



Suivi environnemental 2020

Suivi de la mortalité

Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude – TrackBat

Parc éolien Les Tilleuls
5 éoliennes
Indre (36), Centre-Val de Loire

Janvier 2021

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	V.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique	28
I.1. Contexte de l'étude	5	V.2.1. Activité corrigée par espèce.....	28
I.2. Localisation et description du parc	5	V.2.2. Activité en fonction de la date et de l'heure	29
I.3. Objectifs.....	5	V.2.3. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température	30
II. Etat initial.....	7	V.2.4. Zoom sur les espèces présentes	30
II.1. Flore et habitat.....	7	V.3. Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes	35
II.2. Avifaune.....	7	VI. Discussion.....	36
II.3. Chiroptères	7	VI.1. Répartition de l'activité des chiroptères sur le parc éolien de Tilleuls	36
II.4. Autres espèces	7	VI.2. Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Tilleuls	36
III. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères.....	8	VI.2.1. Comparaison des impacts avifaunistiques avec l'étude d'impact initiale	36
III.1. Sensibilité des oiseaux	8	VI.2.2. Comparaison des impacts chiroptérologiques avec l'étude d'impact initiale	36
III.1.1. Collision.....	8	VI.3. Comparaison mortalité et activité chiroptérologique	36
III.1.2. Perte d'habitat	10	VII. Conclusion	37
III.1.3. Effet barrière.....	11	VIII. Bibliographie	38
III.2. Sensibilité des chiroptères	11	IX. Annexes.....	41
III.2.1. Généralités.....	11	IX.1. Fiche de renseignements et photographies calibrées des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris retrouvés sur le parc éolien de Tilleuls.	41
III.2.2. Mortalité directe et mortalité indirecte	12	IX.2. Tableau 25 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2020).	45
IV. Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Tilleuls	14	IX.3. Tableau 26 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2020).	48
IV.1. Protocole de recherche des cadavres au sol.....	14		
IV.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes	14		
IV.2.1. Analyse spatiale des collisions sur le parc éolien de Tilleuls.....	17		
IV.2.2. Analyse temporelle des collisions sur le parc éolien de Tilleuls	17		
IV.2.3. Analyse météorologique des collisions sur le parc éolien de Tilleuls	18		
IV.2.4. Analyse des collisions sur le parc éolien de Tilleuls en fonction du milieu	18		
IV.3. Occupation du sol et surface prospectée	19		
IV.4. Calcul des biais	19		
IV.4.1. Test de prédation.....	19		
IV.4.2. Test du taux de détection	21		
IV.5. Estimation de la mortalité réelle	21		
IV.5.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien des Tilleuls	22		
IV.5.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Tilleuls	23		
IV.6. Sensibilité des espèces retrouvées	23		
IV.6.1. Calcul des notes de risque	23		
IV.6.2. Sensibilité des oiseaux retrouvés.....	23		
IV.6.3. Sensibilité des chiroptères retrouvés	24		
V. Suivi de l'activité des chiroptères par TrackBat	26		
V.1. Matériel et méthodes	26		
V.1.1. Enregistrement acoustique.....	26		
V.1.2. Méthode d'analyse des sons	26		

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien Les Tilleuls.....	6
Carte 2 : Localisation des cadavres trouvés entre mai et octobre 2020, sous les éoliennes du parc éolien de Tilleuls.....	16
Carte 3 : Nature des sols sous les 5 éoliennes du parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	20
Carte 4 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius.....	31

Figure 1 : Roitelet à Triple bandeau, espèce la plus impactée en France concernant la mortalité par collision avec les pales d'éoliennes, (Sens Of Life 2020).....	9
Figure 2 : éolienne avec une pale peinte en noire.....	10
Figure 3 : L'Aigle royal semble impacté par l'installation d'éoliennes sur son territoire, CCO domaine public.....	10
Figure 4 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001).....	11
Figure 5 : Description du phénomène de barotraumatisme.....	12
Figure 6 : 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.....	21
Figure 9 : Faucon crécerelle. CCO domaine public.....	23
Figure 10 : Noctule commune. CCO domaine public.....	24
Figure 11 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.....	24
Figure 12 : Pipistrelle de Nathusius, Sens Of Life 2020.....	24
Figure 13 : Pipistrelle de Kuhl. CCO domaine public.....	24
Figure 14 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.....	26
Figure 15 : 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 16 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces.....	27
Figure 17 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission.....	27
Figure 18 : Pipistrelle commune. CCO domaine public.....	30
Figure 19 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune.....	30
Figure 20 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.....	31
Figure 21 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl.....	31
Figure 22 : Pipistrelle de Kuhl. CCO domaine public.....	32
Figure 23 : Noctule commune. CCO domaine public.....	32
Figure 24 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune.....	33
Figure 25 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.....	33
Figure 26 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler.....	33
Figure 27 : Sérotine commune. CCO domaine public.....	34
Figure 28 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune.....	34
Figure 29 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine.....	36

Graphique 1 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Source : Rapport LPO, Geoffrey Marx, 2016).....	9
Graphique 2 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua 2006).....	9
Graphique 3 : Répartition des cadavres en fonction des éoliennes du parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	17
Graphique 4 : Répartition des cadavres en fonction de la distance au mât, parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	17
Graphique 5 : Répartition de la position des cadavres en fonction leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien de Tilleuls, en 2020.....	17

Graphique 6 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la date, sur le parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	17
Graphique 7 : Nombre de collisions en fonction de la culture, corrigées par leur coefficient surfacique, sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	18
Graphique 8 : Répartition des cadavres en fonction de la hauteur de la surface au sol, sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	18
Graphiques 9 : Proportion des espèces contactées en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	28
Graphique 10 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls, en 2020.....	29
Graphique 11 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et octobre 2020, en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls.....	29

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes des Tilleuls, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator.....	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).....	13
Tableau 4 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité sur le parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	15
Tableau 5 : Caractéristiques météorologiques des trois jours précédents les collisions de chiroptères constatées sur le parc de Tilleuls entre mai et octobre 2020.....	18
Tableau 6 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien des Tilleuls en 2020. Les cadavres retrouvés au sol sont représentés en orange.....	19
Tableau 7 : Évaluation du taux de détection de cadavres sous chaque éolienne du parc éolien de Tilleuls.....	21
Tableau 8 : Mortalité estimée des chiroptères selon les formules de Bastos et al. (2013), d'Erickson et al. (2005), Huso (2010) et Jones et al. (2009) sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	22
Tableau 9 : Mortalité des chiroptères, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020. 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).....	22
Tableau 10 : Mortalité estimée des oiseaux selon les formules de Bastos et al. (2013), d'Erickson et al. (2005), Huso (2010) et Jones et al. (2009) sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	23
Tableau 11 : Mortalité des oiseaux, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020. 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 (Marx, 2017).....	23
Tableau 12 : 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.....	23
Tableau 13 : Calcul des notes de risque pour chaque espèce de chiroptère identifiée pour laquelle une collision a été constatée sur le parc éolien de Tilleul entre mai et octobre 2020.....	24
Tableau 14 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.....	27
Tableau 15 : Coefficient de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes.....	28
Tableau 16 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	28
Tableau 17 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s ⁻¹) en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.....	30
Tableau 18 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	31
Tableau 19 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	32
Tableau 20 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	32
Tableau 21 : Données d'activité de la Noctule commune sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	33
Tableau 22 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	34
Tableau 23 : Données d'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.....	34

Tableau 24 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Tilleuls entre mai et octobre 2020. 35

IX.2. Tableau 25 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2020). 45

IX.3. Tableau 26 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2020). 48

I. Cadre général du parc

I.1. Contexte de l'étude

WPO est l'opérateur du parc éolien de Tilleuls, composé de 5 éoliennes, implanté dans l'Indre (36). Cette installation a été mise en service en 2013, elle est donc réputée ICPE. Une expertise environnementale initiale a été réalisée par l'association Indre Nature, la Fédération Départementale des Chasseurs de l'Indre et le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges en 2005 :

- L'association Indre Nature a travaillé sur les parties avifaune et flore locale remarquables,
- La Fédération des Chasseurs de l'Indre a étudié les zones sensibles concernant l'avifaune et les mammifères terrestres,
- Le Muséum de Bourges a travaillé sur la partie chiroptères.

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

Le suivi environnemental doit être réalisé avec le protocole reconnu par le ministère chargé des installations classées et doit également être conforme à la réglementation de l'étude d'impact qui définit les modalités de suivi des effets du parc sur l'avifaune et les chauves-souris (Article R122-14 du code de l'environnement). Il comprend un suivi de l'activité chiroptérologique en altitude, en continu et sans aucun échantillonnage de durée sur l'ensemble de la période d'activité des chauves-souris, ainsi qu'un suivi de la mortalité au pied des éoliennes.

Ce rapport présente le suivi environnemental réalisé par Sens Of Life en 2020. 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.

I.2. Localisation et description du parc

Ce parc, constitué de 5 éoliennes, se situe sur la commune de Saint-Georges-sur-Arnon (36100), dans le département de l'Indre (36), en région Centre-Val de Loire. Les cinq turbines sont des Nordex N90, pour une puissance totale installée de 12 MW. Le Tableau 1 indique les coordonnées géographiques des éoliennes, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator.

Eolienne	X	Y
TILO-01	46.978484	2.058365
TILO-02	46.980356	2.065435
TILO-03	46.982571	2.074155
TILO-04	46.984339	2.079298
TILO-05	46.986068	2.083897

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

Le parc éolien Les Tilleuls est implanté sur un plateau dont l'aire d'étude immédiate culmine à 150 mètres d'altitude. Les cinq éoliennes sont alignées dans un paysage dominé par des parcelles agricoles exploitées de manière intensive et situé à l'Ouest des communes de Charost et Saint-Georges-sur-Arnon et au Nord du parc éolien des Joyeuses. Aucune mare ni aucun cours d'eau n'a été identifié dans leur périmètre immédiat. On peut cependant noter la présence d'un linéaire de haie (ancienne voie de chemin de fer) au nord du parc éolien. Les cultures présentes sont en grande majorité des céréales.

Dans les environs du parc, dans un rayon de 30 km, 63 zones naturelles d'intérêt reconnu ont été recensées.

Dans l'aire d'étude intermédiaire (à moins de 10 km du site), 12 zones ont été recensées :

- 2 sites inscrits au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 8 Zones Naturelles 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 10 et 30 km du site), 51 zones ont été recensées :

- 2 zones concernées par un Arrêté de Protection Biotope,
- 1 Réserve Naturelle Nationale,
- 2 sites inscrits au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 2 sites inscrits au titre de la Directive Oiseaux (ZICO, ZPS),
- 37 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),
- 7 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type II (ZNIEFF II).

I.3. Objectifs

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

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

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

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.



Approche scalaire du site d'implantation Parc éolien des Tilleuls Indre (36)



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

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien Les Tilleuls.

II. Etat initial

L'objectif de cette partie est de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées lors de l'étude d'impact réalisée par Indre Nature, la Fédération Départementale des Chasseurs de l'Indre et le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges en 2005, afin de les comparer avec les résultats de ce suivi post-implantation en 2020.

II.1. Flore et habitat

Des espèces remarquables ont été relevées sur le secteur d'étude : l'**Orchis Homme-pendu** (*Aceras anthropophorum* (L.) Aiton fil.), la **Cardoncelle molle** (*Carduncellus mitissimus* (L.) DC.), l'**Orchis singe** (*Orchis simia* Lam.), l'**Adonis annuelle** (*Adonis annua*), l'**Orchis bouc** (*Himantoglossum hircinum* (L.) Sprengel), l'**Ophrys abeille** (*Ophrys apifera* Hudson), l'**Ophrys araignée** (*Ophrys sphegodes* Miller), l'**Ophrys bouffon** (*Orchis morio* L.), l'**Ophrys pourpre** (*Orchis purpurea* Hudson) et le **Petit houx** (*Ruscus aculeatus* L.). L'Orchis Homme pendu et la Cardoncelle molle sont deux espèces protégées en région Centre-Val de Loire.

Toutes ces observations ont été faites au niveau de micro-pelouses calcaires ainsi qu'au niveau de l'ancienne voie de chemin de fer qui représente aujourd'hui une haie accueillant de nombreuses espèces que ce soit animales ou végétales, qu'il convient d'épargner selon les spécialistes qui ont étudié la zone.

II.2. Avifaune

L'association Indre Nature et la Fédération des Chasseurs de l'Indre ont pris en charge l'étude de l'avifaune. Indre Nature a d'abord compilé les données naturalistes issues de leur base de données Bd-Nat puis a réalisé des inventaires sur le terrain de mi-mars à fin novembre 2005.

Sur la zone d'étude, une liste de 71 espèces a été réalisée à l'aide des données récoltées entre 1978 et 2005. Parmi ces espèces, 14 sont inscrites dans l'annexe I de la Directive Oiseaux : l'**Aigle botté** (*Hieraetus pennatus*), le **Balbusard pêcheur** (*Pandion haliaetus*), la **Bondrée apivore** (*Pernis apivorus*), le **Busard cendré** (*Circus pygargus*), le **Busard des roseaux** (*Circus aeruginosus*), le **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), la **Cigogne blanche** (*Ciconia ciconia*), la **Cigogne noire** (*Ciconia nigra*), le **Faucon émerillon** (*Falco columbarius*), la **Grue cendrée** (*Grus grus*), le **Milan royal** (*Milvus milvus*), l'**Œdicnème criard** (*Burhinus oedicnemus*), l'**Outarde canepetière** (*Tetrax tetrax*) et la **Pie-grièche écorcheur** (*Lanius collurio*). Au niveau régional, 3 espèces sont « En danger critique » : la **Cigogne noire** (*Ciconia nigra*), le **Milan royal** (*Milvus milvus*), l'**Outarde canepetière** (*Tetrax tetrax*), le **Tarier des prés** (*Saxicola rubetra*). 6 espèces sont classées « En danger » : l'**Aigle botté** (*Hieraetus pennatus*), le **Balbusard pêcheur** (*Pandion haliaetus*), **Busard des roseaux** (*Circus aeruginosus*), le **Chevalier guignette** (*Actitis hypoleucos*), la **Cigogne blanche** (*Ciconia ciconia*), le **Faucon pèlerin** (*Falco peregrinus*), le **Gobemouche noir** (*Ficedula hypoleuca*). 3 autres espèces sont considérées « Vulnérables » : le **Busard cendré** (*Circus pygargus*), le **Cochevis huppé** (*Galerida cristata*), le **Vanneau huppé** (*Vanellus vanellus*). Enfin, 9 espèces sont classées comme « Quasi-menacées » : l'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*), le **Bruant proyer** (*Emberiza calandra*), **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), la **Chevêche d'Athéna** (*Athene noctua*), l'**Effraie des clochers** (*Tyto alba*), le **Faucon hobereau** (*Falco subbuteo*), le **Grand cormoran** (*Ficedula hypoleuca*), la **Linotte mélodieuse** (*Carduelis cannabina*), la **Perdrix grise** (*Perdix perdix*).

Une attention particulière a été portée sur la **Grue cendrée** (*Grus grus*), puisque le principal couloir de migration pré- et postnuptial de l'espèce en France, situé dans l'axe Nord-Est/Sud-Ouest, passe par l'Indre. Le département est également propice à l'hivernage de l'espèce. En migration pré-nuptiale, les effectifs annuels dans le département de l'Indre sont d'en moyenne 20 000 individus et 15 000 individus en migration postnuptiale. Toutefois, peu d'observations ont été faites sur la zone d'étude en 2005.

Au niveau des rapaces nocturnes, 4 espèces ont été recensées : la **Chevêche d'Athéna** (*Athene noctua*), la **Chouette hulotte** (*Strix aluco*), l'**Effraie des clochers** (*Tyto alba*) et le **Hibou Moyen-Duc** (*Asio otus*).

II.3. Chiroptères

Un site de reproduction du **Grand murin** (*Myotis myotis*) est connu sur le site Natura 2000 de l'école communale de Chârost. D'après les spécialistes, la création du parc éolien ne devrait pas avoir d'incidence sur cette population.

Une étude des chiroptères en altitude (80 m) a été réalisée par le Muséum d'Histoire Naturelle de Bourges en juillet 2005. Elle a montré une faible diversité avec seulement 10 contacts enregistrés au sol et aucun en altitude (principalement le groupe des Pipistrelles). Aucun autre suivi n'a été réalisé du fait de la configuration de la zone d'étude qui semble présenter peu de risque pour les chiroptères.

II.4. Autres espèces

a) Entomofaune

Les Lépidoptères rhopalocères ont fait l'objet d'un suivi sur la zone d'étude, 10 espèces ont été recensées : l'**Aurore** (*Anthocharis cardamines*), le **Gazé** (*Aporia crataegi*), le **Fadet commun** (*Coenonympha pamphilus*), l'**Azuré des Cytises** (*Glaucopsyche alexis*), le **Citron** (*Gonopteryx rhamni*), le **Flambé** (*Iphiclides podalirius*), la **Piérade du Lotier** (*Leptidea sinapis*), la **Piérade du chou** (*Pieris brassicae*), la **Piérade de la rave** (*Pieris rapae*) et l'**Azuré de la Bugrane** (*Polyommatus icarus*). Parmi ces espèces, l'Azuré des cytises et le Flambé sont des espèces déterminantes ZNIEFF en région Centre-Val de Loire.

b) Herpétofaune

Au sein de la zone d'étude, quatre espèces ont été répertoriées : la **Couleuvre Vipérine** (*Natrix maura*), la **Grenouille rieuse** (*Pelophylax ridibundus*), le **Lézard des murailles** (*Podarcis muralis*) et le **Lézard à deux raies** (*Lacerta bilineata*). D'autres espèces sont connues à proximité de la zone : l'**Alyte accoucheur** (*Alytes obstetricans*), la **Coronelle lisse** (*Coronella austriaca*), le **Crapaud calamite** (*Epidalea calamita*), le **Crapaud commun** (*Bufo bufo*), le **Triton palmé** (*Lissotriton helveticus*) et la **Vipère aspic** (*Vipera aspis*).

c) Mammifères

Indre Nature et la Fédération des Chasseurs ont répertorié 16 espèces de mammifères sur la zone d'étude (observations faites en 2005 et complétées par Bd-Nat) : la **Belette** (*Mustela nivalis*), le **Cerf élaphe** (*Cervus elaphus*), le **Chat forestier** (*Felis silvestris silvestris*), le **Chevreuil d'Europe** (*Capreolus capreolus*), la **Fouine** (*Martes foina*), la **Genette** (*Genetta genetta*), le **Hérisson** (*Erinaceus europaeus*), l'**Hermine** (*Mustela erminea*), le **Lapin de garenne** (*Oryctolagus cuniculus*), le **Lérot** (*Eliomys quercinus*), le **Lièvre d'Europe** (*Lepus capensis*), la **Loutre commune** (*Lutra lutra*), la **Martre des pins** (*Martes martes*), le **Putois** (*Mustela putorius*), le **Ragondin** (*Myocastor coypus*) et le **Renard roux** (*Vulpes vulpes*). Il est à noter que les observations de Loutre et de Genette datent d'une dizaine d'années et n'ont pas été recensées sur la zone d'étude.

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

III.1. Sensibilité des oiseaux

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

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

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

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

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

III.1.1. Collision

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

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

- De la sensibilité des espèces, avec plusieurs groupes d'espèces impactées (migrateurs : Johnson *et al.*, 2003 ; déclin d'une population de *Lyrurus 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 14 822 individus de plus de 250 espèces différentes, dont 5545 cas de mortalité en Espagne, 4196 en Allemagne, 1791 en Belgique et 1391 en France (Dürr, 2020).

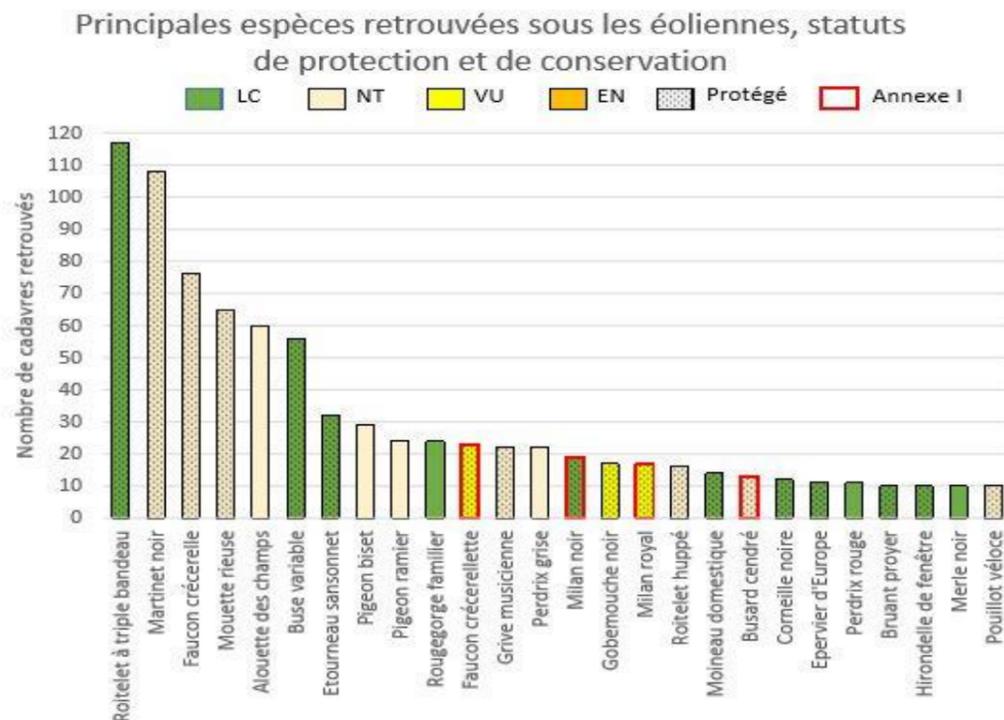
Les espèces les plus touchées en Europe (Dürr, 2020) sont :

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

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

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

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



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

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

Les oiseaux sédentaires et nicheurs semblent intégrer la présence des éoliennes sur leur territoire et se tiennent en général à distance des turbines (100-300 m) (Strickland *et al.*, 2001 ; Winkelman, 1992 ; Thomas, 2000) sauf en cas de facteur attractif à proximité comme des champs labourés ou moissonnés qui augmentent les ressources alimentaires (Janss, 2000, Pedersen & Poulsen, 1991, Winkelman, 1985). Les oiseaux semblent toutefois capables de percevoir si les éoliennes sont en fonctionnement et de réagir en conséquence (Albouy *et al.*, 1997), bien que certaines espèces apparaissent moins aptes à prendre en compte la présence des éoliennes lorsqu'ils sont concentrés sur une proie (cas notamment des vautours et des milans

qui ne nichent pas près du parc). La sensibilité varie néanmoins d'une espèce à l'autre suivant son mode de vie et sa façon de percevoir un parc éolien dans son environnement. Les espèces les plus sensibles aux collisions sont souvent aussi celles qui sont les moins farouches. Inversement, les espèces les plus sensibles au risque d'évitement ou aux effets « barrière », sont aussi les moins sensibles au risque de collision.



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

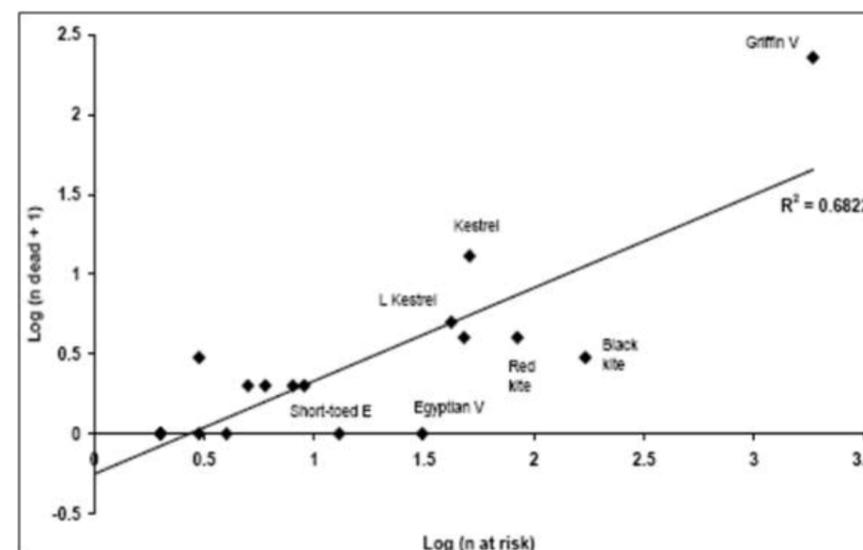
Les rapaces et les migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les éoliennes (Curry & Kerlinger, 1998 ; Hill *et al.*, 2014). Les collisions peuvent être plus fréquentes la nuit, les migrateurs étant attirés par les lumières des éoliennes, ou par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

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

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

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

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



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

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



Figure 2 : éolienne avec une pale peinte en 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).

III.1.2. Perte d'habitat

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

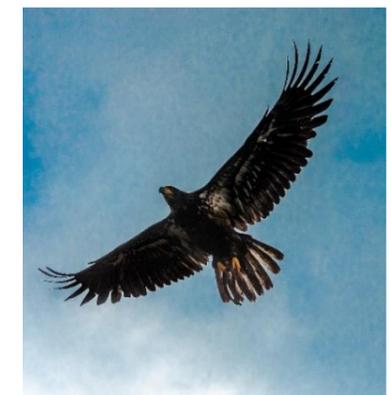


Figure 3 : Aigle royal, CCO domaine public.

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

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

III.1.3. Effet barrière

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

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

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

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

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

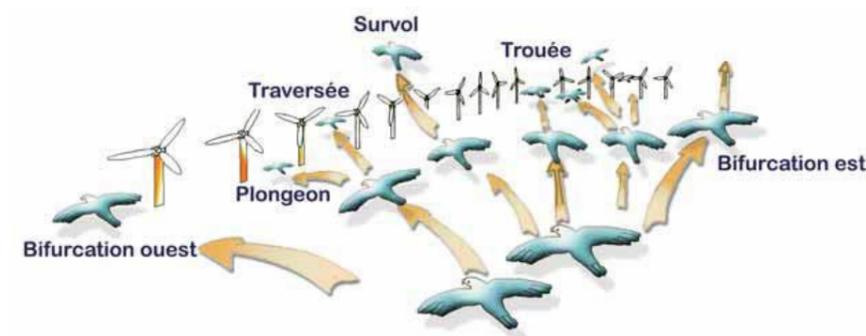


Figure 4 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

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).

III.2. Sensibilité des chiroptères

III.2.1. Généralités

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

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

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

- Une possible attraction des chauves-souris par les éoliennes, notamment par les insectes concentrés autour des parties chaudes des éoliennes (Bennett *et al.*, 2017 ; Foo *et al.*, 2017). Les pics d'activité des chiroptères sont liés à l'essaimage des insectes : un pic à la fin du printemps - début été (coïncide avec la période de mise bas des chiroptères) et un autre fin été - début automne (migration, émancipation des jeunes chiroptères) (Beucher *et al.*, 2017) ;

- Elles pourraient rechercher des gîtes dans les éoliennes en les confondant avec des grands arbres (Bennett & Hale, 2014 ; Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020 ; Kunz *et al.*, 2007), ou encore en voulant s'en servir comme sites de reproduction (Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020) ou simplement explorer les éoliennes par curiosité (Cryan & Barclay, 2009) ;
- Un problème de détection des pales en mouvement : les extrémités de pale se déplacent à des vitesses linéaires importantes (plus de 250 km.h⁻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.

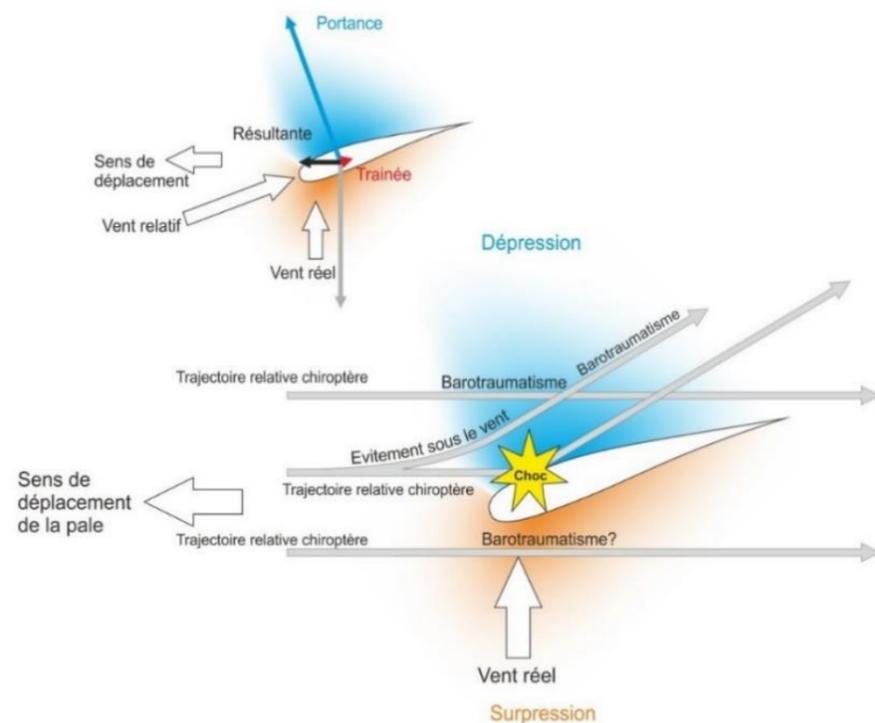


Figure 5 : Description du phénomène de barotraumatisme.

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.

III.2.2. Mortalité directe et mortalité indirecte

a) Mortalité directe

La mortalité directe, qu'elle soit produite par barotraumatisme ou collision, génère une mortalité qui est de mieux en mieux documentée. Il apparaît que toutes les espèces ne sont pas impactées de la même manière par ce phénomène. Le comportement et l'écologie des animaux influenceraient fortement leur sensibilité à l'éolien. Ainsi, les chauves-souris chassant en plein ciel (espèces de haut vol) ou réalisant des migrations, seraient beaucoup plus impactées que les espèces sédentaires glanant leur nourriture au sol ou dans la canopée (Roemer *et al.*, 2017). En Europe, le Tableau 26 compilé par Tobias Dürr permet de constater le nombre de cas de mortalité, relevé par espèce et par pays. En croisant ces données avec la vulnérabilité des espèces, il est possible de définir la sensibilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 3).

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

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

IV. Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Tilleuls

Cette étude est proposée dans le but d'optimiser les connaissances quant à l'impact du parc éolien Les Tilleuls 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.

IV.1. Protocole de recherche des cadavres au sol

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 des Tilleuls selon le protocole, entre le 20 mai et le 30 octobre 2020.

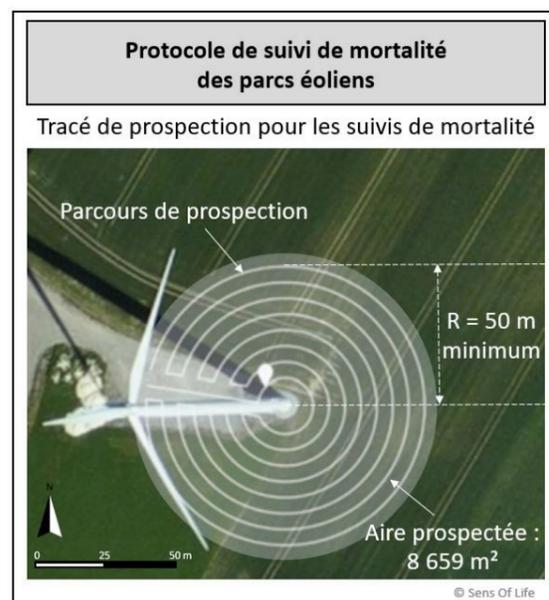


Figure 6 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne.

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 & Lemaire, 2009 a été utilisé comme référence.

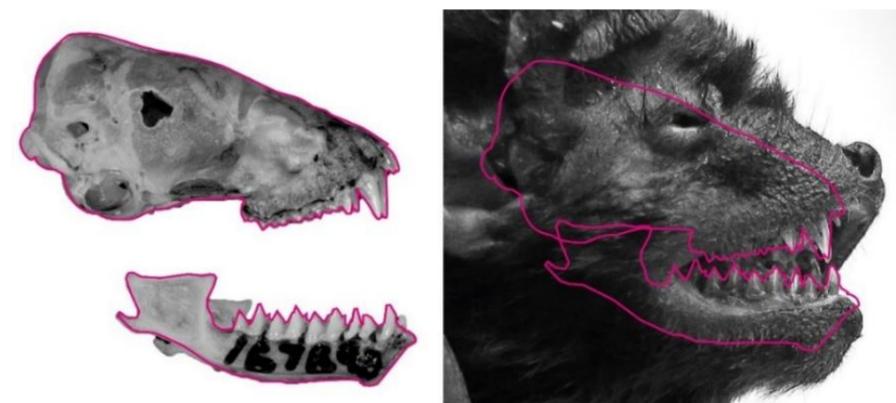


Figure 7 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler.

L'identification des oiseaux a été réalisée à partir du plumage, de la taille du squelette et de la forme des pattes et du bec, en se référant aux ouvrages de Svensson et al., 2015, 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>

IV.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes

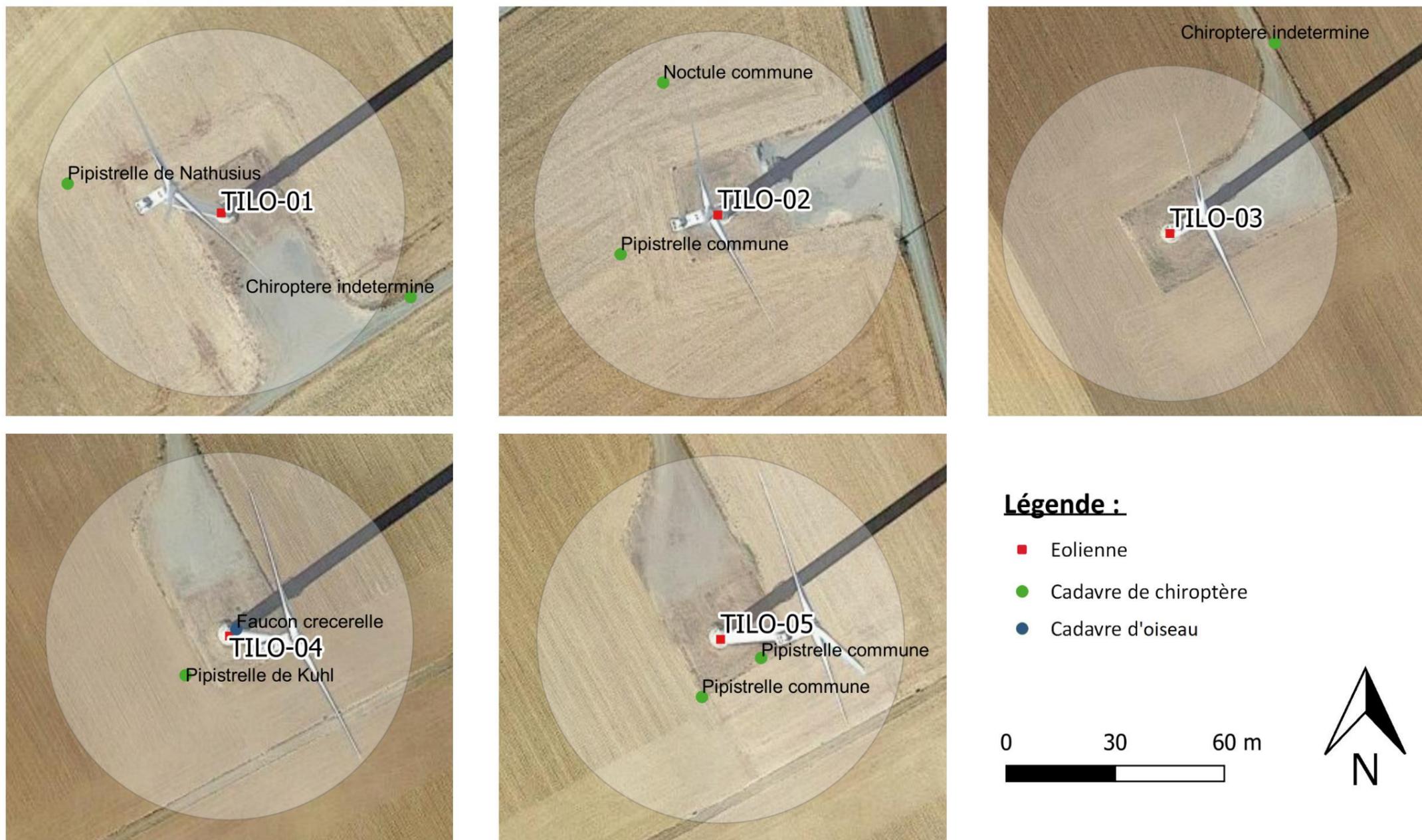
Le suivi de mortalité du parc éolien de Tilleuls est basé sur un passage hebdomadaire entre mai et octobre, soit une pression d'échantillonnage relativement importante. Les éoliennes ont été prospectées au cours de 22 passages réalisés aux dates listées dans le Tableau 6. Au total, 8 cadavres de chiroptères et 1 cadavre d'oiseau 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 Tilleuls en 2020. Toutes les fiches d'identification des cadavres sont disponibles en annexe 2. La Carte 2 permet la visualisation de la répartition spatiale de ces cadavres sous les éoliennes du parc.

Date	Espèce	Nom latin	Type	Statut de conservation	Sexe	Age	Coordonnées GPS	Eolienne proche	Distance au mât	Orientation par rapport au mât
15/07/2020	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Chauve-souris	NT	-	Adulte	46.9785848 ; 2.0577606	TILO-01	46 m	Est
29/07/2020	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chauve-souris	NT	-	-	46.9802894 ; 2.0650374	TILO-02	29 m	Ouest
05/08/2020	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chauve-souris	NT	-	Adulte	46.9859585 ; 2.083832	TILO-05	16 m	Sud-Ouest
12/08/2020	Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Chauve-souris	VU	-	Adulte	46.980713 ; 2.0651913	TILO-02	36 m	Nord-Ouest
12/08/2020	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Chauve-souris	LC	-	Adulte	46.9842776 ; 2.0791529	TILO-04	15 m	Ouest
12/08/2020	Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	Oiseau	NT	Femelle	Adulte	46.9843908 ; 2.0793366	TILO-04	3 m	Nord-Est
03/09/2020	Chiroptère indéterminé		Chauve-souris	-	-	-	46.978305 ; 2.059001	TILO-01	48 m	Sud-Est
22/09/2020	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chauve-souris	NT	-	-	46.986055 ; 2.084046	TILO-05	11 m	Sud-Est
28/09/2020	Chiroptère indéterminé		Chauve-souris	-	-	-	46.983127 ; 2.074569	TILO-03	60 m	Nord-Est

Tableau 4 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité sur le parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.



Localisation des cadavres retrouvés Parc éolien des Tilleuls Indre (36)

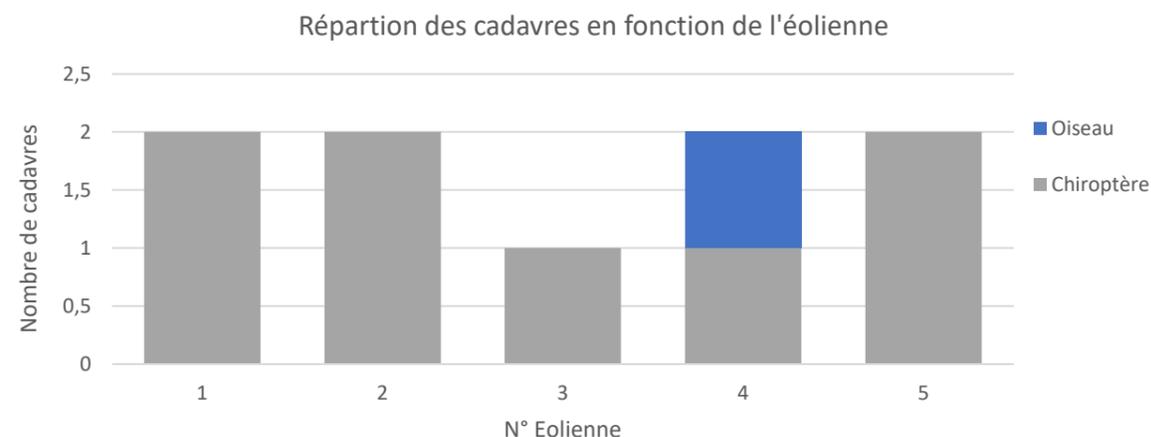


Sens Of Life, 2020. Fond de carte : Google satellite.

Carte 2 : Localisation des cadavres trouvés entre mai et octobre 2020, sous les éoliennes du parc éolien de Tilleuls

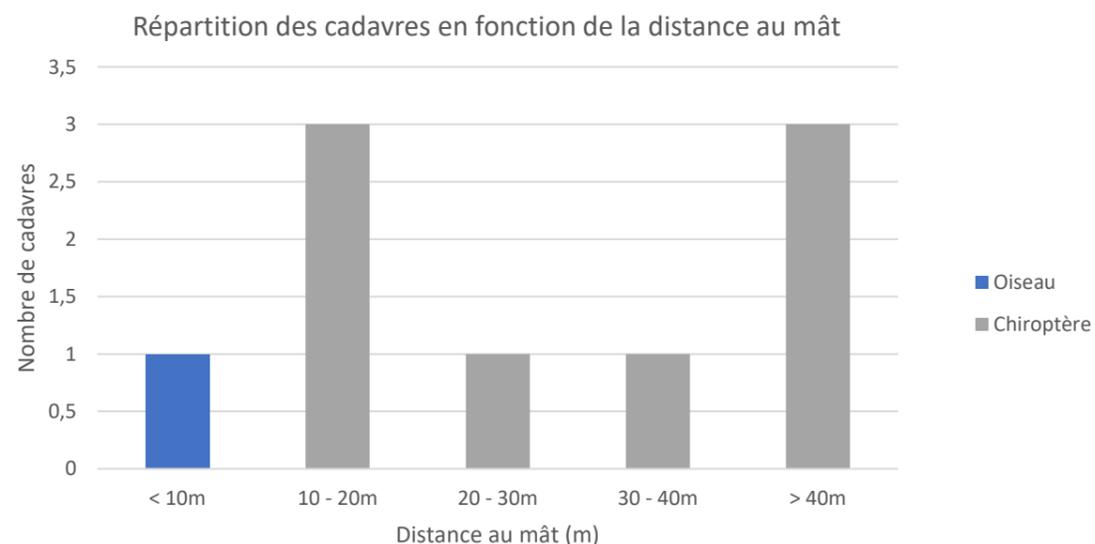
IV.2.1. Analyse spatiale des collisions sur le parc éolien de Tilleuls

On constate avec le Graphique 3 qu'au moins un cadavre a été trouvé sous chaque éoliennes. La mortalité est assez uniforme sur le parc, sans doute expliqué par un contexte environnemental uniforme : plaines agricoles cultivées de manière intensive sous toutes les éoliennes. Le type de culture ne semble pas être en lien avec le nombre de cadavre trouvés. Seul un cadavre d'oiseau a été retrouvé sur tout le parc, sous l'éolienne TILO-04.



Graphique 3 : Répartition des cadavres en fonction des éoliennes du parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020

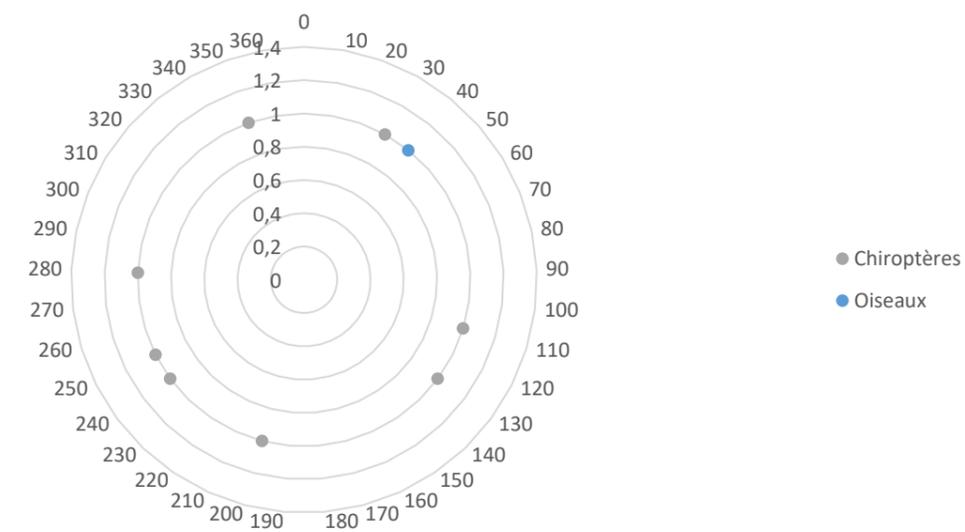
En ce qui concerne la distance des cadavres au mât de l'éolienne (Graphique 4), 3 cadavres de chiroptères ont été retrouvés entre 10 et 20 mètres du mât de l'éolienne la plus proche, ainsi que 3 autres cadavres au-delà de 40 mètres. Le cadavre d'oiseau (Faucon crécerelle) a été retrouvé au pied du mât de l'éolienne (à 3 mètres).



Graphique 4 : Répartition des cadavres en fonction de la distance au mât, parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

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 d'oiseau et de chiroptères semblent répartis de manière aléatoire sur les axes Nord-Sud/Est-Ouest.

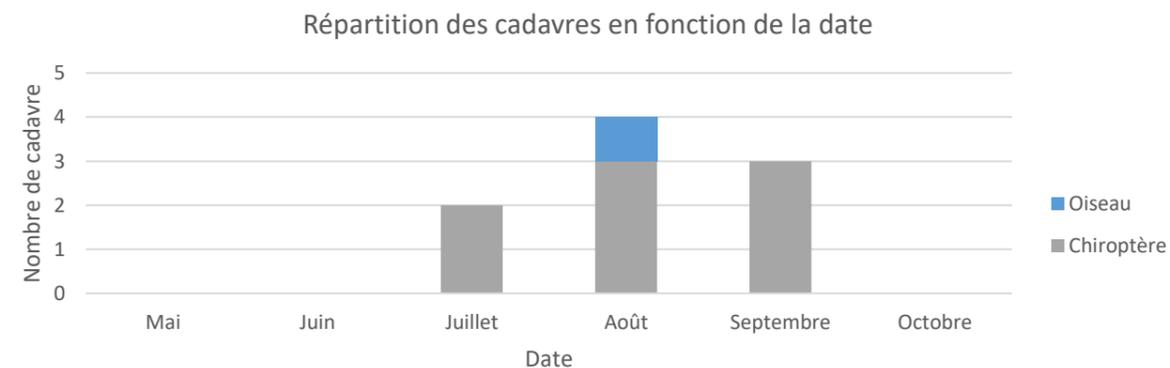
Répartition des cadavres en fonction de l'orientation par rapport au mât



Graphique 5 : Répartition de la position des cadavres en fonction leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien de Tilleuls, en 2020

IV.2.2. Analyse temporelle des collisions sur le parc éolien de Tilleuls

Le Graphique 6 permet d'analyser la mortalité constatée sur le parc éolien de Tilleuls en fonction de la période biologique. Les cadavres semblent répartis de manière plutôt homogène entre juillet et septembre, avec la majorité des cadavres retrouvés en août (1 cadavre d'oiseau et 3 cadavres de chiroptères), dont trois ont été retrouvés au cours de la même journée (le 12/08/2020). Les mois de juillet et août correspondent à la période d'élevage des jeunes et fin août – début septembre correspond à la période de transition. L'absence de mortalité constatée en mai et juin doit être interprétée avec précaution : en effet, les cultures étant trop hautes à cette période de l'année, seuls 20 % de la surface prospectable ont été réellement étudiés sous la plupart des éoliennes.



Graphique 6 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la date, sur le parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

IV.2.3. Analyse météorologique des collisions sur le parc éolien de Tilleuls

Les données météorologiques récoltées sur le parc éolien de Tilleuls permettent d'analyser les conditions de vent et de température pouvant expliquer les mortalités constatées en 2020 (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 la date estimée de la collision du Faucon crécerelle (le 12/08/2020), les conditions météorologiques sont caractérisées par des vitesses de vent moyennes de 3,4 m.s⁻¹ et des températures moyennes 30,6°C. Des rafales de vent pouvant aller jusqu'à 12,5 m.s⁻¹ le 10/08 pourraient expliquer cette collision.

En ce qui concerne les collisions de chiroptères constatées sur le parc éolien de Tilleuls (Tableau 5, les jours précédents sont caractérisés par des vitesses de vent moyennes comprises entre 3,6 et 10 m.s⁻¹ et des températures moyennes comprises entre 10,4 °C et 26,9°C, correspondant à des températures plutôt hautes et un vent plutôt faible, qui sont les conditions météorologiques les plus favorables à l'activité chiroptérologique.

Date des collisions constatées	Vitesse moyenne du vent la nuit (m.s ⁻¹)	Moyenne des températures la nuit (°C)	Vitesse maximale du vent le jour (m.s ⁻¹)
29/07/2020	6,0	22,1	11,7 m.s ⁻¹ le 27/07 à 21h00
05/08/2020	4,8	19,9	9 m.s ⁻¹ le 03/08 à 23h30
12/08/2020	4,8	26,9	10,5 m.s ⁻¹ le 09/08 à 23h50
03/09/2020	4,0	18,3	7,9 m.s ⁻¹ le 02/09 à 02h00
22/09/2020	3,6	19,9	8,9 m.s ⁻¹ le 22/09 à 04h30
28/09/2020	10,0	10,4	12,1 m.s ⁻¹ le 27/09 à 21h40

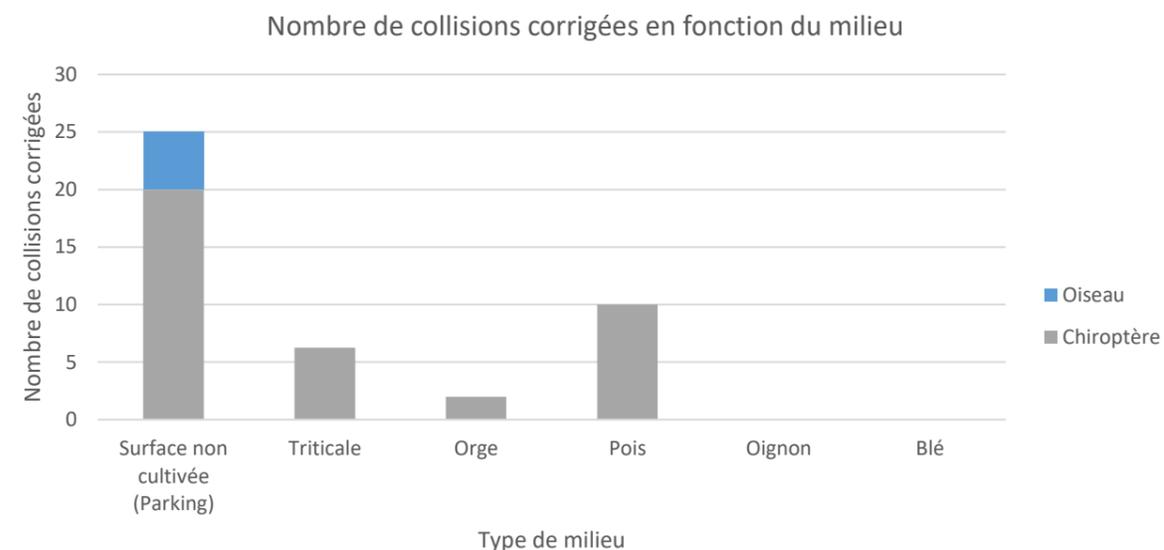
Tableau 5 : Caractéristiques météorologiques des trois jours précédents les collisions de chiroptères constatées sur le parc de Tilleuls entre mai et octobre 2020.

IV.2.4. Analyse des collisions sur le parc éolien de Tilleuls en fonction du milieu

Les cinq cultures présentes sur le parc éolien de Tilleuls ne sont pas équivalentes en termes de surface : l'orge représente ainsi 47 % des cultures prospectées, le parking représente 20 %, le triticale représente 16 %, les pois représentent 10 %, les oignons représentent 5 % et le blé représente 2 %. Trouver plus de cadavres dans les champs d'orge 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 Tilleuls : 0,47 pour l'orge, 0,20 pour le parking, 0,16 pour le triticale, 0,10 pour les pois, 0,05 pour les oignons et 0,02 pour le blé.

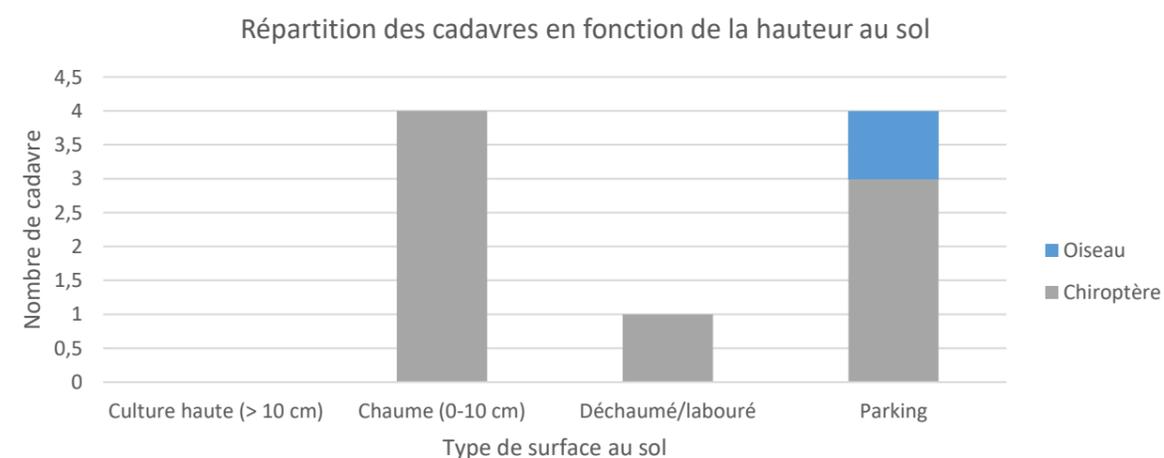
La majorité des cadavres (oiseaux et chiroptères) ont été retrouvés au niveau du parking. Ce n'est pas étonnant puisque cette surface plane dépourvue de végétation (ou à végétation rase) permet à l'observateur de réaliser le suivi quelle que soit la période et présente une visibilité élevée. Ensuite, une grande partie des cadavres de chiroptères a été retrouvée dans les cultures de pois et de triticale. Ces différences pourraient être expliquées par le type de proies fréquentant ces cultures (insectes...) et le régime alimentaire chauves-

souris surpris par les pales durant leurs activités de chasse. Le seul cadavre d'oiseau a été trouvé sur le parking.



Graphique 7 : Nombre de collisions en fonction de la culture, corrigées par leur coefficient surfacique, sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

Nous avons ensuite regardé la répartition des cadavres en fonction de la hauteur de la surface au sol. Aucun cadavre n'a été trouvé dans une culture dont la hauteur est supérieure à 10 cm (faible visibilité ou pas de prospection effectuée). Autant de cadavres, ont été retrouvés au niveau du parking et des chaumes, ce qui signifie que la visibilité est bonne dans une culture présentant encore des chaumes. Seul un cadavre a été retrouvé au niveau du labour.



Graphique 8 : Répartition des cadavres en fonction de la hauteur de la surface au sol, sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

IV.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 Tilleuls.

Au pied des éoliennes, la plus grande partie du sol correspond à des terres agricoles, en culture (maïs, blé, orge...) ou en prairie (fauchée ou cultivée). La couverture végétale sous les éoliennes des Tilleuls 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 6). Les croix indiquent qu'une éolienne n'était pas accessible pendant le suivi de mortalité (moisson, épandage, travail sur l'éolienne...).

Date	Surface prospectée (%) et nombre de cadavre retrouvé au sol									
	TILO-01		TILO-02		TILO-03		TILO-04		TILO-05	
20/05/2020	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
27/05/2020	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
03/06/2020	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
10/06/2020	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
17/06/2020	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
25/06/2020	-	100%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
01/07/2020	-	100%	-	20%	-	20%	-	20%	-	20%
07/07/2020	-	100%	-	100%	-	100%	-	X	-	75%
15/07/2020	1	100%	-	100%	-	100%	-	X	-	75%
22-24/07/2020	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%	-	75%
29/07/2020	-	100%	1	100%	-	100%	-	100%	-	75%
05/08/2020	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%	1	75%
12/08/2020	-	100%	1	100%	-	100%	2	100%	-	75%
19/08/2020	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%
03/09/2020	1	100%	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%
09/09/2020	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%
16/09/2020	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%	-	100%
22/09/2020	-	20%	-	100%	-	20%	-	100%	1	100%
28/09/2020	-	20%	-	100%	1	20%	-	100%	-	100%
06/10/2020	-	20%	-	100%	-	20%	-	100%	-	100%
13/10/2020	-	X	-	X	-	X	-	100%	-	X
20/10/2020	-	X	-	X	-	X	-	100%	-	X
Moyenne surface prospectée	61,82%		65,45%		54,55%		68,57%		61,43%	

Tableau 6 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien des Tilleuls en 2020. Les cadavres retrouvés au sol sont représentés en orange.

IV.4. Calcul des biais

IV.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. Le taux de prédation dépend de la couverture au sol et de la proximité des éoliennes à des éléments du réseau écologique attirant potentiellement des prédateurs. Pour évaluer ce biais, le taux de prédation des cadavres doit être évalué sous la moitié des éoliennes du parc minimum, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (DREAL, 2015 ; DREAL, 2018).

Ainsi, trois cadavres de cailles ont été déposés sous les éoliennes TILO-02, TILO-03 et TILO-05 le 16/09/2020 et une deuxième série de test a été réalisée le 07/10/2020. 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 Tilleuls, le temps de séjour moyen d'un cadavre est estimé à 3,03 jours et le taux de persistance au deuxième jour est estimé à 28 %. Les résultats de ce test montrent que la prédation sur le site d'étude est importante. Etant donné que l'intervalle moyen entre deux prospections est de 7,3 jours, un oiseau ou une chauve-souris, tué durant les premières nuits suivant une recherche, aura une assez faible probabilité d'être retrouvé lors de la recherche suivante.



Occupation de la surface de recherche Parc éolien Les Tilleuls Indre (36)



Légende :

■ Eolienne

Occupation du sol

■ Surface non cultivée (Parking)

■ Culture de blé

■ Culture d'oignon

■ Culture d'orge

■ Culture de pois

■ Culture de triticale

0 30 60 m



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

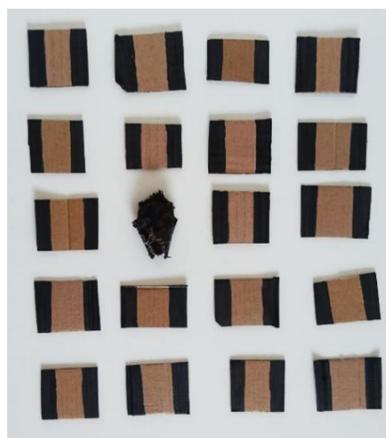
Carte 3 : Nature des sols sous les 5 éoliennes du parc éolien Les Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

IV.4.2. Test 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.

Ainsi, un premier chargé d'études a déposé 5 leurres d'oiseaux et 10 leurres de chauves-souris (

Figure 8), soit 15 leurres au total, sous E1, E3 et E4, 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 2020, le 12/08/2020 et le 06/10/2020, 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

Eolienne	Leurres retrouvés (12/08/2020)		Taux de détection (12/08/2020)		Leurres retrouvés (06/10/2020)		Taux de détection (06/10/2020)		Taux de détection moyen	
	Oiseaux	Chiros	Oiseaux	Chiros	Oiseaux	Chiros	Oiseaux	Chiros	Oiseaux	Chiros
TILO-02	5	9	100 %	90 %	5	8	100 %	80 %	100 %	85 %
TILO-03	5	9	100 %	90 %	5	8	100 %	80 %	100 %	85 %
TILO-05	5	8	100 %	80 %	5	8	100 %	80 %	100 %	80 %
Moyenne du parc			100 %	87 %	Moyenne du parc		100 %	80 %	100 %	83 %

Tableau 7 : Évaluation du taux de détection de cadavres sous chaque éolienne du parc éolien de Tilleuls

Sur le parc éolien de Tilleuls, le taux de détection sous les éoliennes varie de 80 % à 100 %, avec une excellente détection de 100 % pour les oiseaux et de 83 % pour les chiroptères, sur l'ensemble du parc éolien.

IV.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 = 0,11 sur le parc éolien de Tilleuls

t = temps de séjour moyen des cadavres (jours)

- t = 3,03 sur le parc éolien de Tilleuls

d = probabilité de détection des leurres

- d = 0,83 pour les chiroptères et d = 1 pour les oiseaux sur le parc éolien de Tilleuls

b = nombre de recherches effectués sur le terrain

- b = 22 sur le parc éolien de Tilleuls

I = intervalle de temps entre chaque recherche (jours)

- I = 7,3 sur le parc éolien de Tilleuls

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

- i = 6,06 sur le parc éolien de Tilleuls

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

- ê = 0,83 sur le parc éolien de Tilleuls

M = nombre de turbines prospectées

- M = 5 sur le parc éolien de Tilleuls

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.

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

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 Tilleuls, l'intervalle de temps entre les suivis étant en moyenne de 7,3 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.

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

IV.5.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien des Tilleuls

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des chiroptères (Tableau 8), puis la mortalité estimée a été corrigée selon la surface réellement prospectée (Tableau 9). La formule de Winkelman (1992) ayant tendance à surestimer la mortalité et donner des chiffres aberrants, nous avons choisi de ne pas la faire figurer dans cette partie.

Éolienne	Taux de détection	Nombre de cadavres	Mortalité estimée selon les formules de :			
			Bastos <i>et al.</i> (2013)	Erickson <i>et al.</i> (2005)	Huso, 2010	Jones <i>et al.</i> , 2009
TILO-01	83 %	2	5,0	5,8	7,7	9,7
TILO-02	83 %	2	5,0	5,8	7,7	9,7
TILO-03	83 %	1	3,6	2,9	3,8	4,8
TILO-04	83 %	1	3,6	2,9	3,8	4,8
TILO-05	83 %	2	5,0	5,8	7,7	9,7
Parc	83 %	8	18,8	23,1	30,7	38,6
Nombre de chiroptères/éolienne			3,8	4,6	6,1	7,7

Tableau 8 : Mortalité estimée des chiroptères selon les formules de Bastos *et al.* (2013), d'Erickson *et al.* (2005), Huso (2010) et Jones *et al.* (2009) sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

Eolienne	Nombre de cadavres	Surface prospectée (%)	Mortalité corrigée selon les formules de :			
			Bastos <i>et al.</i> (2013)	Erickson <i>et al.</i> (2000)	Huso, 2010	Jones <i>et al.</i> , 2009
TILO-01	2	61,8%	6,9	8,0	10,6	13,3
TILO-02	2	65,5%	6,7	7,8	10,3	13,0
TILO-03	1	54,5%	5,3	4,2	5,6	7,0
TILO-04	1	68,6%	4,8	3,8	5,0	6,3
TILO-05	2	61,4%	6,9	8,0	10,6	13,4
Parc	8	62,4%	25,8	31,9	42,2	53,2
Nombre de chiroptères/éolienne			5,2	6,4	8,4	10,6

Tableau 9 : Mortalité des chiroptères, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020. 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 Tilleuls est estimée entre 5,2 (Bastos *et al.*, 2013) et 10,6 (Jones *et al.*, 2009) chiroptères tués, sur la période d'étude, de mai à octobre 2020. Selon Rydell *et al.* (2010), 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 première configuration décrite par cet auteur (Rydell *et al.*, 2010). En 2020, la mortalité réelle des chiroptères est donc plus élevée que les chiffres trouvés dans la bibliographie selon les différentes formules.

IV.5.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Tilleuls

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux (Tableau 10), puis la mortalité estimée a été corrigée selon la surface réellement prospectée (Tableau 11). La formule de Winkelman (1992) ayant tendance à surestimer la mortalité et donner des chiffres aberrants, nous avons choisi de ne pas la faire figurer dans cette partie.

Éolienne	Taux de détection	Nombre de cadavres	Mortalité estimée selon les formules de :			
			Bastos <i>et al.</i> (2013)	Erickson <i>et al.</i> (2005)	Huso, 2010	Jones <i>et al.</i> , 2009
TILO-01	100 %	0	1,2	-	-	-
TILO-02	100 %	0	1,2	-	-	-
TILO-03	100 %	0	1,2	-	-	-
TILO-04	100 %	1	2,4	2,4	3,19	4,02
TILO-05	100 %	0	1,2	-	-	-
Parc	100 %	1	4,5	2,4	3,19	4,02
Nombre d'oiseaux/éolienne			0,9	0,5	0,6	0,8

Tableau 10 : Mortalité estimée des oiseaux selon les formules de Bastos *et al.* (2013), d'Erickson *et al.* (2005), Huso (2010) et Jones *et al.* (2009) sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

Eolienne	Nombre de cadavres	Surface prospectée (%)	Mortalité corrigée selon les formules de :			
			Bastos <i>et al.</i> (2013)	Erickson <i>et al.</i> (2005)	Huso, 2010	Jones <i>et al.</i> , 2009
TILO-01	2	61,8%	1,6	-	-	-
TILO-02	2	65,5%	1,6	-	-	-
TILO-03	1	54,5%	1,7	-	-	-
TILO-04	1	68,6%	3,1	3,2	4,2	5,3
TILO-05	2	61,4%	1,6	-	-	-
Parc	8	62,4%	6,2	3,3	4,4	5,5
Nombre d'oiseaux/éolienne			1,2	0,7	0,9	1,1

Tableau 11 : Mortalité des oiseaux, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020. 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 (Marx, 2017).

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Tilleuls est estimée entre 0,7 (Erickson *et al.*, 2005) et 1,2 (Bastos *et al.*, 2013) oiseaux tués, sur la période d'étude, de mai à octobre 2020. 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 2020, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Tilleuls est donc conforme aux chiffres trouvés dans la bibliographie.

IV.6. Vulnérabilité des espèces retrouvées mortes sur le parc éolien de Tilleuls

IV.6.1. Calcul des notes 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 12) 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 12 : 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.

IV.6.2. Vulnérabilité des oiseaux retrouvés



Figure 9 : Faucon crécerelle. CCO domaine public.

Le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*) est inscrit en annexe II de la convention de Bonn et en annexe III de la convention de Berne. Il n'est pas considéré comme menacé à l'échelle européenne mais est classé comme « Quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France et « A surveiller » au niveau régional. Cette espèce protégée est la 6^{ème} parmi les plus sensibles aux éoliennes en Europe, avec 598 cas de mortalité recensés en Europe, dont 105 en France (Dürr, 2020). **La note de risque de cette espèce est élevée (3/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien de Tilleuls, une femelle adulte a été retrouvée morte le 12 août 2020 sous l'éolienne TILO-04.

IV.6.3. Vulnérabilité des chiroptères retrouvés

Espèce	Nom latin	Collisions constatées	Statut de conservation	Note de sensibilité	Note de risque
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	1	VU	4	4
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	3	NT	4	3,5
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	1	NT	4	3,5
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	1	LC	3	2,5

Tableau 13 : Calcul des notes de risque pour chaque espèce de chiroptère identifiée pour laquelle une collision a été constatée sur le parc éolien de Tilleul entre mai et octobre 2020.

La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) est une espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II ; EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II) et classée comme « Vulnérable » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine. Espèce migratrice, elle est capable d'accomplir des parcours de plusieurs centaines de kilomètres (jusqu'à 1546 km). 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. La Noctule commune est la 3^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 1538 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à la Noctule commune (Dürr, 2019). 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 pour cette espèce (3,5/4,5).**



Figure 10 : Noctule commune. CCO domaine public.



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, 2 386 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune en Europe, dont 995 en France. C'est l'espèce dont les cas de mortalités relevés par Dürr (2020) sont les plus nombreux en Europe. **La note de risque est très élevée pour cette espèce (3,5/4,5).**

La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus Nathusii*) est également une espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention de Bonn : Annexe II et EUROBATS Annexe 1 ; Convention de Berne Annexe II). Elle est classée « Quasi menacée sur la liste rouge des mammifères continentaux de France métropolitaine (2017). Elle chasse généralement entre 3 et 20 mètres de hauteur, mais peut monter à de grandes hauteurs à ciel ouvert. En migration, elle vole entre 30 et 50 mètres et pourrait ainsi être plus menacée par les collisions avec les pales. Cependant on ne sait pas si c'est au cours des migrations ou pendant les phases de chasse qu'elle entre en collision avec ces machines (Arthur & Lemaire, 2015). Cette espèce est la deuxième plus impactée en Europe avec 1590 cas de mortalité, dont 272 en France (Dürr 2020). Cette espèce est donc très sensible au risque de mortalité, et les éoliennes situées le long des grands axes migratoires semblent être les plus à risque. **La note de risque est très élevée pour cette espèce (3,5/4,5).**



Figure 12 : Pipistrelle de Nathusius, Sens Of Life 2020.



Figure 13 : Pipistrelle de Kuhl. CCO domaine public.

La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) 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 considérée comme l'une des espèces les plus anthropophiles du continent. Cette espèce n'est pas considérée comme menacée à l'échelle européenne ou nationale, mais elle est classée comme « rare » à l'échelle régionale. Elle est régulièrement victime de collision avec les pales des éoliennes puisque 469 cas de mortalité ont été répertoriés en Europe, dont 219 en France (Dürr, 2020). **La note de risque est moyenne pour cette espèce (2,5/4,5).**

⇒ Synthèse du suivi de mortalité du parc éolien de Tilleuls

Au total, 9 individus ont été retrouvés morts au pied des éoliennes du parc éolien de Tilleuls.

Parmi eux, on dénombre un oiseau : le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*) qui possède une note de risque élevée (3/4,5). Une fois cette mortalité brute corrigée avec les biais de prédation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle estimée varie entre 0,7 (Erickson *et al.*, 2005) et 1,2 (Bastos *et al.*, 2013) oiseaux tués par éolienne sur le parc éolien de Tilleuls, sur la période étudiée (mai à octobre 2020). Le parc éolien de Tilleuls présente donc une mortalité conforme aux chiffres annoncés par Marx (2017).

Sur les 9 individus retrouvés au pied des éoliennes, on dénombre 8 chiroptères : une **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*), dont la note de risque est de 4/4,5, trois **Pipistrelles communes** (*Pipistrellus pipistrellus*) et une **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus Nathusii*), dont les notes de risque sont de 3,5/4,5, une **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*), dont la note de risque est de 2,5/4,5 ainsi que 2 chiroptères non identifiés.

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 5,2 (Bastos *et al.*, 2013) et 10,6 (Jones *et al.*, 2009) chiroptères tués par éolienne sur le parc éolien de Tilleuls, sur la période étudiée (mai à octobre 2020). Pour le parc éolien de Tilleuls, la mortalité réelle des chiroptères est donc plus élevée que les chiffres trouvés dans la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010) selon les différentes formules.

V. Suivi de l'activité des chiroptères par TrackBat

V.1. Matériel et méthodes

V.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 27 mai au 31 octobre 2020, afin de comprendre comment le site est utilisé par ces espèces. Afin de qualifier les déplacements en hauteur, un TrackBat (version acoustique) a été mis en place sur l'éolienne TILO-05 (Carte 1).

La pose de ces enregistreurs a pour objectifs :

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

- Enregistreurs

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

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

Ce paramétrage permet de détecter l'ensemble des espèces européennes (le Petit rhinolophe étant détecté grâce à ses harmoniques basses) (Figure 14).

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.

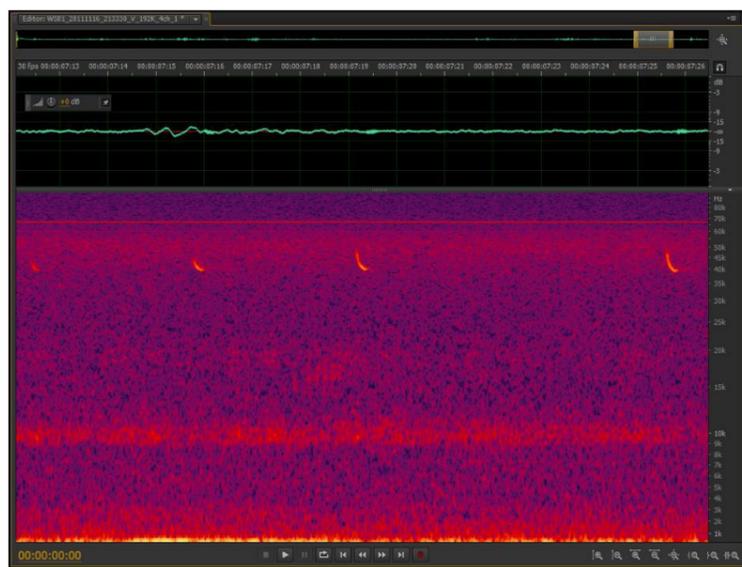


Figure 14 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.

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

V.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 14.

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	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	Pipistrelle de Kuhl / Nathusius
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	<i>Barbastella barbastellus</i>		Barbastelle d'Europe
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Grande Noctule	Molosse / Grande Noctule
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Molosse de Cestoni	

Tableau 14 : 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 16 et Figure 17).

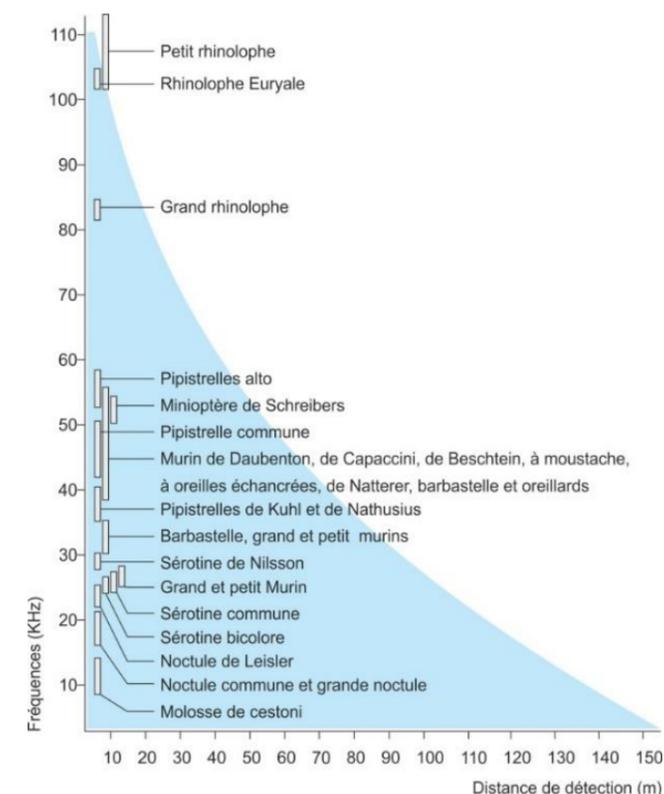


Figure 16 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

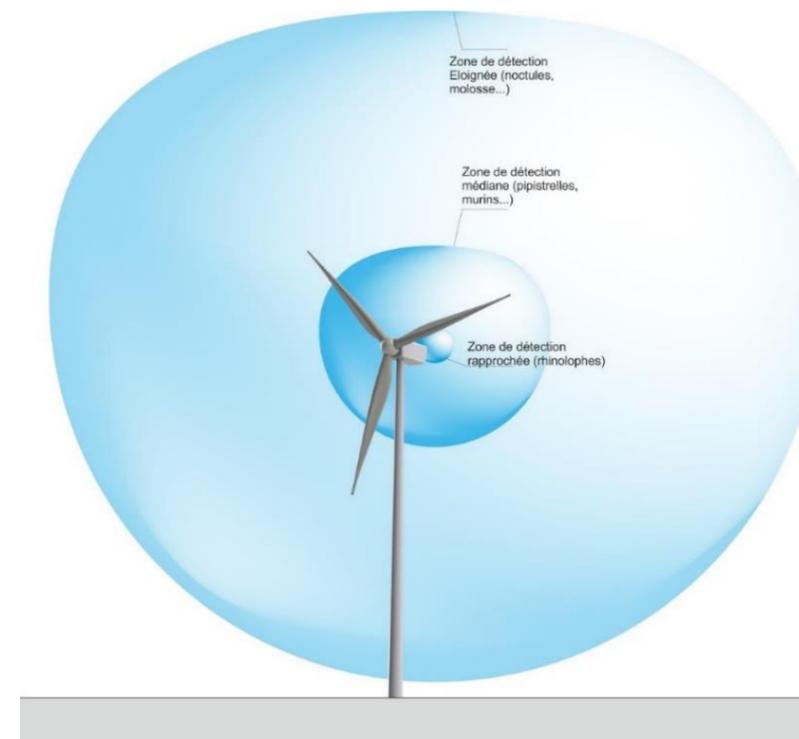


Figure 17 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

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	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70	
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,20	<i>Myotis oxygnathus</i>	15	1,70	
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00	<i>Myotis myotis</i>	15	1,70	
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,20	
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	30	0,83	<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,20	
forte	<i>Pipistrellus nathusii</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00	
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00	
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,71	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00	
très forte	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,71	<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83	
	<i>Plecotus spp</i>	40	0,71	<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 15 : Coefficient de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

V.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique

v.2.1. Activité corrigée par espèce

Les enregistrements des ultrasons ont eu lieu en continu du 27 mai au 31 octobre 2020. Ces suivis permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leurs activités. Le Tableau 16 synthétise le nombre de contacts bruts et corrigés pour chaque espèce contactée à hauteur de la nacelle de l'éolienne TILO-05. Au total, 470 contacts de chiroptères ont été enregistrés sur le parc de Tilleuls. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 329,35 contacts sont comptabilisés.

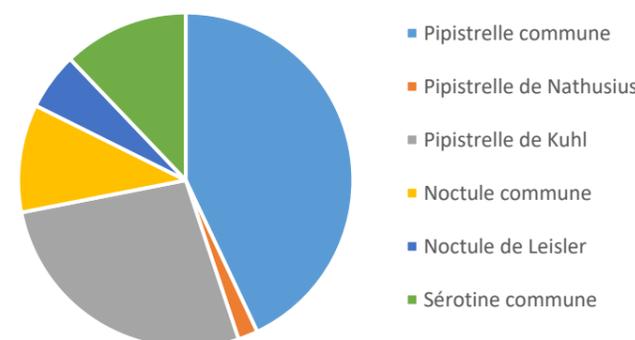
Six espèces ont été contactées et déterminées avec précision (Graphiques 9) :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 43 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 27 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 12,1 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 10,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 5,5 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 1,9 % des contacts.

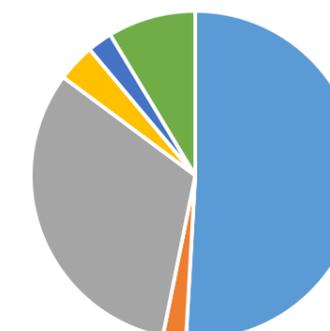
Espèce	Nombre de contacts	
	Contacts bruts	Contacts corrigés
Pipistrelle commune	202	167,66
Pipistrelle de Kuhl	127	105,41
Sérotine commune	57	28,5
Noctule commune	49	12,25
Noctule de Leisler	26	8,06
Pipistrelle de Nathusius	9	7,47
TOTAL	470	329,35

Tableau 16 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

Contacts bruts des espèces de chiroptères contactées en nacelle de TILO-05



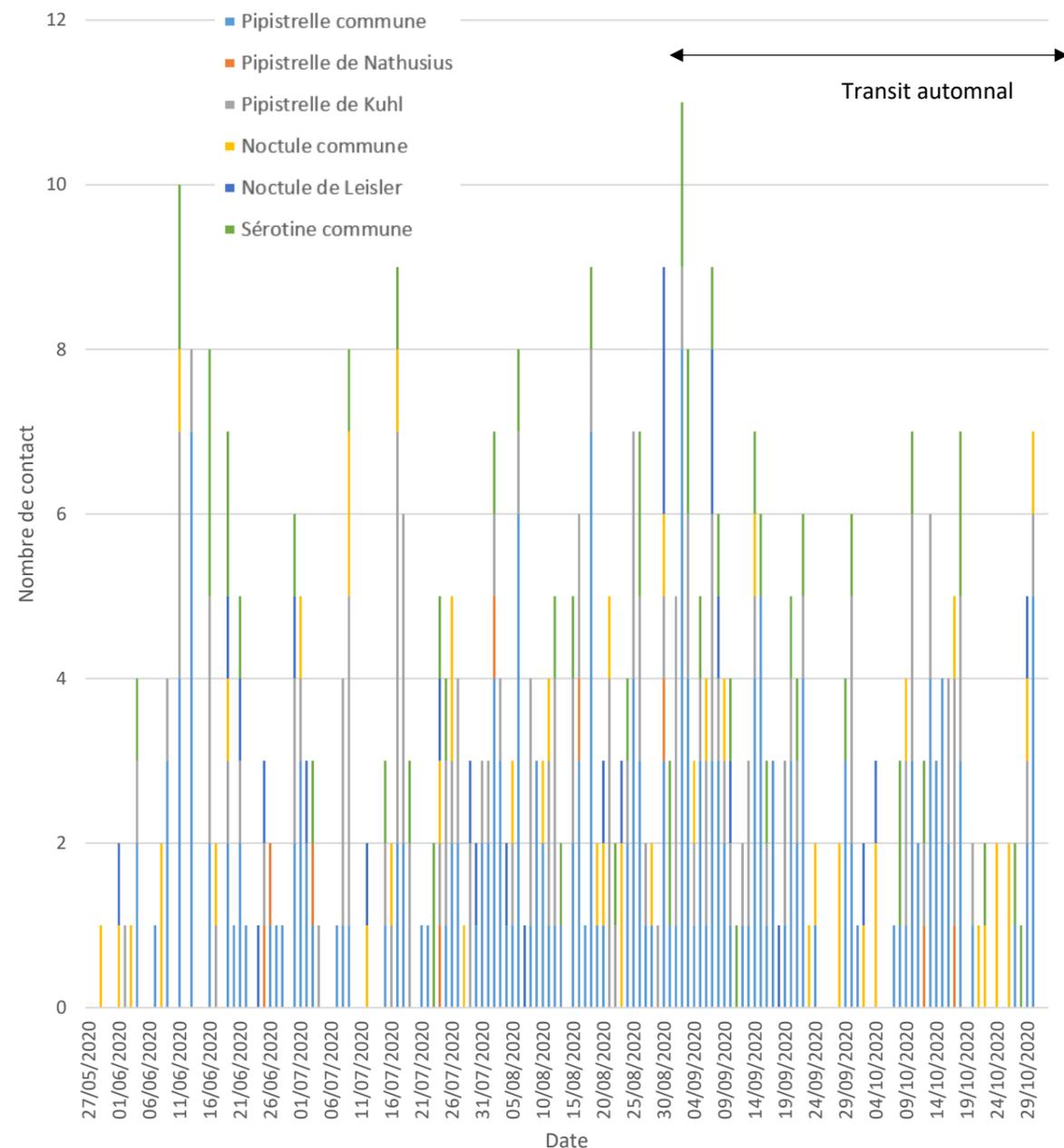
Contacts corrigés des espèces de chiroptères contactées en nacelle de TILO-05



Graphiques 9 : Proportion des espèces contactées en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

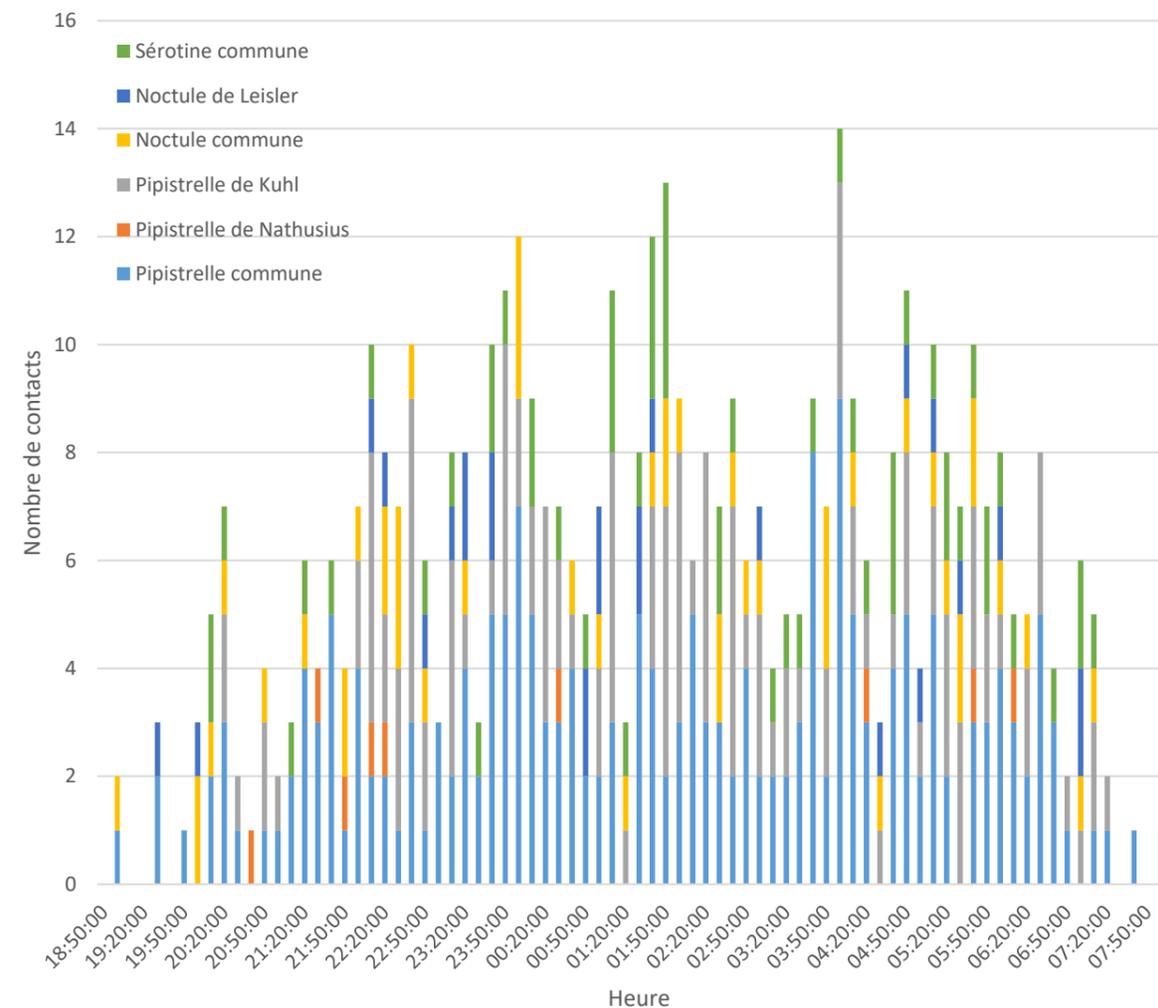
v.2.2. Activité en fonction de la date et de l'heure

En nacelle de l'éolienne TILO-05, la totalité des contacts a été enregistrée du 29 mai 2020 au 30 octobre 2020 (Graphique 10). Un pic d'activité a été enregistré le 02 août 2020. Plus de 90 % des contacts de chiroptères autour de cette éolienne sont concentrés entre le 11 juin et le 17 octobre 2020.



Graphique 10 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls, en 2020.

En nacelle de l'éolienne TILO-05, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h00 et 08h00 (Graphique 11). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec un pic d'activité à 04h00, représentant à lui 3 % de l'activité totale enregistrée. Ce pic est composé de 9 contacts de Pipistrelle commune, 4 contacts de Pipistrelle de Kuhl et 1 contact de Sérotine commune. A l'échelle d'une nuit, plus de 90 % des contacts de chiroptères sont concentrés entre 21h20 et 06h50, 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 2020, en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls.

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

Le Tableau 17 présente l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent et de la température combinées. Pour plus de lisibilité, les températures extrêmes et les fortes vitesses de vent n'enregistrant aucun contact de chiroptère n'ont pas été incluses dans le tableau.

	Vitesse du vent (m.s ⁻¹)																
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Total
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
9	0	0	3	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	8
10	0	0	1	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	11
11	0	0	0	2	3	8	1	0	0	2	0	1	0	0	0	0	17
12	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	8
13	0	0	0	1	3	8	7	2	0	1	0	0	0	0	0	0	22
14	0	0	5	1	0	11	12	0	2	0	0	0	0	0	0	0	31
15	0	0	2	2	1	6	10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	22
16	0	1	4	5	5	8	8	2	0	2	0	0	0	0	0	0	35
17	0	1	2	1	6	7	6	1	0	1	1	0	0	0	0	0	26
18	1	1	3	3	6	8	7	0	1	0	0	0	0	0	0	0	30
19	1	2	6	9	13	8	9	1	0	2	0	0	0	0	0	0	51
20	0	0	7	18	4	4	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
21	0	5	9	6	2	2	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	31
22	2	0	7	9	3	5	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	29
23	0	0	1	7	3	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	15
24	0	1	2	3	5	6	2	1	0	0	1	0	0	0	0	0	21
25	0	3	3	3	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
26	1	4	2	2	4	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
27	0	0	6	4	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
28	0	0	0	1	4	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9
29	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4
30	0	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
31	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
32	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
33	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
34	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	5	18	65	81	73	104	88	13	7	8	5	2	0	0	1	0	470

Tableau 17 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) en nacelle de l'éolienne TILO-05 du parc éolien de Tilleuls, entre mai et octobre 2020.

En nacelle de l'éolienne TILO-05, l'activité la plus forte a été enregistrée pour une vitesse de vent de 3 m.s⁻¹ combinée à une température de 20°C (18 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.

v.2.4. Zoom sur les espèces présentes

a) Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)

Figure 18 : 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 milieu, 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.

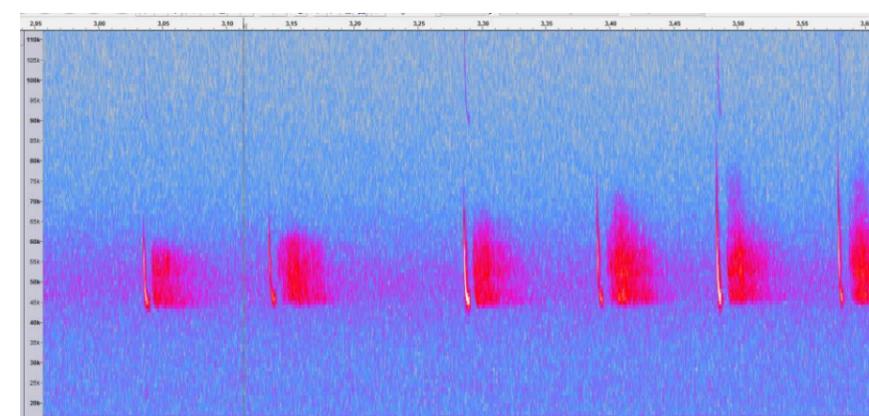


Figure 19 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune

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 – TILO-05	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 202	
Nombre de contacts corrigés	N = 167,66	
Proportion par rapport aux contacts totaux	43 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 8 le 02/09/20	Du 04/06/20 au 30/10/20
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 9 à 04h00	Entre 19h00 et 07h40
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 21 pour 19°C	7°C à 34°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 33 pour 5,5 m.s ⁻¹	0 à 7,5 m.s ⁻¹

Tableau 18 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

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).**

b) Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)

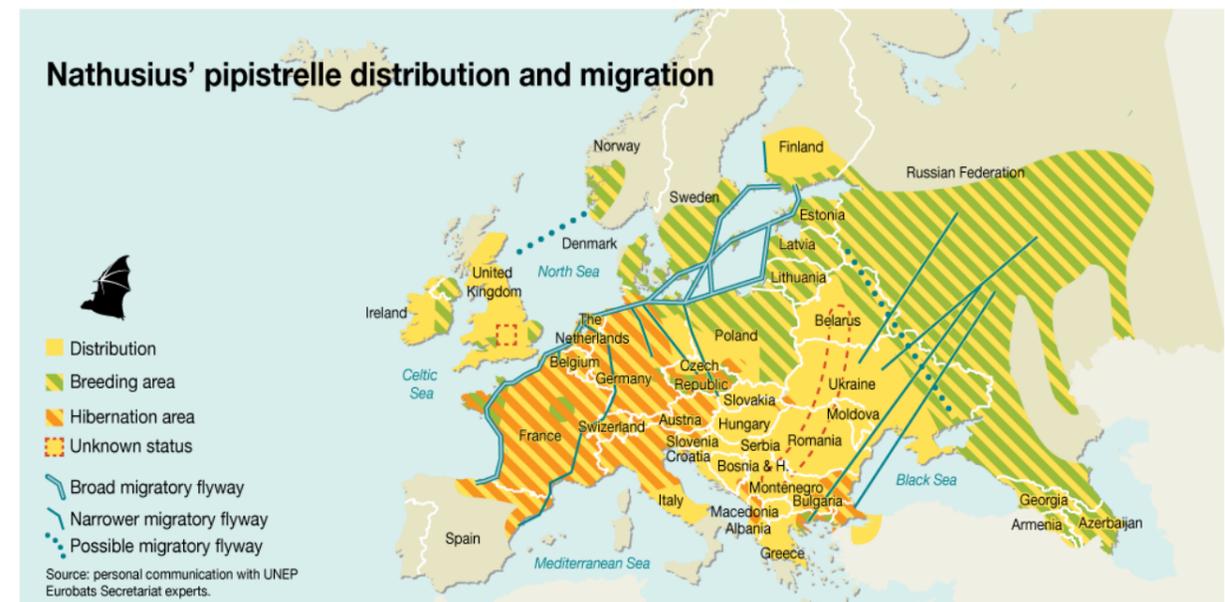
La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe II de la Convention Bonn, annexe I de l'accord EUROBATS et annexe II de la Convention de Berne) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France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



Figure 20 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.



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.

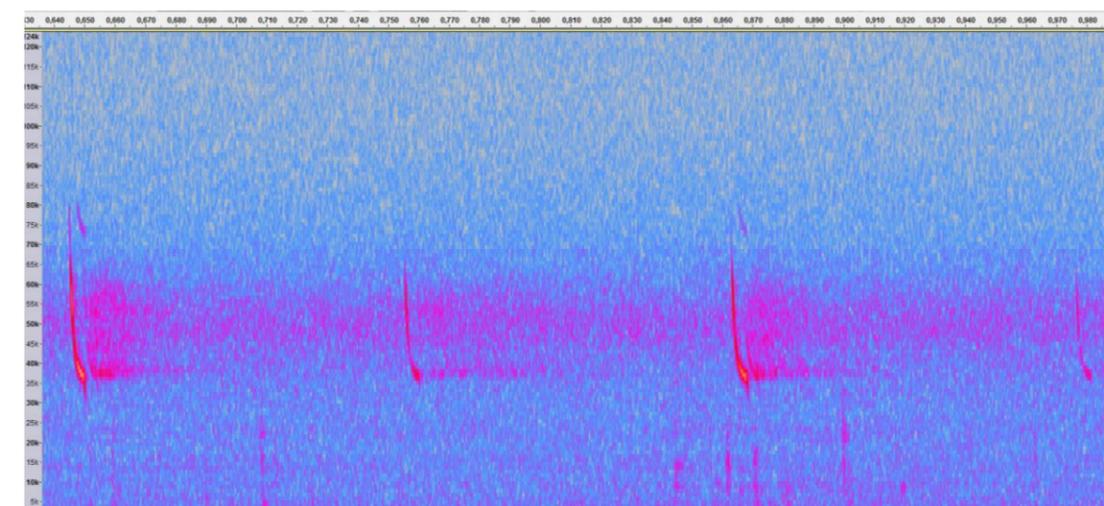


Figure 21 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

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

Pipistrelle de Nathusius – TILO-05		
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 9	
Nombre de contacts corrigés	N = 7,47	
Proportion par rapport aux contacts totaux	1,9 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	Trop peu de données	Du 25/06/20 au 17/10/20
Nombre de contacts en fonction de l'heure	Trop peu de données	Entre 20h40 et 06h10
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 3 pour 25°C	11°C à 25°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 2 pour 3, 4,5 et 5 m.s ⁻¹	1 à 5,5 m.s ⁻¹

Tableau 19 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

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).**

c) Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)



Figure 22 : 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 de 2 à 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 – TILO-05		
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 127	
Nombre de contacts corrigés	N = 105,41	
Proportion par rapport aux contacts totaux	27 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 5, le 17/07/20	Du 02/06/20 au 30/10/20
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 6 à 22h40	Entre 20h20 et 07h20
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 15 pour 19°C	9°C à 32°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 17 pour 3 m.s ⁻¹	0,5 à 6 m.s ⁻¹

Tableau 20 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

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, 2020). 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).**

d) Noctule commune (*Nyctalus noctula*)



Figure 23 : Noctule commune. CCO domaine public.

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

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

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

Espèce migratrice, elle est capable d'accomplir des parcours de plusieurs centaines de kilomètres (jusqu'à 1546 km). En quelques semaines, l'essentiel des femelles va migrer vers des territoires de mise-bas à l'Est et au Nord de l'Europe, et il ne restera plus que des mâles et quelques très rares colonies de parturition dispersées en France. Elles mettent bas à partir de mi-juin, d'un ou deux petits. Elles peuvent être aptes à la reproduction dès leur première année. L'émancipation est atteinte au bout de sept à huit semaines. Le retour s'effectue avec les jeunes de septembre à octobre, pour rejoindre les mâles (plus sédentaires) sur les sites de parades, et pour retourner dans leur secteur d'hibernation. Lors de ces déplacements, il est possible

d'observer des noctules communes en vol parmi des groupes d'oiseaux migrateurs à une centaine de mètres d'altitude en plein jour. Une partie des populations européennes montre des tendances sédentaires. Comparée à toutes les autres espèces, la Noctule commune montre une très courte espérance de vie estimée à 2,2 ans (Arthur et Lemaire, 2009). Actuellement, le record de longévité connu n'est que de douze ans.

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

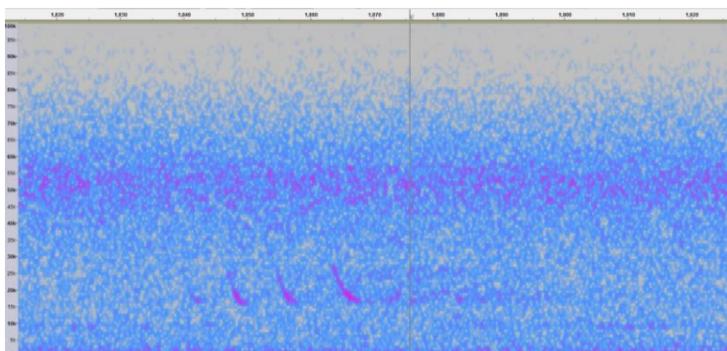


Figure 24 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune

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

	Noctule commune – TILO-05	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 49	
Nombre de contacts corrigés	N = 12,25	
Proportion par rapport aux contacts totaux	10,4 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	Trop peu de données	Du 29/05/20 au 30/10/20
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 3 à 22h30, 00h00 et 03h50	Entre 19h00 et 07h10
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 7 pour 14°C et 19°C	10°C à 29°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 5 pour 6 m.s ⁻¹	0,5 à 13,5 m.s ⁻¹

Tableau 21 : Données d'activité de la Noctule commune sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

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).**

e) 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 25 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.

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

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

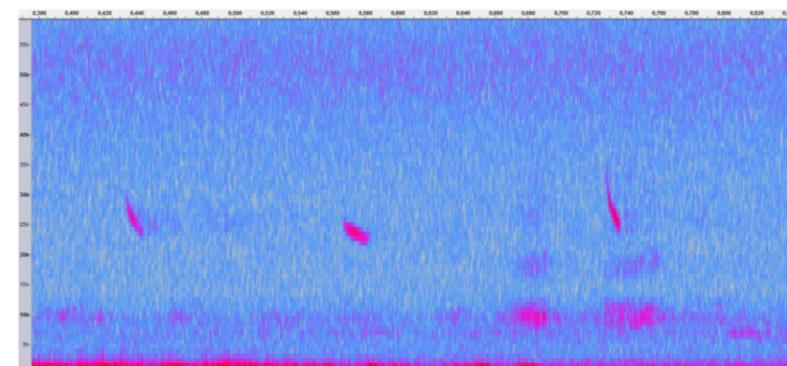


Figure 26 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

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

	Noctule de Leisler – TILO-05	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 26	
Nombre de contacts corrigés	N = 8,06	
Proportion par rapport aux contacts totaux	5,5 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 3 le 30/08/20	Du 01/06/20 au 29/10/20
Nombre de contacts en fonction de l'heure	Top peu de données	De 19h30 à 07h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 4 pour 13°C	12°C à 34°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 6 pour 6 m.s ⁻¹	2 à 11 m.s ⁻¹

Tableau 22 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

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).**

f) 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 27 : Sérotine commune. CCO domaine

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.

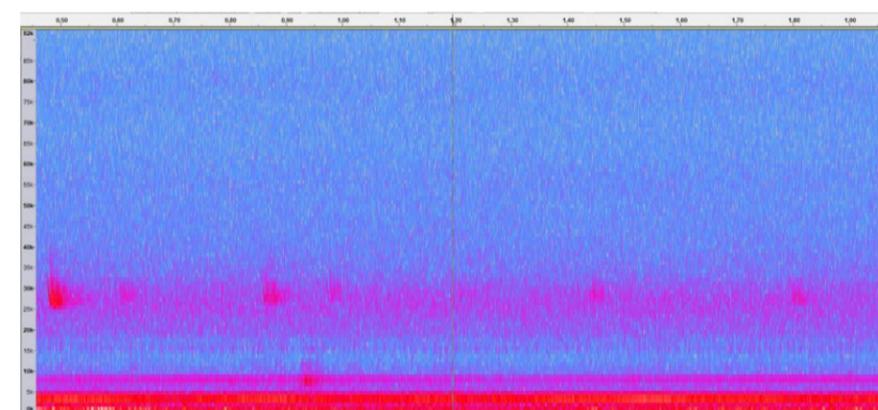


Figure 28 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

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

	Sérotine commune – TILO-05	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 57	
Nombre de contacts corrigés	N = 28,5	
Proportion par rapport aux contacts totaux	12,1 %	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 3, le 16/06/20	Du 04/06/20 au 28/10/20
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 4 à 01h50	Entre 20h10 et 08h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 8 pour 14°C	9°C à 29°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 11 pour 4,5 m.s ⁻¹	0 à 6 m.s ⁻¹

Tableau 23 : Données d'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Tilleuls en 2020.

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).**

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

Le Tableau 24 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 24 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Tilleuls entre mai et octobre 2020.

Légende :

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

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

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

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

Avec un total de 329,35 contacts corrigés, six espèces ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 43 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 27 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 12,1 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 10,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 5,5 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 1,9 % des contacts.

L'ensemble des contacts a été enregistré du 29 mai 2020 au 30 octobre 2020. Plus de 90 % des contacts sont concentrés entre le 11 juin et le 17 octobre 2020, avec un pic d'activité enregistré le 02 août 2020.

L'ensemble de l'activité se déroule entre 19h00 et 08h00, un pic d'activité à 04h00. Plus de 90 % des contacts de chiroptères sont concentrés entre 21h20 et 06h50, 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 14 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 3 m.s⁻¹.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des températures comprises entre 7°C et 34°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.

A l'échelle de la région Centre-Val de Loire, une attention particulière doit être portée à la Noctule commune, la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule de Leisler puisqu'elles sont classées comme « Quasi-menacées » et sont particulièrement sensibles à l'éolien. Il en est de même pour la Pipistrelle commune qui est l'espèce la plus représentée en altitude sur le parc éolien de Tilleuls et également l'espèce la plus impactée par les éoliennes (Dürr, 2020).

VI. Discussion

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

Avec un total de 329,35 contacts corrigés, six espèces patrimoniales et sensibles à l'éolien ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 43 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 27 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 12,1 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 10,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 5,5 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 1,9 % des contacts.

Au cours de l'état initial, aucune identification à l'espèce n'a été réalisée sur la zone d'étude. Le suivi en altitude par TrackBat a donc permis d'identifier six espèces différentes de chiroptères sur le parc éolien de Tilleuls : la Pipistrelle commune, Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl, la Sérotine commune, la Noctule commune et la Noctule de Leisler.

Un pic d'activité a été enregistré le 02 août 2020, correspondant à la période d'élevage des jeunes chiroptères (Figure 29). A l'échelle d'une nuit, le pic d'activité se situe à 04h00. Plus de 90 % de l'activité chiroptérologique du site se déroule pour des vitesses de vent inférieures à 6,5 m.s⁻¹ et pour des températures supérieures à 12°C.

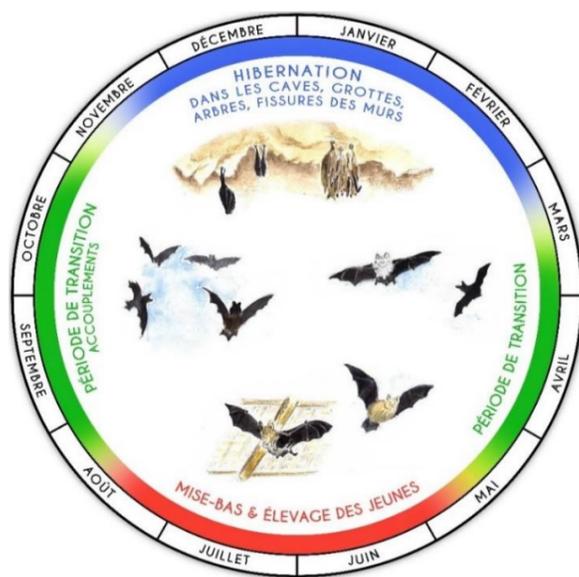


Figure 29 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine

En raison de la forte proportion de cette espèce parmi les espèces de chiroptères présentes, une attention particulière doit être portée sur la Pipistrelle commune, qui est également l'espèce la plus impactée par les éoliennes (Dürr, 2019).

VI.2. Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Tilleuls

VI.2.1. Comparaison des impacts avifaunistiques avec l'étude d'impact initiale

L'étude d'impact, réalisée par l'association Indre Nature en 2005, avait souligné l'importance du site pour les espèces de plaine suivantes : l'Alouette des champs, la Caille des blés, le Busard cendré, l'Œdicnème criard et le Vanneau huppé. Une attention particulière doit être portée sur la **Grue cendrée**, dont l'Indre fait partie de son couloir de migration (des groupes avaient été recensés au-dessus de la commune de Migny).

Au cours du suivi de mortalité réalisé en 2020, une collision de Faucon crécerelle due aux éoliennes du parc de Tilleuls a été constatée. L'espèce est commune et plutôt abondante sur le site et probablement nicheuse dans les environs de la zone d'étude. Elle possède une note de risque élevée 3/4,5. La mortalité réelle estimée varie **entre 0,7 et 1,2** oiseaux tués par éolienne sur le parc éolien de Tilleuls, sur la période étudiée (mai à octobre 2020). Le parc éolien de Tilleuls présente donc une mortalité conforme aux chiffres annoncés par Marx (2017).

VI.2.2. Comparaison des impacts chiroptérologiques avec l'étude d'impact initiale

Concernant les chiroptères, aucune étude approfondie n'avait été réalisée en 2005, étant donné la configuration paysagère du site. Seuls deux relevés ont été effectués, en ciblant une espèce en particulier : le **Grand Murin**, nicheur dans un site Natura 2000 à proximité. L'étude d'impact avait également relevé la présence du groupe *Pipistrellus* et a estimé que le parc éolien n'aurait pas d'impact sur les populations de chiroptères : « la création d'un parc d'éoliennes sur le secteur d'étude ne devrait pas avoir d'incidence connue à ce jour sur la population reproductrice de Grand murin de Chârost ». Il a donc été conclu que le site ne présentait pas d'enjeu spécifique relatif à la conservation des chiroptères.

Cependant, trois Pipistrelles communes, une Pipistrelle de Nathusius, une Noctule commune, une Pipistrelle de Kuhl et deux chiroptères indéterminés ont été retrouvés mortes par barotraumatisme sous les éoliennes du parc éolien de Tilleuls, lors des suivis de mortalité au sol. La mortalité réelle estimée varie **entre 5,5 et 10,6** chiroptères tués par éolienne sur le parc éolien de Tilleuls, sur la période étudiée (mai à octobre 2020). Le parc éolien de Tilleuls présente donc une mortalité plus élevée que les chiffres annoncés par Rydell *et al.* (2010).

Il se peut que les chiroptères utilisent la Vallée de l'Arnon située à l'Est de la zone d'étude ou de la Théols à l'Ouest comme zone de chasse, et il est également possible que l'ancienne voie de chemin de fer située au Nord du parc et le Bois de Milandre situé au Sud-Est soient des zones fréquentées par ces populations. La Pipistrelle de Nathusius étant une espèce migratrice, elle pourrait utiliser ces continuités écologiques pour se déplacer pendant la migration

VI.3. Comparaison mortalité et activité chiroptérologique

Au cours du suivi de la mortalité réalisé entre mai et octobre 2020, 8 cadavres de chiroptères ont été retrouvés dont trois Pipistrelles communes, une Pipistrelle de Nathusius, une Noctule commune, une Pipistrelle de Kuhl et deux chiroptères indéterminés.

Les cadavres de Pipistrelles communes ont été retrouvés :

- Le 29/07/2020 sous TILO-02, sachant que la nuit précédente, aucun contact de Pipistrelle commune n'a été enregistré au niveau de TILO-05. Les derniers contacts de Pipistrelle commune datent du 27/07 à 04h20 et 01h10.
- Le 05/08/2020 sous TILO-05, sachant que la nuit précédente, aucun contact de Pipistrelle commune n'a été enregistré au niveau de TILO-05. Le dernier contact de Pipistrelle commune date du 04/08 à 02h20. Il est possible que ce contact corresponde à l'individu retrouvé mort sous TILO-05.

- Le 22/09/2020 sous TILO-05, sachant que la précédente, plusieurs contacts de Pipistrelle commune ont été enregistrés au niveau de TILO-05 à 05h40, 01h40, 01h10 et 00h00. Il est possible qu'un de ces contacts corresponde au cadavre retrouvé sous TILO-05.

Le cadavre de Pipistrelle de Nathusius a été retrouvé le 15/07/2020 sous TILO-01, sachant que la nuit précédente, aucun contact de Pipistrelle de Nathusius n'a été enregistré au niveau de TILO-05. Le dernier contact de Pipistrelle de Nathusius remonte au 03/07/2020.

Le cadavre de Pipistrelle de Kuhl a été retrouvé le 12/08/2020 sous TILO-04, sachant que la nuit précédente, 3 contacts de Pipistrelle de Kuhl ont été enregistrés au niveau de TILO-05 (à 03h30, 01h50 et 00h20). Il est possible qu'un de ces contacts corresponde au cadavre retrouvé sous TILO-04.

Le cadavre de Noctule commune a été retrouvé le 12/08/2020 sous TILO-02, sachant que la nuit précédente, aucun contact de Noctule commune n'a été enregistré au niveau de TILO-05. Le dernier contact date du 11/08 à 05h40. Il est possible que ce contact corresponde à l'individu retrouvé mort sous TILO-02.

Un cadavre de chiroptère indéterminé a été retrouvé le 03/09/2020 sous TILO-01, sachant que la nuit précédente, 3 contacts de Pipistrelle commune, 3 contacts de Pipistrelle de Kuhl et 2 contacts de Sérotine commune ont été enregistrés au niveau de TILO-05. L'individu retrouvé mort sous TILO-01 appartient probablement à une de ces espèces. L'autre chiroptère indéterminé a été retrouvé le 28/09/2020 sous TILO-03, sachant que la nuit précédente, un contact de Noctule commune a été enregistré au niveau de TILO-05 à 01h20. Il est possible que le cadavre retrouvé sous TILO-03 appartienne à cette espèce.

VII. Conclusion

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

- Entre le 11 juin et le 17 octobre 2020,
- Entre 21h20 et 06h50,
- Pour une vitesse de vent inférieure à 6,5 m.s⁻¹,
- Pour une température supérieure à 12°C.

La mortalité réelle estimée des chiroptères sur le parc éolien de Tilleuls est supérieure aux chiffres annoncés dans la bibliographie et pour des espèces considérées comme particulièrement vulnérables sur ce site comme la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule commune. Ces espèces sont inscrites en annexe IV de la Directive Habitats, en annexe II de la Convention de Bonn, ainsi qu'en annexe I de la Directive EUROBATS. La Pipistrelle commune est également en annexe III de la Convention de Berne. Au niveau national, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius sont considérées comme « Quasi-menacées » et la Noctule commune comme « Vulnérable ». A l'échelle de la région Centre-Val de Loire, la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule commune sont considérées comme « Quasi-menacées ». Ces espèces sont très vulnérables face au risque de collision avec les éoliennes (note de risque entre 2,5 et 4/4,5). Nous rappelons qu'en termes de mortalité due aux éoliennes, la Pipistrelle commune comptabilise 995 cas de mortalité en France, 272 cas pour la Pipistrelle de Nathusius, 219 cas pour la Pipistrelle de Kuhl et 104 cas pour la Noctule commune (Dürr, 2020).

Au vu de la mortalité retrouvée sur le parc éolien de Tilleuls (entre 5,2 et 10,6 chiroptères tués par éolienne), nous préconisons un bridage intelligent type ProBat, du 1^{er} juin au 15 octobre. En effet, le système ProBat est basé sur :

- 1) Une régulation prédictive définissant un indice d'activité théorique sur la base de l'analyse des conditions environnementales ;
- 2) Et 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.

En 2020, deux parcs éoliens de 5 éoliennes chacun, situés à 10 et 20 km du parc de Tilleuls ont été équipés du bridage ProBat. Les contacts des chiroptères horodatés mis en parallèle des périodes d'arrêt des éoliennes permettent d'analyser le nombre de contacts à risque. Cette solution a ainsi démontré son efficacité et sa pertinence, puisqu'elle a permis la préservation de 90 % des chiroptères sur ces parcs. Si le parc de Tilleuls est équipé de ProBat en 2021, il ne sera donc pas nécessaire de réaliser un suivi au sol en 2021. Le suivi d'activité en altitude permettra de mettre en évidence le nombre de chauve-souris protégées et celles « à risque », tout en s'affranchissant des biais observateur et prédation.

Dans le cadre de la législation des ICPE, nous préconisons donc un prochain suivi environnemental en 2030, conforme au protocole ministériel en vigueur, et comprenant à minima un suivi d'activité chiroptérologique en nacelle et un suivi de mortalité de 20 recherches entre les semaines 20 et 43.

VIII. Bibliographie

- ADEME. (1999). *Guide du porteur de projet de parc éolien*. (ADEME Edition).
- Albouy, S., Clément, D., Jonard, A., Massé, P., Pagès, J.-M., & Nea, P. (1997). *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle : Rapport final*. (p. 67). Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.
- Albouy, S., Dubois, Y., Picq, H., Picq, H., Aude, L., & Neau, P. (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude)—Résultats 2006-2009* (p. 76). LPO Aube et Abies. <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>
- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Allouche, L., AVES environnement, & Groupe Chiroptères de Provence. (2010). *Etude de la mortalité des chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13)*. (p. 1-31). Energie du Delta.
- Anderson, R. L., Strickland, D., Tom, J., Neumann, N., Erickson, W., Cleckler, J., Mayorga, G., Nuhn, G., Leuders, A., Schneider, J., Backus, L., Becker, P., & Flagg, N. (2001). *Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Geronio Pass wind resource areas, California : Phase 1 Preliminary Results*. 16.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. (Publications scientifiques du muséum). Biotope édition.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2015). *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse, Deuxième édition*. (Publication scientifique du muséum). Biotope édition.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T., Schmid, B., & Liechti, F. (2018). Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biological Conservation*, 220, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.005>
- Bach, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—Reale Probleme oder Einbildung ? *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 33, 119-124.
- Bach, L., Brinckmann Robert, Limpens Herman, Rahmel Ulf, Reichenbach, M., & Roschen Axel. (1999). Bewertung und planerische umsetzung von fledermausdaten im rahmen der windkraftplanung. *Bremer Beitrage für Naturkunde und Naturschutz, Themenheft « Voegel und Windkraft »*(Band 4), 163-170.
- Baerwald, E. F., & Barclay, R. M. R. (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-Weissshahn, 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.
- DREAL Centre-Val de Loire. (2012). *Liste rouge des chauves-souris de la région Centre-Val de Loire (2012)*.
- DREAL Centre-Val de Loire. (2013). *Liste rouge des oiseaux nicheurs de la région Centre (2013)*. 5.
- Dulac, P. (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi* (p. 106). Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire.
- Dürr, T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus*, 8(2), 115-118.
- Dürr, T. (2020). *Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de janvier 2020*.
- Erickson, W. P., Johnson, G. D., & Young, D. P. J. (2005). A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep., PSW-GTR-191*, 14.
- Foo, C. F., Bennett, V. J., Hale, A. M., Korstian, J. M., Schildt, A. J., & Williams, D. A. (2017). Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ*, 5, e3985. <https://doi.org/10.7717/peerj.3985>
- 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). *A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations. Proc. Nat. Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego*.
- Hall, L. S., & Richards, G. C. (1972). *Notes on Tadarida australis (Chiroptera : Molossidae)*. 46-47.
- Haquart, A., Christian, K., Aurélien, B., Luc, B., & Jocelyn, F. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Éléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École Pratique des Hautes Études.
- Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique)* (p. 149). 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. In : Federal Maritime and Hydrographic Agency, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (eds.) Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus, Springer Fachmedien, Wiesbaden 2014*. 111-131.
- Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123-132. <https://doi.org/10.2193/2006-465>
- Hötker, H., Thomsen, K.-M., & Jeromin, H. (2006). *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : The example of birds and bats—Facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen.
- Huso, M. M. P. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318-329. <https://doi.org/10.1002/env.1052>
- Itty, C., & Duriez, O. (2017). *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : L'exemple de l'aigle royal (Aquila chrysaetos) dans le sud du massif central*. 42-48.
- James, R. D., & Coady, G. (2004). Bird monitoring at Toronto's exhibition place wind turbine. *Ontario Birds*, 22(2), 78-88.
- 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). *Uso 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*. (lynx Edicions).
- Loesch, C. R., Walker, J. A., Reynolds, R. E., Gleason, J. S., Niemuth, N. D., Stephens, S. E., & Erickson, M. A. (2013). Effect of wind energy development on breeding duck densities in the Prairie Pothole Region : Wind Energy and Breeding Ducks. *The Journal of Wildlife Management*, 77(3), 587-598. <https://doi.org/10.1002/jwmg.481>
- Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 99-120. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms : An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M., & Silva, J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 93-103. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>
- Marx, G. (2017). *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015 (LN 1216-54)*. LPO France.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black : Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*, 10(16), 8927-8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- Millon, L., Colin, C., Brescia, F., & Kerbiriou, C. (2018). Wind turbines impact bat activity, leading to high losses of habitat use in a biodiversity hotspot. *Ecological Engineering*, 112, 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.024>
- Millon, L., Julien, J.-F., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2015). Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F., & Park, K. J. (2017). Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation*, 20(5), 455-462. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>

- Moriguchi, S., Mukai, H., Komachi, R., & Sekijima, T. (2019). Wind farm effects on migratory flight of Swans and foraging distribution at their stopover site. In R. Bispo, J. Bernardino, H. Coelho, & J. Lino Costa (Éds.), *Wind Energy and Wildlife Impacts* (p. 125-133). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_8
- 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., & Ruge, L. (2000). *Examining relationships between bird risk behaviors and fatalities at the Altamont wind resource area : A second year's progress report*. 5-14.
- Thomas, R. (2000). *An Assessment of the Impact of Wind Turbines on Birds at Ten Windfarm Sites in the UK*. 215-219.
- Vogelwarte. (2016). *Energie eolienne et protection des oiseaux*.
- Whitfield, D. P., & Madders, M. (2006). A review of the impacts of wind farms on Hen Harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. *Natural Research Ltd*, 33.
- Winkelman, J. E. (1985). Vogelhinder door middelgrote windturbines—Over vlieggedrag, slachtoffers en verstorning [Bird impact by middle-sized wind turbines on flight behaviour, victims, and disturbance]. *Limosa*, 58, 117-121.
- Winkelman, J. E. (1992). *De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1 : Aanvaringslachtoffers. [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1 : Collision victims.]* (RIN-rapport92/2; p. 144). DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek.
- Winkelman, J. E. (1994). Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. *Wind Power*, 156.
- Zeiler, H. P., & Grünschnacher-Berger, V. (2009). Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica*, 58(2), 173-182.

IX. Annexes

IX.1. Fiche de renseignements et photographies calibrées des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris retrouvés sur le parc éolien de Tilleuls.

Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 15/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 6h52 à 8h05
		Espèce : Doute Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	
N° de l'éolienne :	TILO-01	Photo :	DSCN0042
Heure du relevé :	7h06	Cadavre N° :	1
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	46 m	Age :	Adulte
Direction par rapport au mât :	Est	Mort depuis x jours :	Plus d'une semaine
Latitude :	46.978584 8	Etat du cadavre :	Sec, décomposé
Longitude :	2.0577606	Présence d'insectes :	Non
		Partie prélevée :	Tout sauf les os et poils
Note sur les blessures et état du cadavre : Ne reste que les os et des poils, de la peau. Non revue le 22/07.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 29/07/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 9h05 à 10h20
		Espèce : Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	
N° de l'éolienne :	TILO-02	Photo :	DSCN0116
Heure du relevé :	9h50	Cadavre N° :	2
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	29 m	Age :	Indéterminé
Direction par rapport au mât :	Ouest	Mort depuis x jours :	Plusieurs jours
Latitude :	46.9802894	Etat du cadavre :	Relativement frais
Longitude :	2.0650374	Présence d'insectes :	Oui
		Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Cadavre intact mais rigide. Non revue le 05/08.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 05/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 11h52 à 12h56
Espèce : Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)			
N° de l'éolienne :	TILO-05	Photo :	DSCN0137
Heure du relevé :	12h33	Cadavre N° :	3
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	16 m	Age :	Adulte
Direction par rapport au mât :	Sud-Ouest	Mort depuis x jours :	Plusieurs jours
Latitude :	46.9859585	Etat du cadavre :	Sec
Longitude :	2.083832	Présence d'insectes :	Oui
		Partie prélevée :	Chairs
Note sur les blessures et état du cadavre : Chairs consommées, ne reste que les poils et les os. Revue le 12/08.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 12/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 10h19 à 11h25
Espèce : Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)			
N° de l'éolienne :	TILO-02	Photo :	DSCN0148
Heure du relevé :	10h53	Cadavre N° :	4
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	36 m	Age :	Adulte
Direction par rapport au mât :	Nord-Ouest	Mort depuis x jours :	Plusieurs jours
Latitude :	46.980713	Etat du cadavre :	Relativement frais
Longitude :	2.0651913	Présence d'insectes :	Oui
		Partie prélevée :	Aucune
Note sur les blessures et état du cadavre : Cadavre intact et rigide. Non revue le 19/08.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 12/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 12h49 à 13h57
Espèce : Pipistrelle de Kuhl (<i>Pipistrellus kuhlii</i>)			
N° de l'éolienne :	TILO-04	Photo :	DSCN0155
Heure du relevé :	13h42	Cadavre N° :	5
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	15 m	Age :	Adulte
Direction par rapport au mât :	Ouest	Mort depuis x jours :	Plusieurs jours
Latitude :	46.9842776	Etat du cadavre :	Désséché
Longitude :	2.0791529	Présence d'insectes :	Oui
		Partie prélevée :	Une partie des entrailles et chairs
Note sur les blessures et état du cadavre : Cadavre semi-enterré dans le champ. Revue le 19/08. Non revue le 03/09.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 12/08/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 12h49 à 13h57
Espèce : Faucon crécerelle (<i>Falco tinnunculus</i>)			
N° de l'éolienne :	TILO-04	Photo :	DSCN0157
Heure du relevé :	13h56	Cadavre N° :	6
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Femelle
Distance au pied du mât :	3 m	Age :	Adulte
Direction par rapport au mât :	Nord-Est	Mort depuis x jours :	Plusieurs jours
Latitude :	46.9843908	Etat du cadavre :	Relativement frais
Longitude :	2.0793366	Présence d'insectes :	Oui
		Partie prélevée :	Entrailles et chairs en partie
Note sur les blessures et état du cadavre : Entrailles et chairs en train d'être consommées. Revu jusqu'au 09/09. Le 16/09 ne reste que des plumes et l'os crânien.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 03/09/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 8h21 à 9h56
Espèce : Chiroptère indéterminé			
N° de l'éolienne :	TILO-01	Photo :	DSCN0260
Heure du relevé :	8h29	Cadavre N° :	7
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	48 m	Age :	Indéterminé
Direction par rapport au mât :	Sud-Est	Mort depuis x jours :	Plusieurs jours
Latitude :	46.978305	Etat du cadavre :	Sec
Longitude :	2.059001	Présence d'insectes :	Non
		Partie prélevée :	Tout sauf les 2 ailes
Note sur les blessures et état du cadavre : Ne reste que les 2 ailes, détachées l'une de l'autre. (Tout a été envoyé à Plaisan)			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 22/09/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 12h45 à 13h54
Espèce : Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)			
N° de l'éolienne :	TILO-05	Photo :	DSCN0368
Heure du relevé :	13h35	Cadavre N° :	8
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	11 m	Age :	Indéterminé
Direction par rapport au mât :	Sud-Est	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Latitude :	46.986055	Etat du cadavre :	Desséché, en décomposition
Longitude :	2.084046	Présence d'insectes :	Oui
		Partie prélevée :	Chairs
Note sur les blessures et état du cadavre : Abdomen ouvert. Non revue le 28/09.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des espèces			
Nom du site : Tilleuls		Date du suivi : 28/09/2020	
Observateur : Cécile CHAILLOT		Heure	de 11h15 à 11h47
		Espèce : Chiroptère indéterminé	
N° de l'éolienne :	TILO-03	Photo :	DSCN0380
Heure du relevé :	11h15	Cadavre N° :	9
Eolienne à l'arrêt :	Non	Sexe :	Indéterminé
Distance au pied du mât :	60 m	Age :	Indéterminé
Direction par rapport au mât :	Nord-Est	Mort depuis x jours :	Quelques jours
Latitude :	46.983127	Etat du cadavre :	Relativement frais
Longitude :	2.074569	Présence d'insectes :	Non
		Partie prélevée :	Tout sauf les ailes
Note sur les blessures et état du cadavre : Ne reste que les ailes de l'individu, toutes les deux envoyées à Plaisan.			



Espèce	Mortalité en Europe																	Total					
	A	BE	BG	CH	CR	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N		P	PL	RO	S	
<i>Arenaria interpres</i>		3																					3
<i>Aythya ferina</i>		3																					3
<i>Cygnus cygnus</i>							2										1						3
<i>Fulmarus glacialis</i>													1			1	1						3
<i>Podiceps cristatus</i>							1										2						3
<i>Sitta europaea</i>							3																3
<i>Spatula clypeata</i>							1									1	1						3
<i>Sterna spec.</i>													3										3
<i>Sylvia communis</i>							1		1			1											3
<i>Alectoris chukar</i>														2									2
<i>Anseridae spec.</i>	1															1							2
<i>Certhia familiaris</i>							2																2
<i>Cygnus columbianus bewickii</i>																	2						2
<i>Emberiza spec.</i>												1		1									2
<i>Hirundidae spec.</i>							1					1											2
<i>Hydrocoloeus minutus</i>																2							2
<i>Milvus spec.</i>									2														2
<i>Monticola saxatilis</i>									2														2
<i>Numenius phaeopus</i>												2											2
<i>Passer hispaniolensis</i>									2														2
<i>Phylloscopus inornatus</i>									1			1											2
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>							1		1														2
<i>Plectrophenax nivalis</i>						1													1				2
<i>Pterocles orientalis</i>									2														2
<i>Pyrhocorax pyrrhocorax</i>									2														2
<i>Strigiformes spec.</i>									2														2
<i>Sylvia curruca</i>							2																2
<i>Turdus torquatus</i>							1		1														2
<i>Uria aalge</i>							1									1							2
<i>Acanthis flammea</i>							1																1
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>									1														1
<i>Acrocephalus palustris</i>							1																1
<i>Aegolius funereus</i>					1																		1
<i>Aegothalus caudatus</i>							1																1
<i>Alcedo atthis</i>												1											1
<i>Alle alle</i>																1							1
<i>Anthus spec.</i>																	1						1
<i>Aquila fasciata</i>									1														1
<i>Aquila heliaca</i>	1																						1
<i>Ardea alba</i>							1																1
<i>Aythya marila</i>																1							1
<i>Aythya nyroca</i>													1										1
<i>Branta bernicla</i>																1							1
<i>Branta canadensis</i>																1							1
<i>Calidris canutus</i>									1														1
<i>Caprimulgus europaeus</i>									1														1
<i>Caprimulgus ruficollis</i>									1														1
<i>Carduelis spinus</i>																	1						1

Espèce	Mortalité en Europe																	Total					
	A	BE	BG	CH	CR	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N		P	PL	RO	S	
<i>Cecropis daurica</i>																							1
<i>Cersophilus duponti</i>																							1
<i>Charadrius alexandrinus</i>		1																					1
<i>Charadrius dubius</i>										1													1
<i>Charadrius hiaticula</i>																							1
<i>Chlidonias niger</i>											1												1
<i>Chloephaga picta</i>		1																					1
<i>Crex crex</i>				1																			1
<i>Cyanopica cyanus</i>											1												1
<i>Dendrocopos medius</i>																							1
<i>Dendrocopos spec.</i>																							1
<i>Emberiza hortulana</i>																							1
<i>Eremophila alpestris</i>											1												1
<i>Eudromias morinellus</i>											1												1
<i>Falco peregrinus x rusticolus hybride</i>																							1
<i>Falco vespertinus</i>											1												1
<i>Fingilla spec.</i>																							1
<i>Gavia stellata</i>											1												1
<i>Geronticus eremita</i>																							1
<i>Glareola pratincola</i>																							1
<i>Gyps africanus</i>																							1
<i>Gyps ruepellii</i>																							1
<i>Hirundapus caudacutus</i>																							1
<i>Ichthyeta audouinii</i>																							1
<i>Linaria flavistris</i>																							1
<i>Loxia pytyopsittacus</i>																							1
<i>Lymnocyptes minimus</i>																							1
<i>Melanitta nigra</i>																							1
<i>Mergus serrator</i>																							1
<i>Morus bassanus</i>																							1
<i>Motacilla spec.</i>																							1
<i>Netta rufina</i>																							1
<i>Nycticorax nycticorax</i>																							1
<i>Oenanthe spec.</i>																							1
<i>Otus scops</i>																							1
<i>Parus spec.</i>																							1
<i>Pelecanus onocrotalus</i>																							1
<i>Platalea leucorodia</i>																							1
<i>Pluvialis squatarola</i>																							1
<i>Poecile montanus</i>																							1
<i>Porzana porzana</i>																							1
<i>Psittacula krameri</i>																							1
<i>Sylvia spec.</i>																							1
<i>Tetrax tetrax</i>																							1
Total	360	1791	5	22	1	24	4196	10	5545	1	7	1391	172	99	1	500	185	442	82	2	181	15017	

A = Autriche ; BE = Belgique ; BG = Bulgarie ; CH = Suisse ; CR = Croatie ; CZ = République tchèque ; D = Allemagne ; DK = Danemark ; E = Espagne ; EST = Estonie ; F = Finlande ; FR = France ; GB = Grande-Bretagne ; GR = Grèce ; NL = Pays-Bas ; N = Norvège ; P = Portugal, PL = Pologne ; RO = Roumanie ; S = Suède.

IX.3. Tableau 26 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2020).

Espèce	Europa																				Total	
	A	BE	CH	CR	CZ	D	DK	ES	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	PT	PL	RO	S		UK
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2	28	6	5	16	726		211			995	0	1	15	323	5	6	1	46			2386
<i>P. nathusii</i>	13	6	6	17	7	1088	2				272	35	1	23	8			16	90	5	1	1590
<i>Nyctalus noctula</i>	46	1			31	1230		1			104	10					2	17	76	14	11	1543
<i>Chiroptera spec.</i>	1	11		60	1	76		320	1		439	8	1				120	3	15	30	9	1095
<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		102	9	91		25			303	1		2			128	2	48		12	733
<i>N. leislerii</i>			1	4	3	188		15			153	58	2				273	5	10			712
<i>P. kuhlii</i>				144				44			219	1					51		10			469
<i>P. pygmaeus</i>	4			1	2	146					176	0		1			42	1	5	18	52	448
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>	1		2			3		271			40	54					38	1	2			412
<i>Hypsugo savii</i>	1			137		1		50			57	28	12				56		2			344
<i>Vespertilio murinus</i>	2	1		17	6	149					11	1		1				9	15	2		214
<i>Eptesicus serotinus</i>	1				11	66		2			33	1		2				3	1			120
<i>E. isabellinus</i>								117										3				120
<i>E. serotinus / isabellinus</i>								98										17				115
<i>Tadarida teniotis</i>				7				23			2						39					71
<i>E. nilssonii</i>	1				1	6			2	6				13	1			1	1	13		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>						7					1						2					10
<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>						1															1	2
<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

Espèce	Europa																				Total	
	A	BE	CH	CR	CZ	D	DK	ES	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	PT	PL	RO	S		UK
Total	81	49	15	494	87	3808	2	1218	3	6	2837	199	17	40	25	1	1125	63	285	83	133	10571

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