et d'espèce sensible ou de formation végétale d'intérêt écologique. Aucun impact particulier n'a été retenu sur la flore.

#### 2.2.2 Avifaune

Le GEOCA et la SEPNB ont pris en charge l'étude de l'avifaune. Il avait été conclu que la zone ne renfermait pas « d'habitats permettant d'accueillir une faune diversifiée. Seul le vallon de Saint-Quidic situé en contrebas peut présenter un intérêt, car il constitue un corridor vert dans ces espaces agricoles ouverts. ». La majorité des espèces recensées était assez commune à très commune en Bretagne. De plus, le site ne se trouvant pas sur un axe migratoire important, l'impact potentiel sur l'avifaune nicheuse et migratrice avait été considéré comme réduit. L'avifaune migratrice, hivernante et nicheuse a été recensée, au total, 25 espèces ont été répertoriées.

Cinq espèces présentent une forte valeur patrimoniale : le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*), l'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*), le **Tarier pâtre** (*Saxicola rubicola*) et le **Vanneau huppé** (*Vanellus vanellus*).

#### 2.2.3 Chiroptères

Lors de l'étude d'impact une petite colonie de mise-bas de **Petit Rhinolophe** (*Rhinolophus hipposideros*) a été signalée à huit kilomètres sur la commune de Saint-Aignan (56480), ainsi que des gîtes d'hibernation d'une centaine de **Grand Rhinolophe** (*Rhinolophus ferrumequinum*) à proximité immédiate du lac de Guerlédan sur les communes de Saint-Gelven (22570) et Caurel (22530). Cependant, il avait conclu qu'il était peu probable que le site

d'implantation du parc joue un rôle dans le cycle biologique de ces espèces. Concernant, les autres espèces de chiroptères, le site apparaissait peu attractif au vu du contexte paysager, à l'exception des rives boisées du ruisseau de Saint-Quidic.

Aucun suivi en altitude n'avait été réalisé.

#### 2.2.4 Faune

Aucune espèce autre que les oiseaux et les chiroptères n'avait été citée lors de l'étude d'impact, il avait été conclu que les habitats morcelés du site d'implantation offraient des potentialités d'accueil peu importantes pour la faune. Cependant, il avait été préconisé de préserver la zone formée par l'affluent du ruisseau de Saint-Quidic et la végétation rattachée, afin de maintenir un espace fermé pouvant jouer le rôle de zone refuge pour la faune locale.

### 2.3 Suivi environnemental post-implantation réalisé en 2016

#### 2.3.1 Suivi de la mortalité au sol

Entre mi-avril et fin octobre 2016, vingt-huit suivis de la mortalité au sol ont été effectués, quatre passages supplémentaires ayant été ajoutés de mi-mars à mi-avril 2017 afin de couvrir la totalité du cycle de migration prénuptiale des oiseaux. Au cours de ces suivis, six cadavres d'oiseaux et six cadavres de chiroptères avaient été retrouvés :

- Deux **Martinets noirs** (*Apus apus*),
- Deux **Alouettes des champs** (*Alauda arvensis*),
- Une **Hirondelle de fenêtre** (*Delichon urbicum*)
- Une **Hirondelle rustique** (*Hirundo rustica*)
- Quatre **Pipistrelles de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*),
- Deux **Pipistrelles** non identifiées.

La mortalité réelle estimée variait entre 2,5 et 22,7 oiseaux tués par éolienne et par an et entre 3,4 et 22,7 chauves-souris tuées par éolienne et par an sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2016-2017. Cette mortalité avait été considérée comme très faible sur l'ensemble du parc éolien.

### 2.4 Suivi environnemental post-implantation réalisé en 2018

#### 2.4.1 Suivi acoustique des chiroptères

Le suivi acoustique des chiroptères a été effectué grâce à des enregistreurs ultrasonore Batlogger A+ posés au pied de chaque éolienne durant 9 nuits complètes d'écoute, réparties entre avril et octobre 2018. Au cours de cette étude, douze espèces de chiroptères ont été identifiées :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) ;
- La **Barbastelle d'Europe** (*Barbastella barbastellus*) ;
- L'**Oreillard gris** (*Plecotus austriacus*) ;
- Le **Petit Rhinolophe** (*Rhinolophus hipposideros*) ;
- Le **Murin à oreilles échancrées** (*Myotis emarginatus*) ;
- Le **Murin de Bechstein** (*Myotis bechsteinii*) ;
- Le **Murin de Daubenton** (*Myotis daubentonii*) ;

- Le Murin de Naterrer (*Myotis nattereri*).

## 2.5 Suivi environnemental post-implantation réalisé en 2022

### 2.5.1 Suivi de la mortalité au sol

Entre mi-mai et fin octobre 2022, vingt-deux suivis de la mortalité au sol ont été effectués, au cours desquels quatre cadavres d'oiseaux et six cadavres de chiroptères ont été retrouvés :

- Un **Martinet noir** (*Apus apus*),
- Une **Alouette des champs** (*Alauda arvensis*),
- Une **Alouette lulu** (*Lullula arborea*),
- Une **Hirondelle de fenêtre** (*Delichon urbicum*)
- Deux **Pipistrelles communes** (*Pipistrellus pipistrellus*),
- Une **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*),
- Une **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*),
- Une **Pipistrelle indéterminée**,
- Un chiroptère indéterminé.

La mortalité réelle estimée variait entre 8,5 et 13,1 oiseaux tués par éolienne et par an et entre 14,02 et 20,9 chauves-souris tuées par éolienne et par an sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2022. Cette mortalité avait été considéré comme faible pour les oiseaux, mais concernant les chiroptères, la mise en place d'un bridage nocturne avait été préconisé selon les paramètres suivants :

	Mars	Avril	May	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre
<b>Vent</b>	<5 m/s	<5 m/s	<6,5 m/s	<6 m/s	<6 m/s	<6 m/s	<6 m/s	<6 m/s
<b>T°C</b>	>12°C	>12°C	>12°C	>13°C	>14°C	>15°C	>14°C	>13°C
<b>Heure après CS</b>	"+0 à +7 heures"	"+0 à +7 heures"	"+0 à +7 heures"	"+0 à +6 heures"	"+0 à +6 heures"	"+0 à +8 heures"	"+0 à +6 heures"	"+0 à +6 heures"
<b>% couverture activité 2022</b>	100%	100%	96%	100%	88%	50%	100%	86%
<b>Pluviométrie</b>	≤ 5 mm/heure (ou ≤0,83 mm/min)							

Tableau 3 : Conditions de bridage nocturne des éoliennes E1 et E4 à partir du 11/10/2023

Afin de vérifier l'adéquation des paramètres de bridage précédemment proposés, un renouvellement de suivi d'écoute en nacelle a été établi en 2023, combiné à un suivi de mortalité au sol.

Dans l'attente des résultats des écoutes chiroptérologiques, un bridage préventif aux modalités plus restrictives, définies par la DREAL Bretagne, a été mis en place en 2023 sur l'ensemble du parc éolien selon les paramètres généraux suivants :

- Entre 30 minutes avant le coucher du soleil jusqu'à 30 minutes après le lever du soleil,
- Du 1er avril au 31 octobre,
- Vitesse de vent inférieure ou égale à 7 m.s<sup>-1</sup>,
- Température supérieure ou égale à 12°C,
- Pluviométrie inférieure ou égale à 0,83 mm/min.

Ce bridage a été mis en place à partir du 25/05/2023, puis un allègement a été instauré sur les éoliennes E1 et E4 à partir du 11/10/2023 selon les recommandations du Tableau 3 suite aux premiers résultats des écoutes 2023.

### 2.5.2 Suivi acoustique des chiroptères

Le suivi acoustique des chiroptères a été effectué grâce à un enregistreur ultrasonore Batlogger WE X mis en place du 1<sup>er</sup> avril au 1<sup>er</sup> novembre 2022 en nacelle de l'éolienne E1. Au cours de cette étude, cinq espèces de chiroptères ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représentait 68,2 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représentait 24,8 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représentait 4,2 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représentait 1,4 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représentait 0,5 % des contacts ;
- Le groupe indéterminé Pipistrelle commune/Pipistrelle de Nathusius représentait 0,9 % des contacts.

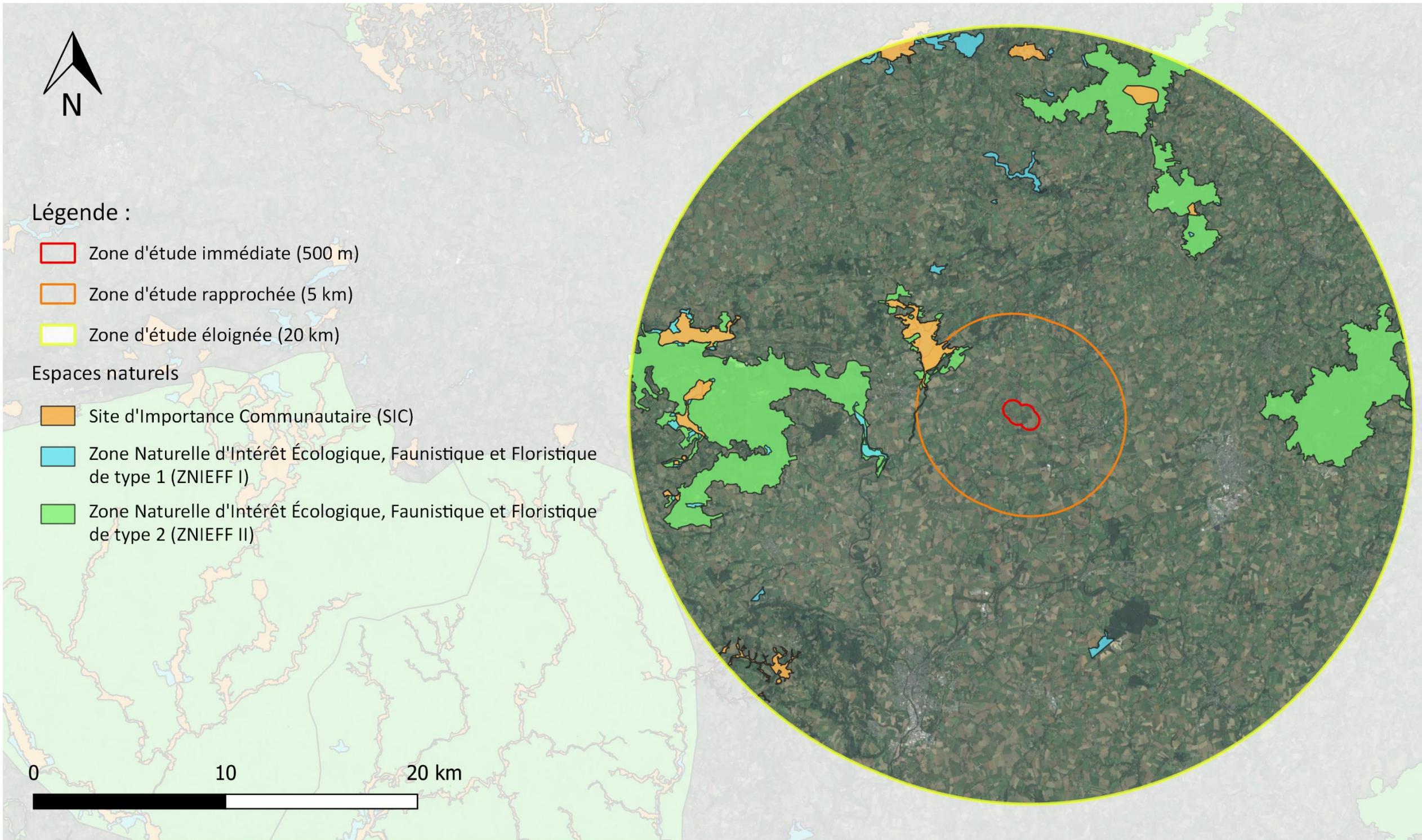
En 2022, plus de 95 % de l'activité chiroptérologique a été caractérisée par les paramètres suivants :

- Pour des vitesses de vent inférieures à 7 m.s<sup>-1</sup>,
- Pour des températures supérieures à 12°C.

La majorité des contacts ont eu lieu en début de nuit (dans les deux premières heures suivant le coucher du soleil).

Espèce	Présence de l'espèce lors de l'étude d'impact	Cas de mortalité recensés en 2016	Cas de mortalité recensés en 2022
Alouette des champs ( <i>Alauda arvensis</i> )	Oui	2	1
Alouette lulu ( <i>Lullula arborea</i> )	Non	-	1
Hirondelle de fenêtre ( <i>Delichon urbicum</i> )	Non	1	1
Hirondelle rustique ( <i>Hirundo rustica</i> )	Non	1	-
Martinet noir ( <i>Apus apus</i> )	Non	2	1
Pipistrelle commune ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> )	-	-	2
Pipistrelle de Kuhl ( <i>Pipistrellus kuhlii</i> )	-	4	1
Noctule commune ( <i>Nyctalus noctula</i> )	-	-	1
Pipistrelle indéterminée ( <i>Pipistrellus sp.</i> )	-	2	1
Chiroptère indéterminé	-	-	1
<b>Total des cadavres retrouvés</b>		<b>12</b>	<b>10</b>

Tableau 4 : Comparaison des oiseaux recensés sur le parc éolien de La Lande de Carmoise lors de l'étude d'impact en 2007 et lors du suivi de la mortalité en 2016 et 2022.

**Parc éolien de La  
Lande De Carmoise****Espaces naturels recensés dans un périmètre de 20 km  
autour du parc éolien de La Lande de Carmoise  
Côtes-d'Armor (22), Bretagne**

Sens Of Life 2023. Fond de carte : Google satellite.

Carte 2 : Zones naturelles d'intérêt recensées dans un rayon de 20 kilomètres autour du parc éolien de La Lande de Carmoise (22).

### 3 SUIVI DE LA MORTALITE AU SOL

Cette étude a été réalisée dans le but de caractériser la mortalité induite par le fonctionnement des éoliennes étudiées sur les chiroptères et les oiseaux et de s'assurer de la non-significativité de l'impact du parc éolien de La Lande de Carmoise sur ces deux taxons.

Un bridage sur seuils de l'ensemble des éoliennes, afin de préserver les populations de chiroptères, a été mis en place en 2023 selon les paramètres suivants :

- Entre 30 min avant le coucher du soleil jusqu'à 30 min après le lever du soleil,
- Du 1er avril au 31 octobre,
- Vitesse de vent inférieure ou égale à  $7 \text{ m.s}^{-1}$ ,
- Température supérieure ou égale à  $12^\circ\text{C}$ ,
- Pluviométrie inférieure ou égale à  $0,83 \text{ mm/min}$ .

Un allègement de ce bridage sur seuils sur les éoliennes E1 et E4 a eu lieu en fin de saison, suite aux premiers résultats des écoutes en nacelle réalisées en 2023.

#### 3.1 Protocole

Le suivi de la mortalité s'est déroulé sur 17 prospections, réparties entre les semaines 27 et 43 (juillet à fin octobre).

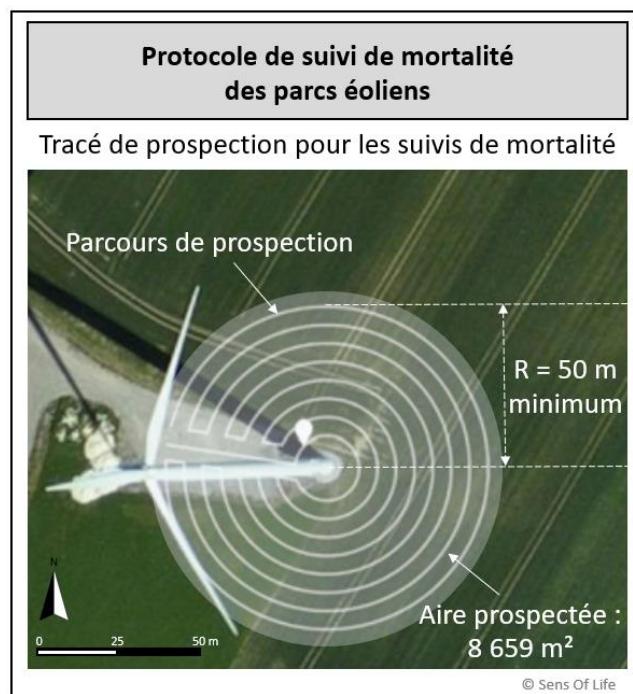


Figure 4 : Représentation du trajet de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne.

Ce protocole consiste à prospecter la surface sous l'éolienne en se guidant à l'aide d'une corde qui est raccourcie à chaque retour sur la piste d'accès à l'éolienne. Au premier passage, toute la longueur de la corde fixée à l'éolienne est déroulée (60 mètres, soit 25 mètres de plus que la longueur des pales). L'observateur part de la plateforme en parcourant un cercle autour de l'éolienne et en recherchant les cadavres d'oiseaux et de chauves-souris de chaque côté de son passage (2,5 mètres de chaque côté). De retour sur la piste d'accès, 5 mètres de corde sont rembobinés et l'observateur décrit, en sens inverse, un autre cercle autour de l'éolienne. L'opération est répétée jusqu'à ce que l'observateur se trouve au pied de l'éolienne. Ainsi, pour

chaque éolienne, l'observateur parcourt 12 cercles (60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10 et 5 mètres) soit 2 450 mètres de transect, à une vitesse approximative de 3 km/h (Figure 4). L'opération nécessite 50 minutes de parcours, auxquelles s'ajoutent 10 minutes de relevés de cadavres. La surface prospectée maximale est de  $12\ 272 \text{ m}^2$  ( $S = \pi \cdot R^2$ , avec  $R = 62,5$  mètres, dont 50 mètres de corde et 2,5 mètres de prospection).

Le nombre de cadavres retrouvés sous les éoliennes est directement lié au nombre de prospections réalisées (Marx, 2017) et leur détectabilité dépend de :

- La nature des individus (taille et poids) ;
- Du protocole de recherche implémenté, avec une détectabilité maximale avec des prospections au-delà de 50 mètres de rayon ;
- De la visibilité du terrain prospecté (couverture végétale, relief...) ;
- De la durée des suivis (moyenne de 25 semaines/an en France) ;
- De la fréquence de prospection (taux de préddation des cadavres) ;
- De la longueur des pales (cadavres au-delà du rayon de recherche).

Les conditions météorologiques observées lors des suivis de mortalité sur le parc de La Lande de Carmoise pouvant influencer la détectabilité ont été détaillées dans le tableau suivant :

N° de suivi	Date du suivi	Météo	Température (°C)	Vitesse du vent (km/h)	Pluie
1	07/07/2023	Ensoleillé	24°C	15	Non
2	11/07/2023	Nuageux	20°C	26	Non
3	19/07/2023	Nuageux	18°C	17	Non
4	24/07/2023	Nuageux	20°C	15	Non
5	31/07/2023	Nuageux / Pluie	21°C	28	Oui
6	09/08/2023	Ensoleillé	26°C	6	Non
7	16/08/2023	Ensoleillé	22°C	9	Non
8	21/08/2023	Ensoleillé	26°C	6	Non
9	01/09/2023	Nuageux	20°C	13	Non
10	05/09/2023	Ensoleillé	26°C	6	Non
11	13/09/2023	Nuageux	21°C	13	Non
12	20/09/2023	Nuageux / Pluie	20°C	44	Oui
13	28/09/2023	Nuageux	19°C	19	Non
14	04/10/2023	Ensoleillé	18°C	9	Non
15	11/10/2023	Ensoleillé	17°C	12	Non
16	18/10/2023	Nuageux / Bruine	18°C	43	Oui
17	23/10/2023	Nuageux	14°C	11	Non

Tableau 5 : Conditions météorologiques observées lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de La Lande de Carmoise entre juillet et octobre 2023.

Les cadavres ont été systématiquement retirés du site, que l'identification sur place soit possible ou non. L'identification des chauves-souris a été réalisée par analyse morphologique de la dentition des cadavres, après qu'ils ont été conservés congelés (Figure 5). L'ouvrage d'Arthur & Lemaire, 2009 a été utilisé comme référence.

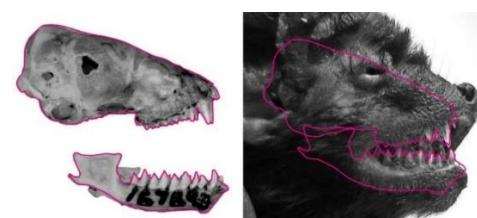


Figure 5 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler.

L'identification des oiseaux a été réalisée à partir du plumage, de la taille du squelette et de la forme des pattes et du bec, en se référant aux ouvrages de Svensson *et al.* (2015), de Cieślak et Dul (2006) et aux sites Internet :

- <https://www.skullsite.com/>
- <https://sketchfab.com/laboratorinatura/collections/aves?cursor=48>

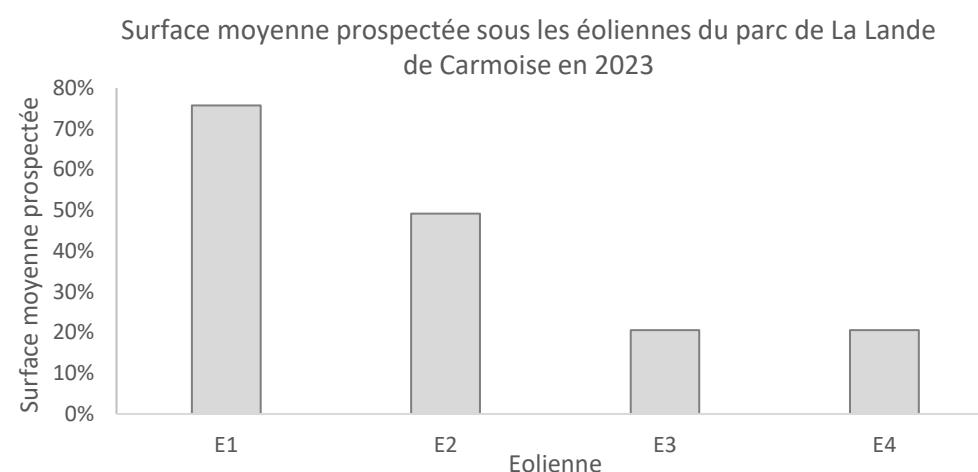
### 3.2 Mortalité brute constatée au pied des éoliennes

Le suivi de mortalité du parc éolien de La Lande de Carmoise est basé sur un passage hebdomadaire entre juillet et octobre 2023, soit une pression d'échantillonnage relativement importante.

**A la suite de ces prospections, aucun cadavre n'a été découvert sur le parc de La Lande de Carmoise.**

### 3.3 Occupation du sol et surface prospectée

La couverture végétale au moment des recherches de cadavres, ainsi que la surface réellement prospectée, sont relevées à chaque passage. Cette surface réellement prospectée peut en effet être inférieure à la surface théorique maximale, à cause des obstacles comme des haies, des grillages... ou par un souci de préserver l'intégralité des cultures en place. Dans la mesure du possible, les dates des suivis sont programmées lorsque la plupart des cultures ont déjà été moissonnées. La Carte 3 montre un aperçu des zones maximales prospectables au sein des surfaces délimitées pour la recherche de cadavres sur le parc éolien.



*Graphique 1 : Surface moyenne prospectée sous chaque éolienne du parc éolien de La Lande de Carmoise entre juillet et octobre 2023.*

Jusqu'à mi-juillet pour E1 et mi-août pour E2, certaines cultures étaient trop hautes pour être prospectées avec efficacité et sans être abîmées donc certaines surfaces n'ont pas pu être prospectées entièrement. Concernant les éoliennes E3 et E4, les cultures sous ces éoliennes, principalement représentées par du maïs, ont réduit très fortement les surfaces échantillonnable. De plus, une maintenance le 19/07/2023 sous l'éolienne E4, et un fort orage en fin de suivi le 23/10/2023, l'éolienne E1 restant à étudier, ont empêché la prospection sous les éoliennes concernées.

La couverture végétale sous les éoliennes de La Lande de Carmoise étant très variable, la surface moyenne prospectée a été calculée sur l'année de recherche pour estimer ce biais (Tableau 6). Les éoliennes ont été prospectées entre 21 % (éoliennes E3 et E4 sous lesquelles étaient cultivés du maïs et un peu de blé) et 76 % (éolienne E1 sous laquelle était cultivé du blé) sur l'ensemble du suivi de mortalité, soit en moyenne 42 % sur le parc éolien de La Lande de Carmoise, **le biais de surface prospectée est donc fort**.

Pour le calcul du coefficient de correction surfacique A, Arnett *et al.* proposent en 2005 de considérer le nombre de cadavres découverts dans chaque cercle concentrique espacé de 10 mètres prospecté autour de l'éolienne et la surface réellement prospectée de chacun de ces cercles. La LPO Drôme a ensuite simplifié cette formule en 2010 en éliminant la variabilité de la détectabilité des cadavres par cercle concentrique.

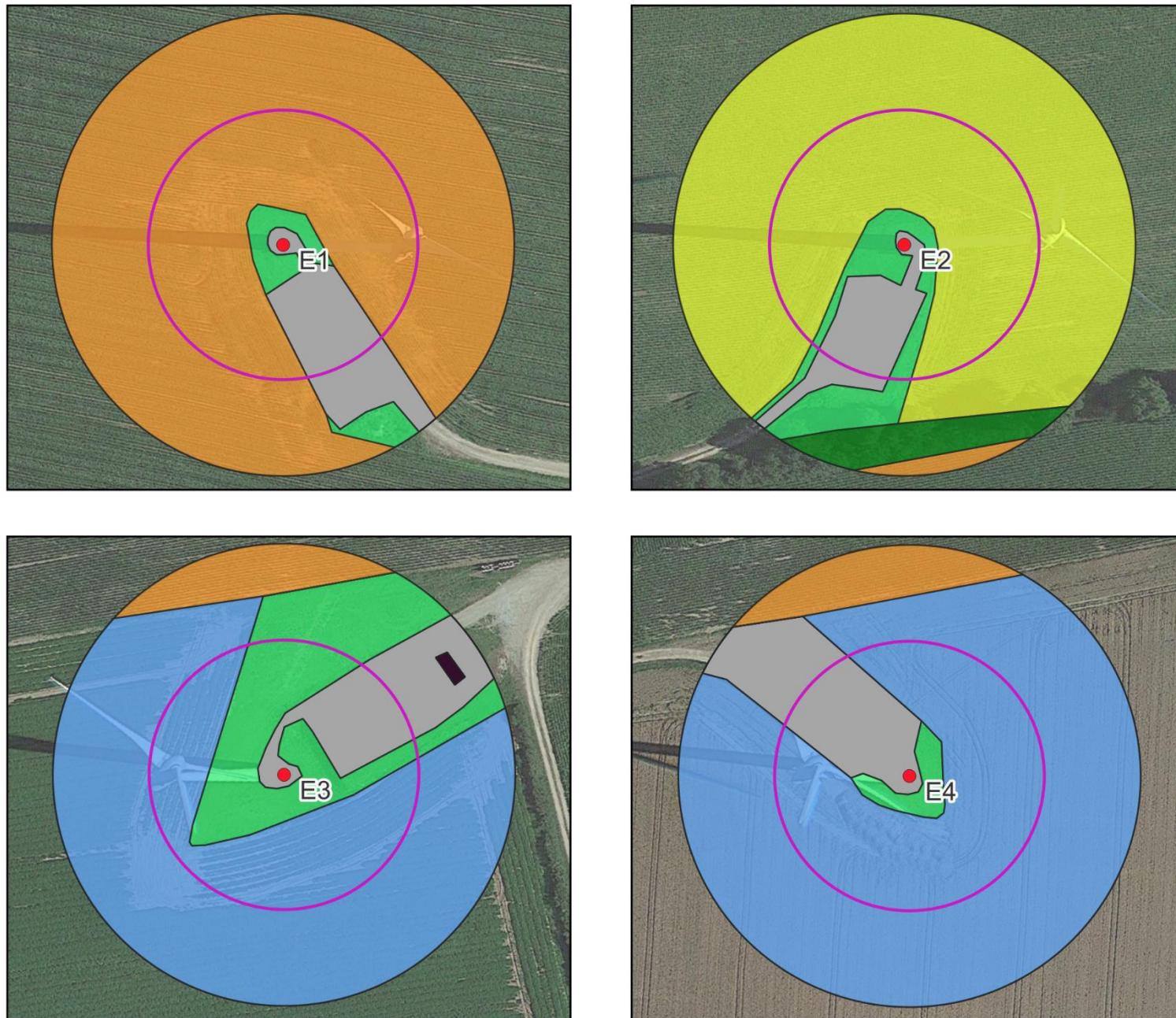
La formule utilisée dans ce rapport est donc la suivante :  $A = \frac{\sum_1^6 C_x / S_x}{\sum_1^6 C_x}$   
 avec  $C_x$  le nombre de cadavres recensés dans le cercle concentrique x,  
 $S_x$  la proportion de surface réellement prospectée du cercle concentrique x.

Eolienne et assolement		E1		E2		E3		E4		Observateur
Date de prospection	Total cadavres	Blé (puis repousse Brassicacées)	Cadavres retrouvés	Colza (puis repousse Brassicacées)	Cadavres retrouvés	Mélange maïs/ blé	Cadavres retrouvés	Mélange maïs / blé	Cadavres retrouvés	
07/07/2023	-	9%	-	6%	-	10%	-	15%	-	T.Bourhis
11/07/2023	-	9%	-	6%	-	10%	-	15%	-	T.Bourhis
19/07/2023	-	9%	-	6%	-	10%	-	0%	-	T.Bourhis
24/07/2023	-	97%	-	6%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
31/07/2023	-	97%	-	6%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
09/08/2023	-	97%	-	6%	-	20%	-	20%	-	C.Cosnard
16/08/2023	-	97%	-	95%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
21/08/2023	-	97%	-	95%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
01/09/2023	-	97%	-	95%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
05/09/2023	-	97%	-	95%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
13/09/2023	-	97%	-	75%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
20/09/2023	-	97%	-	50%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
28/09/2023	-	97%	-	35%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
04/10/2023	-	100%	-	35%	-	20%	-	20%	-	T.Bourhis
11/10/2023	-	100%	-	35%	-	20%	-	20%	-	L.Billon
18/10/2023	-	90%	-	95%	-	40%	-	40%	-	T.Bourhis
23/10/2023	-	0%	-	95%	-	40%	-	40%	-	C.Cosnard
Somme des cadavres / Surface moyenne prospectée	0	75,7 %	0	49,2 %	0	20,6 %	0	20,6 %	0	
Coefficient A		1,32		2,03		4,86		4,86		

Tableau 6 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.

**Parc éolien de La Lande  
De Carmoise**

**Surfaces prospectées sous les éoliennes**  
**Parc éolien de La Lande de Carmoise**  
**Côtes-d'Armor (22), Bretagne**



Sens Of Life 2023. Fond de carte : Google satellite.

*Carte 3 : Surfaces théoriques prospectables au maximum et assements, sous les quatre éoliennes du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.*



**Légende :**

- Localisation de l'éolienne
- Zone de prospection (60 m)
- Aire de survol des pales
- Poste de Livraison (PDL)
- Plateforme et voies d'accès

**Asselement**

- Culture de blé
- Culture de colza
- Culture de maïs
- Friche / Zone enherbée
- Haie arbustive / Verger

0 60 120 m

### 3.4 Test de préation

Les cadavres des oiseaux et chauves-souris tombés au sol sont consommés par divers prédateurs, tels que des renards, corneilles, sangliers, guêpes... Leur disparition est susceptible d'affecter l'évaluation de la mortalité induite par les éoliennes. Le taux de préation dépend de la couverture au sol et de la proximité des éoliennes à des éléments du réseau écologique attrant potentiellement des prédateurs. Pour évaluer ce biais, le taux de préation des cadavres doit être évalué sous la moitié des éoliennes du parc minimum, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (DREAL, 2015 ; DREAL, 2018).

Dans le cadre de ce suivi environnemental en 2023, trois cadavres (cuisses de poulet) ont été déposés sous les éoliennes E1 et E2 le 30/08/2023 et une deuxième série de test a été réalisée sous les éoliennes E1 et E2 le 04/10/2023. Leur recherche a été menée le lendemain J+1, puis à J+2, J+6, J+9 et J+12, donc pendant deux semaines s'il y avait persistance. La disparition a été considérée complète au moment où l'observateur estimait que les restes ne permettaient pas de repérer les individus en dehors d'une connaissance précise de leur localisation.

A partir de ces données, différents paramètres ont été calculés :

➤ Le temps de séjour moyen d'un cadavre :  $t_m = \frac{\sum_i^n t_i}{n}$

$t_m$  = temps de séjour moyen d'un cadavre

$t_i$  = temps de persistance d'un cadavre

$n$  = nombre de cadavres utilisés

➤ Le taux de persistance des cadavres :  $S = \frac{n_{nuit}}{n}$

$S$  = taux de persistance des cadavres

$n_{nuit}$  = nombre de cadavres persistant après un passage

$n$  = nombre de cadavres utilisés

Eoliennes	J0	J+1	J+2	J+6	J+9	J+12	Temps de séjour moyen		Taux de persistance moyen à J6
							Par éolienne	Par test	
Test n°1 J0 le 30/08/23	E1	3	3	1	0	0	2,33	2,75	0 %
	E2	3	3	2	0	0	3,17		
Test n°2 J0 le 04/10/23	E1	3	3	2	0	0	3,17	4,33	33 %
	E2	3	3	2	2	0	5,50		
Moyenne des tests							3,54		17 %

Tableau 7 : Évaluation du biais de préation sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.

Sur le parc éolien de La Lande de Carmoise, le temps de séjour moyen d'un cadavre est estimé à 3,54 jours et le taux de persistance au sixième jour est estimé à 17 % (Tableau 7). Ce temps de séjour correspond plutôt bien aux valeurs habituellement retrouvées sur les parcs éoliens. Etant donné que l'intervalle moyen entre deux prospections est de 6,75 jours, une chauve-souris ou un oiseau, tué durant les premières nuits suivant une recherche, aura une faible probabilité d'être retrouvé lors de la recherche suivante. **Le biais de préation est élevé.**

### 3.5 Tests du taux de détection

L'efficacité de l'observateur à retrouver des cadavres de chauves-souris et d'oiseaux au sol, parmi la végétation et divers artefacts (bouses et crottins, cailloux, fragments végétaux...), doit être testée pour évaluer le ratio entre le nombre de cadavres réellement présents et ceux qui sont effectivement retrouvés, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (document révisé en 2018). Le choix d'utiliser des leurres ou des vrais cadavres ne semble pas influencer le test (Jones *et al.*, 2009). Cependant, l'utilisation de leurres artificiels permet de s'affranchir d'une éventuelle altération de la pression de préation.

Un premier chargé d'étude a ainsi déposé 5 leurres d'oiseaux et 10 leurres de chauves-souris (Figure 6), soit 15 leurres au total, dans les zones où la prospection était possible, en variant la distance au mât de l'éolienne et la couverture végétale. Un second chargé d'études a ensuite collecté les leurres au cours des passages dédiés aux suivis de mortalité, en suivant le protocole décrit dans le début du paragraphe.

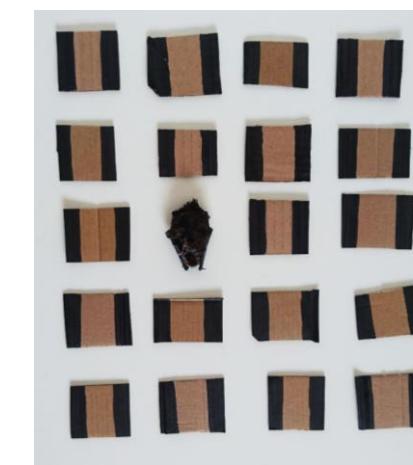


Figure 6 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection.

Ce test a été réalisé deux fois durant l'année 2023, d'abord le 13/09/2023 sous les éoliennes E1 et E2, puis le 18/10/2023 sous les éoliennes E1 et E2, afin d'obtenir des résultats précis et correspondant à l'efficacité sur différentes couvertures de sol (terre, semis, terrain après récolte...). Cette approche prend en compte d'éventuelles variations de détection en fonction de la couverture du sol et du contexte sous chacune des éoliennes.

CHIROPTERES	Test n°1 le 13/09/2023			Test n°2 le 18/10/2023			Efficacité moyenne
	Eolienne	Leurres déposés	Leurres trouvés	Efficacité 1	Leurres déposés	Leurres trouvés	
E1	10	9	90 %	10	8	80 %	85 %
E2	10	7	70 %	10	7	70 %	70 %
Parc	20	16	80 %	20	15	75 %	78 %

Tableau 8 : Évaluation du taux de détection des cadavres de chiroptères sous chaque éolienne du parc éolien La Lande de Carmoise en 2023.

OISEAUX	Test n°1 le 13/09/2023			Test n°2 le 18/10/2023			Efficacité moyenne
	Eolienne	Leurres déposés	Leurres trouvés	Efficacité 1	Leurres déposés	Leurres trouvés	
E1	5	5	100 %	5	5	100 %	100 %
E2	5	5	100 %	5	5	100 %	100 %
Parc	10	10	100 %	10	10	100 %	100 %

Tableau 9 : Évaluation du taux de détection des cadavres d'oiseaux sous chaque éolienne du parc éolien La Lande de Carmoise en 2023.

A partir de ces données, le taux de détection a été calculé à chaque passage :  $D = \frac{R}{T}$

D = taux de détection pour le passage t sous l'éolienne Ex

R = nombre de leurres retrouvés lors du passage t sous l'éolienne Ex

T = nombre total de leurres dispersés lors du passage t sous l'éolienne Ex

Sur le parc éolien de La Lande de Carmoise, le taux de détection sous les éoliennes varie de 70 % à 100 %, avec une détection moyenne de 100 % pour les oiseaux et de 78 % pour les chiroptères, sur l'ensemble du parc éolien. **Le biais d'observateur est donc faible pour les oiseaux et pour les chiroptères.**

### 3.6 Estimation de la mortalité réelle

Plusieurs formules ont été publiées dans la littérature depuis 1992, permettant d'estimer la mortalité réelle des oiseaux et des chauves-souris sur un parc éolien, à partir de la mortalité brute constatée au pied des éoliennes et en prenant en compte les biais mentionnés dans les paragraphes précédents. Le Tableau 10 reprend l'ensemble des notations utilisées dans les calculs de mortalité estimée.

Données de synthèse pour le rapport de suivi environnemental	
N = nombre d'individus potentiellement tués	(dépend de l'éolienne considérée et de la formule utilisée)
C = nombre de cadavres trouvés	0 individus
A = coefficient de correction surfacique (dépend de l'éolienne considérée)	1,32 minimum 4,86 maximum
Biais de surface considéré comme	fort
p = proportion de cadavres qui perdurent au-delà de l'intervalle entre deux passages	17 %
t = temps de séjour moyen des cadavres	3,54 jour(s)
Biais de prédation considéré comme	fort
d = probabilité de détection des leurre	78 % pour les chiroptères 100 % pour les oiseaux
Biais d'observateur considéré comme	faible pour les chiroptères faible pour les oiseaux
b = nombre de recherches effectués sur le terrain	17 suivis
I = intervalle de temps entre chaque recherche	6,75 jour(s)
i = intervalle effectif = $-\log(0,01) \times t$	7,08 jour(s)
$\hat{e}$ = coefficient correcteur de l'intervalle = $\text{Min}(I : i) / I$	1,00
M = nombre de turbines prospectées	4 éoliennes

Tableau 10 : Synthèse des variables utilisées dans les différentes formules de calcul de la mortalité estimée, et leur valeur lors du suivi environnemental du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023

Aucun cadavre n'ayant été découvert sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023, seule la formule publiée par Bastos *et al.* (2013) est utilisable. Celle-ci considère la non-constance et l'interdépendance des paramètres « efficacité de recherche » et « persistance des cadavres ». Cet algorithme innovant est capable d'estimer la mortalité potentielle, même en l'absence des cadavres retrouvés et ainsi éviter de fausses interprétations.

$$N = 10 * \exp[0,276 + 0,471 * \log_{10}(I + 1) + 0,463 * \log_{10}(b + 1) + 0,45 * \log_{10}(M + 1) + 0,638 * \log_{10}(C + 1) - 0,432 * \log_{10}(p + 1) - 3,633 * \log_{10}(d + 1)] - 1 * A$$

#### 3.6.1 Mortalité réelle estimée des chiroptères sur le parc éolien

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des chiroptères afin de calculer leur mortalité réelle estimée sur le parc éolien de La Lande de Carmoise (Tableau 11).

Eolienne	Nombre de cadavres	Mortalité estimée des chiroptères selon la formule de Bastos <i>et al.</i> (2013)
E1	0	2,1
E2	0	5,1
E3	0	9,6
E4	0	9,6
Parc	0	11,5
Nombre de chiroptères/éolienne		2,9
Intervalles de confiance à 95%		0,9

Tableau 11 : Mortalité réelle estimée des chiroptères, selon les différentes formules, sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de La Lande de Carmoise est estimée à  $2,9 \pm 0,9$  (Bastos *et al.*, 2013) chiroptères tués par éolienne, sur la période étudiée.

Selon Rydell *et al.* (2010a), le contexte paysager du site influence le taux de mortalité des chiroptères :

- 5-20 individus impactés/éolienne/an dans les parcs situés dans le littoral ou sur des crêtes,
- 2-5 individus impactées/éolienne/an dans les parcs situés dans des paysages bocagers et agricoles,
- 0-3 individus impactés/éolienne/an dans les parcs situés sur des plaines agricoles homogènes.

Le contexte paysager du parc éolien de La Lande de Carmoise est assimilable à la seconde configuration décrite par cet auteur. En 2023, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de La Lande de Carmoise est donc **conforme** aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Rydell *et al.*, 2010a).

### 3.6.2 Mortalité réelle estimée des oiseaux sur le parc éolien

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux afin de calculer leur mortalité réelle estimée sur le parc éolien de La Lande de Carmoise (Tableau 12).

Eolienne	Nombre de cadavres	Mortalité estimée des oiseaux selon la formule de Bastos et al. (2013)
E1	0	1,2
E2	0	1,9
E3	0	4,6
E4	0	4,6
Parc	0	<b>6,3</b>
Nombre d'oiseaux/éolienne		<b>1,3</b>
Intervalles de confiance à 95%		<b>0,3</b>

Tableau 12 : Mortalité réelle estimée des oiseaux, selon les différentes formules, sur le parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de La Lande de Carmoise est estimée à  $1,3 \pm 0,3$  (Bastos et al., 2013) oiseaux tués par éolienne, sur la période étudiée.

Une étude de 197 suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015 par la LPO met en évidence une mortalité brute de 1,24 oiseaux/éolienne/an. Seuls 8 parcs éoliens de cette étude avaient présenté des calculs de mortalité estimée, tous en présence d'enjeux avifaunistiques forts (4 situés au sein de ZPS, 2 à moins de 1 000 mètres d'une ZPS, 1 en forêt en ZNIEFF et 1 en milieu bocager limitrophe d'une ZNIEFF et d'une ZSC), donnant une moyenne de 7 oiseaux/éolienne/an pour ce type de milieu (Marx, 2017). La mortalité estimée, étant donné le contexte environnemental du parc éolien de La Lande de Carmoise avec moins d'enjeux avifaunistiques, est attendue plus faible que ce seuil.

En 2023, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de La Lande de Carmoise est donc **conforme** aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Marx, 2017).

#### ⇒ Synthèse du suivi de mortalité au sol effectué en 2023 sur le parc éolien de La Lande de Carmoise

Aucun cadavre n'a été retrouvé au pied des éoliennes du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.

Une fois la mortalité brute corrigée avec les biais de préation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle estimée des oiseaux sur le parc éolien de La Lande de Carmoise varie à  $1,3 \pm 0,3$  (Bastos et al., 2013) **oiseaux tués par éolienne**, sur la période étudiée, de juillet à octobre 2023, ce qui est conforme aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Marx, 2017).

Une fois la mortalité brute corrigée avec les biais de préation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle estimée des chiroptères sur le parc éolien de La Lande de Carmoise varie à  $2,9 \pm 0,9$  (Bastos et al., 2013) **chiroptères tués par éolienne**, sur la période étudiée, de juillet à octobre 2023. En 2023, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de La Lande de Carmoise est donc conforme aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Rydell et al., 2010a).

## 4 DISCUSSION

### 4.1 Synthèse du suivi de la mortalité aviaire

D'après l'étude d'impact effectuée en 2007, le projet du parc éolien de La Lande de Carmoise ne se situait pas sur un site de reproduction et de migration majeur à l'échelle de la région. Le risque d'impact concernant l'avifaune était considéré comme faible.

Les suivis de mortalité au sol se sont déroulés sans encombre, même si la couverture végétale a grandement minimisé l'efficacité des prospections. Une forte prédatation a été remarquée sur le parc éolien de La Lande de Carmoise ainsi qu'un fort biais de surface, en lien avec les cultures de maïs présentes sous les éoliennes E3 et E4 tout au long du suivi : temps moyen de persistance de 3,54 jours en 2023 et taux de persistance au sixième jour estimé à 17 %. L'analyse quantitative de la mortalité aviaire ne fait pas état de cadavre d'oiseau retrouvé en 2023. La mortalité réelle a donc été estimée à  $1,3 \pm 0,3$  oiseaux tués par éolienne et par an. Ces taux de mortalité sont conformes à ceux rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Marx, 2017).

### 4.2 Synthèse de la mortalité des chiroptères

Aucune étude des chiroptères en altitude n'avait été effectuée au moment de l'étude d'impact.

En 2022, un suivi acoustique des chiroptères a été effectué grâce à un enregistreur ultrasonore Batlogger WE X mis en place du 1<sup>er</sup> avril au 1<sup>er</sup> novembre 2022 en nacelle de l'éolienne E1 :

Au cours de cette étude, cinq espèces de chiroptères ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représentait 68,2 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représentait 24,8 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représentait 4,2 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représentait 1,4 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représentait 0,5 % des contacts ;
- Le groupe indéterminé Pipistrelle commune/Pipistrelle de Nathusius représentait 0,9 % des contacts.

En 2023, les suivis de mortalité au sol se sont déroulés sans encombre, même si la couverture végétale a grandement minimisé l'efficacité des prospections. L'analyse quantitative de la mortalité chiroptérologique ne fait pas état de cadavre de chauves-souris retrouvé en 2023. Une forte prédatation a été remarquée sur le parc éolien de La Lande de Carmoise ainsi qu'un fort biais de surface, en lien avec les cultures de maïs présentes sous les éoliennes E3 et E4 tout au long du suivi : temps moyen de persistance de 3,54 jours en 2023 et taux de persistance au sixième jour estimé à 17 %. La mortalité réelle a donc été estimée à  $2,9 \pm 0,9$  chiroptères tués par éolienne et par an. Ces taux de mortalité sont conformes à ceux rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Rydell *et. al.*, 2010).

## 5 CONCLUSION ET PRECONISATIONS POUR LA SUITE DE L'EXPLOITATION DU PARC

Le principal objectif de cette étude a été d'évaluer la non-significativité de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères induite par le fonctionnement du parc éolien de La Lande de Carmoise.

Un bridage préventif définies par la DREAL Bretagne, a été mis en place en 2023 sur l'ensemble du parc éolien selon les paramètres suivants :

- Entre 30 min avant le coucher du soleil jusque 30 min après le lever du soleil,
- Du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre,
- Vitesse de vent inférieure ou égale à  $7 \text{ m.s}^{-1}$ ,
- Température supérieure ou égale à  $12^\circ\text{C}$ ,
- Pluviométrie inférieure ou égale à  $0,83 \text{ mm/min}$ .

**Aucun cadavre n'a été découvert sous les éoliennes du parc éolien de La Lande de Carmoise en 2023.** Une faible proportion de surface prospectable, 42 % en moyenne, ainsi qu'une forte prédatation, ont été remarquées sur le parc éolien de La Lande de Carmoise, biaisant en partie les résultats de mortalité estimée : temps moyen de persistance de 3,54 jours en 2023 et taux de persistance au sixième jour estimé à 17 % sur l'année de suivi. La mortalité réelle est estimée à  $1,3 \pm 0,3$  (Bastos *et al.*, 2013) oiseaux tués par éolienne et à  $2,9 \pm 0,9$  (Bastos *et al.*, 2013) chiroptères tués par éolienne et par an sur le parc éolien de La Lande de Carmoise, de juillet à octobre 2023. Cette mortalité est conforme aux chiffres indiqués dans la bibliographie pour les chiroptères (Rydell *et al.*, 2010) et pour les oiseaux (Marx, 2017). **Le bridage nocturne présenté ci-dessus est donc considéré comme efficace.**

Néanmoins, un allègement du bridage nocturne a été mis en place à partir du 11/10/2023 sur les éoliennes E1 et E4, qui sont dorénavant bridées selon les paramètres suivants proposés par le bureau d'étude Gingko dans le rapport environnemental de 2022 :

	Mars	Avril	May	June	July	August	September	October
Vent	<5 m/s	<5 m/s	<6,5 m/s	<6 m/s	<6 m/s	<6 m/s	<6 m/s	<6 m/s
T°C	>12°C	>12°C	>12°C	>13°C	>14°C	>15°C	>14°C	>13°C
Heure après CS	"+0 à +7 heures"	"+0 à +7 heures"	"+0 à +7 heures"	"+0 à +6 heures"	"+0 à +6 heures"	"+0 à +8 heures"	"+0 à +6 heures"	"+0 à +6 heures"
% couverture activité 2022	100%	100%	96%	100%	88%	50%	100%	86%
Pluviométrie	$\leq 5 \text{ mm/heure (ou } \leq 0,83 \text{ mm/min)}$							

Tableau 13 : Conditions de bridage nocturne des éoliennes E1 et E4 du parc éolien de La Lande de Carmoise à partir du 11/10/2023, afin de réduire le risque de mortalité des chiroptères.

**Le changement tardif du paramétrage du bridage nocturne ne permet pas d'évaluer son efficacité puisque seules deux sorties ont eu lieu après cela (18/10/2023 et 23/10/2023), dans une période où l'activité des chiroptères en migration automnale diminue fortement.**

Au vu de la mortalité estimée des chiroptères, le bridage nocturne mis en place le 25/05/2023 est considéré comme satisfaisant pour une bonne préservation des chiroptères.

Nous préconisons le renouvellement du suivi dans le cas de l'application de modalités de bridage moins strictes que celles mises en place depuis le 25/05/2023, par exemple après l'application des modalités de bridage proposées par le bureau d'étude en charge du suivi d'activité sur base des deux années d'écoute (2022 et 2023).

Au vu de la mortalité estimée des oiseaux, nous préconisons donc le renouvellement des suivis environnementaux conformément au protocole ministériel en vigueur, soit un prochain suivi environnemental à la date anniversaire des 20 ans.

## 6 ANNEXES

### 6.1 Sensibilité des oiseaux à l'éolien

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 :
  - o Effets directs (Smith & Dwyer, 2016) : la collision directe avec les pales d'éoliennes, causant la mort des individus,
  - o 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, garde au sol...) (Schaub *et al.*, 2021), de l'environnement local (Kitano & 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.

#### 6.1.1 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 tetrix* : 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 ; 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).

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 de mortalité brute 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).

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 (prédateur)	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 14 : 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 nombre de cadavres dans le monde est inconnu (Pagel *et al.*, 2013), mais ceux comptabilisés jusqu'à présent en Europe s'élèvent à 19 697 oiseaux de plus de 250 espèces différentes, dont 5 570 cas de mortalité en Espagne, 4 990 cas en Allemagne, 1 806 cas en Belgique et 4 631 cas en France (Dürr, 2023).

Les espèces les plus touchées en Europe (Dürr, 2023) sont :

- Le Vautour fauve (quasi exclusivement en Espagne),
- La Buse variable (en Allemagne principalement),
- Le Goéland argenté (en Belgique essentiellement),
- Le Faucon crécerelle (en Espagne et en moindre mesure en France et Allemagne),
- Le Milan royal (en Allemagne principalement),
- La Mouette rieuse (en Belgique principalement),
- Le Martinet noir (surtout en France et en Allemagne),
- L'Alouette des champs (surtout en Allemagne, France et Espagne),
- Le Roitelet à triple bandeau (surtout en France),
- Le Pygargue à queue blanche (en Allemagne principalement),
- Le Pigeon ramier (en France et en Allemagne essentiellement),
- Le Canard colvert (en Allemagne 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. La transmission des données à l'échelle européenne étant réalisée sur la base du volontariat, cette synthèse reste limitée et ne peut donc refléter la totalité des mortalités liées à l'éolien.

Espèce	A	BE	BG	CH	CR	CY	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N	PT	PL	RO	S	Total
<i>Clanga pomarina</i>							9							1					3	2			15
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>							8							1									9
<i>Coloeus monedula</i>	1						6		9			4					4						24
<i>Columba livia</i>									3			23				1							27
<i>Columba livia f. domestica</i>	26	21				1	92		10			87				37							274
<i>Columba oenas</i>		3					17		3			4				8		6					41
<i>Columba palumbus</i>	5	13					196		14			222				16			2		1		469
<i>Columba spec.</i>	30						5		9		16	1			10								71
<i>Corvus corax</i>							26		3														29
<i>Corvus corone</i>	6	1					53	2	12			89				16	10	2				1	192
<i>Corvus frugilegus</i>	9						6					12										1	28
<i>Corvus spec.</i>	3						11	1	1			31				2							49
<i>Coturnix coturnix</i>			1			1	1		26			4						3					36
<i>Crex crex</i>		1																				1	
<i>Cuculus canorus</i>							3		6					1									10
<i>Cyanistes caeruleus</i>	2		1				7		3		12				1								26
<i>Cyanopica cyana</i>									1													1	
<i>Cygnus columbianus bewickii</i>															2							2	
<i>Cygnus cygnus</i>							3	6									1						10
<i>Cygnus cygnus / olor</i>							7	4			1												12
<i>Cygnus olor</i>	1						26				1								5		1		34
<i>Delichon urbica</i>	1						61		42		44	25		3	158				6				340
<i>Dendrocoptes medius</i>												1										1	
<i>Dendrocopos major</i>							8				7								1				16
<i>Dendrocopos spec.</i>												1										1	
<i>Egretta garzetta</i>								3			4											7	
<i>Elanus caeruleus</i>											3											3	
<i>Emberiza calandra</i>							39		252		71					21							383
<i>Emberiza cia</i>									14							1						15	
<i>Emberiza cirlus</i>								6		1					2							9	
<i>Emberiza citrinella</i>		1		35		6			29						2							73	
<i>Emberiza hortulana</i>															1							1	
<i>Emberiza schoeniclus</i>							5		3		2											10	
<i>Emberiza spec.</i>										1		1										2	
<i>Eremophila alpestris</i>			1																			1	
<i>Erythacus rubecula</i>	1	1		1	38		79			89	2	1	3	1	4	220							
<i>Falco columbarius</i>							2		1						1							4	
<i>Falco naumanni</i>									62		81											143	
<i>Falco peregrinus</i>	1	3					30		6		4	1			1							46	
<i>Falco peregrinus x rusticus hybride</i>																						1	
<i>Falco subbuteo</i>							17		7		22				1							47	
<i>Falco tinnunculus</i>	28	7					155		273		347	2		14	39	2							867
<i>Falco tinnunculus</i>							1															1	
<i>Falco sparverius</i>							3		6		10	1			1							20	
<i>Ficedula hypoleuca</i>		1			1	11			37		48				1	8						107	
<i>Fringilla spec.</i>		1							1		1											3	
<i>Fringilla coelebs</i>							17	1	24		31	2								1		76	
<i>Fulica atra</i>	10						10		1		1					11			1				34
<i>Fulmarus glacialis</i>													1		1	1						3	
<i>Galerida cristata</i>									105		2		2			1						110	
<i>Galerida theklae</i>									182							5						187	
<i>Galliformes spec.</i>																						1	
<i>Gallinago gallinago</i>							2	1	1		1	1				1	11	1				19	
<i>Gallinula chloropus</i>							2		8		3					5						18	
<i>Garrulus glandarius</i>							10		8		5											23	
<i>Gavia stellata</i>							1															1	
<i>Geronticus eremita</i>									1													1	
<i>Glareola pratincola</i>									1													1	
<i>Grus grus</i>	1						30		2											1		34	
<i>Gypaetus barbatus</i>															2							2	
<i>Gyps africanus</i>									1													1	
<i>Gyps fulvus</i>	1								1892		50	4				12							1960
<i>Gyps rueppellii</i>									1													1	
<i>Haematopus ostralegus</i>	5						4									16	3						28
<i>Haliaeetus albicilla</i>	13					1	269	1		1	7				3	126	11		58			490	
<i>Haliaeetus fasciatus</i>			1						3													4	
<i>Haliaeetus pennatus</i>									44		1		1									46	
<i>Himantopus himantopus</i>												1										1	
<i>Hippolais icterina</i>			3																			3	
<i>Hippolais polyglotta</i>							1		10		5											16	
<i>Hirundapus caudatus</i>													1									1	
<i>Hirundidae spec.</i>							1				4											5	
<i>Hirundo daurica</i>									1													1	
<i>Hirundo rustica</i>							29		13		13				2		1		1		1	59	
<i>Ichthyaetus audouinii</i>									1													1	
<i>Ichthyaetus melanocephalus</i>	2											10										12	
<i>Ixobrychus minutus</i>											1											1	
<i>Jynx torquilla</i>	1						1		1		1							1				5	
<i>Lagopus lagopus</i>													3		210			1		1		214	
<i>Lanius collurio</i>	1		1				27		1		6	2						1				39	
<i>Lanius excubitor</i>							2		2		1											5	
<i>Lanius meridionalis</i>									4													4	
<i>Lanius senator</i>									20		3											23	
<i>Larus argentatus</i>	802						130	9	1		62	52		131					2			1189	
<i>Larus cachinnans</i>	1	1					2		45													49	
<i>Larus canus</i>	2	6					59	2			2				18				2			91	

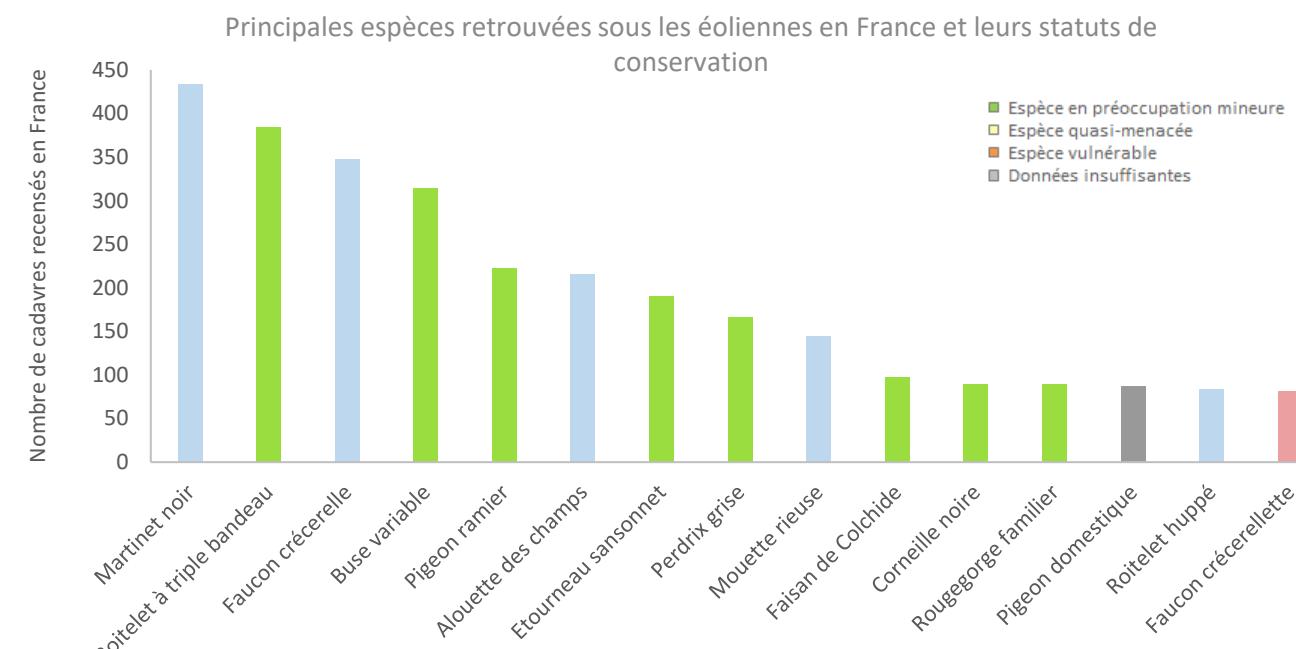
Espèce	A	BE	BG	CH	CR	CY	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N	PT	PL	RO	S	Total
<i>Rissa tridactyla</i>		3						5		1	1		1	1		1	1						12
<i>Saxicola rubetra</i>	1						3	1		1	1												6
<i>Saxicola torquata</i>								14		1	1							2					17
<i>Scolopax rusticola</i>	1	1					10	2		4	1		1	1							1	1	21
<i>Serinus serinus</i>							20																20
<i>Sitta europaea</i>						3				1													4
<i>Somateria mollissima</i>						1					15		1								1	1	18
<i>Spinus spinus</i>																		1					1
<i>Sterna albifrons</i>	15																						15
<i>Sterna hirundo</i>		162					1			1						5							169
<i>Sterna spec.</i>												3											3
<i>Streptopelia decaocto</i>	4						3	2		9													18
<i>Streptopelia turtur</i>	1							33		15							1						50
<i>Strigiformes spec.</i>								2															2
<i>Strix aluco</i>							8	3		2													13
<i>Sturnus unicolor</i>								96															96
<i>Sturnus vulgaris</i>	9	27	3		2	96	8			190				26	1		3						365
<i>Sula bassana</i>											1												1
<i>Sylvia atricapilla</i>	1		5			9	184			16	2												217
<i>Sylvia borin</i>		12						11		2													25
<i>Sylvia cantillans</i>								43		1													44
<i>Sylvia conspicillata</i>								5															5
<i>Sylvia curruca</i>					2																		2
<i>Sylvia hortensis</i>								4															4
<i>Sylvia melanocephala</i>								10		2	1												13
<i>Sylvia spec.</i>		3								2													5
<i>Sylvia undata</i>								11										7					18
<i>Sylviás communis</i>							1	1		4													6
<i>Tachymarptis melba</i>							2	23		2													27
<i>Tadorna tadorna</i>	2						2			1					7								12
<i>Tetrao urogallus</i>							1	1															12
<i>Tetrao tetrix</i>								1															1
<i>Thalasseus sandvicensis</i>	25									1					1								27
<i>Threskiornis aethiopicus</i>										1													1
<i>Tringa totanus</i>	3									2					1	1							8
<i>Troglodytes troglodytes</i>							4	1		8	1												14
<i>Turdus iliacus</i>	7						4	1	11	3					2								28
<i>Turdus merula</i>	2	1					18	44		60	6	1	1								4	137	
<i>Turdus philomelos</i>	12	1	1				27	129		63	2	3										1	238
<i>Turdus pilaris</i>	1		1				18	5	1		2	1											29
<i>Turdus spec.</i>	1							1	2	1	1												7
<i>Turdus torquatus</i>								1	1														2
<i>Turdus viscivorus</i>			1				10	27		1	1				3			1					40
<i>Tyto alba</i>							15	6	8														33
<i>Upupa epops</i>								7		3	1							1					12
<i>Uria aalge</i>							1											1					2
<i>Vanellus vanellus</i>	3						19			6					3								31
<b>Total</b>	<b>378</b>	<b>1806</b>	<b>6</b>	<b>109</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>4990</b>	<b>49</b>	<b>5570</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>4631</b>	<b>180</b>	<b>100</b>	<b>3</b>	<b>727</b>	<b>404</b>	<b>443</b>	<b>83</b>	<b>2</b>	<b>181</b>	<b>19697</b>

**A** = Autriche; **BE** = Belgique; **BG** = Bulgarie; **CH** = Suisse; **CR** = Croatie; **CY** = Chypre; **CZ** = République tchèque, **D** = Allemagne; **DK** = Danemark; **E** = Espagne; **EST** = Estonie; **F** = Finlande; **FR** = France; **GB** = Grande-Bretagne; **GR** = Grèce; **LV** = Lettonie; **LX** = Luxembourg; **NL** = Pays-BAs; **N** = Norvège; **PT** = Portugal, **PL** = Pologne; **RO** = Roumanie; **S** = Suède

Tableau 15 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, août 2023)

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, 2023 ; Marx, 2017) :

- Le Martinet noir (envol des jeunes et migration),
- Le Roitelet triple-bandeau (en migration postnuptiale essentiellement),
- Le Faucon crécerelle (rapace le plus touché au niveau de la population nationale),
- La Buse variable (en migration postnuptiale essentiellement),
- Le Pigeon ramier,
- L'Alouette des champs,
- L'Etourneau sansonnet,
- La Perdrix grise,
- La Mouette rieuse...



Graphique 2 : Principales espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes en France et leur statut de conservation (Dürr, 2023)

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, 1998 ; 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 lorsque les individus 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.

Les rapaces et les migrants 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 migrants 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 migrants nocturnes (Kerlinger *et al.*, 2010).

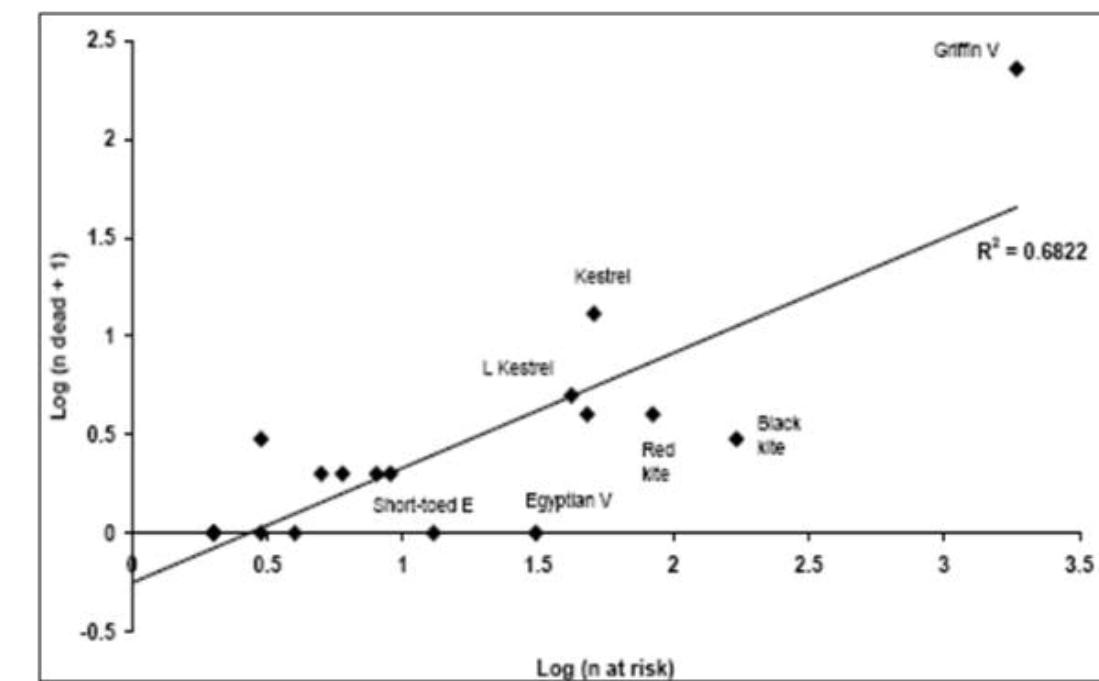
Durant une journée de migration typique, l'aube et le crépuscule sont des périodes durant lesquelles les oiseaux risquent d'entrer en collision avec les structures des parcs éoliens, car leur altitude varie beaucoup (Richardson, 1998 ; Langston & Pullan, 2003).



Figure 7 : Roitelet à triple bandeau (Sens Of Life, 2020).

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.**



Graphique 3 : 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).

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 & Ursua, 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 pas toujours. Une autre étude menée au Canada met en lumière que les rapaces sont particulièrement vulnérables durant les périodes automnale et hivernale, lorsque les températures sont faibles et les ascendances thermiques limitées, les contraignant à voler à plus basse altitude à la recherche de courants d'air ascendants créés par les zones de relief (Katzner *et al.*, 2012).

Long *et al.* (2011) met en évidence que les couleurs blanches et jaunes sur les éoliennes sont fortement attractives pour les insectes et augmentent donc l'activité de chasse autour des machines et le risque de collision associé. 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 vu une de leur pale peinte en noir (Figure 8, à gauche), 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 plus 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). En 2023, la modélisation d'une mesure de réduction d'impact des éoliennes offshore basée sur la vision a été menée, cette fois avec le mât et les pales peintes avec des rayures horizontales (Figure 8, à droite), et semble confirmer ces résultats avec une réduction estimée de 70% du taux annuel de mortalité par collision (Martin & Banks, 2023).



Figure 8 : Différentes méthodes de mise en évidence des éoliennes pour augmenter leur visibilité par les oiseaux

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).

### 6.1.2 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 migrants 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 une diminution, voire une disparition, des populations locales (Vogelwarte, 2016). Les éoliennes peuvent être assimilées par certains oiseaux comme reposoirs 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 d'une modification de la répartition du site entre les individus (incidence patrimoniale faible) à un abandon du nid, voire du site (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 comportements 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.



Figure 9 : Aigle royal (CCO domaine public).

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)

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).

### 6.1.3 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 (ADEME, 1999 ; Curry & Kerlinger, 1998 ; Dirksen *et al.*, 2000 ; Percival, 2001 ; Winkelman, 1985), 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 (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 (Albouy *et al.*, 2001 ; Larsen & Madsen, 2000). 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, et 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 (Desholm & Kahlert, 2005 ; Larsen & Madsen, 2000 ; Loesch *et al.*, 2013), un peu moins chez les échassiers et les grives, dont certaines migrent la nuit, les corvidés (Dooling & Lohr, 2000 ; Winkelman, 1985) et les rapaces (Cabrera-Cruz & Villegas-Patraca, 2016 ; Garvin *et al.*, 2011).

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 et seuls 27 cadavres ont été recensés en Europe (Dürr, 2020 ; Marx, 2017). 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 & Rugge, 2000). Les distances de réaction varient de 300 à 500 mètres des éoliennes pour la majorité des migrants diurnes (contre 20 mètres pour les migrants 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).

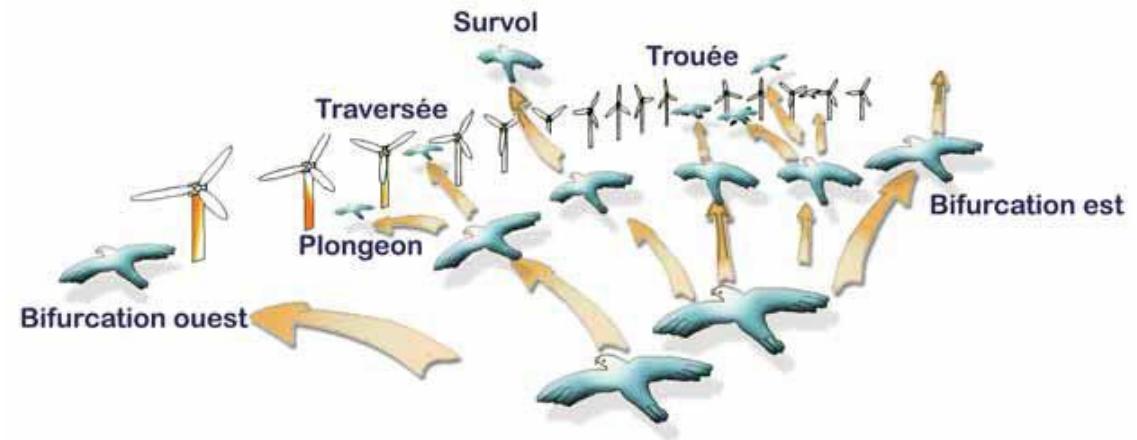


Figure 10 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

L'impact doit être évalué à la fois au cours des migrations prénuptiales et postnuptiales 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 postnuptiales, 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 postnuptial est également numériquement plus important. Il semblerait que les vols postnuptiaux s'effectuent généralement à plus faible hauteur qu'en période prénuptiale (tendance mise en évidence par le biais de suivis radar, selon Greet Ingénierie, 2006).

## 6.2 Sensibilité des chiroptères à l'éolien

### 6.2.1 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.

Le phénomène de barotraumatisme (Figure 11) 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).

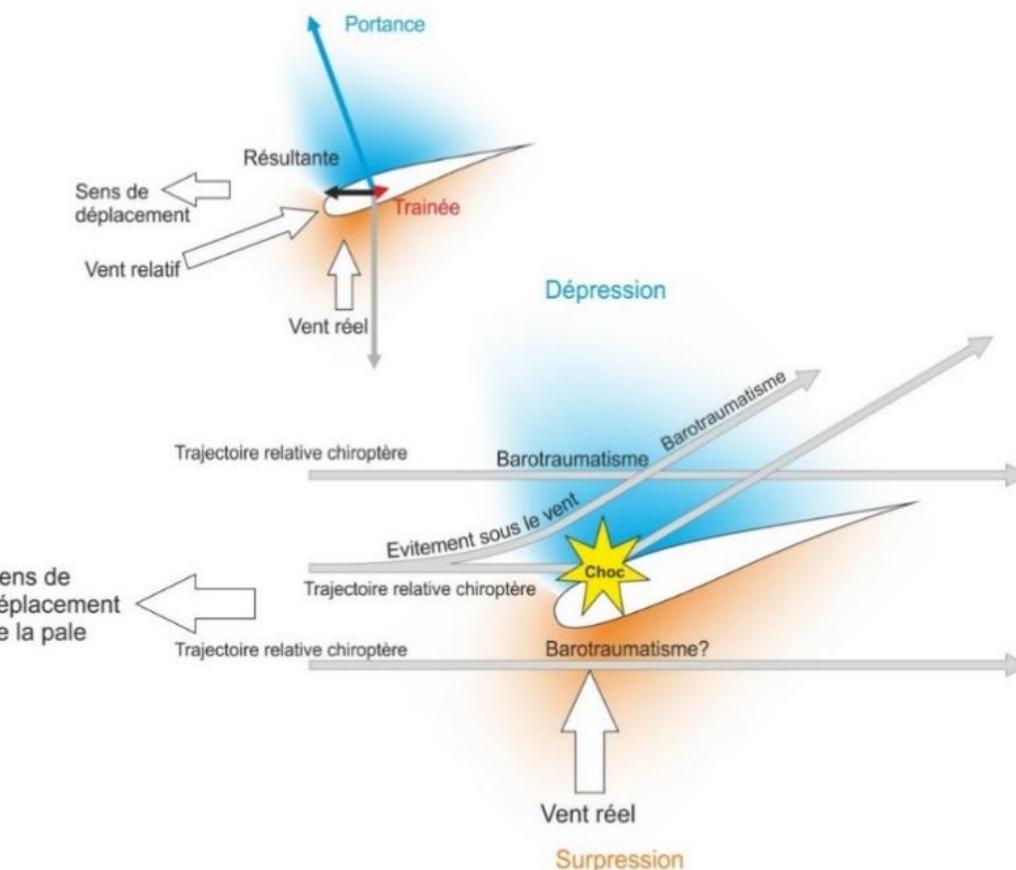


Figure 11 : Description du phénomène de barotraumatisme.

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 Sérotoles (*Eptesicus-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 explorerait 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 diversifiés et minimales sur des plaines agricoles (Barré *et al.*, 2023; 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 (Barré *et al.*, 2023; Heitz & Jung, 2016; Marx, 2017) ;
- De l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart, 2013) ;

- Des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de  $6,5 \text{ m.s}^{-1}$  et avec hautes températures (Barré *et al.*, 2023 ; 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  $2 \text{ m.s}^{-1}$  et des températures comprises entre 10 et 15°C (Beucher *et al.*, 2017). Les espèces comme les Noctules présentent un pic d'activité vers  $5 \text{ m.s}^{-1}$  (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  $6 \text{ m.s}^{-1}$ , 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 ; Barré *et al.*, 2023), mais diminuent également la possibilité de déplacement entre chaque éolienne.

## 6.2.2 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 influencerait 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 17 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 sensibilité des espèces, il est possible de définir la vulnérabilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 16).

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

Tableau 16 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016)

Espèce	A	BE	CH	CR	CZ	D	DK	ES	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	PT	PL	RO	S	UK	Total	
<i>Barbastella barbastellus</i>					1		1			6											8		
<i>Chiroptera spec.</i>	1	11		60	1	78		320	1	465	8	1					120	3	15	30	9	1123	
<i>E. serotinus / isabellinus</i>								98												17		115	
<i>Eptesicus isabellinus</i>							117												3			120	
<i>Eptesicus nilsonii</i>	1				1	6		2	6					13		1		1	1	13		45	
<i>Eptesicus serotinus</i>	1				11	72		2		72	1			2				3	1			165	
<i>Hyposugo savii</i>	1			137		1		50		59	28	12						56		2		346	
<i>Miniopterus schreibersi</i>								2		8								4				14	
<i>Myotis bechsteinii</i>									6		1											2	
<i>Myotis blythii</i>									2													7	
<i>Myotis brandtii</i>									3													2	
<i>Myotis dasycneme</i>									8			2										3	
<i>Myotis daubentonii</i>									1		3											12	
<i>Myotis emarginatus</i>									2		5											5	
<i>Myotis myotis</i>								2	2		4	1										9	
<i>Myotis mystacinus</i>								3														8	
<i>Myotis nattereri</i>								2		3										1	6		
<i>Myotis spec.</i>								2	3		1								4		10		
<i>Nyctalus lasiopterus</i>									21		10	1							9			41	
<i>Nyctalus leisleri</i>	1	4	3	199		15		243	58	2							273	5	10			813	
<i>Nyctalus noctula</i>	46	1		31	1287	1		269	10								2	17	76	14	11	1765	
<i>Nyctalus spec.</i>								2	2		5							17				26	
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>	1		2			3		271		40	54						38	1	2			412	
<i>Pipistrellus kuhlii</i>							144		44		411	1						51		10			661
<i>Pipistrellus nathusii</i>	13	6	6	17	7	1144	2			415	35	1	23	11			16	90	5	1		1792	
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2	30	6	5	16	802		211		1931	0	1		16			323	5	6	1	46	3401	
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	4			1	2	169				199	0		1				42	1	5	18	52	494	
<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		102	9	104		25		421	1		2				128	2	48		12	864	
<i>Plecotus auritus</i>							7			1										1	9		
<i>Plecotus austriacus</i>	1						8			2												11	
<i>Plecotus spec.</i>										1												1	
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>									1		1											2	
<i>Rhinolophus mehelyi</i>									1													1	
<i>Rhinolophus spec.</i>									1													1	
<i>Tadarida teniotis</i>						7			36		3							39				85	
<i>Vesperotilio murinus</i>	2	1		17	6	153				11	1		1				9	15	2			218	
<b>Total</b>	<b>81</b>	<b>51</b>	<b>15</b>	<b>494</b>	<b>87</b>	<b>4058</b>	<b>2</b>	<b>1231</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4594</b>	<b>199</b>	<b>17</b>	<b>40</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	<b>1125</b>	<b>63</b>	<b>285</b>	<b>83</b>	<b>133</b>	<b>12597</b>	

A = Autriche, BE = Belgique, CH = Suisse, CR = Croatie, CZ = République tchèque, D = Allemagne, DK = Danemark, ES = Espagne, EST = Estonie, FI = Finlande, FR = France, GR = Grèce, IT = Italie, LV = Lettonie, NL = Pays-Bas, N = Norvège, PT = Portugal, PL = Pologne, RO = Roumanie, S = Suède, UK = Grande-Bretagne

## 6.2.3 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 :

- Dérangement ou barrière sur les voies de migration et les voies de transit locales,
- Dégradations, dérangement ou destruction des habitats de chasse,
- Dégradations, dérangement 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 mètres 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).

## 6.3 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. (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 Gorgonio Pass wind resource areas, California : Phase 1 Preliminary Results*. 16.
- Arnett, E. B., Erickson, W. P., Horn, J. W., & Kerns, J. (2005). *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*. 187.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. (Publications scientifiques 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 Beitraege für Naturkunde und Naturshutz, Themenheft « Voegel und Windkraft »(Band 4)*, 163-170.
- Baerwald, E. F., & Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1341-1349. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-104R.1>
- Baerwald, E. 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.
- Barré, K., Froidevaux, J., Sotillo, A., Roemer, C., & Kerbiriou, C. (2023). Drivers of bat activity at wind turbines advocate for mitigating bat exposure using multicriteria algorithm-based curtailment. *Science of The Total Environment*, 866.
- 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>
- 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., Schauer-Weisshahn, H., & Bontadina, F. (2006). *Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg* (Projekt 0410 L; p. 66). Regierungspräsidium Freiburg.
- Cabrera-Cruz, S. A., & Villegas-Patraca, R. (2016). Response of migrating raptors to an increasing number of wind farms. *Journal of Applied Ecology*, 53(6). <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12673>
- Cade, T. J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. *Wind Power*, 156.
- Cieslak 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>
- 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>
- Desholm, M., & Kahlert, J. (2005). Avian collision risk at an offshore wind farm. *Biology Letters*, 1(3), 296-298. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2005.0336>
- Dietz, C., von Helversen, O., & Nill, D. (2009). *L'encyclopedie 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.
- DREAL. (2015). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Énergie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- 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 novembre 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>
- 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, in press). *A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations*. National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California.
- Hall, L. S., & Richards, G. C. (1972). *Notes on Tadarida australis (Chiroptera : Molossidae)*. 46-47.
- Haquart, A. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Eléments 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., Kulemeyer, C., & Coppack, T. (2014). *Of birds, blades and barriers : Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus* (Springer Fachmedien, p. 111-131) [Ecological

- Research at the Offshore Windfarm alpha ventus]. Federal Maritime and Hydrographic Agency, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.
- 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>
- Hötker, 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.
- 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.
- Janss, G. F. E. (1998). *Bird Behavior In and Near a Wind Farm at Tarifa, Spain : Management Considerations*. 214.
- 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)
- 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>
- Joinis, 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.
- Katzner, T. E., Brandes, D., Miller, T., Lanzone, M., Maisonneuve, C., Tremblay, J. A., Mulvihill, R., & Merovich, G. T. (2012). Topography drives migratory flight altitude of golden eagles : Implications for on-shore wind energy development. *Journal of Applied Ecology*, 49(5), 1178-1186. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02185.x>
- 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>
- 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.
- Kitano, M., & Shiraki, S. (2013). *Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan*. 37, 41-48.
- 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)
- Kurvits, T., United Nations Environment Programme, GRID--Arendal, & Secretariat, C. on M. S. (2011). *Living planet, connected planet : Preventing the end of the world's wildlife migrations through ecological networks : a rapid response assessment*. UNEP, GRID-Arendal.
- 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). *Uso 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. (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>
- Long, C. V., Flint, J. A., & Lepper, P. A. (2011). Insect attraction to wind turbines : Does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research*, 57(2), 323-331. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0432-7>
- 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>
- LPO Drôme. (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes*.
- 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>
- Martin, G. R., & Banks, A. N. (2023). Marine birds : Vision-based wind turbine collision mitigation. *Global Ecology and Conservation*, 42, e02386. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2023.e02386>
- 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 (Eds.), *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>
- Pedersen, M. B., & Poulsen, E. (1991). Avian Response to the Implementation of the Tjaereborg Wind Turbine at the Danish Wadden Sea. *Studies on Danish Fauna Report 47. Denmark Institute of Ecological Studies*.
- 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.
- Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres. (2018). Ministère de l'Énergie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- 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., 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>
- Schaub, T., Klaassen, R., Zutter, C. D., & Millon, A. (2021). Analyse des comportements de vol par pistage GPS haute-résolution afin de réduire l'impact des parcs éoliens sur les populations de rapaces.
- 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., Mularney, 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., & Rugge, 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 verstoring [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 : Aanvaringsslachtoffers*. [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). BirdWind Turbine Investigations in Europe. *Wind Power*, 156.
- Zeiler, H. P., & Grünschachner-Berger, V. (2009). Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica*, 58(2), 173-182.