



Suivi environnemental 2021
Suivi de la mortalité au sol
Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude - TrackBat

Parc éolien de la Vallée de Torfou - 8 éoliennes
Indre (36), Centre-Val de Loire

Février 2022

Innover

Etudier

Partager

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

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

Rédaction :
Camille Mangelinck
Chargée d'études
camille.mangelinck@sensoflife.com

Technique :
Hubert Lagrange
Directeur R&D
hubert.lagrange@sensoflife.com

Contrôle Qualité :
Pauline Rico
Directrice d'études
pauline.rico@sensoflife.com

SOMMAIRE

I. Cadre général du parc	5
I.1. Contexte de l'étude	5
I.2. Localisation et description du parc	5
I.3. Rappel des enjeux des suivis environnementaux	5
I.4. Objectifs.....	6
II. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères.....	8
II.1. Sensibilité des oiseaux.....	8
II.1.1. Collision.....	8
II.1.2. Perte d'habitat	10
II.1.3. Effet barrière.....	11
II.2. Sensibilité des chiroptères	11
II.2.1. Généralités.....	11
II.2.2. Mortalité directe et mortalité indirecte	12
III. Suivi de la mortalité au sol sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	14
III.1. Protocole	14
III.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes.....	14
III.2.1. Analyse spatiale des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	17
III.2.2. Analyse temporelle des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	17
III.2.3. Analyse météorologique des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	18
III.2.4. Analyse des collisions en fonction du milieu sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	18
III.3. Occupation du sol et surface prospectée	19
III.4. Calcul des biais	19
III.4.1. Test de prédation.....	19
III.4.2. Tests du taux de détection.....	22
III.5. Estimation de la mortalité réelle	22
III.5.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	23
III.5.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de la Vallée de Torfou.....	23
III.6. Vulnérabilité des espèces retrouvées sur le parc éolien de la Vallée de Torfou	24
III.6.1. Calcul de la note de risque.....	24
III.6.2. Vulnérabilité des oiseaux retrouvés	24
III.6.3. Vulnérabilité des chiroptères retrouvés	24
IV. Suivi de l'activité des chiroptères.....	26
IV.1. Matériel et méthodes	26
IV.1.1. Enregistrement acoustique.....	26
IV.1.2. Méthode d'analyse des sons	26
IV.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique.....	28
IV.2.1. Activité corrigée par espèce	28
IV.2.2. Activité en fonction de la date et de l'heure	29
IV.2.3. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température	30
IV.2.4. Comparaison avec le référentiel TrackBat de Sens Of Life	30
IV.2.5. Zoom sur les espèces présentes	31
IV.2.6. Patrimonialité des chiroptères sur le parc éolien de la Vallée de Torfou.....	35
V. Discussion	37
V.1. Comparaison des impacts avifaunistiques avec l'étude d'impact initiale	37
V.2. Comparaison des impacts chiroptérologiques avec l'étude d'impact initiale.....	37
V.3. Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude.....	37

VI. Conclusion	38
VII. Bibliographie	39
VIII. Annexes.....	42
VIII.1. Fiches de renseignement des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021	42
VIII.2. Référentiel d'activité des chiroptères de Sens Of Life	46
VIII.3. Tableau 27 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021)	47
VIII.4. Tableau 28 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).	50

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de la Vallée de Torfou (36).....	7
Carte 2 : Localisation des cadavres sous les éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	16
Carte 3 : Surfaces prospectables et types de culture, sous les 8 éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	21
Carte 4 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius.....	32
<i>Figure 1 : Roitelet à Triple bandeau, espèce la plus impactée en France concernant la mortalité par collision avec les pales d'éoliennes, (Sens Of Life 2020).</i>	9
<i>Figure 2 : éolienne avec une pale peinte en noire.</i>	10
<i>Figure 3 : Aigle royal. CCO domaine public.</i>	10
<i>Figure 4 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)</i>	11
Figure 5 : Description du phénomène de barotraumatisme.....	12
Figure 6 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne.....	14
Figure 7 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler.....	14
Figure 8 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection.	22
Figure 9 : Martinet noir. CCO domaine public.	24
Figure 10 : Alouette des champs. Sens Of Life.	24
Figure 11 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.....	24
Figure 12 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.....	26
Figure 13 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite).	26
Figure 14 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces.....	27
Figure 15 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission.....	27
Figure 16 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.....	31
Figure 17 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune.....	31
Figure 18 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.....	31
Figure 19 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl.....	32
Figure 20 : Pipistrelle de Kuhl. CCO domaine public.....	32
Figure 21 : Noctule commune. CCO domaine public.....	33
Figure 22 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune.....	33
Figure 23 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.....	34
Figure 24 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler.....	34
Figure 25 : Sérotine commune. CCO domaine public.....	34
Figure 26 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune.....	35
Figure 27 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine.....	37
<i>Graphique 1 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Source : Rapport LPO, Geoffrey Marx, 2016).</i>	9
<i>Graphique 2 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua 2006).</i>	9
Graphique 3 : Répartition des cadavres d'oiseaux en fonction de l'éolienne, sur le parc éolien de Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.	17
Graphique 4 : Répartition de la position des cadavres d'oiseaux en fonction de la distance au mât, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.	17
Graphique 5 : Répartition des cadavres d'oiseaux en fonction de leur orientation par rapport au mât le plus proche, parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.	17
Graphique 6 : Répartition des cadavres d'oiseaux en fonction de la date, parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.	17

Graphique 7 : Nombre de collisions en fonction de la culture, corrigées par leur coefficient surfacique, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.	18
Graphique 8 : Répartition des cadavres en fonction de la hauteur de la surface au sol, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	18
Graphique 9 : Proportion des espèces contactées en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021.	28
Graphique 10 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	29
Graphique 11 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou.	29
Graphique 12 : Répartition de l'activité des chiroptères en 2021 en nacelle de l'éolienne E6 en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de la Vallée de Torfou.	29
Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes du parc de la Vallée de Torfou.....	5
Tableau 2 : Comparaison indicative des différentes causes de mortalité anthropique de l'avifaune en France (en haut, LPO, AMBE - 2010) et aux Etats-Unis (en bas, Erickson et al., 2005).....	8
Tableau 3 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016).....	12
Tableau 4 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité dans le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	15
Tableau 5 : Caractéristiques météorologiques des trois jours précédents les collisions d'oiseaux constatées sur le parc de la Vallée de Torfou entre mai et octobre 2021.....	18
Tableau 6 : Caractéristiques météorologiques des trois jours précédents les collisions de chiroptères constatées sur le parc de la Vallée de Torfou entre mai et octobre 2021.	18
Tableau 7 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021. Les cadavres retrouvés au sol sont représentés en rouge.....	20
Tableau 8 : Évaluation du taux de détection de cadavres sous chaque éolienne du parc éolien la Vallée de Torfou.	22
Tableau 9 : Mortalité des chiroptères, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme à la bibliographie et les éoliennes indiquées en rouge présentent une mortalité plus élevée que la bibliographie (Rydell et al., 2010).	23
Tableau 10 : Mortalité des oiseaux, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme à la bibliographie, et celles indiquées en rouge présentent une mortalité plus élevée que la bibliographie (Marx, 2017).	23
Tableau 11 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale.	24
Tableau 12 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.	27
Tableau 13 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes.....	28
Tableau 14 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021.....	28
Tableau 15 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s ⁻¹) en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021.	30
Tableau 16 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration printanière sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	30
Tableau 17 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la parturition sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.	30
Tableau 18 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration automnale sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	30

Tableau 19 : Caractérisation du niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères enregistrée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021, en fonction du cycle biologique.	31
Tableau 20 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021. ...	31
Tableau 21 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.	32
Tableau 22 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.	33
Tableau 23 : Données d'activité de la Noctule commune sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	33
Tableau 24 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	34
Tableau 25 : Données d'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.....	35
Tableau 26 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou entre mai et octobre 2021.	35
VIII.3. Tableau 27 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021)	47
VIII.4. Tableau 28 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).	50

I. Cadre général du parc

I.1. Contexte de l'étude

ERG est l'exploitant du parc éolien de la Vallée de Torfou, composé de 8 éoliennes et situé sur les communes de Les Bordes et Sainte-Lizaigne, dans l'Indre (36). Cette installation a été mise en service en 2018, elle est donc réputée ICPE. Une expertise environnementale initiale pré-implantation a été réalisée en 2014 par les bureaux d'études ADEV Environnement et Calidris.

Selon l'arrêté du 26 août 2011, modifié le 22 juin 2020 et relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, l'exploitant d'une installation soumise à autorisation ou bien à déclaration¹ au titre de la rubrique 2980 de la législation des ICPE, doit réaliser un suivi environnemental dans les 12 mois suivant la mise en service du parc éolien puis une fois tous les dix ans. Ce suivi post-implantation sert à estimer l'incidence du parc sur l'avifaune et les chiroptères, notamment en termes de mortalité due à la présence des aérogénérateurs, mais aussi à s'assurer que la construction et l'exploitation du parc ne dégradent pas l'état de conservation de certaines espèces et des habitats protégés.

Le suivi environnemental doit être réalisé conformément au protocole publié en avril 2018, reconnu par le ministère chargé des installations classées. Il est, en outre, tenu de respecter les articles R. 122-4 et suivants du Code de l'environnement qui définissent le contenu de l'étude d'impact et doit, à ce titre, prévoir les modalités de suivi des effets du parc sur l'avifaune et les chauves-souris. Il comprend un suivi de l'activité chiroptérologique en altitude, en continu et sans aucun échantillonnage de durée sur l'ensemble de la période d'activité des chauves-souris, ainsi qu'un suivi de la mortalité au pied des éoliennes.

Ce rapport présente donc le suivi environnemental réalisé par Sens Of Life en 2021. Il inclut les résultats des inventaires sur le terrain, les impacts et les mesures à adopter sur ce parc pour réduire l'incidence sur les oiseaux et les chauves-souris. Dans le cadre du suivi environnemental post-implantation, Sens Of Life a également été mandaté pour effectuer l'étude de l'activité chiroptérologique. En mai 2021, un enregistreur ultrasonore TrackBat a été installé sur la nacelle de l'éolienne E6.

I.2. Localisation et description du parc

Ce parc, composé de 8 éoliennes, se situe sur les communes de Les Bordes et Sainte-Lizaigne, dans le département de l'Indre (36), en région Centre-Val de Loire. Il compte 8 éoliennes Vestas V100 (Carte 1), pour une puissance unitaire de 2,2 MW, soit une puissance installée totale de 17,6 MW. Le parc éolien est implanté sur un plateau dont l'aire d'étude immédiate culmine à 160 mètres d'altitude. Les 8 éoliennes sont disposées en 2 rangées distinctes, dispersées dans un paysage dominé par les cultures intensives, bordé par la route départementale D16 d'Ouest en Est. Aucune mare ni aucun cours d'eau n'a été identifié au sein du parc éolien, mais des bois sont présents aux alentours et la Vallée de Torfou (ruisseau) prend fin au Sud-Ouest de la zone d'étude. Le Tableau 1 indique les coordonnées géographiques des éoliennes, en degrés minutes secondes.

Eolienne	Latitude	Longitude
E1	47°00'08,7"	001°57'22,3"
E2	47°00'23,5"	001°57'33,1"
E3	47°00'35,3"	001°57'41,7"
E4	47°00'48,6"	001°57'51,3"
E5	46°59'24,5"	001°58'14,2"
E6	46°59'37,4"	001°58'23,6"
E7	46°59'50,7"	001°58'29,3"
E8	47°00'04,9"	001°58'35,0"

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes du parc de la Vallée de Torfou.

Dans un rayon de 20 km autour du parc, 20 zones naturelles d'intérêt reconnu ont été recensées.

Dans l'aire d'étude intermédiaire (à moins de 5 km du site), 4 zones ont été recensées :

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

Dans l'aire d'étude éloignée (entre 5 et 20 km du site), 16 zones ont été recensées :

- 1 Arrêté de Protection de Biotope (APB),
- 1 site inscrit au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 11 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),
- 3 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type II (ZNIEFF II).

I.3. Rappel des enjeux des suivis environnementaux

L'objectif de cette partie est de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées lors de l'étude d'impact réalisée par ADEV Environnement et Calidris 2014, afin de les comparer avec les résultats de ce suivi post-implantation en 2021.

L'étude d'impact présente les conclusions suivantes pour le groupe des oiseaux :

- En période de nidification, 56 espèces ont été recensées au total, dont 12 présentent un intérêt patrimonial. Quatre espèces sont inscrites en annexe I de la Directive Oiseaux : l'**Œdicnème criard** (*Burhinus oedicanus*), la **Pie-grièche écorcheur** (*Lanius collurio*), le **Busard cendré** (*Circus pygargus*) et le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*). Cinq espèces sont classées comme « Vulnérables » sur la liste rouge nationale : le **Gobemouche noir** (*Ficedula hypoleuca*), la **Linotte mélodieuse** (*Linaria cannabina*), ainsi que les deux espèces de busard citées précédemment. Trois espèces sont déterminantes ZNIEFF dans la région : l'**Aigle botté** (*Hieraetus pennatus*), l'**Œdicnème criard** (*Burhinus oedicanus*) et le **Vanneau huppé** (*Vanellus vanellus*). Des passereaux tels que l'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*) et le **Bruant proyer** (*Emberiza calandra*) ont été observés en nombre important.
- En période de migration pré- et postnuptiale, cinq espèces présentent un enjeu : le **Busard des roseaux** (*Circus aeruginosus*), le **Milan royal** (*Milvus milvus*), le **Milan noir** (*Milvus migrans*), la **Grue cendrée** (*Grus grus*) et le **Pluvier doré** (*Pluvialis apricaria*).
- En période hivernale, deux groupes d'oiseaux se sont distingués : le **Vanneau huppé** (*Vanellus vanellus*) et le **Pigeon ramier** (*Columba palumbus*). D'autres espèces observées ponctuellement sont à noter : le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), le **Faucon émerillon** (*Falco columbarius*) et le **Hibou des marais** (*Asio flammeus*).

Les principaux enjeux notés sur au sein de la zone d'étude concernent les espèces nicheuses suivantes : l'Œdicnème criard et les Busards cendré et Saint-Martin. En période migratoire, seule la Grue cendrée présente un enjeu particulier.

L'étude d'impact présente les conclusions suivantes pour le groupe des chiroptères :

- Trois espèces ont été répertoriées sur le site : la **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*), la **Pipistrelle de Kuhl/Nathusius** (*Pipistrellus kuhlii/nathusii*) et un **Murin indéterminé** (*Myotis sp.*).
- La **Pipistrelle commune** fréquente régulièrement le site notamment pour la chasse tout au long de l'année.

Etant donné la faible diversité concernant ce taxon et la faible présence de boisements sur la zone d'étude, l'enjeu de conservation est considéré comme très faible pour les chiroptères.

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

1.4. Objectifs

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

- Une mortalité directe, accidentelle :
 - o Par collision avec les pales en mouvement,
 - o Par barotraumatisme à proximité de l'extrados des pales en mouvement,
 - o De manière plus anecdotique par collision contre le mât.

- Une perte d'habitat, temporaire en phase travaux ou permanente après construction, liée à la destruction d'espace de vie, de chasse ou de reproduction ;

- Un effet épouvantail, à nouveau temporaire et/ou permanent lié aux bruits, aux vibrations, à l'éclairage par exemple, perturbant les animaux résidents ou présentant un effet barrière aux migrants. Ces dérangements peuvent aussi bien éloigner les animaux (bruit, phobie des structures verticales et autres) que les attirer (chaleur des machines attirant les insectes, proies des chauves-souris par exemple).

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

La stratégie d'inventaire qui a été mise en œuvre permet d'avoir une bonne connaissance des fonctionnalités écologiques du site et est adaptée aux effets potentiels d'un parc éolien sur le milieu naturel, prenant en considération les informations préalables sur l'étude d'impact initial du parc. Ainsi, un nombre de sorties conforme au protocole national de 2018 a été mis en place.



Approche scalaire du site d'implantation Parc éolien de la Vallée de Torfou Indre (36)



Sens Of Life, 2021. Fond de carte : Google satellite.

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de la Vallée de Torfou (36).

II. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères

II.1. Sensibilité des oiseaux

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

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

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

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

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

II.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) ; Ana Teresa Marques *et al.*, 2014, (Thaxter *et al.*, 2017).

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

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

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

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

Le nombre de cadavres dans le monde est inconnu (Pagel *et al.*, 2013), mais ceux comptabilisés jusqu'à présent en Europe s'élèvent à 15906 individus de plus de 250 espèces différentes, dont 5545 cas de mortalité en Espagne, 4565 en Allemagne, 1791 en Belgique et 1481 en France (Dürr, 2021).

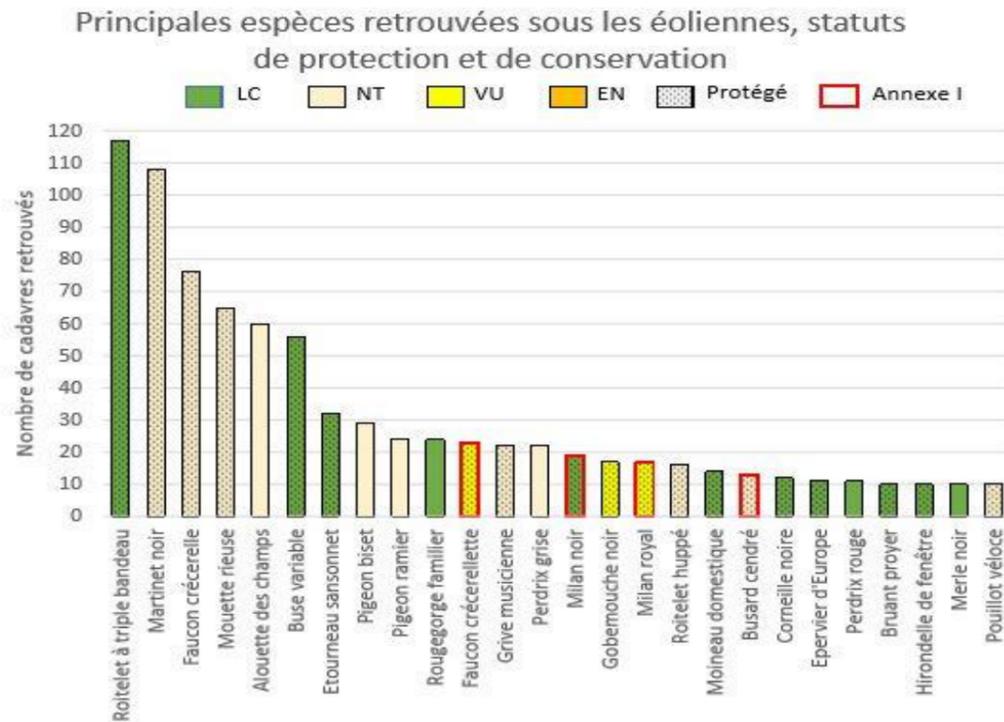
Les espèces les plus touchées en Europe (Dürr, 2021) sont :

- Le Vautour fauve (quasi exclusivement en Espagne),
- Le Goéland argenté (en Belgique essentiellement),
- La Buse variable (en Allemagne principalement),
- La Mouette rieuse (en Belgique principalement),
- Le Milan royal (en Allemagne principalement),
- Le Faucon crécerelle (en Espagne et en moindre mesure en France et Allemagne),
- Le Martinet noir (surtout en France et en Allemagne),
- L'Alouette des champs (surtout en Allemagne, France et Espagne),
- Le Canard colvert (en Allemagne principalement),
- Le Pygargue à queue blanche (en Allemagne principalement),
- Le Bruant proyer (en Espagne principalement).

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

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

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



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

Pour les oiseaux migrateurs, le risque de collision peut dépendre de la hauteur de déplacement, de la phénologie migratoire des espèces (solitaire, en groupes familiaux, sociaux, etc.), mais aussi de l'importance du flux migratoire (probabilité de collision proportionnelle aux effectifs). Le rapport entre intensité de la migration et nombre de victimes de collisions, au sein de la période de migration n'est cependant pas toujours vérifié, et est plus complexe qu'on ne le pensait jusqu'à présent. Les conditions de visibilité, dépendantes de la météo, jouent certainement un grand rôle (Aschwanden *et al.*, 2018). Le risque de collision dépend donc des éoliennes, certaines étant plus impactantes que d'autres, par leur emplacement ou leur disposition (en zone de nidification d'une espèce sensible, perpendiculaire aux axes migratoires majeurs, mât treillis...) (Thaxter *et al.*, 2017 ; Marques *et al.*, 2020).

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

collisions sont souvent aussi celles qui sont les moins farouches. Inversement, les espèces les plus sensibles au risque d'évitement ou aux effets « barrière », sont aussi les moins sensibles au risque de collision.



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

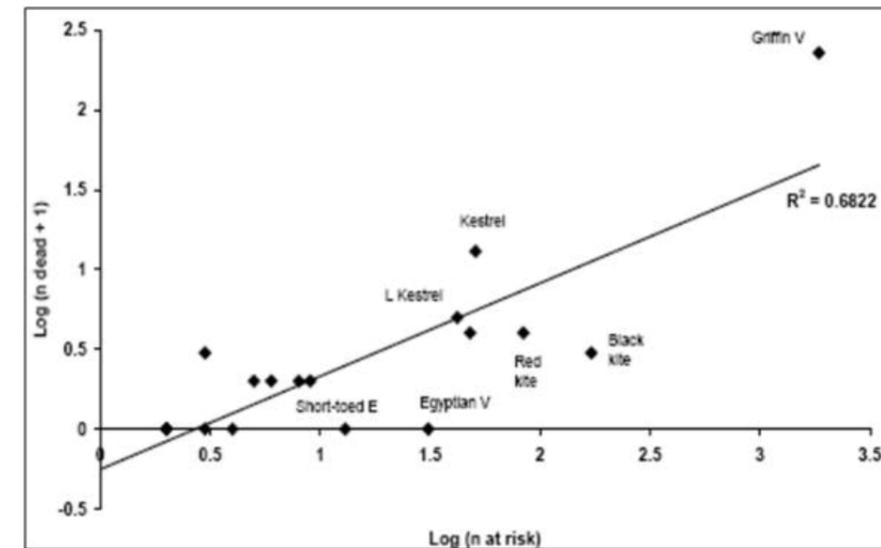
Les rapaces et les migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les éoliennes (Curry & Kerlinger, 1998 ; Hill *et al.*, 2014). Les collisions peuvent être plus fréquentes la nuit, les migrateurs étant attirés par les lumières des éoliennes, ou par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

Durant une journée de migration typique, l'aube et au crépuscule sont des périodes durant lesquelles les oiseaux risquent d'entrer en collision avec les structures des parcs

éoliens, car leur altitude varie beaucoup (Richardson, 1998 ; Langston & Pullan, 2003). Le degré de sensibilité générale de l'avifaune migratrice est donné ci-dessous :

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

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



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

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



Figure 2 : éolienne avec une pale peinte en noir.

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).

II.1.2. Perte d'habitat

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

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

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

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

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

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

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

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

En ce qui concerne la phase d'exploitation des éoliennes, son impact résultera du rapport entre les implantations précises des machines et l'occupation du site par les oiseaux en comportement nuptial (défense du territoire nuptial, parade nuptiale, recherche de matériaux pour la construction des nids, recherche de nourriture...). Des modifications de comportement peuvent également avoir lieu. Là encore, pour les espèces les plus sensibles, une simple modification de comportement après la ponte, voire un abandon des jeunes, peut porter directement atteinte à la dynamique des populations de l'espèce en question et indirectement à sa pérennité.

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



Figure 3 : Aigle royal. CCO domaine public.

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

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

II.1.3. Effet barrière

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

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

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

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

Il faut considérer les risques de collision et d'effarouchement comme les deux faces d'une même pièce. Les oiseaux qui ne montrent pas de réaction d'évitement par rapport aux éoliennes seront souvent plus sujets aux collisions que ceux qui sont effarouchés. Les grues cendrées, par exemple, peuvent être considérées comme sensibles à l'effarouchement dans le sens où elles ont tendance à contourner les parcs (le plus souvent bien en amont et sans montrer de réaction vive). De fait, aucun cadavre de grue cendrée n'a, à ce jour, été répertorié en France (Marx, 2017) et seuls 33 cadavres ont été recensés en Europe (Dürr, 2021). 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 migrateurs diurnes (contre 20 mètres pour les migrateurs nocturnes) (Albouy *et al.*, 1997 ; Winkelman, 1994). Des effets indirects cumulatifs peuvent être envisagés lorsqu'une modification de la trajectoire initiale implique de nouveaux obstacles (lignes électriques à haute tension par exemple).

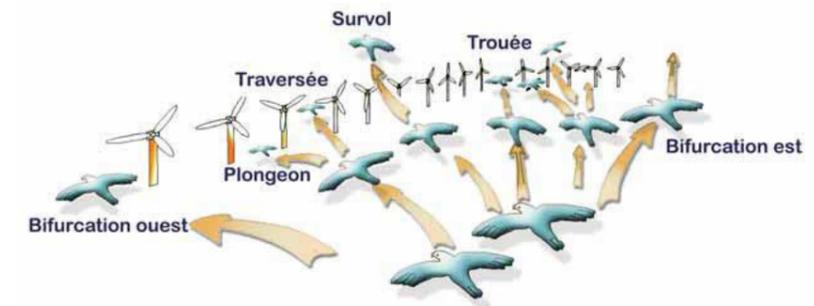


Figure 4 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

L'impact doit être évalué à la fois au cours des migrations 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).

II.2. Sensibilité des chiroptères

II.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⁻¹), 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⁻¹, l'écho revient vers l'animal avec un décalage en fréquence de 20 kHz. Il entraîne obligatoirement une erreur de mesure (la chauve-souris perçoit la cible plus éloignée qu'elle ne l'est en réalité). Le signal pourrait aussi simplement être ininterprétable ou inaudible pour l'animal qui n'a que quelques fractions de seconde pour réagir.

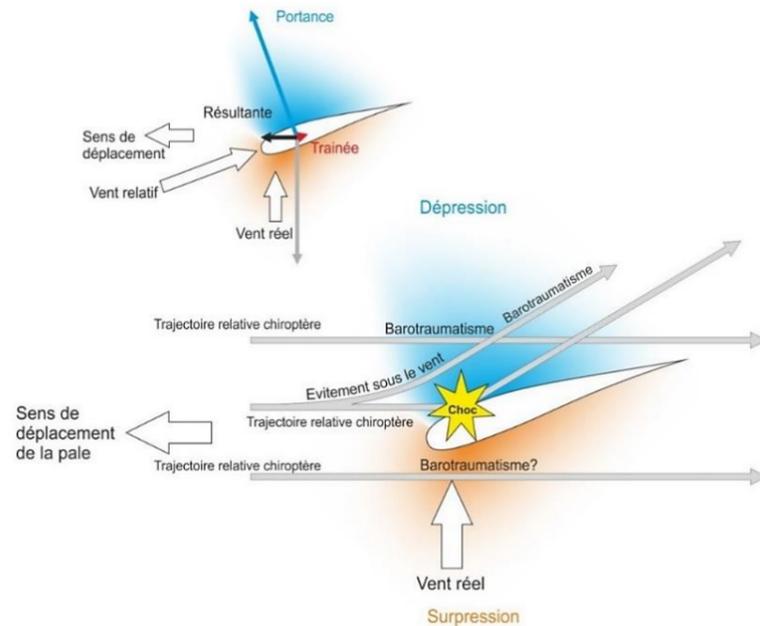


Figure 5 : Description du phénomène de barotraumatisme.

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

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

- L'écologie des espèces concernées, avec une sensibilité plus importante pour des espèces dites de haut-vol (> 40 m) appartenant principalement aux groupes des Sérotules (*Epistecus-Nyctalus*) et des Pipistrelles (Heitz & Jung, 2016) ; en Europe, les espèces les plus touchées seraient la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) et la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) (Gaultier *et al.*, 2020). Au contraire, les Rhinolophes et le genre *Myotis* chassent plutôt près du sol ou directement dans la végétation ce qui réduit les risques de collision (Gaultier *et al.*, 2020 ; Rydell *et al.*, 2010a) ;

- Du sexe, par exemple, les femelles de Noctule commune auraient un territoire de chasse plus grand et exploreraient plus de nouveaux territoires que les mâles, elle n'hésiterait donc pas à chasser à proximité des éoliennes (Roeleke *et al.*, 2016) ;
- Du milieu d'implantation des éoliennes avec des mortalités plus importantes en milieu forestier, sur des crêtes, le long de grands cours d'eau ou des zones littorales, moins importantes en milieu agricoles diversifiées et minimales sur des plaines agricoles (Rydell *et al.*, 2010b) ;
- De la saison, avec des pics de mortalité en fin d'été et début de l'automne, période de dispersion des jeunes et de migration (Heitz & Jung, 2016 ; Marx, 2017) ;
- De l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart *et al.*, 2013) ;
- Des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de 6,5 m.s⁻¹ et avec hautes températures (Beucher, 2020 ; Joiris, 2012). Pour les espèces de lisières comme les Pipistrelles, les pics d'activité ont lieu pour des vitesses de vent d'environ 2 m.s⁻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 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 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), mais diminuent également la possibilité de déplacement entre chaque éolienne.

II.2.2. Mortalité directe et mortalité indirecte

a) Mortalité directe

La mortalité directe, qu'elle soit produite par barotraumatisme ou collision, génère une mortalité qui est de mieux en mieux documentée. Il apparaît que toutes les espèces ne sont pas impactées de la même manière par ce phénomène. Le comportement et l'écologie des animaux influenceraient fortement leur sensibilité à l'éolien. Ainsi, les chauves-souris chassant en plein ciel (espèces de haut vol) ou réalisant des migrations, seraient beaucoup plus impactées que les espèces sédentaires glanant leur nourriture au sol ou dans la canopée (Roemer *et al.*, 2017). En Europe, le Tableau 28 compilé par Tobias Dürr permet de constater le nombre de cas de mortalité, relevé par espèce et par pays. En croisant ces données avec la vulnérabilité des espèces, il est possible de définir la sensibilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 3).

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

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

b) Mortalité indirecte

La mortalité directe n'est pas le seul facteur affectant les chauves-souris, celles-ci peuvent également être victime de perte d'habitat ou du dérangement résultant de l'implantation et du fonctionnement d'un parc éolien. Les effets indirects de l'aménagement et du fonctionnement des parcs éoliens peuvent induire un impact supplémentaire sur les populations de chauves-souris (individus, habitats et proies), qu'elles soient résidentes ou migratrices. Ces perturbations peuvent être de plusieurs natures :

- 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 m des éoliennes (Minderman *et al.*, 2017).

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

III. Suivi de la mortalité au sol sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Cette étude est proposée dans le but d'optimiser les connaissances quant à l'impact du parc éolien de la Vallée de Torfou sur les chauves-souris et les oiseaux. Elle a pour objectif de caractériser la mortalité induite par le fonctionnement des éoliennes étudiées sur les chiroptères et les oiseaux. Un protocole éprouvé et rationalisé est mis en place pour évaluer au mieux le nombre de cadavres, en prenant en compte les biais inhérents à ce type de démarche.

III.1. Protocole

Le suivi de la mortalité est basé sur un protocole développé par l'équipe d'Arnett (Casselman Wind Project, 2008-2010), puis adapté et appliqué en Europe par des membres de notre équipe sur le parc éolien de Bouin (Lagrange et al., 2009). Il est conforme au protocole ministériel publié en 2018 et se déroule sur 20 prospections au minimum, à débuter dès le lever du jour, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre). Les suivis de mortalité ont été effectués sur le parc éolien de la Vallée de Torfou selon le protocole, entre le 20 mai et le 26 octobre 2021.

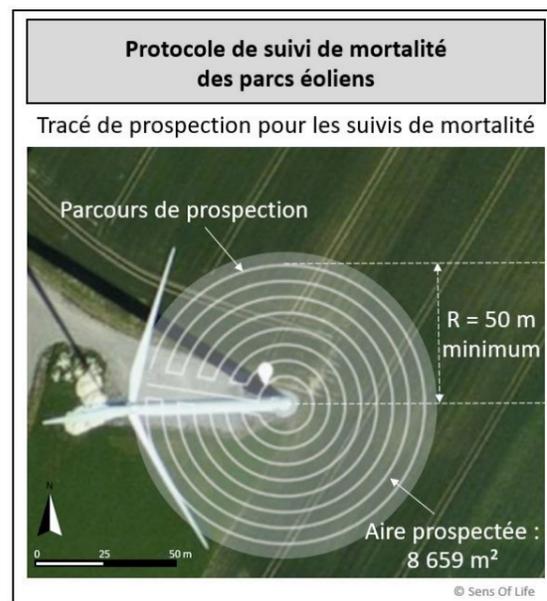


Figure 6 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne.

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 (50 mètres) fixée à l'éolienne est déroulée. 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 10 cercles (50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10 et 5 mètres) soit 1728 mètres de transect, à une vitesse approximative de 3 km/h. L'opération nécessite 35 minutes de parcours, auxquelles s'ajoutent 10 minutes de relevés de cadavres. La surface prospectée est de 8659 m² ($S = \pi \cdot R^2$, avec $R = 52,5$ mètres, dont 50 mètres de corde et 2,5 mètres de prospection). Le rayon de prospection choisi sera adapté à la longueur des pales (Figure 6).

Le nombre de cadavres retrouvés sous les éoliennes est directement lié au nombre de prospections réalisées (Marx, 2016) et leur détectabilité dépend de (Marx, 2017) :

- 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 prédation des cadavres) ;
- De la longueur des pales (cadavres au-delà du rayon de recherche).

L'identification des chauves-souris a été réalisée par analyse morphologique de la dentition des cadavres, après avoir été conservés congelés (Figure 7). L'ouvrage d'Arthur et Lemaire (2009) a été utilisé comme référence.

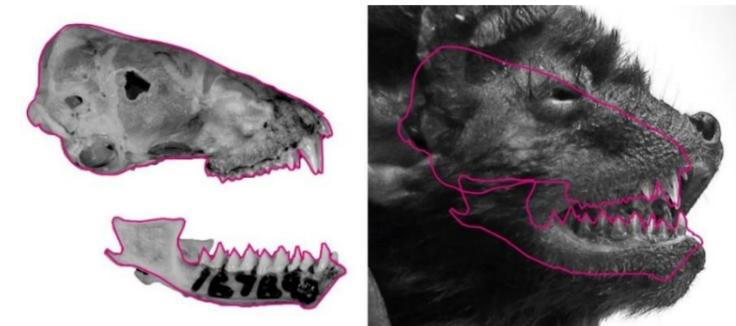


Figure 7 : Comparaison de la dentition pour l'identification de la Noctule de Leisler.

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, et de Cieślak et Dul, 2006 et aux sites Internet :

- <http://skullsite.w3basix.nl/search/index.cfm>
- <https://sketchfab.com/laboratorinatura/collections/aves?cursor=48>

III.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes

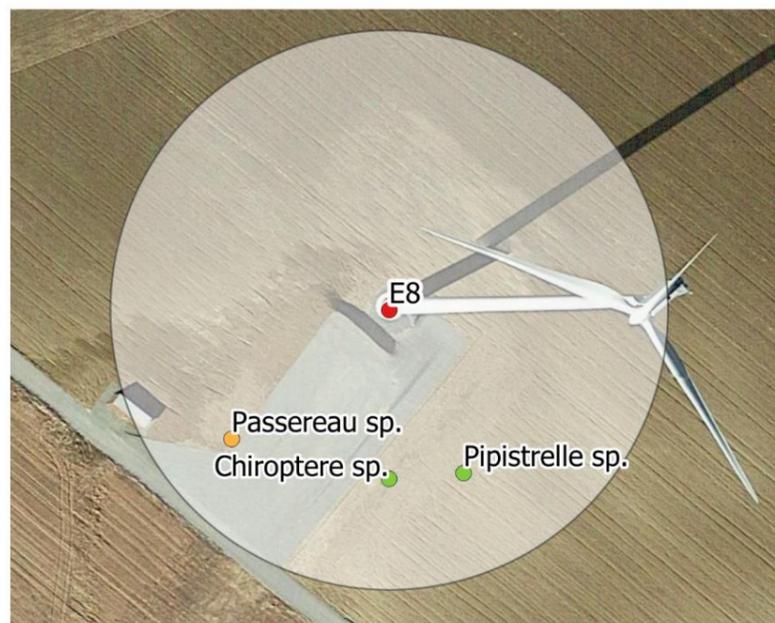
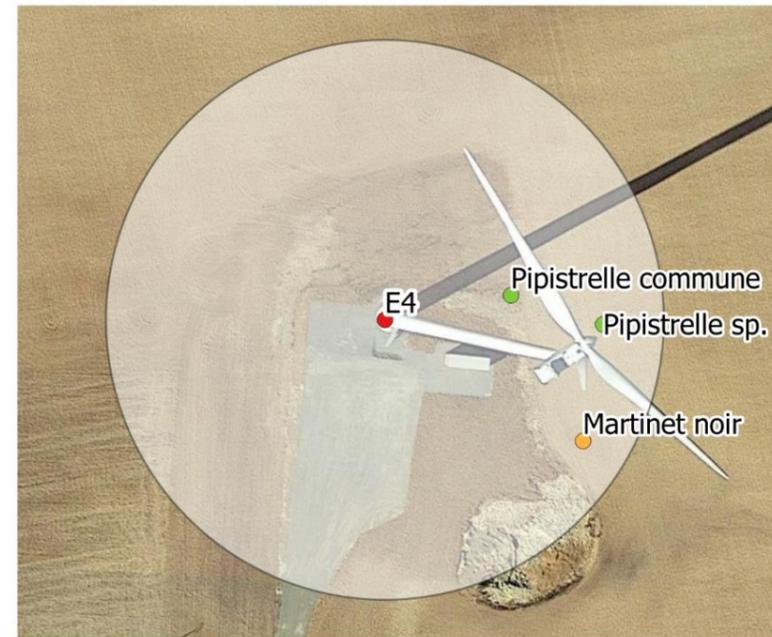
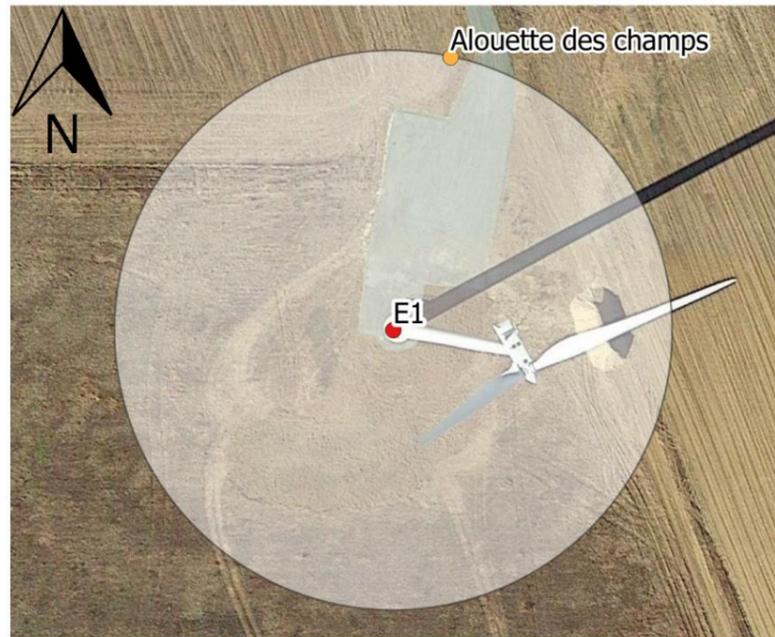
Le suivi de mortalité du parc éolien de la Vallée de Torfou est basé sur un passage hebdomadaire entre mai et octobre, soit une pression d'échantillonnage relativement importante. Les éoliennes ont été prospectées au cours de 20 passages réalisés aux dates listées dans le Tableau 7. Au total, 3 cadavres d'oiseaux et 5 cadavres de chiroptères ont été retrouvés lors des suivis de mortalité. L'ensemble des individus découverts sont morts par barotraumatisme et/ou par collision avec les pales, soit 100 % des individus dont la mort est imputable aux éoliennes. Le Tableau 4 indique les caractéristiques générales des collisions constatées sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021. Toutes les fiches d'identification des cadavres sont disponibles en annexe 1. La Carte 2 permet la visualisation de la répartition spatiale de ces cadavres sous les éoliennes du parc.

Espèce	Nom latin	Type	LR France	Sexe	Coordonnées GPS	Eolienne	Distance au mât	Orientation par rapport au mât	Date
Passereau sp.		Passereau	-	-	47.001107 ; 1.975929	E8	45 m	Sud-Ouest	18/06/2021
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	NT	-	47.002927 ; 1.956361	E1	62 m	Nord	27/07/2021
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	Passereau	NT	-	47.013263 ; 1.96482	E4	49 m	Sud-Est	27/07/2021
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chiroptère	NT	-	47.7013544 ; 1.964616	E4	46 m	Est	08/09/2021
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chiroptère	NT		46.997497 ; 1.974861	E7	9 m	Nord	15/09/2021
<i>Chiroptère sp.</i>		Chiroptère	-	-	47.001030 ; 1.976375	E8	24 m	Sud	13/10/2021
<i>Pipistrelle sp.</i>		Chiroptère	-	-	47.001041 ; 1.976586	E8	38 m	Sud	13/10/2021
<i>Pipistrelle sp.</i>		Chiroptère	-	-	47.013488 ; 1.964877	E4	45 m	Est	26/10/2021

Tableau 4 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité dans le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.



Cadavres retrouvés au sol Parc éolien de la Vallée de Torfou Indre (36)



Légende :

● Emplacement des éoliennes

Type de cadavre

● Cadavre de chiroptère

● Cadavre d'oiseau

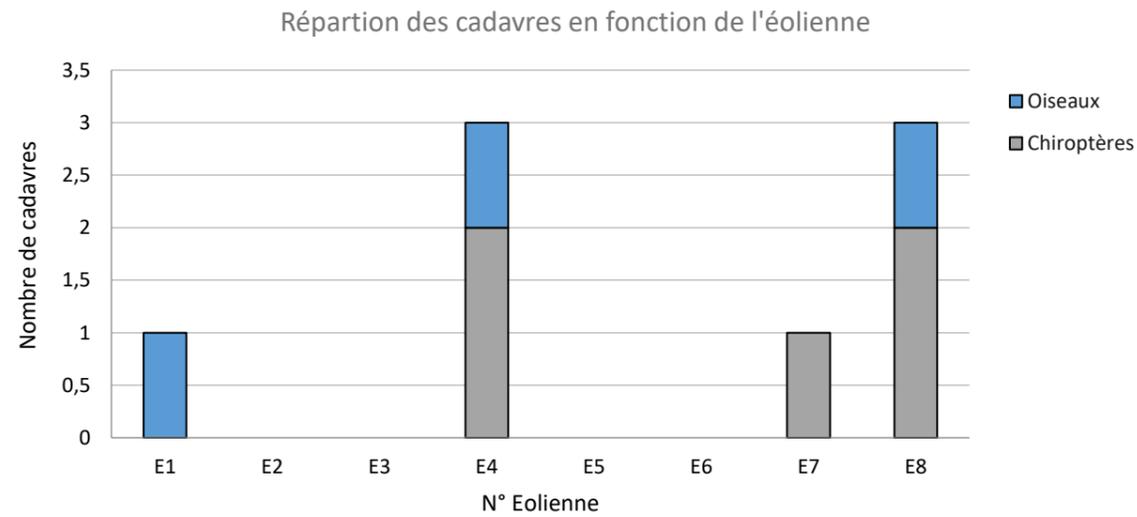


Sens Of Life, 2021. Fond de carte : Google satellite.

Carte 2 : Localisation des cadavres sous les éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

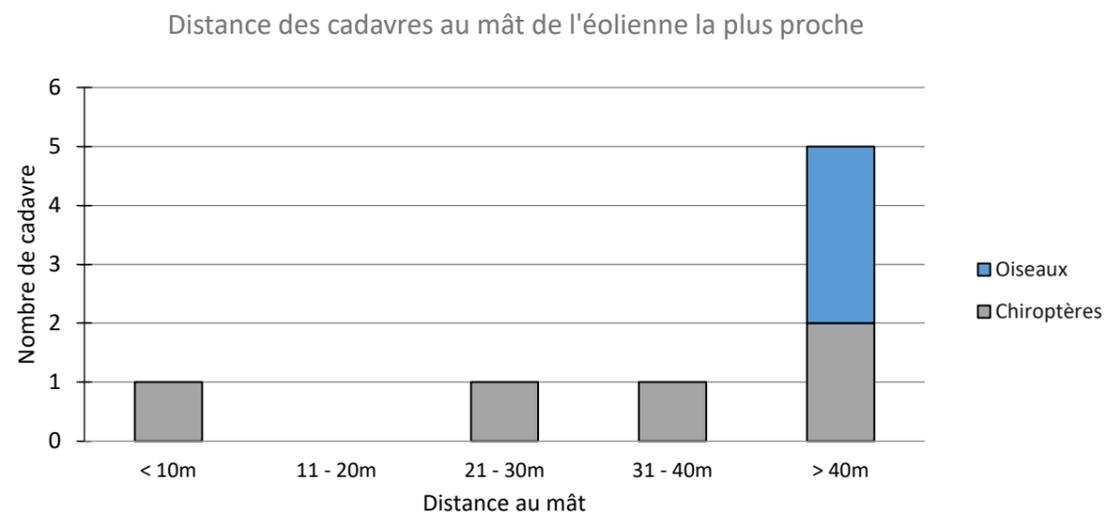
III.2.1. Analyse spatiale des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

On constate avec le Graphique 3 que les cadavres ont été retrouvés sous la moitié des éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021. Les cadavres d’oiseau ont été trouvés sous E1, E4 et E8, toutes trois aux extrémités des rangées d’éoliennes et les cadavres de chiroptères sous E4, E7 et E8. Les éoliennes E4 et E8 sont les plus mortifères avec un total de 3 cadavres chacune, situées toutes deux aux extrémités Nord du parc.



Graphique 3 : Répartition des cadavres d’oiseaux en fonction de l’éolienne, sur le parc éolien de Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.

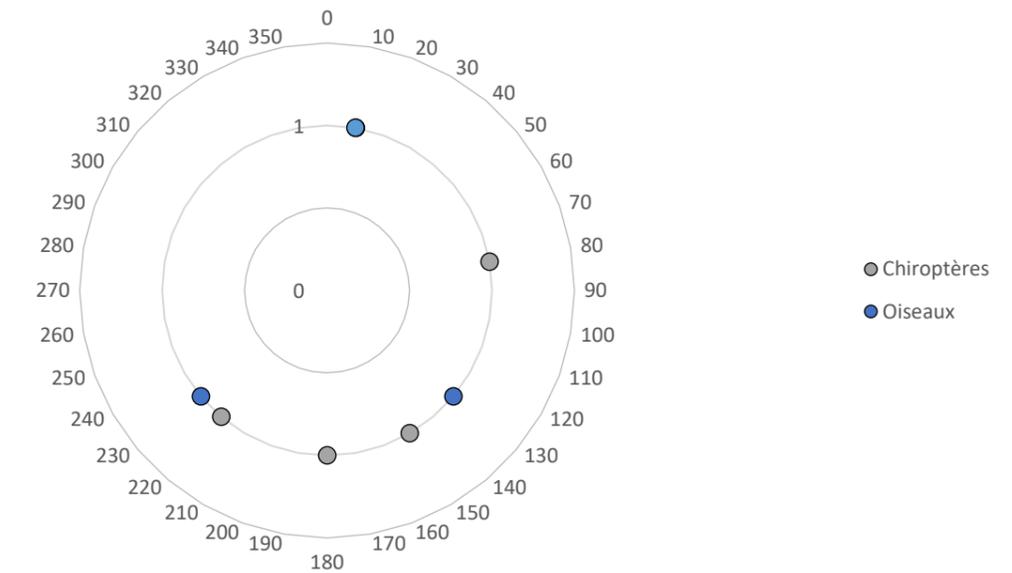
La majorité des cadavres, notamment tous les cadavres d’oiseaux, ont été trouvés à plus de 40 m du mât le plus proche (Graphique 4). Les cadavres de chiroptères semblent répartis de manière aléatoire allant de moins de 10 m à plus de 40 m du mât le plus proche.



Graphique 4 : Répartition de la position des cadavres d’oiseaux en fonction de la distance au mât, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.

Enfin, la répartition des cadavres a été analysée en fonction de leur orientation par rapport au mât de l’éolienne la plus proche (Graphique 5). Les cadavres semblent répartis de manière aléatoire autour des mâts, quelle que soit l’espèce.

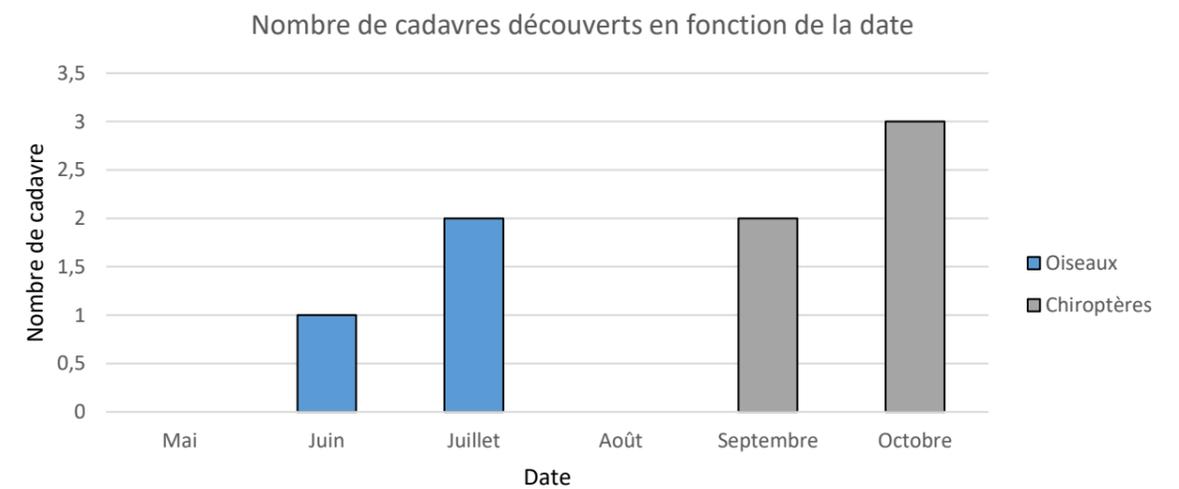
Répartition des cadavres en fonction de la direction par rapport au mât



Graphique 5 : Répartition des cadavres d’oiseaux en fonction de leur orientation par rapport au mât le plus proche, parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.

III.2.2. Analyse temporelle des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Le Graphique 6 permet d’analyser la mortalité constatée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en fonction de la période biologique. Les cadavres d’oiseaux ont été retrouvés au cours des mois de juin et juillet, correspondant à la période d’élevage des jeunes. Les cadavres de chiroptères ont été trouvés en septembre et octobre, correspondant à la période de transition automnale et d’accouplement.



Graphique 6 : Répartition des cadavres d’oiseaux en fonction de la date, parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021.

III.2.3. Analyse météorologique des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Les données météorologiques récoltées sur le parc éolien de la vallée de Torfou permettent d'analyser les conditions de vent et de température pouvant expliquer les mortalités constatées en 2021 (Tableau 5). Une fois la date de la collision estimée en fonction de l'avancement de la décomposition du cadavre, les moyennes de vitesses de vent et de températures ont été calculées sur 3 jours, de 21h00 à 07h00 pour les collisions de chiroptères et de 07h00 à 21h00 pour les oiseaux. Les données concernant les précipitations n'ont pas été recueillies, toutefois, l'absence de précipitation combinée à de faibles vitesses de vent et des températures plutôt hautes pourrait expliquer une activité importante des chiroptères et ainsi accroître le risque de collision. De fortes précipitations pourraient diminuer la visibilité des oiseaux au cours de leur déplacement et également augmenter le risque de collision.

En ce qui concerne les jours précédant les dates estimées des collisions des oiseaux, les conditions météorologiques sont caractérisées par des vitesses de vent moyennes comprises entre 3,6 et 6,9 m.s⁻¹ et des températures moyennes comprises entre 29,9°C et 28,1°C (Tableau 5). Des rafales de vent pouvant aller jusqu'à 11,8 m.s⁻¹ pourraient expliquer certaines collisions.

Date des collisions constatées	Etat du cadavre	Moyenne des températures le jour (°C)	Vitesse moyenne du vent le jour (m.s ⁻¹)	Vitesse maximale du vent le jour (m.s ⁻¹)
18/06/2021	Avancé, en morceaux	28,1	3,6	8,1 m.s ⁻¹ le 17/06 à 20h50
27/07/2021	Sec, en morceaux	21,9	6,9	11,8 m.s ⁻¹ le 24/07 à 17h10
27/07/2021	Frais	21,9	6,9	11,8 m.s ⁻¹ le 24/07 à 17h10

Tableau 5 : Caractéristiques météorologiques des trois jours précédents les collisions d'oiseaux constatées sur le parc de la Vallée de Torfou entre mai et octobre 2021.

En ce qui concerne les collisions de chiroptères constatées sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, les 3 jours précédents sont caractérisés par des vitesses de vent moyennes comprises entre 5,5 et 6,7 m.s⁻¹ et des températures moyennes comprises entre 11,5°C et 23°C, correspondant à des conditions météorologiques favorables à l'activité chiroptérologique.

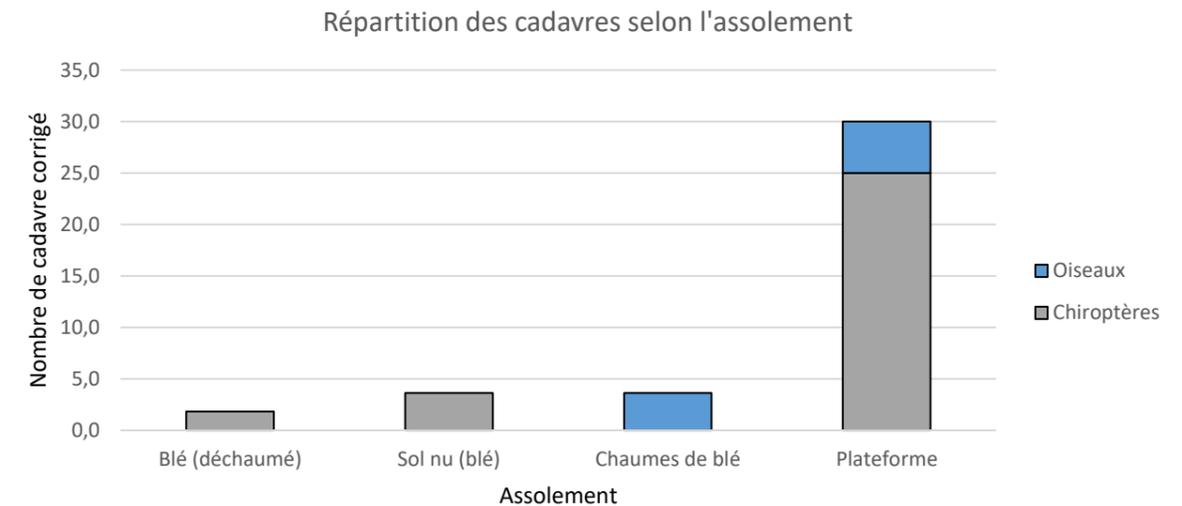
Date des collisions constatées	Etat du cadavre	Moyenne des températures la nuit (°C)	Vitesse moyenne du vent la nuit (m.s ⁻¹)	Vitesse maximale du vent la nuit (m.s ⁻¹)
08/09/2021	Décomposé	23,0	6,7	10,9 m.s ⁻¹ le 06/09 à 21h50
15/09/2021	Avancé	20,8	6,5	12,9 m.s ⁻¹ le 14/09 à 04h00
13/10/2021	Sec	11,5	5,5	8,2 m.s ⁻¹ le 11/10 à 22h40
13/10/2021	Avancé	11,5	5,5	8,2 m.s ⁻¹ le 11/10 à 22h40
26/10/2021	Avancé	11,9	5,8	9,4 m.s ⁻¹ le 25/10 à 05h10

Tableau 6 : Caractéristiques météorologiques des trois jours précédents les collisions de chiroptères constatées sur le parc de la Vallée de Torfou entre mai et octobre 2021.

III.2.4. Analyse des collisions en fonction du milieu sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

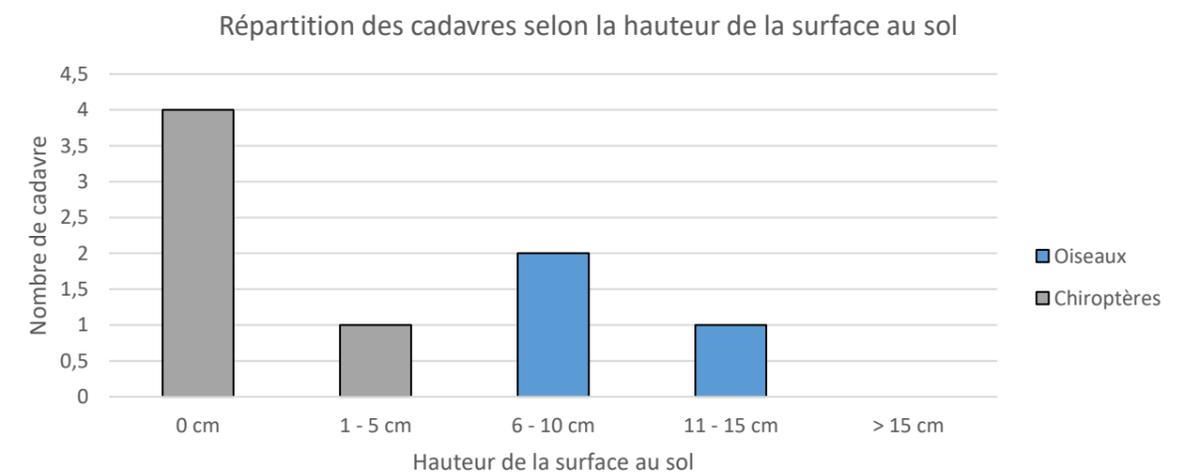
Les cultures présentes sur le parc éolien de la Vallée de Torfou ne sont pas équivalentes en termes de surface : le blé représente ainsi 55 % des cultures prospectées, la plateforme représente 20 %, le colza représente 13 %, l'orge représente 11 %, et les chemins représentent 1 %. Trouver plus de cadavres dans les champs de blé ne signifie donc pas forcément qu'ils sont plus mortifères mais que la probabilité est tout simplement plus élevée par simple proportionnalité. Afin de s'affranchir de ce biais d'interprétation, le

nombre de collisions a été divisé par le coefficient de surface de la culture, soit pour le parc éolien de la Vallée de Torfou : 0,55 pour le blé, 0,20 pour la plateforme, 0,13 pour le colza, 0,11 pour l'orge et 0,01 pour les chemins. La majorité des cadavres ont été retrouvés au niveau de la plateforme (Graphique 7), ce qui n'est pas étonnant puisque ces espaces sont dépourvus de végétation et présentent donc une visibilité élevée.



Graphique 7 : Nombre de collisions en fonction de la culture, corrigées par leur coefficient surfacique, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

Nous avons ensuite regardé la répartition des cadavres en fonction de la hauteur de la surface au sol (Graphique 8). La moitié des cadavres (50 %) ont été retrouvés au niveau d'une surface au sol qui est nulle (sol nu ou plateforme par exemple). 25 % des cadavres ont été trouvés sur une surface dont la hauteur se situe entre 6 et 10 cm. 13 % des cadavres ont été trouvés sur une surface entre 1 et 5 cm ou entre 11 et 15 cm. Aucun cadavre n'a été trouvé au niveau d'une surface dont la hauteur était supérieure à 15 cm.



Graphique 8 : Répartition des cadavres en fonction de la hauteur de la surface au sol, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

III.3. Occupation du sol et surface prospectée

La couverture végétale au moment des passages pour la recherche des cadavres, ainsi que la surface prospectable, sont relevées à chaque passage. La surface prospectée peut être inférieure à la surface théorique, 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 du suivi sont programmées quand la plupart des cultures ont déjà été moissonnées. La Carte 3 montre un aperçu des zones prospectables au sein des surfaces délimitées pour la recherche de cadavres sur le parc éolien de la Vallée de Torfou.

Au pied des éoliennes, la plus grande partie du sol est occupée par des cultures de graminées. Au cours du mois de juin, les cultures ont commencé à être trop hautes donc certaines surfaces n'ont pas pu être prospectées entièrement. La couverture végétale sous les éoliennes de la Vallée de Torfou étant très variable, le pourcentage de surface prospectable a été noté à chaque sortie et une moyenne a été calculée sur l'année de recherche pour estimer ce biais (Tableau 7).

III.4. Calcul des biais

III.4.1. Test de prédation

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. Pour évaluer ce biais, le taux de prédation des cadavres doit être évalué, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (DREAL, 2015 ; DREAL, 2018).

Ainsi, trois cadavres de cailles ont été déposés sous les éoliennes E1, E2, E3 et E4 le 11/08/2021 et une deuxième série de test a été réalisée le 13/10/2021 sous E5, E6, E7 et E8. Leur recherche a été menée le lendemain (J+1), puis à J+2, J+6 et J+12, donc pendant 2 semaines s'il y avait persistance. La disparition a été considérée complète au moment où l'observateur estimait que les restes ne pouvaient pas permettre de repérer les individus en dehors d'une connaissance précise de leur localisation.

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

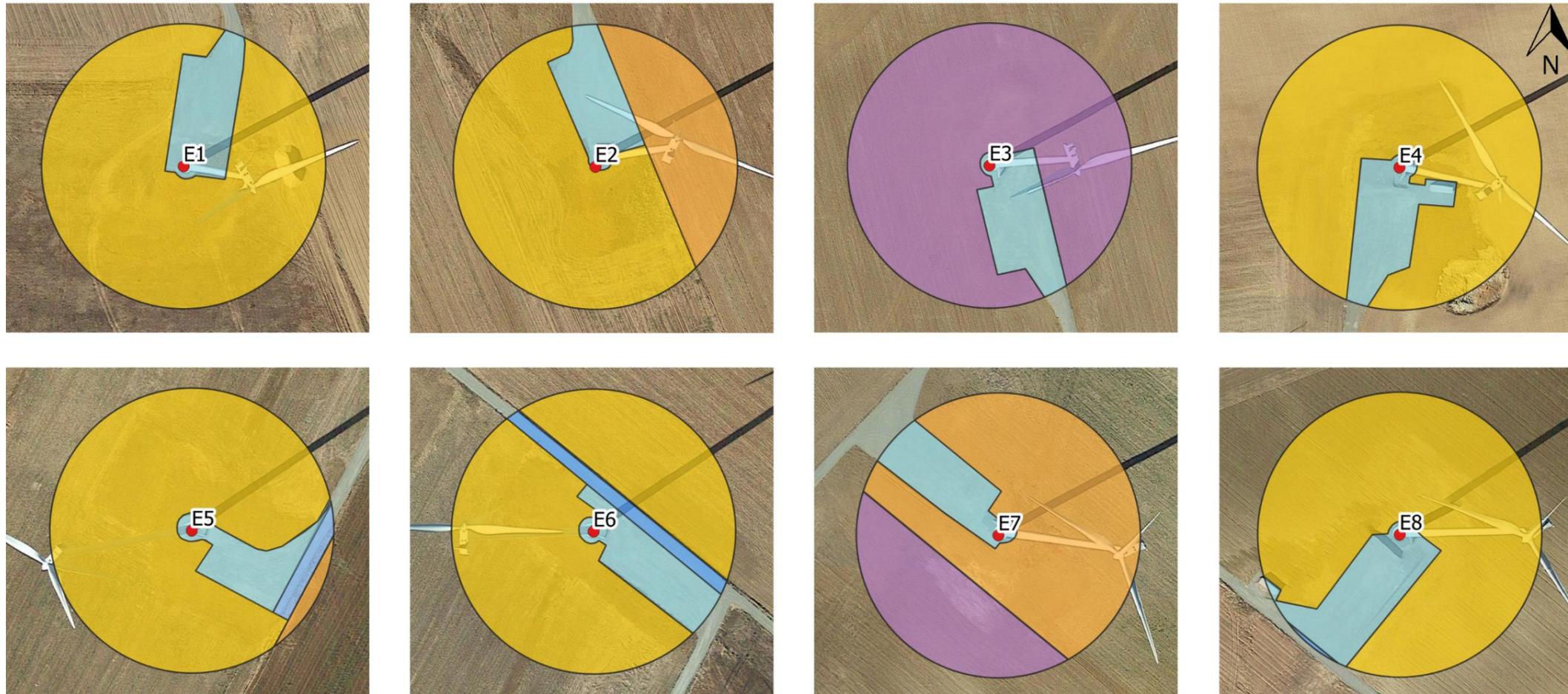
- Le temps de séjour moyen d'un cadavre : $t_m = \frac{\sum_i^n t_i}{n}$
 t_m = temps de séjour moyen d'un cadavre
 t_i = temps de persistance d'un cadavre
 n = nombre de cadavres utilisés
- Le taux de persistance des cadavres : $S = \frac{n_{nuit}}{n}$
 S = taux de persistance des cadavres
 n_{nuit} = nombre de cadavres persistant après un passage
 n = nombre de cadavres utilisés

Sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, le temps de séjour moyen d'un cadavre est estimé à 1,6 jours et le taux de persistance au sixième jour est estimé à 0 %. Les résultats de ce test montrent que la prédation sur le site d'étude est très élevée : étant donné que l'intervalle moyen entre deux prospections est de 8,8 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.

Date	Type et hauteur du sol et pourcentage de la surface prospectée															
	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8	
20/05/2021	Blé 55 cm	- 20%	Orge 70 cm (Est), blé barbu 60 cm (Ouest)	- 20%	Colza 140 cm	- 20%	Blé 70cm	- 20%	Orge 80 cm (Sud-Est), blé barbu 70 cm (Ouest)	- 20%	Blé 70 cm (Nord), blé 70 cm (Sud-Ouest)	- 20%	Orge 90 cm (Nord), colza 110 cm (Sud)	- 20%	Blé 60 cm	- 20%
01/06/2021	Blé 70 cm	- 25%	Orge 70 cm (E), blé barbu 70 cm (O)	- 20%	Colza 150 cm	- 20%	Blé 80 cm	- 20%	Orge 85 cm (SE), blé barbu 75 cm (O)	- 20%	Blé 85 cm (N), blé 85 cm (SO)	- 20%	Orge 75 cm (N), colza 120 cm (S)	- 20%	Blé 75 cm	- 20%
08/06/2021	Blé 75 cm	- 25%	Orge 75cm (E), blé barbu 85 cm (O)	- 20%	Colza 155 cm	- 20%	Blé 80 cm	- 25%	Orge 70cm (SE), blé barbu 80 cm (O)	- 25%	Blé 80 cm (N), blé 80 cm (S)	- 20%	Orge 80 cm (N), colza 155 cm (S)	- 20%	Blé 75 cm	- 25%
18/06/2021	Blé 65 cm	- 25%	Orge 65cm (E), blé barbu 85 cm (O)	- 20%	Colza 130 cm	- 20%	Blé 85 cm	- 25%	Orge 80 cm (SE), blé barbu 85 cm (O)	- 25%	Blé 80 cm (N), blé 85 cm (S)	- 20%	Orge 80 cm (N), colza 110 cm (S)	- 20%	Blé 85 cm	1 25%
21/06/2021	Blé 75 cm (O), blé 70 cm (E)	- 25%	Orge 70 cm (E), blé barbu 85 cm (O)	- 20%	Colza 140 cm	- 20%	Blé 85 cm	- 25%	Orge 85 cm (SE), blé barbu 80 cm (O)	- 25%	Blé 85 cm (N), blé 95 cm (S)	- 20%	Orge 70 cm (N), colza 110 cm (S)	- 20%	Blé 85 cm	- 25%
29/06/2021	Blé 75 cm (S), blé 70 cm (O), blé 70 cm (E)	- 25%	Orge 65 cm (E), blé barbu 80 cm (O)	- 20%	Colza 130 cm	- 20%	Blé barbu 85 cm	- 25%	Paille 20 cm (SE), blé barbu 80 cm	- 25%	Blé barbu 85cm (N), blé barbu 80 cm (S)	- 20%	Orge 70 cm (N), colza 115 cm (S)	- 20%	Blé 85 cm	- 20%
13/07/2021	Blé 75cm (S), blé 80cm (O), blé 60 cm (E), friche parking	- 20%	Orge 65 cm (E), blé barbu 75 cm (O)	- 20%	Colza 115 cm	- 20%	Blé 80 cm	- 20%	Paille 20 cm (SE), blé barbu 80 cm	- 25%	Blé barbu 80 cm (N), blé barbu 80 cm (S)	- 20%	Chaumes 20-40 cm, tiges paille 10-25 cm	- 100%	Blé 80 cm	- 20%
21/07/2021	Friche parking, blé 75 cm (E), tas paille	- 95%	Orge récolté, blé barbu 70 cm (O)	- 50%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Chaumes 0-30 cm	- 100%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Chaumes 10-20 cm et tas paille	- 100%	Chaumes 20-40 cm, tiges paille 10-25 cm	- 100%	Blé 80 cm	- 20%
27/07/2021	Chaumes 10-20 cm, friche	1 100%	Chaumes 15-20 cm	- 100%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Chaumes 0-30 cm	1 100%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Chaumes 15-40 cm, colza déchaumé	- 100%	Tiges paille 10-30 cm, friche parking	- 90%
03/08/2021	Chaumes 10-20 cm, friche parking 15-90 cm	- 85%	Chaumes 15-20 cm, friche parking	- 95%	Chaumes 10-20 cm, friche parking	- 85%	Chaumes 0-30 cm, friche parking 10 - 80 cm	- 80%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Chaumes 10-20 cm	- 100%	Champs déchaumé	- 100%	Tiges paille 10-30 cm, friche parking	- 85%
11/08/2021	Déchaumé (E), Chaumes 10-20 cm (O), friche parking 15-90 cm	- 85%	Chaumes 10-60 cm (E), Chaumes 0-15cm (O), friche parking	- 95%	Déchaumé, friche parking	- 85%	Déchaumé, friche parking 10-80 cm	- 80%	Chaumes 10-20 cm (O), sarrasin 0-40 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré (N), tiges paille 5-30 cm (S)	- 100%	Déchaumé, friche parking	- 100%	Déchaumé, friche parking	- 80%
17/08/2021	Chaumes (O), déchaumé (E), friche parking hétérogène	- 85%	Labouré (O), Chaumes + herbe (E) 10-70cm, friche parking	- 95%	Déchaumé, friche parking	- 85%	Déchaumé, friche parking 10-80cm	- 80%	Chaumes 10-20 cm + labouré (O), sarrasin 0-70 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré (N), labouré partiellement + tiges paille 5-30 cm (S)	- 100%	Déchaumé, friche parking	- 95%	Déchaumé, friche parking	- 80%
23/08/2021	Chaumes (O) + herbe 10-50 cm, déchaumé (E), friche parking hétérogène	- 85%	Labouré (O), Chaumes + herbe (E) 10-80cm, friche parking	- 80%	Déchaumé, friche parking	- 85%	Déchaumé, friche parking 10-90cm	- 80%	Labouré, sarrasin 0-70 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré	- 100%	Déchaumé + repousses colza, friche parking	- 95%	Déchaumé, friche parking	- 80%
01/09/2021	Chaumes (O) + herbe 10-50 cm, déchaumé (E), friche parking hétérogène	- 85%	Labouré (O), déchaumé, friche parking	- 85%	Repousses colza, friche parking	- 90%	Déchaumé, friche parking 10-90 cm	- 80%	Labouré, sarrasin 20-110 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré	- 100%	Déchaumé + repousses colza + herbe, friche parking	- 95%	Déchaumé, friche parking	- 85%
08/08/2021	Chaumes (O) + herbe 10-50 cm, déchaumé (E), friche parking hétérogène	- 85%	Labouré (O), déchaumé, friche parking	- 85%	Repousses colza 0-25 cm hétérogène, friche parking	- 90%	Déchaumé, friche parking 10-90 cm	1 80%	Labouré, sarrasin 30-130 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré	- 100%	Déchaumé + repousses colza + herbe, friche parking	- 95%	Déchaumé, friche parking	- 85%
15/09/2021	Déchaumé, friche parking hétérogène	- 90%	Labouré (O), déchaumé, friche parking	- 85%	Repousses colza 10-40 cm hétérogène, friche parking	- 25%	Repousses herbe 0-15 cm peu dense, friche parking 10-95 cm	- 80%	Labouré, sarrasin 40-130 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré	- 100%	Herbe dense 0-20 cm (NE), champs retourné (S), friche parking	1 55%	Déchaumé, friche parking	- 85%
04/10/2021	Déchaumé, friche parking hétérogène	- 90%	Labouré (O), herbe 0-15cm (E), déchaumé, friche parking	- 90%	Sol retourné, friche parking	- 90%	Sol retourné, friche parking 15-90 cm	- 80%	Labouré, sarrasin 30-80 cm (SE), friche parking	- 95%	Labouré	- 100%	Herbe dense 15-30 cm (NE), champs retourné (S), friche parking	- 55%	Labouré, friche parking	- 85%
13/10/2021	Champ en train d'être déchaumé, friche parking	- 20%	Champ enherbé à l'Est (0-15 cm), labouré à Ouest, friche parking	- 70%	Sol nu, friche parking	- 90%	Sol nu, friche parking 15-90 cm	- 80%	Sol nu, sarrasin 30-80 cm, friche parking	- 90%	Labouré	- 100%	Herbe dense 15-30 cm (NE), champs retourné (S), friche parking	- 55%	Sol nu, friche parking	2 85%
19/10/2021	Champ nu, friche parking fauchée	- 100%	Champ enherbé à l'Est (0-20 cm), labouré à Ouest, friche parking fauchée	- 100%	Sol nu, friche parking fauchée	- 100%	Sol nu, friche parking 15-90 cm	- 80%	Sol nu, sarrasin 15-80 cm, friche parking	- 90%	Sol nu	- 100%	Herbe dense 15-45 cm (NE), champ hétérogène avec repousses (S), friche parking	- 55%	Sol nu, friche parking	- 85%
26/10/2021	Champ nu, friche parking fauchée	- 100%	Champ enherbé à l'Est (0-20 cm), labouré à Ouest, friche parking fauchée	- 100%	Sol nu, friche parking fauchée	- 100%	Sol nu, friche parking fauchée	1 100%	Tiges sarrasin 10-40 cm, friche parking fauchée	- 100%	Sol nu	- 100%	Herbe dense 15-45 cm (NE), champs retourné (S), friche parking fauchée	- 60%	Sol nu, friche parking fauchée	- 100%
Moyenne	63,5%		63,3%		63,3%		63,0%		70,5%		72,0%		64,0%		60,0%	

Tableau 7 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021. Les cadavres retrouvés au sol sont représentés en rouge.

Surfaces prospectables et type de culture Parc éolien de la Vallée de Torfou Indre (36)



Sens Of Life, 2021. Fond de carte : Google satellite.

Légende :

- Emplacement des éoliennes
- Orge
- Colza
- Blé
- Plateforme
- Chemin



Carte 3 : Surfaces prospectables et types de culture, sous les 8 éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

III.4.2. 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 prédation.

Un premier chargé d'étude a ainsi déposé 5 leurres d'oiseaux et 10 leurres de chauves-souris (Figure 8), soit 15 leurres au total, sous chacune des éoliennes 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).

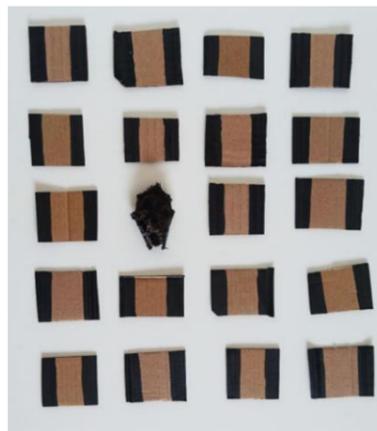


Figure 8 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection.

Ce test a été réalisé deux fois durant l'année 2021, le 03/08/2021 et le 19/10/2021, 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.

A partir de ces données, le taux de détection a été calculé à chaque passage : $f_{Ex}^t = \frac{l_{RetEx}^t}{l_{TotEx}^t}$

f_{Ex}^t = taux de détection pour le passage t sous l'éolienne Ex

l_{RetEx}^t = nombre de leurres retrouvés lors du passage t sous l'éolienne Ex

l_{TotEx}^t = nombre total de leurres dispersés sous l'éolienne Ex

Eolien	Couvert végétal	Leurres retrouvés (03/08/21)		Taux de détection (03/08/21)		Couvert végétal	Leurres retrouvés (19/10/21)		Taux de détection (19/10/21)		Taux de détection moyen	
		Oiseaux	Chiro	Oiseaux	Chiro		Oiseaux	Chiro	Oiseaux	Chiro	Oiseaux	Chiro
E1	Chaumes	5	6	100%	60%	Chaumes	5	7	100%	70%	100%	65%
E2	Chaumes	4	7	80%	70%	Chaumes	NA	NA	NA	NA	80%	70%
E3	Chaumes	5	6	100%	60%	Chaumes	5	10	100%	100%	100%	80%
E4	Chaumes	5	7	100%	70%	Chaumes	5	6	100%	60%	100%	65%
E5	Chaumes	5	9	100%	90%	Chaumes	5	8	100%	80%	100%	85%
E6	Chaumes	4	8	80%	80%	Chaumes	5	8	100%	80%	90%	80%
E7	Chaumes	5	3	100%	30%	Chaumes	NA	NA	NA	NA	100%	30%
E8	Chaumes	5	4	100%	40%	Chaumes	4	6	80%	60%	90%	50%
Moyenne du parc				94%	66%				97%	75%	95%	70%

Tableau 8 : Évaluation du taux de détection de cadavres sous chaque éolienne du parc éolien la Vallée de Torfou.

Sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, le taux de détection sous les éoliennes varie de 30 % à 100 %, avec une excellente détection de 95 % pour les oiseaux et de 66 % pour les chiroptères, sur l'ensemble du parc éolien.

III.5. 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. Pour chaque formule, les notations suivantes seront utilisées :

N = nombre d'individus potentiellement tués (dépend de l'éolienne considérée)

C = nombre de cadavres trouvés (dépend de l'éolienne considérée)

A = coefficient de correction surfacique (dépend de l'éolienne considérée)

p = proportion de cadavres qui perdurent au-delà de l'intervalle entre deux passages

➤ p = 0 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

t = temps de séjour moyen des cadavres (jours)

➤ t = 1,60 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

d = probabilité de détection des leurres

➤ d = 0,66 pour les chiroptères et d = 0,95 pour les oiseaux sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

b = nombre de recherches effectués sur le terrain

➤ b = 20 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

I = intervalle de temps entre chaque recherche (jours)

➤ I = 8,83 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

i = intervalle effectif = - log (0,01) x t

➤ i = 3,21 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

ê = coefficient correcteur de l'intervalle = Min (I : i) / I

➤ ê = 0,36 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

M = nombre de turbines prospectées

➤ M = 8 sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Winkelman (1992) est le premier à avoir calculé la mortalité estimée en fonction d'un nombre de cadavres retrouvés. Les biais de prédation, de détection et de surface prospectée avaient d'ores et déjà été pris en compte. Sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, la prédation trop importante empêche l'application de

cette formule car la proportion de cadavres qui ont perduré au-delà de l'intervalle entre deux suivis a été en moyenne de 0 % lors des deux tests de prédation.

$$N = \frac{C * A}{p * d}$$

La formule d'Erickson *et al.*(2005) utilise le taux de persistance des cadavres comme le nombre moyen de jours de persistance (t) divisé par l'intervalle entre les recherches (I). Cette formule a l'avantage de s'adapter à un changement d'intervalle imprévu. Mathématiquement, si le taux de persistance est supérieur à l'intervalle, alors il est supérieur à 1, ce qui est impossible en pratique. Avec des intervalles courts, cette méthode a tendance à sous-estimer le taux de prédation et donc sous-estimer le nombre de cadavres tués. Sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, l'intervalle de temps entre les suivis étant en moyenne de 8,83 jours, l'application de cette formule est tout-à-fait pertinente.

$$N = \frac{I * C}{t * d} * A$$

La formule de Jones *et al.* propose en 2009 une estimation unitaire de la mortalité, c'est-à-dire calculée sous chaque éolienne pour chaque recherche de cadavres effectuée sur le terrain. Il faut donc ensuite les cumuler pour obtenir la mortalité estimée sur un parc éolien sur la durée totale de l'étude.

$$N = \frac{C}{d * \exp^{-0,5 * I / t * \hat{e}}} * A \quad \text{avec } p = \exp^{-0,5 * \frac{I}{t}}$$

L'année suivante, une nouvelle formule publiée par Huso (2010) présuppose que la persistance des cadavres dans le temps suit plutôt une distribution exponentielle. Cette approche définit un risque constant impliquant que les cadavres attirent les nécrophages de manière constante au fil du temps. Il est aussi supposé que les intervalles de confiance puissent être inférieurs au nombre de cadavres trouvés sous les éoliennes.

$$N = C / \left(d * \frac{t * (1 - \exp^{-\frac{I}{t}})}{I} * \hat{e} \right) * A \quad \text{avec } p = t * (1 - \exp^{-\frac{I}{t}}) / I$$

Enfin, la formule de Bastos *et al.*(2013) 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.

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

III.5.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des chiroptères puis la mortalité estimée a été corrigée selon la surface réellement prospectée (Tableau 9).

Eolienne	Nombre de cadavres	Surface prospectée (%)	Mortalité corrigée selon les formules de :			
			Erickson <i>et al.</i> (2005)	Jones <i>et al.</i> (2009)	Huso (2010)	Bastos <i>et al.</i> (2013)
E1	0	63,5%	-	-	-	5,5
E2	0	63,5%	-	-	-	4,8
E3	0	63,3%	-	-	-	3,6
E4	2	63,0%	23,2	181,8	64,1	12,5
E5	0	70,5%	-	-	-	3,2
E6	0	72,0%	-	-	-	3,6
E7	1	64,0%	25,1	197,0	69,4	24,1
E8	2	60,0%	30,1	236,3	83,3	18,2
Parc	5	65,7%	56,4	442,2	155,8	39,7
Nombre de chiroptères/éolienne			7,0	55,3	19,5	5,0
Intervalle de confiance à 95 %			1,0	8,0	2,8	0,7

Tableau 9 : Mortalité des chiroptères, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme à la bibliographie et les éoliennes indiquées en rouge présentent une mortalité plus élevée que la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010).

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de la Vallée de Torfou est estimée entre 5,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 55,3 (Jones *et al.*, 2009) chiroptères tués par éolienne, sur la période d'étude (de mai à octobre 2021). Selon (Rydell *et al.*, 2010b), le contexte paysager du site d'implantation influence le taux de mortalité des éoliennes, qui est maximal dans les parcs situés dans le littoral ou sur des crêtes et moins important dans des parcs sur des plaines agricoles homogènes (0-3 individus impactés/éolienne/an) ou des paysages bocagers et agricoles (2-5 chauves-souris impactées/éolienne/an). Le contexte paysager du parc éolien est assimilable à la deuxième configuration décrite par cet auteur. En 2021, la mortalité réelle des chiroptères est donc supérieure aux chiffres trouvés dans la bibliographie.

III.5.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux, puis la mortalité estimée a été corrigée selon la surface réellement prospectée (Tableau 10).

Eolienne	Nombre de cadavres	Surface prospectée (%)	Mortalité corrigée selon les formules de :			
			Erickson <i>et al.</i> (2005)	Jones <i>et al.</i> (2009)	Huso (2010)	Bastos <i>et al.</i> (2013)
E1	1	63,5%	7,5	59,0	20,8	3,9
E2	0	63,5%	-	-	-	3,6
E3	0	63,3%	-	-	-	2,0
E4	1	63,0%	7,5	59,1	20,8	3,9
E5	0	70,5%	-	-	-	2,0
E6	0	72,0%	-	-	-	2,7
E7	0	64,0%	-	-	-	2,0
E8	1	60,0%	8,4	65,7	23,1	5,0
Parc	3	65,7 %	23,4	183,3	64,6	16,2
Nombre d'oiseaux/éolienne			2,9	22,9	8,1	2,0
Intervalle de confiance à 95 %			0,3	2,5	0,9	0,1

Tableau 10 : Mortalité des oiseaux, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021. Les éoliennes indiquées en vert présentent une mortalité conforme à la bibliographie, et celles indiquées en rouge présentent une mortalité plus élevée que la bibliographie (Marx, 2017).

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des oiseaux réelle sur le parc éolien de la Vallée de Torfou est estimée entre 2,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 22,9 (Jones *et al.*, 2009) oiseaux tués par éoliennes, sur la période d'étude, de mai à octobre 2021. Pour les parcs en Zone de Protection Spéciale (ZPS), une mortalité brute de 2,2 oiseaux/éolienne/an, avec une mortalité réelle estimée moyenne de 7 oiseaux/éolienne/an (Marx, 2017) est attendue. En 2021, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de la Vallée de Torfou correspond aux données retrouvées dans la littérature (selon les formules de Bastos et Erickson) ou est supérieure aux chiffres trouvés dans la bibliographie (selon les formules de Jones et Huso) (Marx, 2017).

III.6. Vulnérabilité des espèces retrouvées sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

III.6.1. Calcul de la note de risque

Pour les oiseaux, la note de sensibilité à l'activité éolienne est déterminée en fonction de la mortalité européenne constatée (Dürr, 2020) pondérée par l'abondance relative de l'espèce, c'est-à-dire le nombre de couple nicheurs (BirdLife International) :

- Mortalité représentant plus de 1 % du nombre de couples nicheurs : note de 4
- Mortalité représentant entre 0,1 % et 1 % du nombre de couples nicheurs : note de 3
- Mortalité représentant entre 0,01 % et 0,1 % du nombre de couples nicheurs : note de 2
- Mortalité représentant entre 0,001 % et 0,01 % du nombre de couples nicheurs : note de 1
- Mortalité représentant moins de 0,001 % du nombre de couples nicheurs : note de 0

Pour les chiroptères, la note de sensibilité à l'activité éolienne est le rapport entre la mortalité européenne constatée de l'espèce sur celle toutes espèces de chiroptères confondues (Dürr, 2020) :

- Mortalité de l'espèce représentant plus de 5 % de la mortalité totale : note de 4
- Mortalité de l'espèce représentant entre 0,5 % et 5 % de la mortalité totale : note de 3
- Mortalité de l'espèce représentant entre 0,1 % et 0,5 % de la mortalité totale : note de 2
- Mortalité de l'espèce représentant moins de 0,1 % de la mortalité totale : note de 1

Enfin, la note de risque, ou vulnérabilité à l'éolien, est le résultat du croisement entre l'enjeu de conservation d'une espèce au niveau national (IUCN, 2017, Tableau 11) et sa sensibilité avérée à l'activité des parcs éoliens, selon la matrice ci-dessous.

		Sensibilité à l'éolien				
		0	1	2	3	4
Enjeu de conservation	Espèce non protégée	0,5				
	DD, NA, NE	0,5	1	1,5	2	2,5
	LC	1	1,5	2	2,5	3
	NT	1,5	2	2,5	3	3,5
	VU	2	2,5	3	3,5	4
	CR, EN	2,5	3	3,5	4	4,5

Tableau 11 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale.

III.6.2. Vulnérabilité des oiseaux retrouvés

Le **Martinet noir** (*Apus apus*) est une espèce protégée, inscrite en annexe III de la convention de Berne. Elle n'est pas considérée comme menacée à l'échelle européenne mais est classée « Quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs en France. On décompte 412 cas de mortalité en Europe, dont 121 en France (Dürr, 2021). **La note de risque de cette espèce est moyenne (2/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, un adulte a été retrouvé mort le 27 juillet 2021 sous E4.



Figure 9 : Martinet noir. CCO domaine public.



Figure 10 : Alouette des champs. Sens Of Life.

L'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*) est une espèce non protégée inscrite en annexe II/2 de la Directive Oiseaux et en annexe III de la Convention de Berne. Elle n'est pas considérée comme menacée à l'échelle européenne mais est classée « Quasi-menacée » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs en France. On recense 388 cas de mortalité en Europe, dont 91 cas en France (Dürr, 2021). **La note de risque de cette espèce est faible (1,5/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, un individu a été retrouvé mort sous E1 le 27 juillet 2021.

III.6.3. Vulnérabilité des chiroptères retrouvés



Figure 11 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.

La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II de la convention de Bonn et de la convention de Berne, annexe I de la directive EUROBATS). Cette espèce est classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine et comme « à surveiller » à l'échelle régionale. L'espèce étant liée à des zones fortement anthropisées, les éoliennes à proximité des habitations ont une forte incidence sur l'espèce, avec une mortalité élevée par collision avec les pales des éoliennes ou par barotraumatisme, et les

éoliennes situées à proximité de lisières dont le champ de rotation des pales est proche des supports d'écholocation de l'espèce (lisière, canopée etc.) semblent être les plus à risque. Concernant la mortalité, 2435 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune en Europe, dont 1012 en France. C'est l'espèce dont les cas de mortalités relevés par Dürr (2021) sont les plus nombreux en Europe. **La note de risque est très élevée pour cette espèce (3,5/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, un individu a été retrouvé mort le 08 septembre 2021 sous E4 et un second le 15 septembre sous E7.

⇒ Synthèse du suivi de mortalité au sol sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Trois individus d'oiseaux et cinq individus de chiroptères ont été retrouvés morts au pied des éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou.

Concernant les oiseaux, ces trois individus appartiennent aux espèces suivantes : un **Martinet noir** (*Apus apus*) et une **Alouette des champs** (*Alauda arvensis*). Le troisième cadavre n'a pas pu être identifié à l'espèce. Pour les oiseaux, la mortalité réelle estimée varie entre 2,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 22,9 (Jones *et al.*, 2009) individus tués par éolienne et par an sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, ce qui est soit conforme, soit plus élevé que les chiffres annoncés par Marx (2017).

Cinq cadavres de chiroptère ont été retrouvés sur le parc de la Vallée de Torfou en 2021 : deux **Pipistrelles commune** (*Pipistrellus pipistrellus*), deux pipistrelles indéterminées et un chiroptère indéterminé. Une fois la mortalité brute corrigée avec les biais de prédation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle estimée varie entre 5,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 55,3 (Jones *et al.*, 2009) chiroptères tués par éolienne et par an sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, ce qui est supérieur aux chiffres annoncés par Rydell *et al.* (2010).

IV. Suivi de l'activité des chiroptères

IV.1. Matériel et méthodes

IV.1.1. Enregistrement acoustique

Les suivis d'activité chiroptérologique en altitude permettent de définir précisément les niveaux d'activité et les cortèges d'espèces qui interagiront réellement avec les pales des machines. Le suivi des chiroptères a été réalisé du 11 mai au 31 octobre 2021, afin de comprendre comment le site est utilisé par ces espèces. Afin de qualifier les déplacements en hauteur, un TrackBat (version acoustique) a été mis en place en nacelle de l'éolienne E6.

La pose de ces enregistreurs a pour objectifs :

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

- Enregistreurs

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

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

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

Le stockage est réalisé sur une clef USB de 256 Go : cette capacité de stockage permet de limiter les opérations de maintenance. Ils disposent d'une connexion 3G permettant d'évaluer à distance les paramètres critiques du fonctionnement du matériel (nombre de fichiers enregistrés, tension d'alimentation, espace de stockage libre). Ces enregistreurs sont montés dans un boîtier métallique étanche (IP68) assurant un blindage contre les perturbations électromagnétiques.

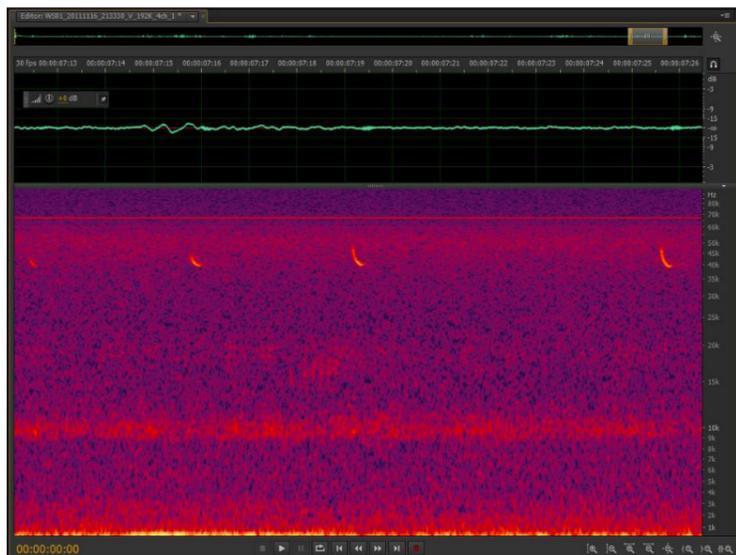


Figure 12 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.

- Microphones

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

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



Figure 13 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite).

IV.1.2. Méthode d'analyse des sons

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

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

Néanmoins, l'utilisation des signaux d'écholocation pour l'identification des différentes espèces de chiroptères n'est pas toujours possible, compte tenu des recouvrements de caractéristiques entre certains signaux provenant d'espèces différentes. Ces limites sont accentuées par la qualité des sons enregistrés : un fort bruit de fond ou des parasites gênent l'identification en accentuant les recouvrements entre espèces. Dans ce cas, l'identification est limitée au groupe d'espèces, comme présentée dans le Tableau 2.

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

Tableau 12 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.

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

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

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

Evaluation des indices d'activité

Avec les réserves formulées dans le paragraphe précédent, les indices d'activité ont été déterminés de manière brute, ainsi qu'en prenant en compte une correction du volume de détection. En effet, les espèces rencontrées émettent avec une intensité différente des cris dont les fréquences sont atténuées de manière différente par l'atmosphère (Figure 3 et Figure 4).

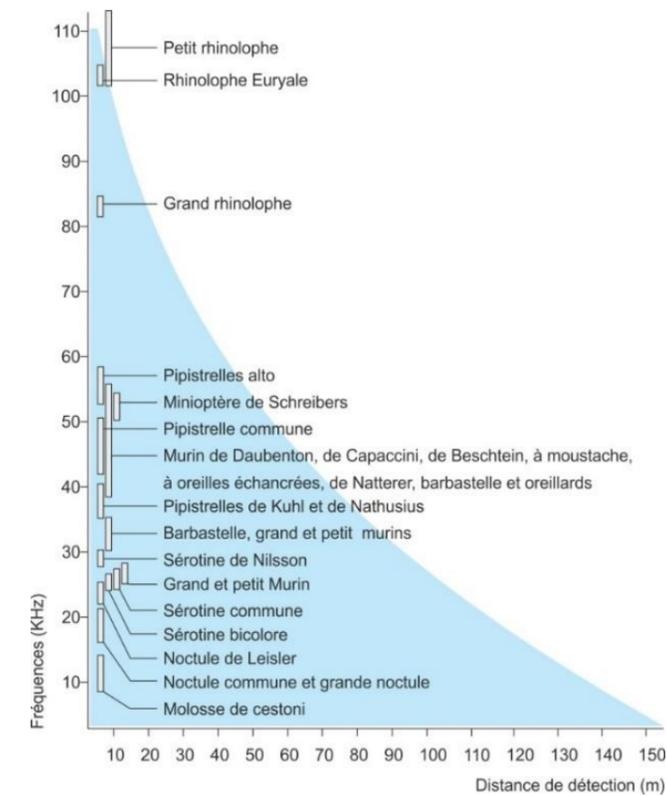


Figure 14 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

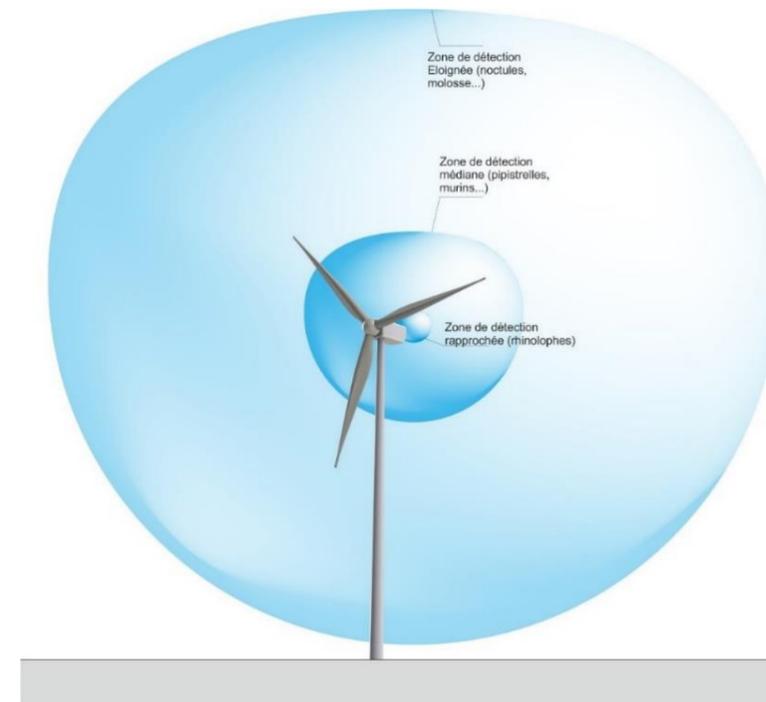


Figure 15 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

Pour prendre en compte ces variations, nous avons utilisé les facteurs de correction préconisés par Michel Barataud récapitulés dans le Tableau 3. De manière générale, l'application de ces coefficients permet de rétablir le rapport des indices d'activité entre les petites espèces utilisant des fréquences élevées, fortement absorbées par l'atmosphère, et les grosses espèces émettant des sons très puissants sur des fréquences basses, peu absorbées par l'atmosphère.

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

Tableau 13 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

IV.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique

IV.2.1. Activité corrigée par espèce

Les enregistrements des ultrasons ont eu lieu en continu du 11 mai au 31 octobre 2021. Ces suivis permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leurs activités. Le Tableau 4 synthétise le nombre de contacts bruts et corrigés pour chaque espèce contactée à hauteur de la nacelle de l'éolienne E6. Au total, 913 contacts de chiroptères ont été enregistrés sur le parc éolien de la Vallée de Torfou. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 697,93 contacts sont comptabilisés.

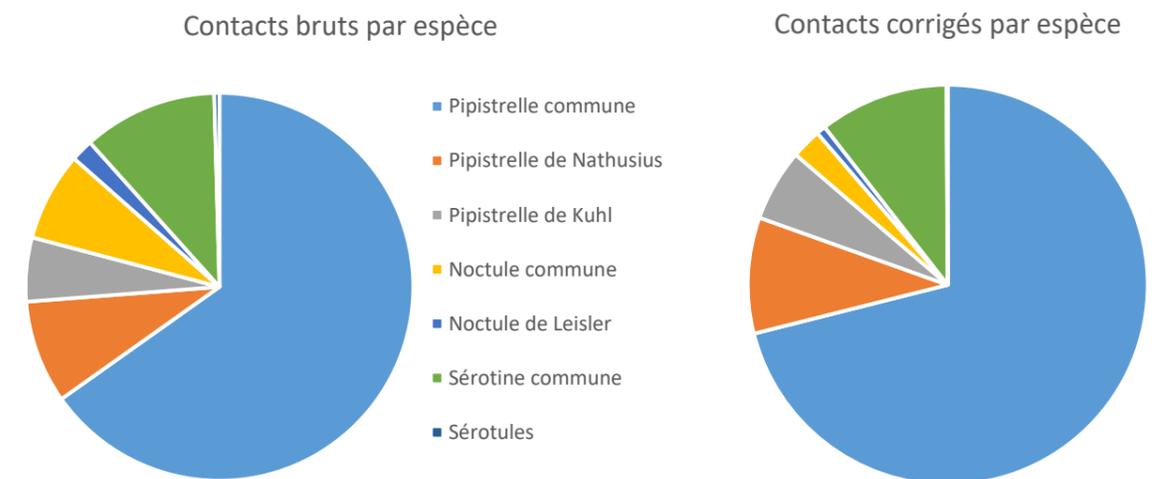
Six espèces ont été contactées et déterminées avec précision (Graphique 9) :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 65,6 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 11,3 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 8,7 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 6,9 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 5,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 1,8 % des contacts.

Le groupe indéterminé des Sérotules représente 0,4 % des contacts.

Espèce	Nombre de contacts	
	Contacts bruts	Contacts corrigés
Pipistrelle commune	599	497,17
Sérotine commune	103	73,13
Pipistrelle de Nathusius	79	65,57
Noctule commune	63	15,75
Pipistrelle de Kuhl	49	40,67
Noctule de Leisler	16	4,96
Sérotules	4	0,68
TOTAL	913	697,93

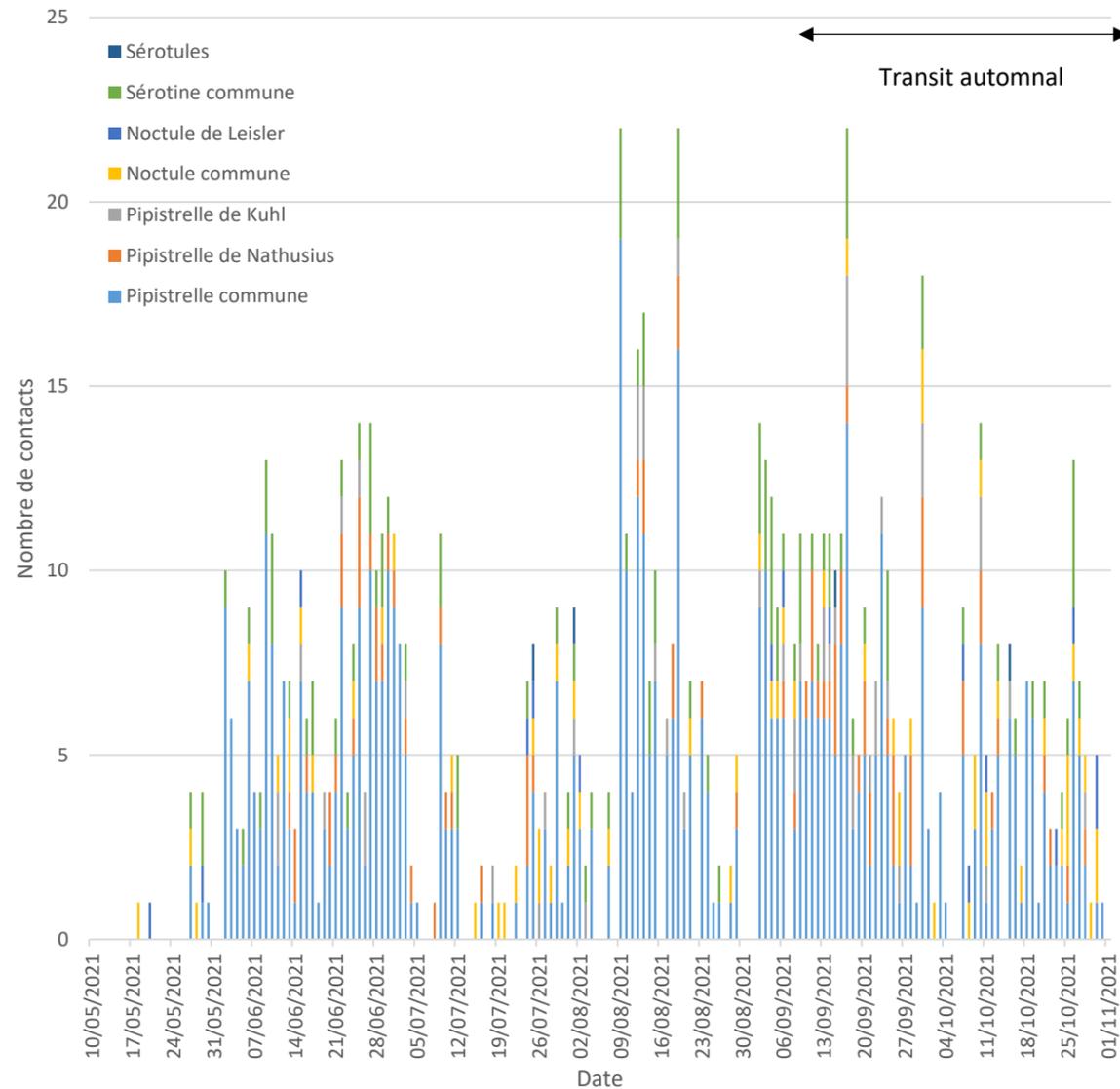
Tableau 14 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021.



Graphique 9 : Proportion des espèces contactées en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021.

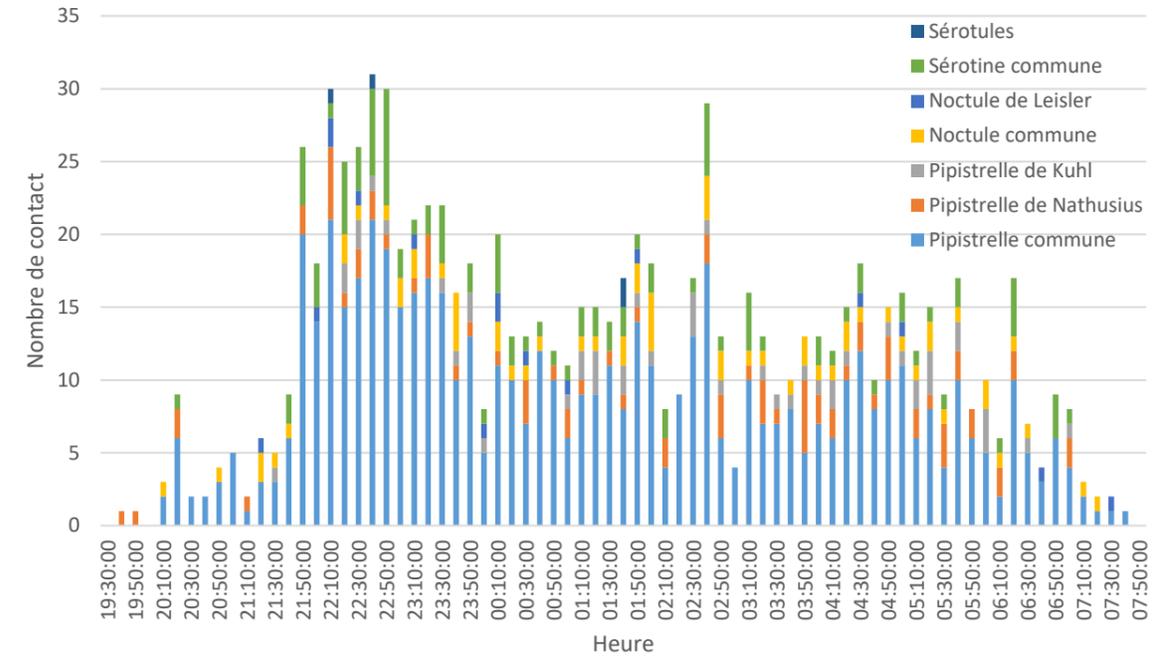
IV.2.2. Activité en fonction de la date et de l'heure

En nacelle de l'éolienne E6, la totalité des contacts a été enregistrée du 18 mai au 31 octobre 2021 (Graphique 10). Un pic d'activité a été enregistré le 09 août, le 18 août et le 17 septembre 2021. Plus de 90 % des contacts de chiroptères autour de cette éolienne sont concentrés entre le 1er juin et le 15 octobre 2021.



Graphique 10 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

En nacelle de l'éolienne E6, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h40 et 07h40 (Graphique 11). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec un fort pic d'activité à 22h40, représentant à lui seul 3 % de l'activité totale enregistrée. Il est composé de 21 contacts de Pipistrelle commune, 2 contacts de Pipistrelle de Nathusius, 1 contact de Pipistrelle de Kuhl, 6 contacts de Sérotine commune et un contact de Sérotule indéterminée. A l'échelle d'une nuit, plus de 90 % des contacts de chiroptères sont concentrés entre une heure après le coucher du soleil et une heure avant le lever du soleil (entre 21h30 et 06h00), ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne.



Graphique 11 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou.



Graphique 12 : Répartition de l'activité des chiroptères en 2021 en nacelle de l'éolienne E6 en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de la Vallée de Torfou.

Le Graphique 19 représente l'activité des chiroptères sur le parc de la Vallée de Torfou en fonction des heures du lever et du coucher du soleil. La plupart des contacts sont enregistrés au cours de la nuit, donc après le coucher du soleil et avant le lever du soleil.

IV.2.3. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température

Le Tableau 25 présente l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent et de la température combinées. Pour plus de lisibilité, les températures extrêmes et les fortes vitesses de vent n'enregistrant aucun contact de chiroptère n'ont pas été incluses dans le tableau.

En nacelle de l'éolienne E6, l'activité la plus forte a été enregistrée pour une vitesse de vent de 2 m.s⁻¹ combinée à une température de 20°C (27 contacts). Plus de 90 % des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 6,5 m.s⁻¹ et des températures supérieures à 12°C.

		Vitesse du vent (m.s ⁻¹)											Total	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11
Température (°C)	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	1	4	3	0	0	1	0	0	0	9
	11	0	1	2	2	7	5	2	1	1	0	0	0	21
	12	1	10	4	6	12	7	10	1	0	1	0	0	52
	13	0	0	7	11	6	3	5	1	1	1	0	0	35
	14	0	5	3	2	9	12	13	2	3	0	0	0	49
	15	0	1	2	7	6	8	10	5	2	2	1	0	44
	16	0	0	10	14	14	19	17	2	1	1	0	0	78
	17	0	12	19	7	17	22	14	3	1	0	1	0	96
	18	0	8	24	15	24	16	24	7	2	1	0	0	121
	19	0	4	19	7	11	16	17	1	0	0	0	0	75
	20	0	5	27	12	17	12	13	0	0	0	0	0	86
	21	0	1	16	15	16	14	6	0	0	1	0	0	69
	22	0	2	20	13	5	5	8	1	0	0	0	0	54
	23	0	9	6	4	3	3	1	0	0	0	0	0	26
	24	1	2	18	11	4	11	5	1	0	0	0	0	53
	25	0	0	2	3	3	5	0	0	1	0	0	0	14
	26	0	1	3	11	5	4	3	0	0	0	0	0	27
27	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	4	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	2	61	182	143	165	165	148	25	13	7	2	0	913	

Tableau 15 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de la Vallée de Torfou, entre mai et octobre 2021.

IV.2.4. Comparaison avec le référentiel TrackBat de Sens Of Life

Rappelons ici que l'activité des chiroptères a été enregistrée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou du 11 mai au 31 octobre 2021 et peut donc être séquencée en trois saisons en fonction de leur cycle biologique (Figure 5) :

- Du 11/05/2021 au 15/05/2021, soit 4 nuits d'enregistrement, pour la migration printanière,
- Du 16/05/2021 au 15/08/2021, soit 92 nuits d'enregistrement, pour la parturition,
- Du 16/08/2021 au 31/10/2021, soit 77 nuits d'enregistrement, pour la migration automnale.

Le Tableau 16, le Tableau 17 et le Tableau 18 précisent le détail de l'activité corrigée de chaque espèce de chiroptères par nuit, soit en prenant en compte seulement les nuits où l'espèce a été contactée, soit en

prenant en compte toutes les nuits, respectivement lors de la migration printanière, la parturition et la migration automnale.

Migration printanière (n = 4)	Nombre de contacts corrigés	Moyenne par nuit d'activité	Moyenne toutes nuits
Pipistrelle commune	0	0	0
Pipistrelle de Nathusius	0	0	0
Pipistrelle de Kuhl	0	0	0
Noctule commune	0	0	0
Noctule de Leisler	0	0	0
Sérotine commune	0	0	0
Sérotules	0	0	0

Tableau 16 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration printanière sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

Parturition (n = 92)	Nombre de contacts corrigés	Moyenne par nuit d'activité	Moyenne toutes nuits
Pipistrelle commune	250,66	4,04290	2,72457
Pipistrelle de Nathusius	27,39	1,14125	0,29772
Pipistrelle de Kuhl	15,77	1,05133	0,17141
Noctule commune	7,25	0,24074	0,07065
Noctule de Leisler	2,17	0,26571	0,02022
Sérotine commune	36,21	1,00583	0,39359
Sérotules	0,34	0,17000	0,00370

Tableau 17 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la parturition sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

Migration automnale (n = 77)	Nombre de contacts corrigés	Moyenne par nuit d'activité	Moyenne toutes nuits
Pipistrelle commune	246,51	3,85172	3,20143
Pipistrelle de Nathusius	38,18	1,31655	0,49584
Pipistrelle de Kuhl	24,9	1,13182	0,32338
Noctule commune	9,75	0,28906	0,12013
Noctule de Leisler	3,1	0,34444	0,04026
Sérotine commune	36,92	1,19097	0,47948
Sérotules	0,34	0,17000	0,00442

Tableau 18 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration automnale sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

Un référentiel d'activité des chiroptères en altitude a été établi par R. Castel, de Sens Of Life, à partir d'une importante base de données provenant de mesures réalisées en nacelle de 89 éoliennes en France et en Belgique. Tout comme le référentiel d'activité au sol de Vigie-chiro, le niveau d'activité peut alors être caractérisé selon une échelle définie comme suit :

- Si l'activité enregistrée est inférieure à Q2, alors elle est définie comme « très faible » ;
- Si l'activité enregistrée est comprise entre Q2 et Q25, alors elle est définie comme « faible » ;
- Si l'activité enregistrée est comprise entre Q25 et Q75, alors elle est définie comme « moyenne » ;
- Si l'activité enregistrée est comprise entre Q75 et Q98, alors elle est définie comme « forte » ;
- Si l'activité enregistrée est supérieure à Q98, alors elle est définie comme « très forte ».

Ainsi, le référentiel Sens Of Life définit des valeurs seuils pour les espèces contactées sur le parc éolien de la Vallée de Torfou (détaillées en annexe) qui nous permettent de caractériser le niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères en fonction de la saison (Tableau 19).

	Migration printanière	Parturition	Migration automnale
Pipistrelle commune	Nulle	Très forte	Très forte
Pipistrelle de Nathusius	Nulle	Moyenne	Très forte
Pipistrelle de Kuhl	Nulle	Très faible	Faible
Noctule commune	Nulle	Forte	Très forte
Noctule de Leisler	Nulle	Faible	Faible
Sérotine commune	Nulle	Très forte	Très forte
Sérotules	Nulle	-	-

Tableau 19 : Caractérisation du niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères enregistrée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021, en fonction du cycle biologique.

D'après le référentiel d'activité des chiroptères de Sens Of Life, au cours de la migration printanière l'activité est considérée comme nulle pour toutes les espèces. En effet, le TrackBat ayant été installé début mai, seulement 4 nuits ont été consacrées à la période de migration printanière. L'activité de la Pipistrelle commune et de la Sérotine commune est considérée comme très forte pendant la parturition et la migration automnale (Tableau 23). L'activité de la Pipistrelle de Nathusius est moyenne en période de parturition et très forte pendant la migration automnale. Concernant la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule de Leisler, leur activité va de très faible à faible sur les deux périodes. L'activité de la Noctule commune est forte pendant la parturition et très forte pendant la migration automnale.

IV.2.5. Zoom sur les espèces présentes

a) Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)



Figure 16 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.

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

Cette espèce fréquente tous les types de milieux, même les zones fortement urbanisées. Pour la chasse, on note une préférence pour les zones humides, les jardins et parcs, puis les milieux forestiers et enfin les milieux agricoles. Peu lucifuge, elle est capable de s'alimenter autour des éclairages. Elle est active dans le premier quart d'heure qui suit le coucher du soleil. Les distances de prospection varient en fonction des milieux mais dépassent rarement quelques kilomètres. Très opportuniste, elle chasse les insectes volants, préférentiellement les Diptères mais aussi des Lépidoptères, Coléoptères, Trichoptères, Neuroptères, Cigales et Ephémères. Sur son secteur de chasse, elle vole entre 5 et 30m de hauteur mais elle peut ponctuellement utiliser le milieu aérien (notamment au-dessus de la canopée ou en transit). Les animaux se dispersent en moyenne dans un rayon de 1,3 km autour des colonies (Dietz, 2009), très rarement à plus de 5 km (Arthur et Lemaire, 2009). Ses plus longs déplacements sont saisonniers, depuis des secteurs de mise-bas vers des secteurs de reproduction (« swarming ») ou vers des secteurs d'hivernage situés généralement à moins de 20km les uns des autres.

Les gîtes de cette espèce sont fortement liés aux habitations humaines ; la Pipistrelle commune est très anthropophile que ce soit pour ses gîtes d'été ou d'hiver. Elle hiberne, de novembre à fin mars, préférentiellement dans des endroits confinés dans les bâtiments non chauffés (greniers, églises, bunkers). Pour la mise-bas, elle se regroupe en colonies de 30 à une centaine de femelles, essentiellement dans des gîtes anthropiques (maisons, granges, garages). Le développement des jeunes est rapide et ils sont volants à quatre semaines. Les parades sont observées de mi-juillet à octobre (Beucher Y., com. pers.).

Elle émet des cris entre 42 et 51 kHz (en milieu très perturbé). Ses cris sociaux représentent un trille à 18kHz.

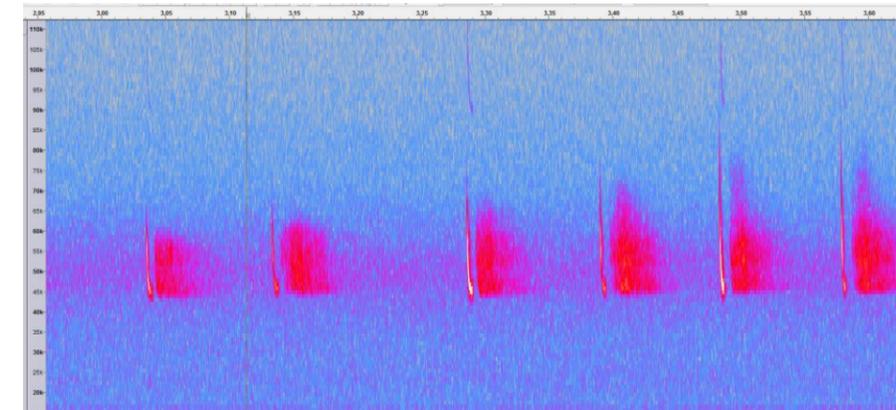


Figure 17 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune

L'espèce étant liée à des zones fortement anthropisées, les éoliennes à proximité des habitations ont une forte incidence sur l'espèce, avec une mortalité élevée par collision avec les pales des éoliennes ou par barotraumatisme. Il semblerait qu'elles s'approchent de ces structures par simple curiosité (MJ Dubourg-Savage, 2004).

Dans le cadre de notre étude, les valeurs d'activité caractérisant l'activité de la Pipistrelle commune sont les suivantes :

	Pipistrelle commune – E6	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 599	
Nombre de contacts corrigés	N = 497,17	
Proportion par rapport aux contacts totaux	65,2 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 19, le 09/08/21	Du 27/05/21 au 31/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 21 à 22h10 et 22h40	Entre 20h10 et 07h40
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 80 pour 18°C	10°C à 27°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 86 pour 2 m.s ⁻¹	0 à 8 m.s ⁻¹

Tableau 20 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

Concernant la mortalité en Europe, 2386 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune. C'est l'espèce dont les cas de mortalité relevés par Dürr (2020) sont les plus nombreux. En définitif, la Pipistrelle commune apparaît comme très sensible au risque de mortalité. Les éoliennes situées à proximité de lisières dont le champ de rotation des pales est proche des supports d'écholocation de l'espèce (lisière, canopée etc.) semblent être les plus à risque. **La note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

a) Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)

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

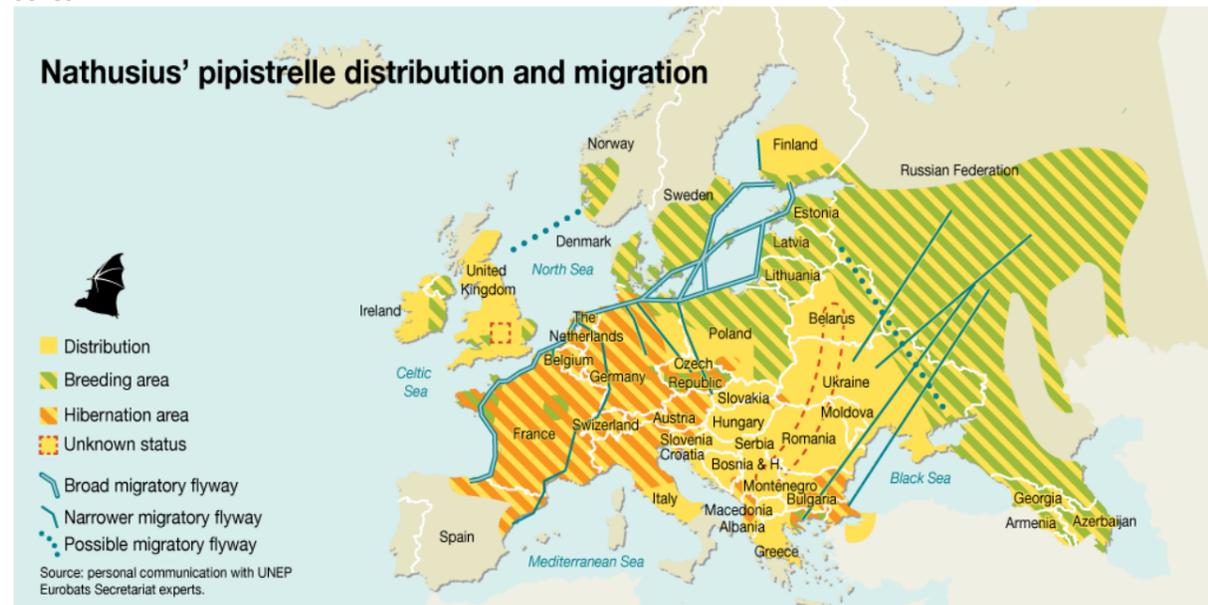
Cette pipistrelle est présente essentiellement en Europe centrale et se reproduit principalement au Nord de son aire de répartition. Espèce migratrice, elle entreprend des déplacements saisonniers sur de très grandes distances (souvent plus de 1000 km) pour rejoindre ses lieux de mise-bas ou



Figure 18 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.

ses gîtes d’hivernation. Les femelles quittent le sud-ouest de l’Europe au printemps (avril) en direction de leurs sites de mise-bas dans le nord-est de l’Europe. Les mises-bas ont lieu début juin principalement en gîtes arboricoles, entre les fentes du bois ou les chablis. Les jumeaux sont fréquents. Les premiers jeunes sont volants au plus tard mi-juillet. Les femelles sont fidèles à leur lieu de naissance. Ces femelles, accompagnées des jeunes, regagnent leurs gîtes d’hivernation et les secteurs de parades au sud-ouest de l’Europe à partir du mois de septembre (un pic est observé fin septembre en Lorraine). Les mâles, quant à eux, sont plus sédentaires et restent erratiques durant la période estivale. Ils se déplacent vers leur secteur de reproduction (parades) au retour des femelles (fin août et septembre).

Les accouplements ont lieu de début août à septembre, les mâles se constituent un harem de 2 à 5 femelles. Ses gîtes hivernaux se situent dans les cavités arboricoles, les fissures et les décolllements d’écorce, mais aussi au sein des bâtiments derrière les bardages en bois et les murs creux frais. Elle hiberne en solitaire ou en petits groupes d’une douzaine, voire une cinquantaine d’individus, parfois en mixité avec les trois autres Pipistrelles. Son comportement migratoire induit des disparités fortes quant à sa présence et à son comportement estival. Certaines régions n’abritent que des mâles, en essaims ou solitaires, d’autres des colonies de mise-bas (de 20 à 200 femelles) et sur d’autres secteurs géographiques, il peut y avoir les deux sexes.



Carte 4 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius

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

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

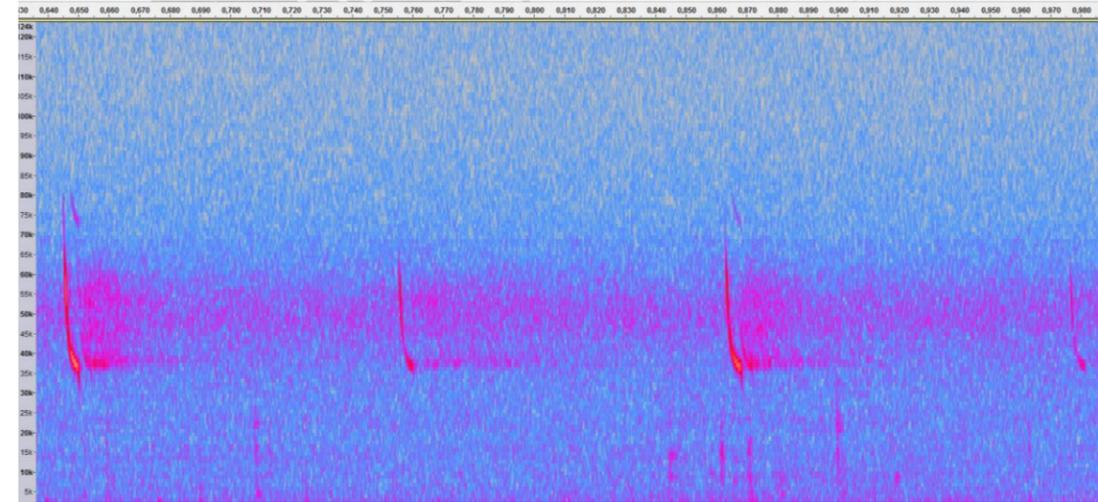


Figure 19 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

Dans le cadre de notre étude, les valeurs d’activité caractérisant l’activité de la Pipistrelle de Nathusius sont les suivantes :

	Pipistrelle de Nathusius – E6	
	Pic d’activité	Plage d’activité
Nombre de contacts bruts	N = 79	
Nombre de contacts corrigés	N = 65,57	
Proportion par rapport aux contacts totaux	8,6 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	<i>Trop peu de données</i>	Du 13/06/21 au 28/10/21
Nombre de contacts en fonction de l’heure	N = 5 à 22h10 et 03h50	Entre 19h40 et 07h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 13 pour 18°C	10°C à 26°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 11 pour 5 m.s ⁻¹	1 à 6 m.s ⁻¹

Tableau 21 : Données d’activité de la Pipistrelle de Nathusius sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

La Pipistrelle de Nathusius apparaît comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes : avec 1590 cas recensés en Europe (Dürr, 2020), elle est la 2^{ème} espèce de chiroptères la plus impactée. Les éoliennes situées à proximité de lisières et des voies de migrations semblent être les plus à risque. **La note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

b) Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)



Figure 20 : Pipistrelle de Kuhl. CCO domaine public.

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

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

Opportuniste, elle se nourrit des Culicidés, des Lépidoptères, des Chironomes, des Hyménoptères, des Brachycères, des Tipulidés et des Coléoptères, qu’elle chasse soit directement à la gueule, soit en utilisant

ses membranes. C'est une espèce anthropophile. On la trouve dans les zones sèches, près des falaises, des rivières mais aussi les paysages agricoles, les milieux humides et les forêts de faible altitude. Elle se nourrit préférentiellement dans les parcs urbains avec éclairages publics mais elle chasse également dans les espaces boisés, ouverts, les zones humides et montre une nette attirance pour les zones urbaines avec parcs, jardins et éclairages publics. Elle devient active dans la première demi-heure succédant au coucher du soleil.

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

Dans le cadre de notre étude, les valeurs d'activité caractérisant l'activité de la Pipistrelle de Kuhl sont les suivantes :

	Pipistrelle de Kuhl – E6	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 49	
Nombre de contacts corrigés	N = 40,67	
Proportion par rapport aux contacts totaux	5,3 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 3 le 17/09/21	Du 11/06/21 au 28/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	Trop peu de données	Entre 21h30 et 07h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 6 pour 17°C et 19°C	10°C à 26°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 12 pour 3,5 m.s ⁻¹	1 à 6 m.s ⁻¹

Tableau 22 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

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

c) Noctule commune (*Nyctalus noctula*)



Figure 21 : Noctule commune. CCO domaine public.

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

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

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

Espèce migratrice, elle est capable d'accomplir des parcours de plusieurs centaines de kilomètres (jusqu'à 1546 km). En quelques semaines, l'essentiel des femelles va migrer vers des territoires de mise-bas à l'Est et au Nord de l'Europe, et il ne restera plus que des mâles et quelques très rares colonies de parturition dispersées en France. Elles mettent bas à partir de mi-juin, d'un ou deux petits. Elles peuvent être aptes à la reproduction dès leur première année. L'émancipation est atteinte au bout de sept à huit semaines. Le retour s'effectue avec les jeunes de septembre à octobre, pour rejoindre les mâles (plus sédentaires) sur les sites de parades, et pour retourner dans leur secteur d'hibernation. Lors de ces déplacements, il est possible d'observer des noctules communes en vol parmi des groupes d'oiseaux migrateurs à une centaine de mètres d'altitude en plein jour. Une partie des populations européennes montre des tendances sédentaires. Comparée à toutes les autres espèces, la Noctule commune montre une très courte espérance de vie estimée à 2,2 ans (Arthur et Lemaire, 2009). Actuellement, le record de longévité connu n'est que de douze ans.

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

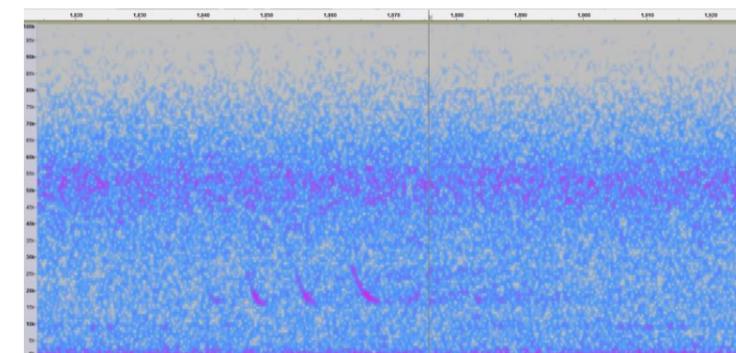


Figure 22 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune

Dans le cadre de notre étude, les valeurs d'activité caractérisant l'activité de la Noctule commune sont les suivantes :

	Noctule commune – E6	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 63	
Nombre de contacts corrigés	N = 15,75	
Proportion par rapport aux contacts totaux	6,9 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 3, le 25/10/21	Du 18/05/21 au 30/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 4 à 23h40 et 02h00	Entre 20h10 et 07h20
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 9 pour 18°C	10°C à 26°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 8 pour 7 et 7,5 m.s ⁻¹	1,5 à 9,5 m.s ⁻¹

Tableau 23 : Données d'activité de la Noctule commune sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

La Noctule commune est la 3^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 1543 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à la Noctule commune (Dürr, 2020). Son comportement de chasse et ses déplacements à des altitudes élevées la rendent particulièrement sensible à cet impact. **La note de risque est très élevée (4/4,5).**

d) Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)

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



Figure 23 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.

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

La Noctule de Leisler peut chasser sur pratiquement tous les types de milieux (du sous-bois à la plaine céréalière en passant par des zones humides et des secteurs urbanisés). Espèce forestière, elle a une préférence pour les massifs à essences caduques assez ouverts et recherche la proximité des milieux humides. Les femelles chassent essentiellement à moins d'une dizaine de kilomètres du gîte, l'envol se fait dès le coucher du soleil. Durant sa chasse, la Noctule de Leisler peut voler à des hauteurs de vol de plus de 100 mètres, notamment au-dessus de la canopée. Ses proies sont de petite et de moyenne taille : Diptères, Lépidoptères, Coléoptères, Hémérobidiés, Chrysopidés et aussi Ephéméroptères, Trichoptères ou Chironomes (Arthur et Lemaire, 2009). Durant la migration et les phases de transit, il est probable que les hauteurs de vols soient également assez élevées (de l'ordre de 100 mètres). Pour l'hibernation, l'espèce n'est pas cavernicole, elle occupe essentiellement des cavités arboricoles parfois mixtes avec la Noctule commune. En France, les gîtes de mise-bas sont rares mais on en découvre chaque année du Nord de la France à la Corse. Les nurseries en cavité arboricole comptent habituellement de 20 à 40 femelles, parfois 100, et peuvent atteindre 150 dans les bâtiments. Les naissances s'échelonnent de mi-juin à début juillet, les jumeaux ne sont pas rares. Les jeunes sont presque tous volants début août. A la fin de l'été, le retour des femelles revenant de l'Est de l'Europe sonne le début des parades, les mâles vont former des harems regroupant jusqu'à dix femelles et s'accoupler.

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

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

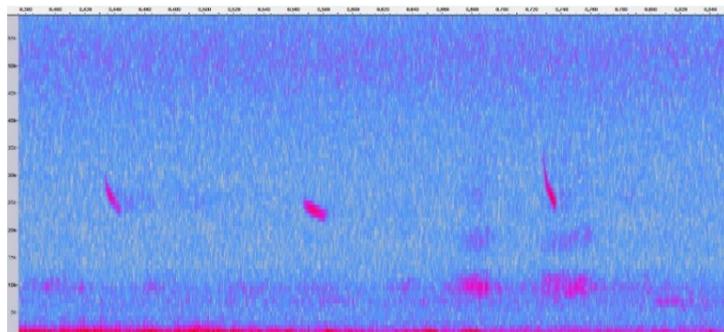


Figure 24 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

Dans le cadre de notre étude, les valeurs d'activité caractérisant l'activité de la Noctule de Leisler sont les suivantes :

	Noctule de Leisler – E6	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 16	
Nombre de contacts corrigés	N = 4,96	
Proportion par rapport aux contacts totaux	1,8 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	Trop peu de données	Du 20/05/21 au 30/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	Trop peu de données	De 21h20 à 07h30
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 3 pour 11°C et 18°C	11°C à 26°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 4 pour 6,5 m.s ⁻¹	1,5 à 8,5 m.s ⁻¹

Tableau 24 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

La Noctule de Leisler est la 4^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 712 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine (Dürr, 2020). Sa technique de chasse en hauteur et ses grands déplacements à des altitudes à risque expliquent sa sensibilité. **La note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

e) Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)

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



Figure 25 : Sérotine commune. CCO domaine public.

La Sérotine commune est une grande espèce de chauve-souris très répandue en France. Espèce de plaine, elle est campagnarde ou urbaine, avec une nette préférence pour les milieux mixtes (pâtures, haies, lisières forestières, milieux urbains, plans d'eau et cours d'eau...). Une végétation clairsemée avec des feuillus semble être recherchée. Elle ne s'aventure guère en milieu fermé. En forêt, elle suit les chemins forestiers et les coupe-feux. Son territoire de chasse est souvent situé à moins de 5km de son gîte. Très sédentaire, la distance entre ses gîtes d'hiver et d'été est souvent inférieure à 50km. Elle gîte en hiver dans des greniers, des églises, entre l'isolation et les toitures... Elle hiberne de novembre à fin mars et ne quittera pas son gîte si la température baisse et risque de mourir si celle-ci s'effondre (Beucher Y., com. pers.). En été, elle s'installe dans des bâtiments très chauds, au sein de combles. Espèce lucifuge, elle ne tolère pas l'éclairage des accès à son gîte.

La Sérotine commune chasse les insectes en vol du sol jusqu'à la canopée, le long des structures arborées ou au-dessus de lampadaires. Elle chasse le plus souvent à hauteur de végétation, survolant les vergers, les prairies, les pelouses, les plans d'eau ou les éclairages publics. La taille moyenne de son domaine vital est d'environ 15km². Opportuniste, elle se nourrit de nombreux insectes, Coléoptères, Lépidoptères, Trichoptères, Diptères et Hyménoptères, qu'elle capture en vol. Crépusculaire à nocturne, elle se met généralement en chasse quinze minutes après le coucher de soleil et durant 1 à 2,5 heures. Elle chasse en petite escadrille ou en solitaire (Arthur et Lemaire, 2009).

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

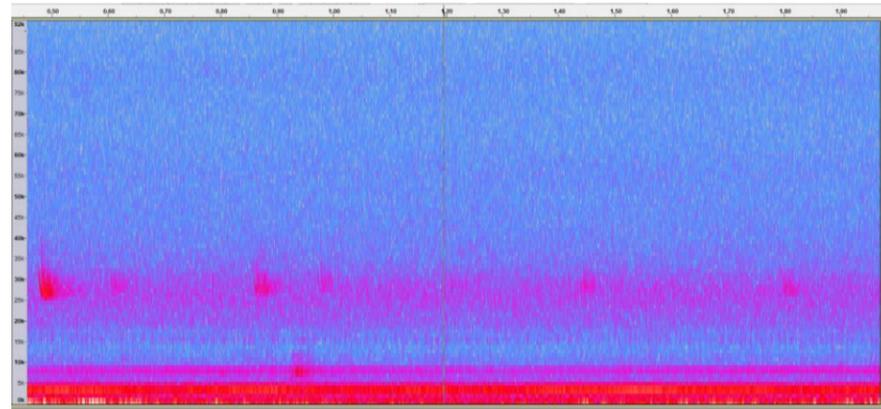


Figure 26 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

Dans le cadre de notre étude, les valeurs d'activité caractérisant l'activité de la Sérotine commune sont les suivantes :

	Sérotine commune – E6	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 103	
Nombre de contacts corrigés	N = 73,13	
Proportion par rapport aux contacts totaux	11,2 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 4 le 04/09/21 et le 26/10/21	Du 27/05/21 au 27/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 8 à 22h50	Entre 20h20 et 07h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 12 pour 18°C et 20°C	11°C à 27°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 18 pour 2 m.s ⁻¹	0,5 à 5 m.s ⁻¹

Tableau 25 : Données d'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021.

La Sérotine commune est la 10^{ème} espèce la plus impactée par l'éolien en Europe : 120 cas ont été attribués de manière certaine à la Sérotine commune, et 115 cas où la détermination n'a pu discriminer la Sérotine commune et la Sérotine isabelle (Dürr, 2020). Les éoliennes situées à proximité de lisières et dont le champ de rotation des pales passe proche des structures de végétation (canopée, lisières...) sont les plus dangereuses. **La note de risque est élevée (3/4,5).**

IV.2.6. Patrimonialité des chiroptères sur le parc éolien de la Vallée de Torfou

Le Tableau 26 présente l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi annuel, en fonction de leur caractère patrimonial (statuts de protection et de conservation) et de leur sensibilité aux collisions avec les éoliennes.

Toutes les espèces de chauves-souris présentes en France sont intégralement protégées par l'Arrêté Ministériel du 17 avril 1981 relatif à la protection de l'environnement. Depuis 1979, au niveau international, la Convention de Bonn et la Convention de Berne demandent aux états contractants d'assurer la protection de toutes les espèces de chauves-souris décrites dans les annexes, ainsi que la protection des gîtes de reproduction et d'hibernation. En 1992, la Directive « Habitat - Faune – Flore » demande aux pays de la Communauté Européenne la protection stricte de toutes les espèces de chiroptères (elles figurent à l'annexe IV), ainsi que la désignation de Zones Spéciales de Conservation pour les 12 espèces figurant à l'annexe II. Dix-neuf espèces sont classées dans la liste rouge de la faune menacée de France et 13 espèces sont présentes sur la liste rouge mondiale.

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

Tableau 26 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou entre mai et octobre 2021.

Légende :

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

Berne/Bonn = Annexe des conventions de Berne/Bonn

EUROBATS = Annexe de la convention de Bonn, accord EUROBATS

LR Europe/France = Liste rouge Européenne / Française (2017) / Régionale, Centre-Val de Loire (2012, validée par le CSRPN).

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

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

⇒ **Synthèse du suivi d'activité des chiroptères sur le parc éolien de la Vallée de Torfou par TrackBat**

Avec un total de 697,93 contacts corrigés, six espèces ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 65,6 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 11,3 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 8,7 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 6,9 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 5,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 1,8 % des contacts.

Le groupe indéterminé des Sérotules représente 0,4 % des contacts.

L'ensemble des contacts a été enregistré du 18 mai au 31 octobre 2021. Plus de 90 % des contacts sont concentrés entre le 1^{er} juin et le 15 octobre 2021, avec plusieurs pics d'activité enregistrés les 09 août, 18 août et 17 septembre 2021.

L'ensemble de l'activité se déroule entre 19h40 et 07h40, avec un pic d'activité à 22h40. Plus de 90 % des contacts de chiroptères sont concentrés entre le coucher du soleil et le lever du soleil (entre 21h30 et 06h00), ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des vitesses de vent inférieures à 10 m.s⁻¹, dont 90 % de cette activité pour des vitesses de vent inférieures à 6,5 m.s⁻¹. Un pic d'activité a été enregistré pour une vitesse de vent de 2 m.s⁻¹.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des températures comprises entre 10°C et 27°C, dont 90 % de cette activité pour des températures supérieures à 12°C. Un pic d'activité a été enregistré pour une température de 20°C.

Une attention particulière doit être portée à la Pipistrelle commune qui est l'espèce la plus représentée sur le site, présentant un indice de vulnérabilité élevé (3,5/4,5) et dont 2 cadavres ont été retrouvés au sol en 2021. Elle est suivie par la Noctule commune, classée comme « Vulnérable » à l'échelle nationale et « Quasi-menacée » à l'échelle régionale, présentant une note de vulnérabilité très élevée (4/4,5). Vient ensuite la Sérotine commune, qui présente un indice de vulnérabilité élevé (3/4,5) et la deuxième espèce la plus représentée sur le site. Puis la Pipistrelle de Nathusius, dont les effectifs sont importants sur le site et qui est classée comme « Quasi-menacée » au niveau national et régional, et présente une vulnérabilité élevée (3,5/4,5). Puis, la Noctule de Leisler, classée « Quasi-menacée » au niveau national et régional et dont la note de risque est élevée (3,5/4,5). Pour finir, viennent et la Pipistrelle de Kuhl présentant un indice de vulnérabilité moyen (2,5/4,5).

V. Discussion

V.1. Comparaison des impacts avifaunistiques avec l'étude d'impact initiale

Les suivis de mortalité au sol se sont déroulés sans encombre, même si la couverture végétale a parfois minimisé l'efficacité des prospections. Trois cadavres d'oiseaux ont été retrouvés lors de ces suivis.

La mortalité réelle estimée est comprise entre 2,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 22,9 (Jones *et al.*, 2009) oiseaux tués par éolienne, sur la période étudiée, de mai à octobre 2021. Cette mortalité correspond aux chiffres indiqués dans la bibliographie (Marx, 2017) selon les formules de Bastos et Erickson ou est supérieure aux chiffres trouvés dans la bibliographie selon les formules de Jones et Huso. Toutefois, une forte prédation a été remarquée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, biaisant en partie les résultats de mortalité estimée.

Les principaux enjeux notés au sein de la zone d'étude au cours de l'étude d'impact en 2014 concernent les espèces nicheuses suivantes : l'Édicnème criard et les Busards cendré et Saint-Martin. En période migratoire, seule la Grue cendrée présente un enjeu particulier.

Deux espèces sont concernées par des collisions sur le parc éolien de la Vallée de Torfou : l'Alouette des champs (*Alauda arvensis*) et le Martinet noir (*Apus apus*). Ces deux espèces sont classées comme « Quasi-menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs en France.

L'Alouette des champs est classée comme « Quasi-menacée » sur la liste rouge de la région Centre-Val de Loire. Lors de l'étude d'impact effectuée en 2014, le cortège avifaunistique était dominé par des espèces inféodées aux zones de grandes cultures, l'Alouette des champs étant l'espèce la plus fréquente sur le site en période de nidification. Le Martinet noir n'est pas mentionné dans l'étude d'impact, le cadavre ayant été trouvé en juillet, l'espèce est probablement nicheuse à proximité du parc éolien de la Vallée de Torfou.

V.2. Comparaison des impacts chiroptérologiques avec l'étude d'impact initiale

D'après l'étude d'impact réalisée en 2014, l'enjeu de conservation était considéré comme très faible pour les chiroptères étant donné la faible diversité concernant ce taxon et la faible présence de boisements sur la zone d'étude. Trois espèces avaient été répertoriées sur le site : la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), espèce la plus fréquente, la Pipistrelle de Kuhl/Nathusius (*Pipistrellus kuhlii/nathusii*) et un Murin indéterminé (*Myotis sp.*).

Cinq cadavres de chiroptères ont été retrouvés au sol entre mai et octobre 2021. La mortalité réelle estimée est comprise entre 5,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 55,3 (Jones *et al.*, 2009) chiroptères tués par éolienne, sur la période étudiée. Cette mortalité est donc supérieure aux chiffres indiqués dans la bibliographie pour les chiroptères (Rydell *et al.*, 2010b). Toutefois, une forte prédation a été remarquée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, biaisant en partie les résultats de mortalité estimée.

Seule la Pipistrelle commune a pu être identifiée à l'espèce parmi les cinq cadavres retrouvés sur le parc éolien de la Vallée de Torfou. Les deux cadavres ont été trouvés en septembre 2021, correspondant à la période de transit automnal (Figure 27).

V.3. Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude

Le TrackBat positionné en nacelle de l'éolienne E6 a enregistré les contacts de chiroptères du 11 mai au 31 octobre 2021, permettant de caractériser :

- Le niveau d'activité réel à hauteur de nacelle et en bas de pale,
- Les cortèges d'espèces fréquentant le site,

- Les conditions météorologiques des passages de chiroptères.

Six espèces ont été identifiées en altitude en 2021 :

- La Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 65,6 % des contacts ;
- La Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) représente 11,3 % des contacts ;
- La Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) représente 8,7 % des contacts ;
- La Noctule commune (*Nyctalus noctula*) représente 6,9 % des contacts ;
- La Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) représente 5,4 % des contacts ;
- La Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) représente 1,8 % des contacts.

Le groupe indéterminé des Sérotules représente 0,4 % des contacts.

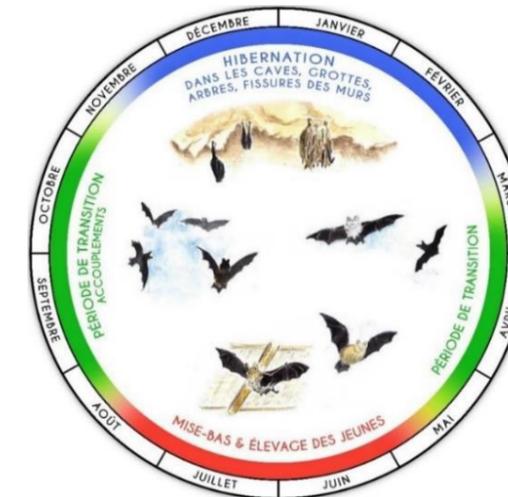


Figure 27 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine.

Plusieurs pics d'activité ont été enregistrés les 09 août, 18 août et 17 septembre 2021, correspondant à la fin de la période d'élevage et au début du transit automnal.

Sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, 90 % de l'activité des chauves-souris a lieu selon les paramètres suivants :

- Entre le 1^{er} juin et le 15 octobre,
- Entre 1h après le coucher du soleil et 1h avant le lever du soleil (entre 21h30 et 06h00),
- Pour des vitesses de vent inférieures à 6,5 m.s⁻¹,
- Pour des températures supérieures à 12°C.

D'après le référentiel d'activité des chiroptères de Sens Of Life, l'activité de la Pipistrelle commune et de la Sérotine commune sont considérées comme très fortes pendant la parturition et la migration automnale. Une attention particulière doit donc être apportée à ces deux espèces qui sont les plus fréquentes sur le site et qui présentent une note de vulnérabilité élevée (3,5/4,4) et dont au moins deux cadavres de Pipistrelle commune ont été retrouvés en-dessous des éoliennes du parc éolien de la Vallée de Torfou. D'après l'étude d'impact, la Pipistrelle commune était également l'espèce la plus fréquente sur le site en 2014. L'activité de la Noctule commune est forte pendant la parturition et très forte pendant la migration automnale. Cette espèce présente une note de vulnérabilité très élevée (4/4,5), mais aucun cadavre n'a été identifié sur le parc en 2021. L'activité de la Pipistrelle de Nathusius est moyenne en période de parturition et très forte pendant la migration automnale. Elle est la troisième espèce la plus contactée sur le site en 2021 et présente une note de vulnérabilité élevée (3,5/4,4). Concernant la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule de Leisler, leur activité va de très faible à faible sur les deux périodes, l'enjeu concernant ces espèces semble donc faible.

VI. Conclusion

Le principal objectif de cette étude a été de comparer l'état initial de l'environnement avec l'état actuel et par la même occasion, d'évaluer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères induite par le fonctionnement du parc éolien de la Vallée de Torfou.

Sur les six espèces de chiroptères présentes en altitude, le niveau d'activité diffère en fonction de la période de l'année. Pendant la durée de l'étude, sur l'ensemble du parc éolien de la Vallée de Torfou, environ 90% de l'activité chiroptérologique a été caractérisée par les paramètres suivants :

- Entre le 1^{er} juin et le 15 octobre,
- Entre 1h avant le lever du soleil et 1h après le coucher du soleil (entre 21h30 et 06h00),
- Pour des vitesses de vent inférieures à $6,5 \text{ m.s}^{-1}$,
- Pour des températures supérieures à 12°C .

La mortalité réelle estimée varie entre 2,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 22,9 (Jones *et al.*, 2009) oiseaux tués par éolienne et entre 5,0 (Bastos *et al.*, 2013) et 55,3 (Jones *et al.*, 2009) chauves-souris tuées par éoliennes et par an sur le parc éolien de la Vallée de Torfou, de mai à octobre 2021. Cette mortalité est soit conforme, soit supérieure aux chiffres indiqués dans la bibliographie pour les oiseaux (Marx, 2017), mais supérieure aux chiffres indiqués dans la bibliographie pour les chiroptères (Rydell *et al.*, 2010).

Au vu de la mortalité retrouvée sur le parc éolien de la Vallée de Torfou et du fort taux de prédation, nous préconisons au choix :

- Un suivi de la mortalité automatisé par caméras infrarouges permettant de s'affranchir des biais de prédation et d'observateur. En fonction des collisions suspectées par ces caméras et de l'activité des chiroptères enregistrée en 2021, un bridage pourra être déclenché. En effet, si le nombre d'individu impacté, au cours d'un mois donné, dépasse 10 % de l'activité enregistrée en 2021 pour ce mois, alors il y aura un bridage automatique le mois qui suit dans le but de préserver à minima 90 % des chiroptères,
- Un suivi de mortalité en 2022 avec 20 recherches, concentrées sur les périodes durant laquelle la surface est prospectable, espacées de 3 jours afin de réduire le biais prédation,
- Un bridage type ProBat. En effet, le système ProBat est basé sur une régulation prédictive définissant un indice d'activité théorique sur la base de l'analyse des conditions environnementales ; une régulation réactive basée sur la mesure de l'activité des chiroptères, en temps réel, à hauteur de fonctionnement des éoliennes ; et une analyse coopérative, synthèse de l'activité des chauves-souris, à large échelle, en temps réel. ProBat permet à la fois d'obtenir une importante réduction de la mortalité des chiroptères induite par le fonctionnement des éoliennes (à minima 90 %), tout en limitant la fréquence et la durée des arrêts, donc en préservant au mieux la production des machines.

VII. Bibliographie

- ADEME. (1999). *Guide du porteur de projet de parc éolien*. (ADEME Edition).
- Albouy, S., Clément, D., Jonard, A., Massé, P., Pagès, J.-M., & Nea, P. (1997). *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle : Rapport final*. (p. 67). Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.
- Albouy, S., Dubois, Y., Picq, H., Picq, H., Aude, L., & Neau, P. (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude)—Résultats 2006-2009* (p. 76). LPO Aube et Abies. <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>
- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Allouche, L., AVES environnement, & Groupe Chiroptères de Provence. (2010). *Etude de la mortalité des chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13)*. (p. 1-31). Energie du Delta.
- Anderson, R. L., Strickland, D., Tom, J., Neumann, N., Erickson, W., Cleckler, J., Mayorga, G., Nuhn, G., Leuders, A., Schneider, J., Backus, L., Becker, P., & Flagg, N. (2001). *Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Gorgonio Pass wind resource areas, California : Phase 1 Preliminary Results*. 16.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T., Schmid, B., & Liechti, F. (2018). Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biological Conservation*, 220, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.005>
- Bach, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—Reale Probleme oder Einbildung ? *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 33, 119-124.
- Bach, L., Brinckmann Robert, Limpens Herman, Rahmel Ulf, Reichenbach, M., & Roschen Axel. (1999). Bewertung und planerische umsetzung von fledermausdaten im rahmen der windkraftplanung. *Bremer Beitrage für Naturkunde und 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.
- 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-Weissahn, H., & Bontadina, F. (2006). *Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg* (Projekt 0410 L; p. 66). Regierungspräsidium Freiburg.
- Cade, T. J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. *Wind Power*, 156.
- Cieślak et Dul. (2006). *Feather identification for bird conservation* (Natura publishing house).
- Cornut, J., & Vincent, S. (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes* (p. 43). LPO Drôme.
- Cryan, P. M. (2008). *Mating Behavior as a Possible Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines*. 72 (3), 845-849.
- Cryan, P. M., & Barclay, R. M. R. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines : Hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1330-1340. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-076R1.1>
- 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>
- 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'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- DREAL. (2018). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- 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*.
- Dürr, T. (2021). *Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe*.
- 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
- 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., Christian, K., Aurélien, B., Luc, B., & Jocelyn, F. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Éléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École Pratique des Hautes Études.
- Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique)* (p. 149). Ecosphère.
- Hernández-Pliego, J., de Lucas, M., Muñoz, A.-R., & Ferrer, M. (2015). Effects of wind farms on Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in Southern Spain. *Biological Conservation*, 191, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.040>
- Hill, R., Hill, K., Aumüller, R., Schulz, A., Dittmann, T., Kulemever, C., & Coppack, T. (2014). *Of birds, blades and barriers : Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus* (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>
- Hötter, H., Thomsen, K.-M., & Jeromin, H. (2006). *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : The example of birds and bats—Facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen.
- Huso, M. M. P. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318-329. <https://doi.org/10.1002/env.1052>
- Itty, C., & Duriez, O. (2017). *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : L'exemple de l'aigle royal (Aquila chrysaetos) dans le sud du massif central*. 42-48.
- James, R. D., & Coady, G. (2004). Bird monitoring at Toronto's exhibition place wind turbine. *Ontario Birds*, 22(2), 78-88.
- Johnson, G. D., Erickson, W. P., Dale Strickland, M., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A., & Sarappo, S. A. (2003). Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 150(2), 332-342. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2003\)150\[0332:MOBAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2003)150[0332:MOBAAL]2.0.CO;2)
- Johnston, N. N., Bradley, J. E., & Otter, K. A. (2014). Increased flight altitudes among migrating Golden Eagles suggest turbine avoidance at a rocky mountain wind installation. *PLoS ONE*, 9(3), e93030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093030>
- Joiris, E. (2012, mars 24). *High altitude bat monitoring* [Preliminary results Hainaut & Ardennes]. CSD Ingénieurs.
- Jones, G., Cooper-Bohannon, R., Barlow, K., & Parsons, K. (2009). *Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain* [Scoping and method development report]. University of Bristol, Bat Conservation Trust.
- Kerlinger, P., Gehring, J. L., Erickson, W. P., Curry, R., Jain, A., & Guarnaccia, J. (2010). Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. *The Wilson Journal of Ornithology*, 122(4), 744-754. <https://doi.org/10.1676/06-075.1>
- Kingsley, A., & Whittam, B. (2001). *Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island* (p. 33). Bird Studies Canada, Atlantic Region.
- Kreuziger, J. (2008). *Kulissenwirkung und Vögel. Methodische Rahmenbedingungen für die Auswirkungsanalyse in der FFH-VP*. Vilmer Expertentagung.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats : Questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), 315-324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- Lagrange, H., Roussel, E., Anne-Lise Ughetto, Boulnois, R., Haquart, A., & Melki, F. (2009). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin—2009*. Ecosphère. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.10316.21129>
- Langston, R., & Pullan, J. (2003). Windfarms and birds : An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. *23rd Meeting*, 58.
- Larsen, J. K., & Madsen, J. (2000). Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*) : A landscape perspective. *Landscape Ecology*, 15(8), 755-764. <https://doi.org/10.1023/A:1008127702944>
- Leddy, K. L., Higgins, K. F., & Naugle, D. E. (1999). Effects of wind turbines on upland nesting birds in conservation reserve program grasslands. *Wilson Bulletin*, 111(1), 100-104.
- Lekuona, J. M. (2001). *Usa del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murcielagos en los parques eucos de Navarra durante un ciclo anual* (p. 155). Direccion General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra.
- Lekuona, J. M., Ursua, C., Janss, G., & Ferrer, M. (2006). *Avian mortality in wind plants of Navarra (northern Spain)*. In : De Lucas M., Janss G. & Ferrer M. (eds). *Birds and Wind Power*. (Ilynx Edicions).
- Loesch, C. R., Walker, J. A., Reynolds, R. E., Gleason, J. S., Niemuth, N. D., Stephens, S. E., & Erickson, M. A. (2013). Effect of wind energy development on breeding duck densities in the Prairie Pothole Region : Wind Energy and Breeding Ducks. *The Journal of Wildlife Management*, 77(3), 587-598. <https://doi.org/10.1002/jwmg.481>
- Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 99-120. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms : An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M., & Silva, J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 93-103. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>
- Marx, G. (2017). *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015* (LN 1216-54). LPO France.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black : Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*, 10(16), 8927-8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- Millon, L., Colin, C., Brescia, F., & Kerbirou, 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., & Kerbirou, C. (2015). Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F., & Park, K. J. (2017). Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation*, 20(5), 455-462. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>
- Moriguchi, S., Mukai, H., Komachi, R., & Sekijima, T. (2019). Wind farm effects on migratory flight of Swans and foraging distribution at their stopover site. In R. Bispo, J. Bernardino, H. Coelho, & J. Lino Costa (Éds.), *Wind Energy and Wildlife Impacts* (p. 125-133). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_8

- Morinha, F., Travassos, P., Seixas, F., Martins, A., Bastos, R., Carvalho, D., Magalhães, P., Santos, M., Bastos, E., & Cabral, J. A. (2014). Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study*, 61(2), 255-259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>
- Osborn, R. G., Dieter, C. D., Higgins, K. F., & Usgaard, R. E. (1998). Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 139(1), 29-38. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(1998\)139\[0029:BFCNWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(1998)139[0029:BFCNWT]2.0.CO;2)
- Osborn, R. G., Higgins, K. F., Dieter, C. D., & Usgaard, R. E. (1996). *Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota*. 37(4), 105-108.
- Pagel, J. E., Kritz, K. J., Millsap, B. A., Murphy, R. K., Kershner, E. L., & Covington, S. (2013). Bald Eagle and Golden Eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. *Journal of Raptor Research*, 47(3), 311-315. <https://doi.org/10.3356/JRR-12-00019.1>
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Douse, A., & Langston, R. H. W. (2012). Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation : Results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 386-394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x>
- Percival, S. M. (1998). *Birds and wind turbines—Managing potential planning issues*. 345-350.
- Percival, S. M. (2001). *Assessment of the effects of offshore wind farms on birds* (DTI/Pub URN 01/1434; p. 96).
- Perret, M. (2017). *Eolien et biodiversité : Prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français*. 6.
- Puzen, S. C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. *Wisconsin Public Service Corporation, Green Bay, USA*.
- Richardson, W. J. (1998). *Bird migration and wind turbines : Migration timing, flight behavior, and collision risk*. 214.
- Rico, P., & Lagrange, H. (2011). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2011*. Biotope. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23108.83849>
- Rico, P., & Lagrange, H. (2015). *Etude de l'impact des parcs éoliens sur l'activité et la mortalité des chiroptères par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherche de cadavres au sol—Contributions aux évaluations des incidences sur l'environnement*. (p. 174). Sens Of Life, DGO3, SPW.
- Rico, P., Lagrange, H., Cosson, E., & Allouche, L. (2012). *Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2012* (p. 67). Biotope.
- Riols-Loyrette, C. (2015). Impact de parcs éoliens sur un couple d'aigle royal *Aquila chrysaetos* dans les Corbières. *Ornithos*, 22(4), 196-207.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y., & Voigt, C. C. (2016). Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*, 6(1), 28961. <https://doi.org/10.1038/srep28961>
- Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., & Bas, Y. (2017). Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation*, 215, 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010a). Bat mortality at wind turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12(2), 261-274. <https://doi.org/10.3161/150811010X537846>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010b). Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research*, 56(6), 823-827. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0444-3>
- Schuster, E., Bulling, L., & Köppel, J. (2015). Consolidating the state of knowledge : A synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental Management*, 56(2), 300-331. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>
- Seiche, K. (2007). *Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006*. (Naturschutz und Landschaftspflege). Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Shaffer, J. A., & Buhl, D. A. (2016). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions : Wind-energy effects on grassland birds. *Conservation Biology*, 30(1), 59-71. <https://doi.org/10.1111/cobi.12569>
- Smallwood, K. S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33. <https://doi.org/10.1002/wsb.260>
- Smith, J. A., & Dwyer, J. F. (2016). Avian interactions with renewable energy infrastructure : An update. *The Condor*, 118(2), 411-423. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-61.1>
- Strickland, M. D., Johnson, G., Erickson, W. P., & Kronner, K. (2001). *Avian studies at wind plants located at Buffalo Ridge, Minnesota and Vansycle Ridge, Oregon*. 38-52.
- Svensson, L., Mullarney, K., & Zetterström, D. (2015). *Le Guide Ornitho* (Delachaux et Niestlé).
- Thaxter, C. B., Buchanan, G. M., Carr, J., Butchart, S. H. M., Newbold, T., Green, R. E., Tobias, J. A., Foden, W. B., O'Brien, S., & Pearce-Higgins, J. W. (2017). Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1862), 20170829. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>
- Thelander, C. G., & 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). Bird/Wind 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.

VIII. Annexes

VIII.1. Fiches de renseignement des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien de la Vallée de Torfou en 2021

Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E8	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Prairie fauchée	Date du suivi :	18/06/2021
Hauteur de la culture :	10 cm	Heure du relevé :	13h20
Distance au pied du mât :	45 m	Espèce :	Passereau sp.
Direction par rapport au mât :	Sud-ouest	Cadavre n° :	1
Latitude :	47.001107	Photo :	-
Longitude :	1.975929	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Avancé
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Non
Cause présumée de la mort : Indéterminée			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : seuls un morceau d'aile et de colonne vertébrale avec un peu de chair restante.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E1	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Chaumes de blé	Date du suivi :	27/07/2021
Hauteur de la culture :	10 cm	Heure du relevé :	10h25
Distance au pied du mât :	62 m	Espèce :	Alouette des champs
Direction par rapport au mât :	10°	Cadavre n° :	2
Latitude :	47,002927	Photo :	-
Longitude :	1,956361	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Sec
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Non
Cause présumée de la mort : Collision			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : plusieurs morceaux			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E4	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Chaumes de blé	Date du suivi :	27/07/2021
Hauteur de la culture :	15 cm	Heure du relevé :	12h10
Distance au pied du mât :	49 m	Espèce :	Martinet noir
Direction par rapport au mât :	130°	Cadavre n° :	3
Latitude :	47,013263	Photo :	-
Longitude :	1,964820	Envergure :	37,5 cm
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Adulte
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Frais
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Oui
Cause présumée de la mort : Collision			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : RAS			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E4	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Champ déchaumé	Date du suivi :	08/09/2021
Hauteur de la culture :	0 cm	Heure du relevé :	10h25
Distance au pied du mât :	46m	Espèce :	Pipistrelle commune
Direction par rapport au mât :	220°	Cadavre n° :	4
Latitude :	47,013544	Photo :	-
Longitude :	1,964616	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Décomposé
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Oui, fourmis
Cause présumée de la mort : Barotraumatisme			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : cadavre sans tête, 1 aile détachée, décomposé, fourmis présentes			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E7	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Friche	Date du suivi :	15/09/2021
Hauteur de la culture :	5 cm	Heure du relevé :	11h05
Distance au pied du mât :	9 m	Espèce :	Pipistrelle commune
Direction par rapport au mât :	10°	Cadavre n° :	5
Latitude :	46,997497	Photo :	-
Longitude :	1,974861	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Avancé
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Oui
Cause présumée de la mort : Barotraumatisme			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : RAS			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E8	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Parking	Date du suivi :	13/10/2021
Hauteur de la culture :	0 cm	Heure du relevé :	14h10
Distance au pied du mât :	24 m	Espèce :	Chiroptère sp.
Direction par rapport au mât :	180°	Cadavre n° :	6
Latitude :	47,000130	Photo :	-
Longitude :	1,976375	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Sec
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Non
Cause présumée de la mort : Barotraumatisme			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : RAS			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E8	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Champ nu	Date du suivi :	13/10/2021
Hauteur de la culture :	0 cm	Heure du relevé :	14h25
Distance au pied du mât :	38 m	Espèce :	Pipistrelle sp.
Direction par rapport au mât :	150°	Cadavre n° :	7
Latitude :	47,001041	Photo :	-
Longitude :	1,976586	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Mâle ?
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Avancé
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Oui
Cause présumée de la mort : Barotraumatisme			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : RAS			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	E4	Nom du site :	Vallée de Torfou
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Assolement :	Terre/cailloux	Date du suivi :	26/10/2021
Hauteur de la culture :	0 cm	Heure du relevé :	13h55
Distance au pied du mât :	45 m	Espèce :	Pipistrelle sp.
Direction par rapport au mât :	80°	Cadavre n° :	8
Latitude :	47,013488	Photo :	-
Longitude :	1,964877	Envergure :	Indéterminée
Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques		Sexe :	Indéterminé
Date présumée :	Indéterminée	Age :	Indéterminé
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Avancé
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Oui, larves
Cause présumée de la mort : Barotraumatisme			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : RAS			



VIII.2. Référentiel d'activité des chiroptères de Sens Of Life

Espèce	Période	Nuits de contact				Toutes nuits			
		Q2	Q25	Q75	Q98	Q2	Q25	Q75	Q98
<i>Epseticus serotinus</i>	Migr. printanière	0,83145	0,92487	1,06500	1,25203	0,00934	0,03737	0,08408	0,18684
	Mise bas / élevage des jeunes	0,85663	0,91837	0,98783	1,06500	0,11576	0,16978	0,23924	0,30870
	Migr. automnale	0,87816	0,95289	1,03697	1,13039	0,10276	0,16816	0,23355	0,32697
<i>Nyctalus leisleri</i>	Migr. printanière	0,33447	0,35487	0,37934	0,40382	0	0,00816	0,01632	0,03263
	Mise bas / élevage des jeunes	0,33696	0,35717	0,38196	0,41348	0,01685	0,03033	0,05054	0,07304
	Migr. automnale	0,35632	0,38368	0,41618	0,45434	0,02039	0,04079	0,06395	0,09250
<i>Nyctalus noctula</i>	Migr. printanière	0,25658	0,26316	0,27632	0,28947	0	0,00658	0,01645	0,02632
	Mise bas / élevage des jeunes	0,28533	0,30163	0,32065	0,34239	0,02717	0,04348	0,06250	0,08152
	Migr. automnale	0,29934	0,32237	0,34868	0,38158	0,02632	0,04605	0,06908	0,09868
<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Migr. printanière	1,20132	1,35421	1,55079	1,76921	0,02184	0,06553	0,14197	0,26211
	Mise bas / élevage des jeunes	1,19989	1,30815	1,43446	1,56978	0,26163	0,36087	0,47815	0,60446
	Migr. automnale	1,23408	1,36513	1,48526	1,63816	0,22934	0,33855	0,45868	0,60066
<i>Pipistrellus nathusii</i>	Migr. printanière	1,29961	1,50711	1,73645	2,00947	0	0,03276	0,09829	0,20750
	Mise bas / élevage des jeunes	1,11870	1,21793	1,32620	1,44348	0,17141	0,25261	0,35185	0,46011
	Migr. automnale	1,12487	1,24500	1,36513	1,50711	0,16382	0,25118	0,34947	0,46961
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Migr. printanière	1,83474	2,10776	2,41628	2,78487	0,16382	0,30579	0,49145	0,74263
	Mise bas / élevage des jeunes	2,12895	2,39978	2,68848	3,04033	1,06457	1,33522	1,61489	1,94870
	Migr. automnale	2,21697	2,50092	2,81763	3,15618	0,90645	1,17947	1,48526	1,84566
	Mise bas / élevage des jeunes	5,05435	5,16304	5,32609	5,54348	0,05435	0,21739	0,38043	0,59783
	Migr. automnale	5,06579	5,19737	5,32895	5,52632	0,06579	0,19737	0,39474	0,65789

Si Act ≤ Q2	Activité très faible
Si Q2 < Act ≤ Q25	Activité faible
Si Q25 < Act < Q75	Activité moyenne
Si Q75 ≤ Act < Q98	Activité forte
Si Q98 ≤ Act	Activité très forte

VIII.3. Tableau 27 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021)

Espèce	Mortalité en Europe																	Total					
	A	BE	B	C	C	C	D	D	E	ES	F	FR	G	G	L	NL	N		PT	P	R	S	
<i>Acanthis flammea</i>							1																1
<i>Accipiter gentilis</i>							8	1	4			1				1							15
<i>Accipiter nisus</i>	1	4					33	1	18			13		1	1								72
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>									1														1
<i>Acrocephalus palustris</i>							1																1
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>							4		13														17
<i>Aegolius funereus</i>					1																		1
<i>Aegothalus caudatus</i>							1																1
<i>Aegypius monachus</i>									2					1									3
<i>Alauda arvensis</i>	23					8	120		89			91		1	2		44	1	0				388
<i>Alauda spec.</i>									7														7
<i>Alcedo atthis</i>												1											1
<i>Alectoris chukar</i>														2									2
<i>Alectoris rufa</i>									115			12					19						146
<i>Alopochen aegyptiacus</i>							2								2								4
<i>Anas clypeata</i>							1								1	1							3
<i>Anas crecca</i>		2					6								1	2							11
<i>Anas penelope</i>		1					5																6
<i>Anas platyrhynchos</i>	4	48		2			211	1	36			9			63	3	1	1	3				391
<i>Anas spec.</i>							1	2				2			3			2					10
<i>Anas strepera</i>							3								3								6
<i>Anser albifrons</i>							5								1								6
<i>Anser albifrons / fabalis</i>							4																4
<i>Anser anser</i>	1	1					18		3						7	4							34
<i>Anser anser f. domestica</i>		3																					3
<i>Anser brachyrhynchus</i>								1															1
<i>Anser fabalis</i>							7									1							8
<i>Anseridae spec.</i>	1							8								1							10
<i>Anthus campestris</i>									20			1					1						22
<i>Anthus pratensis</i>		5					1		17			3		1	2	1	3						33
<i>Anthus spec.</i>																	1						1
<i>Anthus spinoletta</i>									7								1						8
<i>Anthus trivialis</i>							6		2			4											12
<i>Apus apus</i>	14	4		1		2	166	1	75			121		2	5		18				3		412
<i>Apus pallidus</i>									12								1						13
<i>Aquila chrysaetos</i>							1		8							2						12	23
<i>Aquila heliaca</i>	3																						3
<i>Ardea cinerea</i>	1	7					15		2			3			10	4							42
<i>Arenaria interpres</i>		3																					3
<i>Asio flammea</i>							4		1														5
<i>Asio otus</i>	1						18		2			5											26
<i>Athene noctua</i>									4														4
<i>Aythya ferina</i>		3																					3
<i>Aythya fuligula</i>		1					3									1							5
<i>Aythya marila</i>																1							1
<i>Aythya nyroca</i>														1									1
<i>Botaurus stellaris</i>							2									2		1					5
<i>Branta bernicla</i>																1							1

Espèce	Mortalité en Europe																	Total					
	A	BE	B	C	C	C	D	D	E	ES	F	FR	G	G	L	NL	N		PT	P	R	S	
<i>Branta canadensis</i>																						1	1
<i>Branta leucopsis</i>												8										1	9
<i>Bubo bubo</i>			1				1	18		18		1											39
<i>Bubulcus ibis</i>										96		1					4						101
<i>Burhinus oedicephalus</i>										14		1											15
<i>Buteo buteo</i>	15	1						685		31		81		3	28		13	5				3	865
<i>Buteo lagopus</i>								9							1								10
<i>Calandrella brachydactyla</i>										5											1		6
<i>Calidris alpina</i>								3								1							4
<i>Calidris canutus</i>										1													1
<i>Caprimulgus europaeus</i>			1							1													2
<i>Caprimulgus ruficollis</i>										1													1
<i>Carduelis carduelis</i>								4		36		2				1		1					44
<i>Ardea alba (ex Casmerodius albus)</i>										1													1
<i>Cersophilus duponti</i>										1													1
<i>Certhia familiaris</i>										2													2
<i>Charadrius alexandrinus</i>		1																					1
<i>Charadrius dubius</i>										1													1
<i>Charadrius hiaticula</i>										1													1
<i>Charadrius morinellus</i>										1													1
<i>Chlidonias niger</i>										1													1
<i>Chloephaga picta</i>		1																					1
<i>Chloris chloris</i>								9		3		3											15
<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	4	330						174	1	2		66	12		10			1					691
<i>Ciconia ciconia</i>	1							85		66		1											153
<i>Ciconia nigra</i>								5		3		1											9
<i>Circaetus gallicus</i>										64		2		2									68
<i>Circus aeruginosus</i>	3	1						44		12				1	9				2				72
<i>Circus cyaneus</i>								1		1		4	6			1							13
<i>Circus pygargus</i>	1							6		26		27				1		7					68
<i>Cisticola juncidis</i>										2								2					4
<i>Clamator glandarius</i>										6													6
<i>Clanga pomarina</i>								6						1						3	2		12
<i>Coccythraustes coccythraustes</i>								8					1										9
<i>Corvus monedula</i>		1						6		9					4								20
<i>Columba livia</i>										3		23			1								27
<i>Columba livia f. domestica</i>	26	19						1	85	10		37			35								213
<i>Columba oenas</i>		3							17	3					8		6						37
<i>Columba palumbus</i>	5	12							192	14		33			12			2		1			271
<i>Columba spec.</i>	30								5	9		3	1		8								56
<i>Corvus corax</i>									26	3													29
<i>Corvus corone</i>	6	1							52	2	12			14		14	10	2			1		114
<i>Corvus frugilegus</i>	9								6												1		16
<i>Corvus spec.</i>	3								11	1	1			5		2							23
<i>Coturnix coturnix</i>									1	1	26			1				3					32
<i>Crex crex</i>			1																				1
<i>Cuculus canorus</i>									3	6				1									10
<i>Cyanistes caeruleus</i>	2			1					7	3		4			1								18
<i>Cyanopica cyana</i>										1													1

Espèce	Mortalité en Europe																	Total						
	A	BE	B	C	C	C	D	D	E	ES	F	FR	G	G	L	NL	N		PT	P	R	S		
<i>Cygnus columbianus bewickii</i>																2								2
<i>Cygnus cygnus</i>							3	6									1							10
<i>Cygnus cygnus / olor</i>							7	4																11
<i>Cygnus olor</i>	1						25												5		1			32
<i>Delichon urbicum</i>	1						56	42			12		2	5	3		15				6			303
<i>Dendrocygna media</i>												1												1
<i>Dendrocygna major</i>							5				1								1					7
<i>Dendrocygna spec.</i>													1											1
<i>Egretta garzetta</i>								3			3													6
<i>Emberiza calandra</i>							39	252			11						20							322
<i>Emberiza cia</i>								14									1							15
<i>Emberiza cirius</i>								6									2							8
<i>Emberiza citrinella</i>					1	33		6			8							2						50
<i>Emberiza hortulana</i>																	1							1
<i>Emberiza schoeniclus</i>							5	3																8
<i>Emberiza spec.</i>											1		1											2
<i>Eremophila alpestris</i>							1																	1
<i>Erithacus rubecula</i>		1		1	1	37	79			34		2	1		3	1					4			164
<i>Falco columbarius</i>						2	1								1									4
<i>Falco naumanni</i>							62			57														119
<i>Falco peregrinus</i>	1	3				22	6					1		1										34
<i>Falco peregrinus x rusticolus hybride</i>																	1							1
<i>Falco subbuteo</i>						17	7			7				1										32
<i>Falco tinnunculus</i>	28	7				143	273			108				14	39	2								614
<i>Falco vespertinus</i>						1																		1
<i>Falconiformes spec.</i>						3	6			1		1												11
<i>Ficedula hypoleuca</i>					1	10	37			24				1	8									81
<i>Fingilla spec.</i>								1																1
<i>Fringilla coelebs</i>						16	1	24		11		2									1			55
<i>Fulica atra</i>		10				10	1							11		1								33
<i>Fulmarus glacialis</i>												1		1	1									3
<i>Galerida cristata</i>							105			1		2				1								109
<i>Galerida theklae</i>							182									5								187
<i>Gallinago gallinago</i>						2	1	1		1	1		1	11	1									19
<i>Gallinula chloropus</i>						2	8			1			5											16
<i>Garrulus glandarius</i>						9	8			2														19
<i>Gavia stellata</i>						1																		1
<i>Geronticus eremita</i>								1																1
<i>Glareola pratincola</i>								1																1
<i>Grus grus</i>			1			29	2											1						33
<i>Gyps africanus</i>								1																1
<i>Gyps fulvus</i>			1			1	189	2		3		4			12									191
<i>Gyps ruepellii</i>							1																	1
<i>Haematopus ostralegus</i>		5				4								16	3									28
<i>Haliaeetus albicilla</i>	13					211	1		1	7				2	85		1	0		58				388
<i>Hieraaetus fasciatus</i>								1																1
<i>Hieraaetus pennatus</i>							44			1		1												46
<i>Hippoboscus polyglotta</i>						1	10			1														12

Espèce	Mortalité en Europe																	Total						
	A	BE	B	C	C	C	D	D	E	ES	F	FR	G	G	L	NL	N		PT	P	R	S		
<i>Hirundinidae spec.</i>												1												1
<i>Hirundo daurica</i>																								1
<i>Hirundo rustica</i>											28	13								2	1			47
<i>Ichthyophaga atricapilla</i>												1												1
<i>Ichthyophaga melanocephala</i>		2											4											6
<i>Jynx torquilla</i>											1	1								1				4
<i>Lagopus lagopus</i>																	19	4					1	195
<i>Lanius collurio</i>	1										27	1								2	2			34
<i>Lanius excubitor</i>											2	2								1				5
<i>Lanius meridionalis</i>												4												4
<i>Lanius senator</i>												20												20
<i>Larus argentatus</i>		799									122	9	1							7	52		13	112
<i>Larus cachinnans</i>	1		1								2	45												49
<i>Larus canus</i>	2	6									59	2										18		89
<i>Larus fuscus</i>		202									62	4								9	1	27		305
<i>Larus marinus</i>		22									2									2	55	3	1	85
<i>Larus michahellis</i>	1											11								6				18
<i>Larus minutus</i>																						2		2
<i>Larus spec.</i>	10	1									16	1	1							16	1	11	2	61
<i>Limosa limosa</i>		3																				1		4
<i>Linaria cannabina</i>	3										2	1	24							9		1	10	51
<i>Linaria flavostris</i>																						1		1
<i>Locustella naevia</i>											1	6								1				9
<i>Loxia curvirostra</i>											1	4								1				6
<i>Loxia pytyopsittacus</i>																						1		1
<i>Lullula arborea</i>											13	62								5	1	7		122
<i>Luscinia megarhynchos</i>											1	5								1				7
<i>Lymnocryptes minimus</i>																				1				1
<i>Lyrurus tetrix</i>	7																				2			9
<i>Melanitta nigra</i>																						1		1
<i>Melanocorypha calandra</i>												75												75
<i>Mergus serrator</i>																						1		1
<i>Merops apiaster</i>	1											9								2			1	13
<i>Milvus migrans</i>											54	71								25				150
<i>Milvus milvus</i>	1	5									637	1	32							19	5	1	1	714
<i>Milvus spec.</i>												2												2
<i>Monticola saxatilis</i>												2												2
<i>Motacilla alba</i>		2									11	27								4		1		45
<i>Motacilla flava</i>											7	1								4				12
<i>Motacilla spec.</i>																				1				1
<i>Muscicapa striata</i>												2								3			1	6
<i>Neophron percnopterus</i>												19												19
<i>Netta rufina</i>																				1				1
<i>Nonpasseriformes spec.</i>											4									1		1		6
<i>Numenius arquata</i>											4									1		8		13
<i>Numenius phaeopus</i>																				2				2
<i>Nycticorax nycticorax</i>												1												

Espèce	Mortalité en Europe																	Total					
	A	BE	BG	CH	CR	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N		PT	PL	RO	S	
<i>Oenanthe oenanthe</i>							3		7			2		3			1						16
<i>Oenanthe spec.</i>								1															1
<i>Oriolus oriolus</i>							5		2														7
<i>Otis tarda</i>	1							3															4
<i>Otus scops</i>								1															1
<i>Pandion haliaetus</i>							40		9			4	1						1				55
<i>Parus major</i>						1	12		3														16
<i>Parus spec.</i>	1																						1
<i>Passer domesticus</i>	1						5		82			14				3		1					106
<i>Passer hispaniolensis</i>									2														2
<i>Passer montanus</i>	1						28					1			1								31
<i>Passer spec.</i>												10											10
<i>Passeres spec.</i>	11						25		26			50	14		4	3			3				136
<i>Pelecanus onocrotalus</i>							1																1
<i>Perdix perdix</i>	29						6					32			1				1				69
<i>Periparus ater</i>							7					4											11
<i>Pernis apivorus</i>							25		8			2							1				36
<i>Petronia petronia</i>									29														29
<i>Phalacrocorax carbo</i>							6		4			4	1			6							21
<i>Phasianus colchicus</i>	62	4				1	32		2			15				5							121
<i>Phoenicurus ochrorus</i>	1						1		11			1											14
<i>Phoenicurus phoenicurus</i>							1		5														6
<i>Phylloscopus collybita</i>							6		37			16											59
<i>Phylloscopus ibericus</i>									2									7					9
<i>Phylloscopus inornatus</i>									1			1											2
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>							2		1														3
<i>Phylloscopus spec.</i>									5														5
<i>Phylloscopus trochilus</i>	1						8		14												1		24
<i>Pica pica</i>	6	2					5		33														46
<i>Picus viridis</i>							3		2									1					6
<i>Platalea leucorodia</i>									1														1
<i>Plautus alle</i>																1							1
<i>Plectrophenax nivalis</i>						1													1				2
<i>Pluvialis apricaria</i>							25	1	3			3				5	7				1		45
<i>Pluvialis squatarola</i>																1							1
<i>Podiceps cristatus</i>							1									2							3
<i>Poecile montanus</i>															1								1
<i>Porzana porzana</i>									1														1
<i>Psittacus krameri</i>									1														1
<i>Pterocles alchata</i>									4														4
<i>Pterocles orientalis</i>									2														2
<i>Ptyonoprogne rupestris</i>									7														7
<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>									2														2
<i>Rallus aquaticus</i>							3		2			2			2								9
<i>Recurvirostra avosetta</i>												2				3							5
<i>Regulus ignicapilla</i>	1	2		8		3	44		45			164						2					269
<i>Regulus regulus</i>	14	1		3			120		5			22				3			6				174
<i>Regulus spec.</i>	2			2			12					20				3					48		87
<i>Riparia riparia</i>							5		3					1		1							10
<i>Rissa tridactyla</i>		3							5				1			1	1						11
<i>Saxicola rubetra</i>	1						3		1														5

Espèce	Mortalité en Europe																						Total
	A	BE	BG	CH	CR	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N	PT	PL	RO	S		
<i>Saxicola rubicola</i>										14		1									2		17
<i>Scolopax rusticola</i>	1	1						10		2				1		1						1	17
<i>Serinus serinus</i>										20													20
<i>Sitta europaea</i>								3															3
<i>Somateria mollissima</i>								1					15			1						1	18
<i>Spinus spinus</i>																				1			1
<i>Sterna albifrons</i>		15																					15
<i>Sterna hirundo</i>		162						1												5			168
<i>Sterna spec.</i>													3										3
<i>Streptopelia decaocto</i>	4							3		2		5											14
<i>Streptopelia turtur</i>	1									33		5								1			40
<i>Strigiformes spec.</i>										2													2
<i>Strix aluco</i>									6	3													9
<i>Sturnus unicolor</i>										96													96
<i>Sturnus vulgaris</i>	9	27						2	92	8		48				26	1		3			216	
<i>Sula bassana</i>													1										1
<i>Sylvia atricapilla</i>	1								9	184		3		2									199
<i>Sylvia borin</i>										11		1											12
<i>Sylvia cantillans</i>										43													43
<i>Sylvia conspicillata</i>										5													5
<i>Sylvia curruca</i>									2														2
<i>Sylvia hortensis</i>										4													4
<i>Sylvia melanocephala</i>										10				1									11
<i>Sylvia spec.</i>												1											1
<i>Sylvia undata</i>										11									7				18
<i>Sylvia communis</i>									1	1		1											3
<i>Tachymarptis melba</i>									2	23		2											27
<i>Tadorna tadorna</i>		2							2			1				7							12
<i>Tetrao urogallus</i>									1	1												12	14
<i>Tetrax tetrax</i>										1													1
<i>Thalasseus sandvicensis</i>		25															1						26
<i>Tringa totanus</i>		3															1	1				1	6
<i>Troglodytes troglodytes</i>									4	1		4		1									10
<i>Turdus iliacus</i>		7							4	1	11					2							25
<i>Turdus merula</i>	2	1							18	44		11		6	1		1					4	88
<i>Turdus philomelos</i>		12		1					27	129		24		2	3							1	199
<i>Turdus pilaris</i>	1			1					18	5		1			2	1							29
<i>Turdus spec.</i>		1								1	2		1		1	1							7
<i>Turdus torquatus</i>									1	1													2
<i>Turdus viscivorus</i>				1					10	27					1								39
<i>Tyto alba</i>									15	6		5				3				1			30
<i>Upupa epops</i>										7				1						1			9
<i>Uria aalge</i>																	1						2
<i>Vanellus vanellus</i>		3							19			2				3							27
	37	179	6	2	1	2	456	4	555	1	7	148	17	9	1	70	34	44	8	2	18	159	
	6	1		2		4	5	9	2			1	4	9		4	6	2	2	2	1	06	

A = Autriche ; BE = Belgique ; BG = Bulgarie ; CH = Suisse ; CR = Croatie ; CZ = République tchèque ; D = Allemagne ; DK = Danemark ; E = Espagne ; EST = Estonie ;

VIII.4. Tableau 28 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).

Espèce	Mortalité en Europe																				ges.		
	A	B	C	CR	C	D	D	ES	ES	F	FR	GR	IT	L	N	N	PT	P	RO	S		UK	
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2	2	6	5	1	758		211			101	0	1		1		323	5	6	1	46	2435	
<i>P. nathusii</i>	1	3	6	6	17	7	111	5	2		276	35	1	2	1			1	6	90	5	1	1623
<i>Nyctalus noctula</i>	4	6	1		3	125	2	1			104	10					2	1	7	76	1	4	1565
<i>Chiroptera spec.</i>	1	1	1	60	1	77		320	1		439	8	1				120	3	15	3	0	9	1096
<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		10	9	96		25			305	1		2			128	2	48			12	740
<i>N. leislerii</i>			1	4	3	195		15			153	58	2				273	5	10				719
<i>P. kuhlii</i>				14	4			44			219	1					51		10				469
<i>P. pygmaeus</i>	4			1	2	149					176	0		1			42	1	5	1	8	52	451
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>	1		2			3		271			40	54					38	1	2				412
<i>Hypsugo savii</i>	1			13	7	1		50			57	28	1	2			56		2				344
<i>Vespertilio murinus</i>	2	1		17	6	150					11	1		1			9	15	2				215
<i>Eptesicus serotinus</i>	1				1	68		2			34	1			2		3	1					123
<i>E. isabellinus</i>								117									3						120
<i>E. serotinus / isabellinus</i>								98									17						115
<i>Tadarida teniotis</i>				7				36			2						39						84
<i>E. nilssonii</i>	1				1	6			2	6				1	3	1		1	1	1	3		45
<i>N. lasiopterus</i>								21			10	1					9						41
<i>Nyctalus spec.</i>						2		2			1						17						22
<i>Miniopterus schreibersi</i>								2			7						4						13
<i>M. daubentonii</i>						8					1						2						11
<i>Myotis spec.</i>						2		3			1							4					10
<i>Plecotus austriacus</i>	1					8																	9
<i>P. auritus</i>						7																1	8
<i>Myotis myotis</i>						2		2			3												7
<i>M. blythii</i>								6			1												7
<i>Barbastella barbastellus</i>						1		1			4												6
<i>M. emarginatus</i>								1			3						1						5
<i>M. mystacinus</i>						3					1	1											5
<i>M. dasycneme</i>						3																	3
<i>M. nattereri</i>						2																1	3
<i>M. brandtii</i>						2																	2
<i>M. bechsteini</i>											1												1
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>								1															1
<i>R. mehelyi</i>								1															1
<i>Rhinolophus spec.</i>								1															1
gesamt:	8	4	1	49	8	391	2	123	3	6	286	19	1	4	2	1	112	6	28	8	13	1071	
	1	9	5	4	7	0		1			1	9	7	0	7		5	3	5	3	3	2	

A = Autriche ; BE = Belgique ; CH = Suisse ; CR = Croatie ; CZ = République tchèque ; D = Allemagne ; DK = Danemark ; E = Espagne ; EST = Estonie ;

VIII.5.F = Finlande ; FR = France ; GR = Grèce ; IT = Italie ; LV = Lettonie ; NL = Pays-Bas ; N = Norvège ; PT = Portugal, PL = Pologne ; RO = Roumanie ; S = Suède ; UK =