



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



Suivi environnemental

Suivi de la mortalité

Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude - TrackBats

Parc éolien de Tonnerrois

10 éoliennes

Yonne (89), Bourgogne-Franche-Comté

2019



Rédaction :
[Caroline Cosnard](#)
Chargée d'études
caroline.cosnard@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	4
I.1.	Contexte de l'étude	4
I.2.	Localisation et description du parc	4
I.3.	Objectifs	4
II.	Suivi de l'activité et de la mortalité des chiroptères	7
II.1.	Généralités	7
II.2.	Mortalité directe et mortalité indirecte	7
II.2.1.	Mortalité directe	7
II.2.2.	Mortalité indirecte	8
II.3.	Matériel et méthodes	8
II.3.1.	Enregistrement acoustique	8
II.3.2.	Méthode d'analyse des sons	8
II.4.	Résultats des suivis d'activité chiroptérologique	11
II.4.1.	Activité brute et corrigée par espèce	11
II.4.2.	Activité en fonction de la date et de l'heure	12
II.4.3.	Activité corrélée avec la vitesse de vent et la température	14
II.4.4.	Activité selon la pluviométrie	14
II.4.5.	Zoom sur les espèces présentes	15
II.5.	Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes	20
III.	Suivi de la mortalité	21
III.1.	Protocole	21
III.1.1.	Occupation du sol et surface prospectée	21
III.1.2.	Test de prédation	23
III.1.3.	Test du taux de détection	23
III.1.4.	Estimation de la mortalité réelle	23
III.2.	Données brutes de mortalité	24
III.3.	Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction	27
III.3.1.	Occupation du sol et surface prospectée	27
III.3.2.	Test de prédation	27
III.3.3.	Test du taux de détection	27
III.3.4.	Estimation de la mortalité réelle	27
III.4.	Sensibilité des espèces retrouvées	29
III.4.1.	Rapaces	29
III.4.2.	Passereaux	29
III.4.3.	Chiroptères	29
IV.	Discussion	31
IV.1.	Sensibilité des oiseaux et des chiroptères	31
IV.1.1.	Collision	31
IV.1.2.	Perte d'habitat	32
IV.1.3.	Effet barrière	33
IV.2.	Suivi de l'activité des chiroptères sur le parc éolien de Tonnerrois	34
IV.3.	Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Tonnerrois	34
V.	Conclusion	35

VI.	Bibliographie	36
VII.	Annexes	39
VII.1.	Photographies calibrées des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris retrouvés sur le parc éolien de Tonnerrois	39
VII.2.	Tableau 24 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2019)	42
VII.3.	Tableau 25 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2019)	45

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de Tonnerrois. 6

Carte 2 : Localisation des 2 TrackBats (version acoustique) sur les éoliennes E6 et E7 du parc éolien de Tonnerrois, pour un enregistrement continu de l'activité chiroptérologique entre mai et novembre 2019. 9

Carte 3 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius..... 16

Carte 4 : Surfaces prospectables et types de culture, sous les 10 éoliennes du parc éolien de Tonnerrois..... 22

Carte 5 : Localisation des cadavres sous les éoliennes du parc éolien de Tonnerrois 26

Figure 1 : Description du phénomène de barotraumatisme 7

Figure 2 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat. 8

Figure 3 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite)..... 8

Figure 4 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission..... 10

Figure 5 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces 11

Figure 6 : Pipistrelle commune. CC0 domaine public. 15

Figure 7 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune 15

Figure 8 : Pipistrelle de Nathusius. CC0 domaine public. 16

Figure 9 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl..... 16

Figure 10 : Pipistrelle de Kuhl. CC0 domaine public..... 17

Figure 11 : Noctule commune. CC0 domaine public. 17

Figure 12 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune 18

Figure 13 : Noctule de Leisler. CC0 domaine public. 18

Figure 14 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler 18

Figure 15 : Sérotine commune. CC0 domaine public. 19

Figure 16 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune 19

Figure 17 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne. 21

Figure 18 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection..... 23

Figure 19 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler..... 24

Figure 20 : Faucon crécerelle. CC0 domaine public. 29

Figure 21 : Milan noir. CC0 domaine public. 29

Figure 22 : Martinet noir. CC0 domaine public. 29

Figure 23 : Alouette des champs. CC0 domaine public. 29

Figure 24 : Roitelet à triple bandeau. CC0 domaine public..... 29

Figure 25 : Rougegorge familier. CC0 domaine public. 29

Figure 26 : Bergeronnette grise. CC0 domaine public. 29

Figure 27 : Pipistrelle de Nathusius. CC0 domaine public..... 29

Figure 28 : Noctule commune. CC0 domaine public. 30

Figure 29 : Pipistrelle commune. CC0 domaine public..... 30

Figure 30 : Noctule de Leisler. CC0 domaine public. 30

Figure 31 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001) 33

Figure 32 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine 34

Graphique 1 : Proportion des espèces contactées en nacelle des éolienne E6 (à gauche) et E7 (à droite) du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019. 11

Graphique 2 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois. 12

Graphique 3 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois. 12

Graphique 4 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et novembre 2019 en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois. 13

Graphique 5 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et novembre 2019 en nacelle de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois..... 13

Graphique 6 : Contacts de chiroptères en présence de pluie, autour de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019. 15

Graphique 7 : Contacts de chiroptères en présence de pluie, autour de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019. 15

Graphique 8 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la distance au mât, sur le parc éolien de Tonnerrois.. 25

Graphique 9 : Répartition des cadavres en fonction des éoliennes du parc éolien de Tonnerrois 25

Graphique 10 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Source : Rapport LPO, Geoffrey Marx, 2016). 32

Graphique 11 : 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). 32

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes de Tonnerrois, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator..... 4

Tableau 2 : Sensibilité à l'éolien par espèce. Source : Diagnostic chiroptérologique pour les parcs éoliens terrestres, actualisation 2016 (version 2.1), SFEPM. 7

Tableau 3 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores 10

Tableau 4 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes 11

Tableau 5 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019. 11

Tableau 6 : Nombre de contacts horaires sur les éoliennes E6 et E6 du parc éolien de Tonnerrois, enregistrés entre mai et novembre 2019, en fonction des différentes espèces présentes, et qualification de leur activité. 13

Tableau 7 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s-1) en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019. 14

Tableau 8 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s-1) en nacelle de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019. 14

Tableau 9 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019..... 16

Tableau 10 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019..... 17

Tableau 11 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019..... 17

Tableau 12 : Données d'activité de la Noctule commune sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019. 18

Tableau 13 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019..... 19

Tableau 14 : Données d'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019. 19

Tableau 15 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Tonnerrois entre mai et novembre 2019. 20

Tableau 16 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité dans le parc éolien de Tonnerrois. 25

Tableau 17 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien de Tonnerrois 27

Tableau 18 : Évaluation du taux de détection de cadavres sous chaque éolienne du parc éolien de Tonnerrois..... 27

Tableau 19 : Mortalité estimée des oiseaux selon les formules de Bastos et al. (2013), d'Erickson et al. (2000) et d'Huso (2010), sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019. 28

Tableau 20 : Mortalité des oiseaux, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019. 28

Tableau 21 : Mortalité estimée des chiroptères selon les formules de Bastos et al. (2013), d'Erickson et al. (2000) et d'Huso (2010), sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019. 28

Tableau 22 : Mortalité des chiroptères, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019. 28

Tableau 23 : 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) 31

VII.2. Tableau 24 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2019). 42

VII.3. Tableau 25 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2019). 45

I. Cadre général du parc

I.1. Contexte de l'étude

Greensolver est l'opérateur du parc éolien de Tonnerrois, composé de 10 éoliennes, dans l'Yonne (89). Cette installation a été mise en service en 2016, elle est donc réputée ICPE. Une expertise environnementale initiale a été réalisée par le bureau d'étude Corieaulys en 2008. Tous les volets de biodiversité ont été étudiés lors de l'étude initiale.

Selon l'arrêté ICPE du 26 août 2011, relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, l'exploitant d'une installation soumise à autorisation ou bien à déclaration¹ au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, doit réaliser un suivi environnemental au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation, 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 un 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).

Ce rapport présente donc le suivi environnemental réalisé par Sens Of Life, avec les résultats des inventaires sur le terrain, les impacts et les mesures à adopter sur ce parc pour réduire l'incidence sur les oiseaux et les chauves-souris.

Dans le cadre du suivi environnemental post-implantation, Sens Of Life a également été mandaté pour effectuer l'étude de l'activité chiroptérologique en nacelle, par la pose de deux enregistreurs ultrasonores TrackBats, l'un sur la nacelle de l'éolienne E6 et l'autre sur celle de E7. Le but de cette étude est de modéliser différents paramètres de bridage des éoliennes afin de choisir l'optimum pour la préservation des chiroptères et pour le productible.

I.2. Localisation et description du parc

Ce parc, constitué de 10 éoliennes, se situe sur la commune de Pasilly (89310), dans le département de l'Yonne (89), en région Bourgogne-Franche-Comté. Les 10 turbines sont toutes des Gamesa G97, pour une puissance totale installée de 20 MW.

Le parc éolien de Tonnerrois est implanté sur un plateau dont l'aire d'étude immédiate culmine à 311 mètres d'altitude. Le paysage bocager est dominé par des parcelles agricoles exploitées de manière intensive. Des lignes électriques à haute tension et une voie ferrée traversent le parc éolien du Nord au Sud (un TGV passant toutes les 10 minutes environ). Aucun cours d'eau ni aucune mare n'a été identifié à proximité immédiate des éoliennes. Les cultures présentes sont des graminées ou des fabacées. Le Tableau 1 indique les coordonnées géographiques des éoliennes, selon le référentiel WGS84/Pseudo Mercator.

Eolienne	X	Y
E2	47.698758	4.063775
E3	47.701200	4.061415
E4	47.705423	4.069282
E5	47.708111	4.067185
E6	47.710730	4.065014
E7	47.714710	4.062805
E8	47.717021	4.061474
E10	47.720037	4.052797
E11	47.721976	4.050560
E12	47.724154	4.048128

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

Dans les environs du projet, 95 zones naturelles d'intérêt reconnu ont été recensées. En particulier, dans l'aire d'étude intermédiaire (jusqu'à 10 kilomètres autour du projet), on recense :

- 8 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),
- 5 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type II (ZNIEFF II).

Dans l'aire d'étude éloignée (jusqu'à 30 kilomètres autour du projet), 82 zones ont été recensées :

- 1 zone concernée par un arrêté de protection Biotope,
- 1 parc naturel régional,
- 6 sites inscrits au titre de la Directive Habitats (ZSC, SIC, PSIC),
- 6 terrains acquis par un Conservatoire d'Espaces Naturels,
- 59 Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I),
- 9 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

¹ Point 3.7 de l'annexe I de l'arrêté du 26 août 2011

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 2015 a été mis en place, notamment pour observer les oiseaux.

Au-delà des éléments de cadrage préalable liés aux éléments bibliographiques précédents, et afin de compléter les données disponibles dignes d'intérêt vis-à-vis des effets du parc éolien, nous basons aussi nos investigations sur une consultation de naturalistes locaux ou associations de référence localement. Il s'agit de comparer nos observations avec celles relevées aux abords du site d'étude et éventuellement de mettre en évidence certains enjeux que nous n'aurions pas soupçonnés sur la base de notre échantillon de visites.



Approche scalaire du site d'implantation Parc éolien de Tonnerrois Yonne (89)



Sens Of Life 2019. Fond de carte : Géoportail.

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

II. Suivi de l’activité et de la mortalité des chiroptères

II.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 (Osborn *et al.*, 1996 ; Puzen, 2002 ; Johnson *et al.*, 2003).

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 *et al.*, 1999 ; Bach, 2001 ; Rhamel *et al.*, 1999 ; Dürr 2002, 2004, 2007 ; Brinkmann 2006) et en Espagne (Lekuona 2001 ; Benzal & Moreno, 2001 ; Alcade, 2003). L’étude de cette problématique a été plus tardive en France (Dulac 2008 ; Lagrange *et al.*, 2009 ; Albouy 2009 ; Cornut et Vincent 2010 ; Allouche 2010 ; Beucher *et al.*, 2011 ; Lagrange *et al.*, 2011 ; Rico *et al.*, 2012).

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. Curieusement, les éoliennes induiraient une mortalité plus importante sur les chiroptères que sur les oiseaux (Dürr, 2007). Ainsi, en Allemagne, les compilations de données réalisées en 2011 par Tobias Dürr décrivent 1414 cas de mortalité de chiroptères et 1251 pour les oiseaux alors que le repérage des cadavres d’oiseaux est beaucoup plus facile que celui des chauves-souris. De la même manière, aux Etats-Unis, la mortalité annuelle évaluée sous les éoliennes serait de 888 000 chauves-souris pour 573 000 oiseaux (Smallwood K.S., 2013).

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. Elles pourraient donc rechercher des gîtes dans les éoliennes (Kunz *et al.*, 2007), 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.
- Le phénomène de barotraumatisme (Figure 1) décrit par Baerwald *et al.* (2008), Seiche (2008) puis par Baerwald et 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 entraine 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.

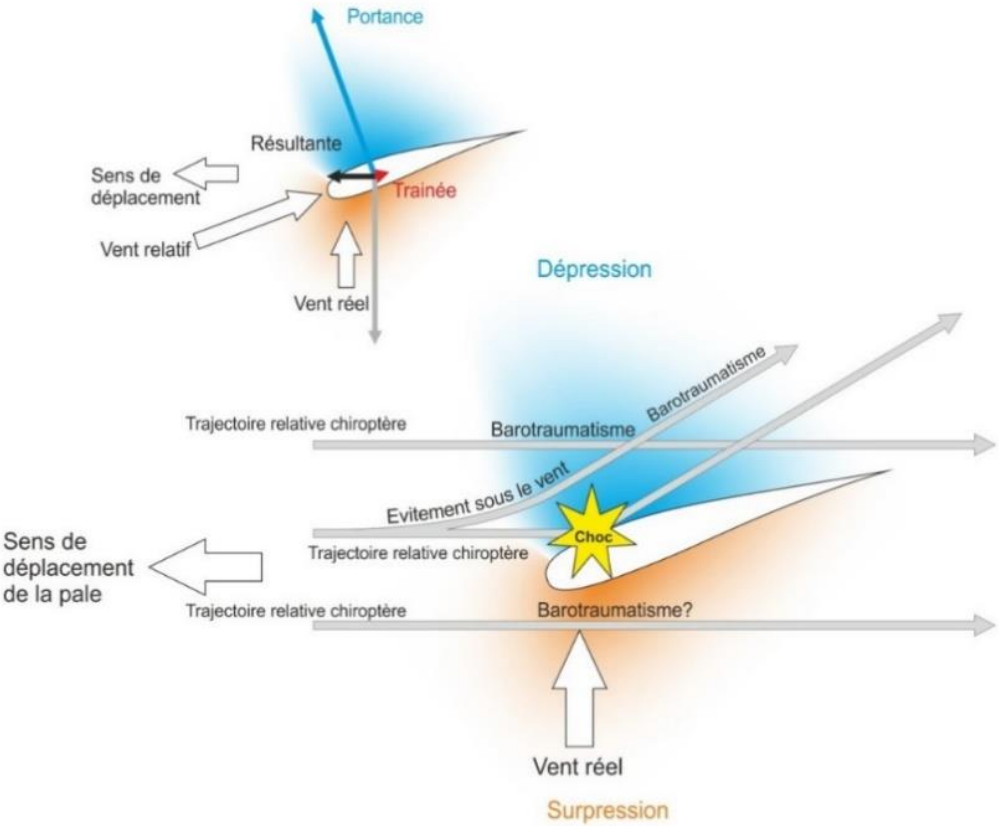


Figure 1 : Description du phénomène de barotraumatisme

II.2. Mortalité directe et mortalité indirecte

II.2.1. 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. En Europe, le Tableau 2 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 2).

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 2 : Sensibilité à l’éolien par espèce. Source : Diagnostic chiroptérologique pour les parcs éoliens terrestres, actualisation 2016 (version 2.1), SFEPM.

II.2.2. 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.

II.3. Matériel et méthodes

II.3.1. 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 18 mai au 02 novembre 2019, afin de comprendre comment le site est utilisé par ces espèces. Afin de qualifier les déplacements en hauteur, deux TrackBats (version acoustique) ont été mis en place sur le parc : l'un sur l'éolienne E6 et l'autre sur l'éolienne E7 (Carte 2).

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 2).

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.

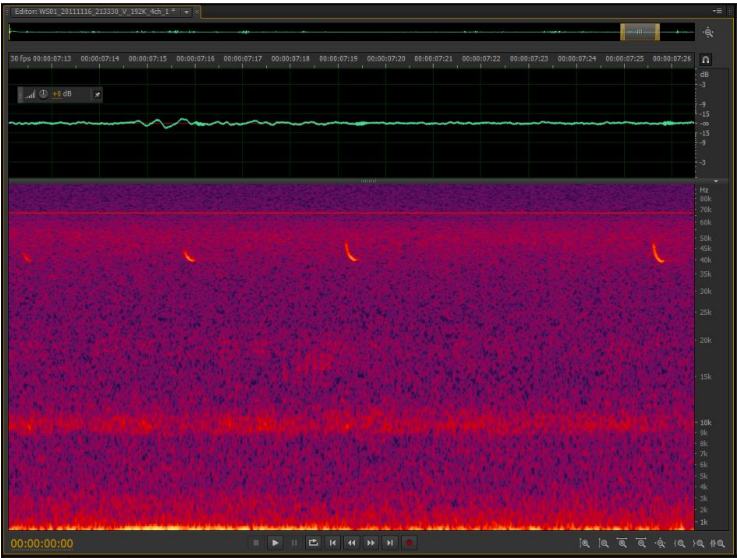


Figure 2 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.

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

II.3.2. 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).



Emplacement des dispositifs TrackBats Parc éolien de Tonnerrois Yonne (89)



Sens Of Life 2019. Fond de carte : Géoportail.

Carte 2 : Localisation des 2 TrackBats (version acoustique) sur les éoliennes E6 et E7 du parc éolien de Tonnerrois, pour un enregistrement continu de l'activité chiroptérologique entre mai et novembre 2019.

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 3.

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</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	
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	Nyctaloids
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Noctule de Leisler	
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	
Sérotine Bicolore	<i>Vespertillo Murinus</i>	Sérotine bicolore	
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Vespère de Savi	
Pipistrelle soprane	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle soprane	Pipistrelle / Minioptère
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Minioptère de Schreibers	
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Pipistrelle de Kuhl / Nathusius
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de Nathusius	
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	Oreillards sp.	
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>		
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrobularis</i>		
Barbastelle d'Europe	<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 3 : 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.

Dans cette étude, l'identification a été menée en combinant 3 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/>). Grace 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.

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.

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 4 et Figure 5).

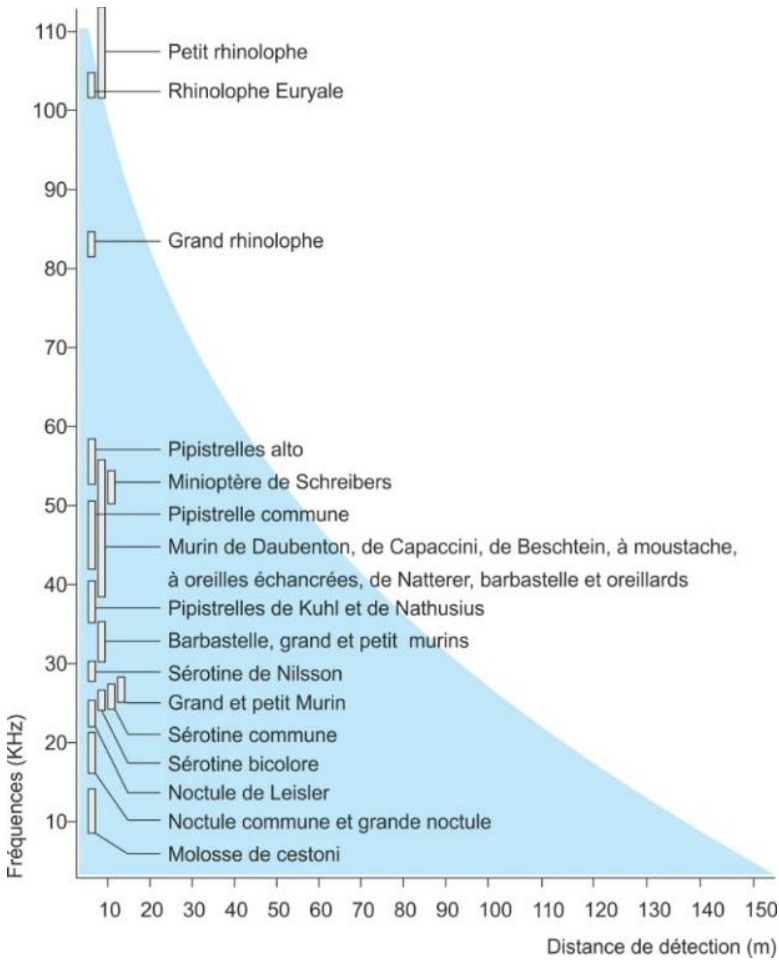


Figure 4 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

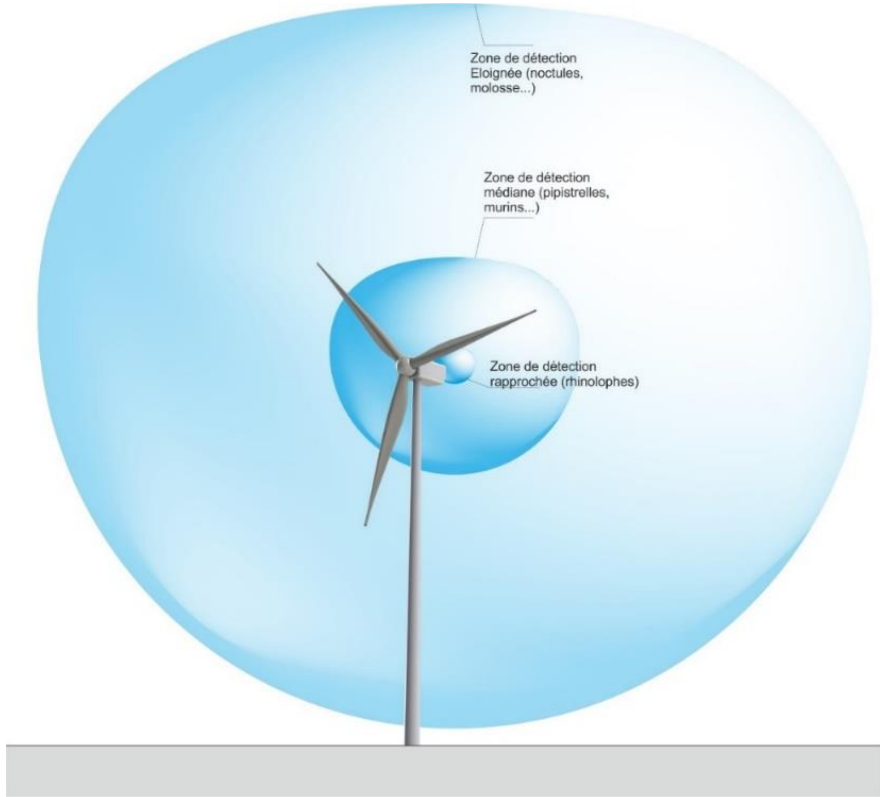


Figure 5 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

Pour prendre en compte ces variations, nous avons utilisé les facteurs de correction préconisés par Michel Barataud récapitulés dans le Tableau 4. De manière générale, l’application de ces coefficients permet de rétablir le rapport des indices d’activité entre les petites espèces utilisant des fréquences élevées, fortement absorbées par l’atmosphère, et les grosses espèces émettant des sons très puissants sur des fréquences basses, peu absorbées par l’atmosphère.

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

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

Tableau 4 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

II.4. Résultats des suivis d’activité chiroptérologique

II.4.1. Activité brute et corrigée par espèce

Les enregistrements des ultrasons ont eu lieu en continu du 18 mai au 02 novembre 2019. Ces suivis permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leurs activités.

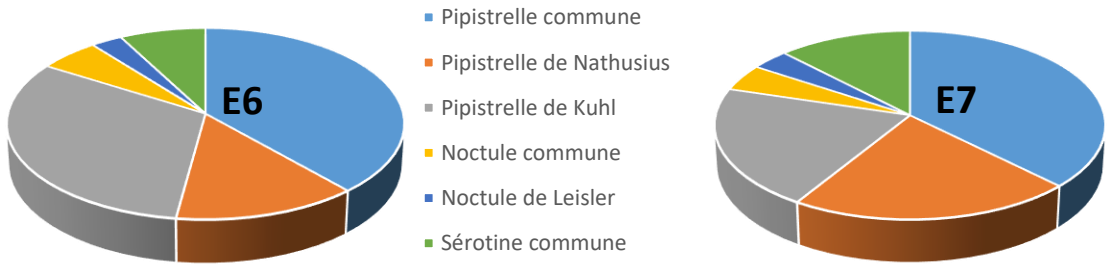
Le Tableau 5 synthétise le nombre de contacts bruts et corrigés pour chaque espèce sur les nacelles des éoliennes E6 et E7 et les proportions corrigées de chaque espèce sont illustrées par le Graphique 1. Au total, 948 contacts de chiroptères ont été enregistrés sur le parc. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 712 contacts sont comptabilisés. L’éolienne E6 enregistre environ 7% de contacts supplémentaires par rapport à E7.

Espèce	Nombre de contacts					
	E6		E7		Total des contacts bruts	Total des contacts corrigés
	Contacts bruts	Contacts corrigés	Contacts bruts	Contacts corrigés		
Pipistrelle commune	189	156,87	171	141,93	360	298,8
Pipistrelle de Nathusius	67	55,61	98	81,34	165	136,95
Pipistrelle de Kuhl	156	129,48	95	78,85	251	208,33
Noctule commune	27	6,75	21	5,25	48	12
Noctule de Leisler	14	4,34	16	4,96	30	9,3
Sérotine commune	38	19	56	28	94	47
TOTAL	491	372,05	457	340,33	948	712,38

Tableau 5 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019.

Six espèces ont été contactées et déterminées avec précision. En moyenne, d’après les deux TrackBats :

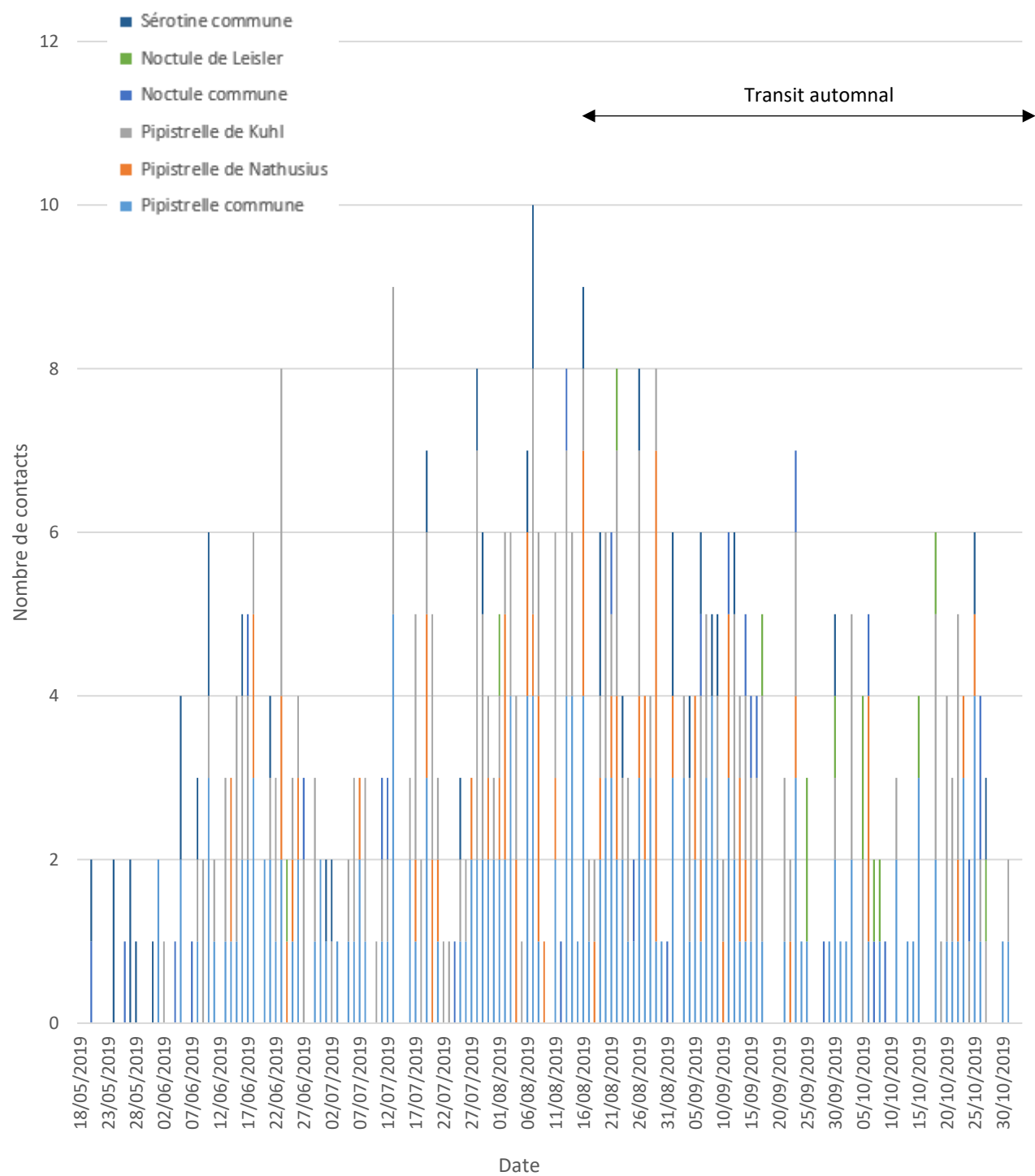
- La **Pipistrelle commune** représente environ 38% des contacts (38,5% en E6 et 37,4% en E7) ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** représente 26,5% des contacts (31,8% en E6 et 20,8% en E7) ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** représente 17,4% des contacts (13,6% en E6 et 21,4% en E7) ;
- La **Sérotine commune** représente 9,9% des contacts (7,7% en E6 et 12,3% en E7) ;
- La **Noctule commune** représente 5,1% des contacts (5,5% en E6 et 4,6% en E7) ;
- La **Noctule de Leisler** représente 3,2% des contacts (2,9% en E6 et 3,5% en E7).



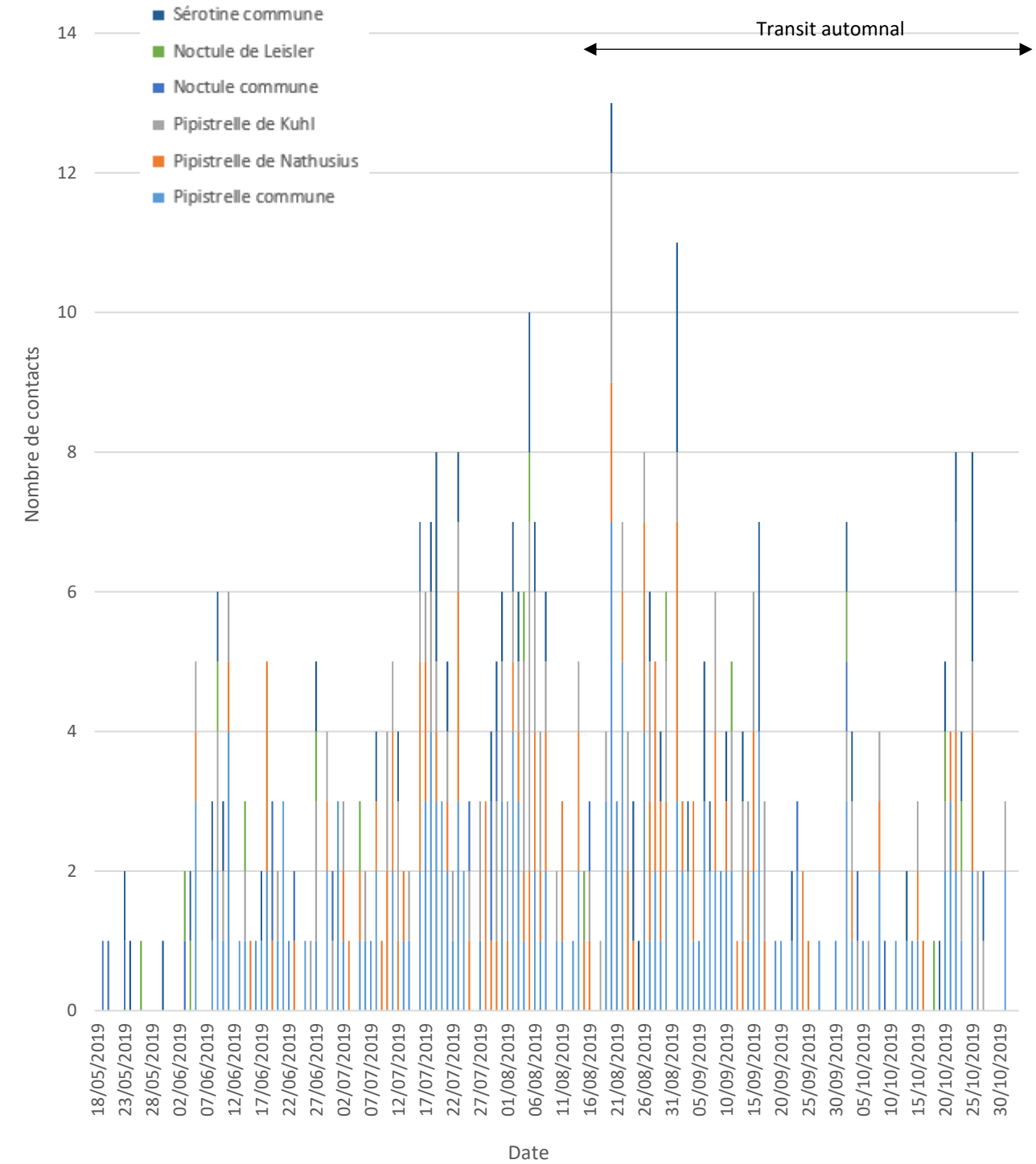
Graphique 1 : Proportion des espèces contactées en nacelle des éolienne E6 (à gauche) et E7 (à droite) du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019.

II.4.2. Activité en fonction de la date et de l'heure

En nacelle des éoliennes E6 et E7, la totalité des contacts a été enregistrée du début de l'étude, le 18 mai 2019, jusqu'à la fin de l'étude, le 02 novembre 2019. En particulier, sur l'éolienne E6 (Graphique 2), des pics d'activité sont enregistrés le 13 juillet 2019 et la 2^{ème} semaine d'août. Plus de 90% des contacts de chiroptères en E6 sont concentrés entre le 13 juin et le 23 octobre 2019. Sur l'éolienne E7 (Graphique 3), un pic d'activité est enregistré le 20 août 2019. Plus de 90% des contacts de chiroptères en E6 sont concentrés entre le 17 juin et le 25 octobre 2019.

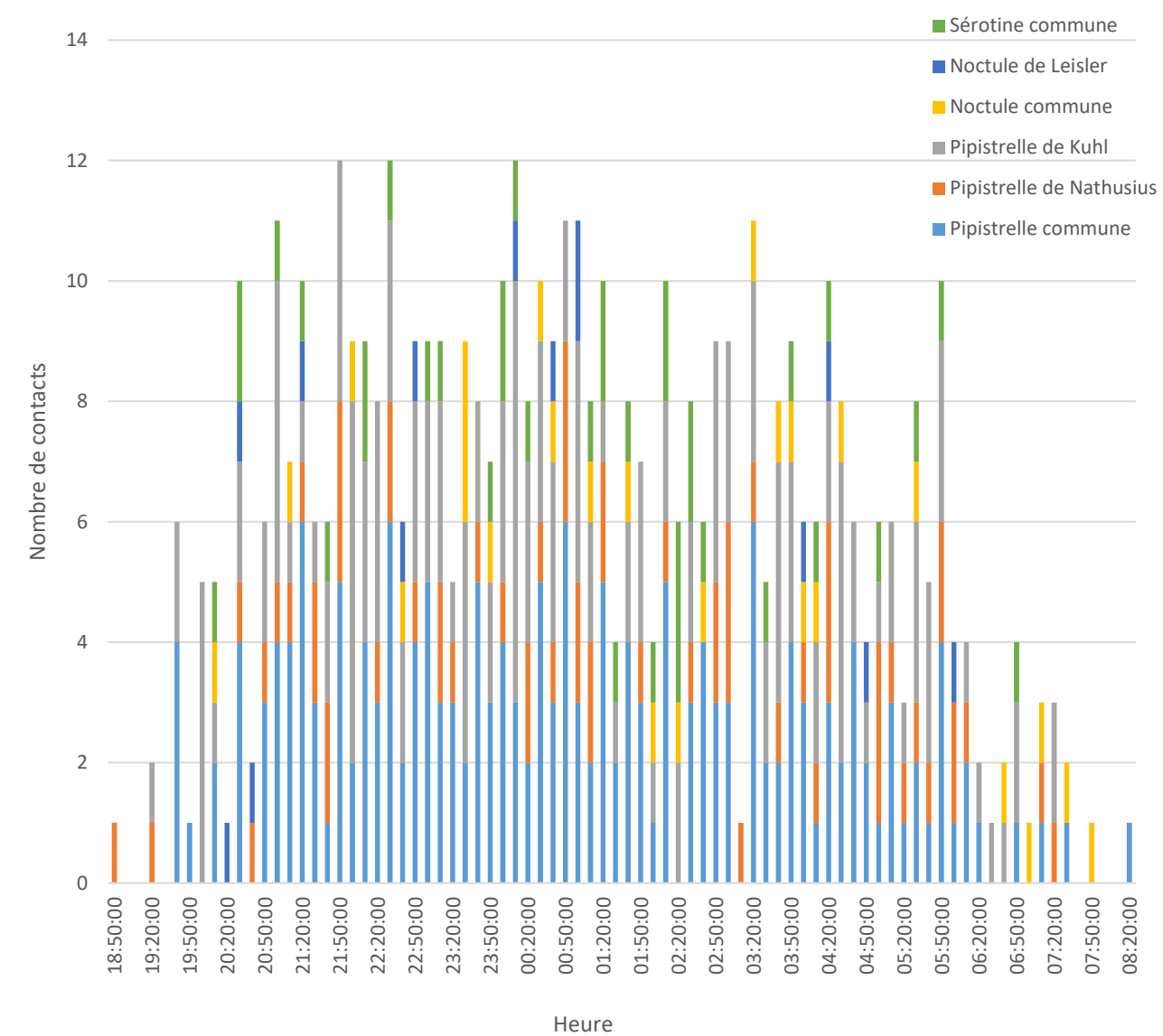


Graphique 2 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois.



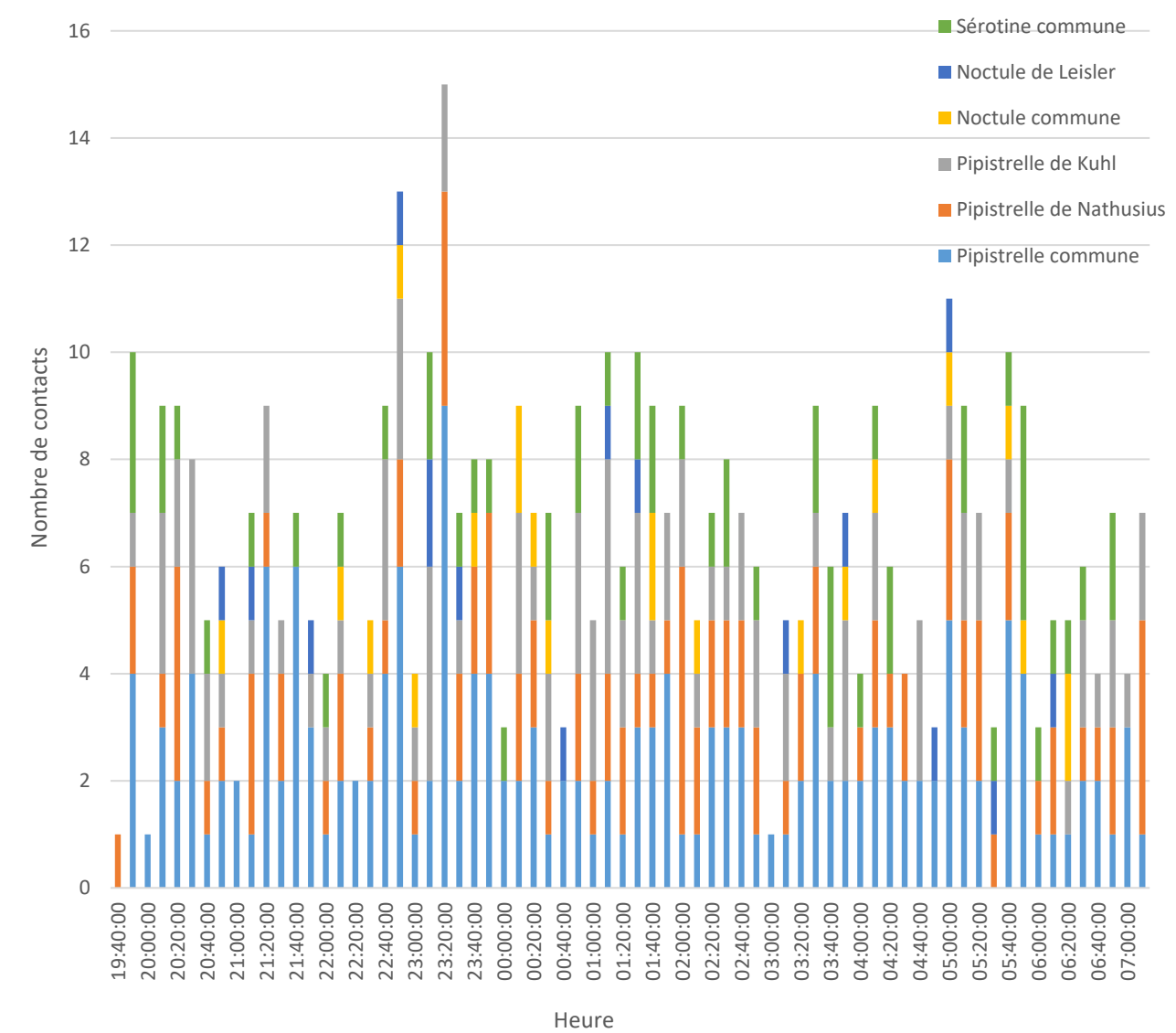
Graphique 3 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois.

En nacelle de l'éolienne E6, l'ensemble de l'activité se déroule entre 18h50 et 08h20 (Graphique 4). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec trois pics d'activité entre 21h50 et 00h10. Plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre le coucher du soleil et le lever du soleil, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne.



Graphique 4 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et novembre 2019 en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois.

En nacelle de l'éolienne E7, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h40 et 07h10 (Graphique 5). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec un pic d'activité à 23h20. De même, plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre le coucher du soleil et le lever du soleil, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne également.



Graphique 5 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et novembre 2019 en nacelle de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois.

En comparaison avec différents référentiels (dont celui d'Haquart (2015), qui est un référentiel méditerranéen) et la base de données de Sens Of Life, il est possible d'affirmer que l'activité sur le site est faible voire très faible pour la totalité des espèces contactées en nacelle (Tableau 6).

Espèce présente sur le site	Nombre moyen min/nuit en nacelle			Activité forte (min/nuit), Haquart	Niveau d'activité sur le parc
	E6	E7	Parc		
Pipistrelle commune	5,1	4,6	7,4	64,7	Très faible
Pipistrelle de Nathusius	1,8	2,6	2,2	51	Très faible
Pipistrelle de Kuhl	4,2	2,6	3,4	51	Très faible
Noctule commune	0,7	0,6	0,7	4	Faible
Noctule de Leisler	0,4	0,4	0,4	3,5	Très faible
Sérotine commune	1,0	1,5	1,3	3	Faible

Tableau 6 : Nombre de contacts horaires sur les éoliennes E6 et E7 du parc éolien de Tonnerrois, enregistrés entre mai et novembre 2019, en fonction des différentes espèces présentes, et qualification de leur activité.

II.4.3. Activité corrélée avec la vitesse de vent et la température

Le Tableau 7 et le Tableau 8 présentent l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent et de la température combinées.

		Vitesse de vent (m.s ⁻¹)													Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Température (°C)	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	4
	10	0	0	0	7	4	3	1	1	0	0	0	0	0	16
	11	1	1	1	4	6	12	3	0	0	0	0	0	0	28
	12	0	0	2	9	6	9	7	1	1	1	0	0	0	36
	13	0	0	0	5	6	7	3	1	0	0	0	0	0	22
	14	2	3	4	15	19	29	21	1	1	1	0	0	0	96
	15	1	2	5	15	13	21	8	1	1	1	0	0	0	68
	16	0	0	4	15	12	18	13	0	2	0	0	0	0	64
	17	0	1	5	23	17	15	7	1	2	1	0	1	0	73
	18	3	1	7	15	23	17	9	0	0	1	1	0	0	77
	19	1	2	2	6	11	8	7	0	1	0	0	0	0	38
	20	0	1	2	2	9	10	8	0	1	0	0	0	0	33
	21	0	0	0	5	2	2	8	2	0	0	0	0	0	19
	22	0	0	1	5	3	5	3	0	0	0	0	0	0	17
	23	0	0	0	1	2	4	7	1	0	0	0	0	0	15
	24	0	0	1	8	2	2	3	0	1	0	0	0	0	17
	25	0	0	0	0	4	1	3	1	0	0	0	0	0	9
	26	0	0	0	0	6	4	3	0	1	0	0	0	0	14
	27	0	0	0	0	2	2	5	0	0	0	0	0	0	9
	28	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	0	0	0	5
	29	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3
	30	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3
	31	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
	32	0	0	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	5
	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	8	14	35	137	150	173	125	11	12	6	1	1	0	673

Tableau 7 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) en nacelle de l'éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019.

En nacelle de E6, l'activité la plus forte (29 contacts) a été enregistrée pour une vitesse de vent de 5 m.s⁻¹ et une température de 14°C. Près de 90% des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 5,5 m.s⁻¹ et une température supérieure à 12°C.

		Vitesse de vent (m.s ⁻¹)													Total
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Température (°C)	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	1	3	2	3	0	0	0	0	9
	10	0	0	0	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	6
	11	0	3	3	9	3	2	4	1	0	1	0	0	0	26
	12	0	1	4	4	2	5	13	1	0	0	0	0	0	30
	13	0	0	2	3	1	0	5	1	1	0	0	0	0	13
	14	0	0	3	1	2	6	0	1	0	1	0	0	0	14
	15	0	0	2	5	6	3	8	0	0	1	0	0	0	25
	16	0	4	7	6	7	6	2	1	0	0	0	0	0	33
	17	0	7	7	6	7	11	4	0	0	1	0	0	0	43
	18	0	1	3	1	6	8	5	1	0	0	0	0	0	25
	19	0	1	5	5	6	8	3	2	1	0	0	0	0	31
	20	0	2	5	16	5	4	5	0	0	0	0	0	0	37
	21	0	1	0	6	4	7	9	0	0	0	0	0	0	27
	22	0	0	2	0	6	7	10	0	1	0	0	0	0	26
	23	0	1	2	1	6	13	7	0	1	0	0	0	0	31
	24	0	2	4	0	3	7	4	0	0	0	0	0	0	20
	25	0	0	4	4	5	4	1	0	1	0	0	0	0	19
	26	0	0	0	4	4	1	3	0	0	0	0	0	0	12
	27	0	0	0	1	3	1	2	0	0	0	0	0	0	7
	28	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	0	0	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	4
	31	0	0	0	1	0	3	3	0	0	0	0	0	0	7
	32	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4
	33	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	3
	34	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	35	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3
	36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	23	56	74	80	107	94	11	8	4	0	0	0	457

Tableau 8 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) en nacelle de l'éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019.

En nacelle de E7, l'activité la plus forte (16 contacts) a été enregistrée pour des vitesses de vent de 3 m.s⁻¹ et une température de 20°C. Près de 90% des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 5,5 m.s⁻¹ et une température supérieure à 11°C.

II.4.4. Activité selon la pluviométrie

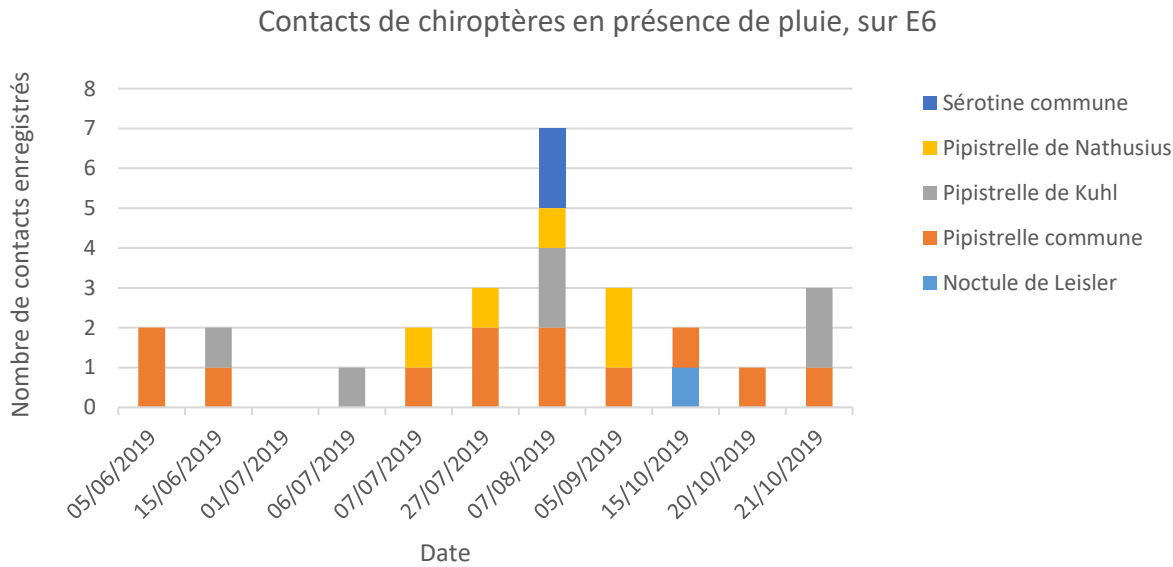
Le TrackBat est équipé d'un détecteur de pluie. Il est donc possible de savoir si un contact de chiroptère a été enregistré s'il y avait une présence ou une absence de pluie. Il n'est cependant pas possible de connaître le niveau de pluie.

Au total, 43 des 948 contacts de chiroptères ont été enregistrés lors d'épisodes pluvieux sur le site (Graphique 6 et Graphique 7), soit moins de 5% de l'activité totale. Parmi les espèces volant sur le site pendant une présence de pluie, les proportions étaient semblables à celles trouvées sur l'ensemble de la période étudiée :

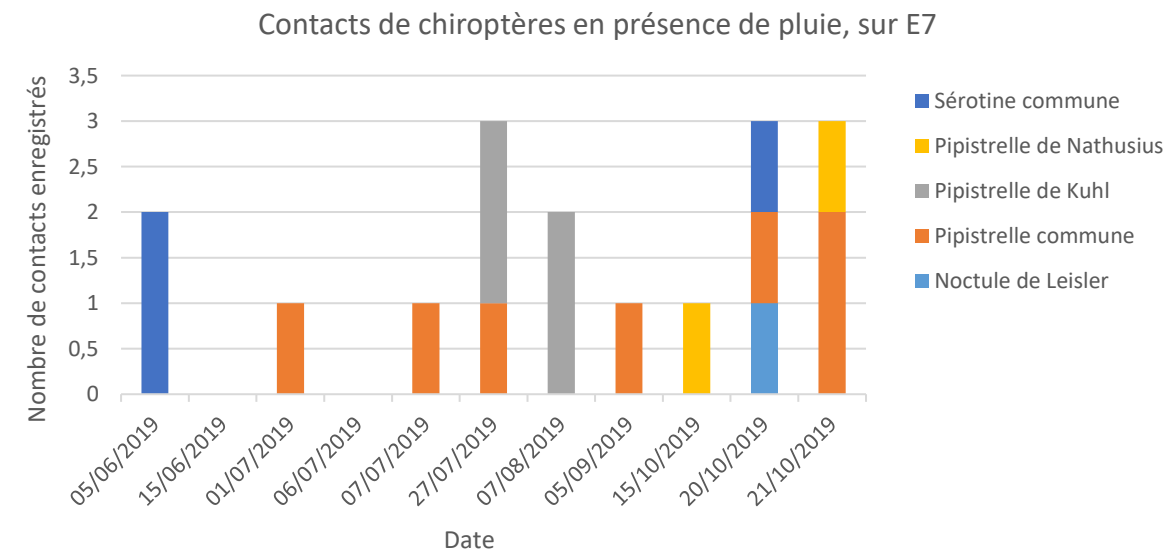
- 19 contacts de Pipistrelles communes, soit 44,2% des contacts enregistrés par temps de pluie (contre 38% en général),

- 10 contacts de Pipistrelles de Kuhl, soit 23,3% des contacts enregistrés par temps de pluie (contre 26,5% en général),
- 7 contacts de Pipistrelles de Nathusius, soit 16,3% des contacts enregistrés par temps de pluie (contre 17,4% en général),
- 5 contacts de Sérotines commune, soit 11,6% des contacts enregistrés par temps de pluie (contre 9,9% en général),
- 2 contacts de Noctules de Leisler, soit 4,7% des contacts enregistrés par temps de pluie (contre 3,2% en général).

Seule la Noctule commune n’a jamais été enregistrée par temps de pluie.



Graphique 6 : Contacts de chiroptères en présence de pluie, autour de l’éolienne E6 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019.



Graphique 7 : Contacts de chiroptères en présence de pluie, autour de l’éolienne E7 du parc éolien de Tonnerrois, entre mai et novembre 2019.

II.4.5. Zoom sur les espèces présentes

a) Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)



Figure 6 : Pipistrelle commune.
CCO domaine public.

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

Cette espèce fréquente tous les types de milieux, même les zones fortement urbanisées. Pour la chasse, on note une préférence pour les zones humides, les jardins et parcs, puis les milieux forestiers et enfin les milieux agricoles. Peu lucifuge, elle est capable de s’alimenter autour des éclairages. Elle est active dans

le premier quart d’heure qui suit le coucher du soleil. Les distances de prospection varient en fonction des milieux mais dépassent rarement quelques kilomètres. Très opportuniste, elle chasse les insectes volants, préférentiellement les Diptères mais aussi des Lépidoptères, Coléoptères, Trichoptères, Neuroptères, Cigales et Ephémères. Sur son secteur de chasse, elle vole entre 5 et 30m de hauteur mais elle peut ponctuellement utiliser le milieu aérien (notamment au-dessus de la canopée ou en transit). Les animaux se dispersent en moyenne dans un rayon de 1,3 km autour des colonies (Dietz, 2009), très rarement à plus de 5 km (Arthur et Lemaire, 2009). Ses plus longs déplacements sont saisonniers, depuis des secteurs de mise-bas vers des secteurs de reproduction (« swarming ») ou vers des secteurs d’hivernage situés généralement à moins de 20km les uns des autres.

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

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

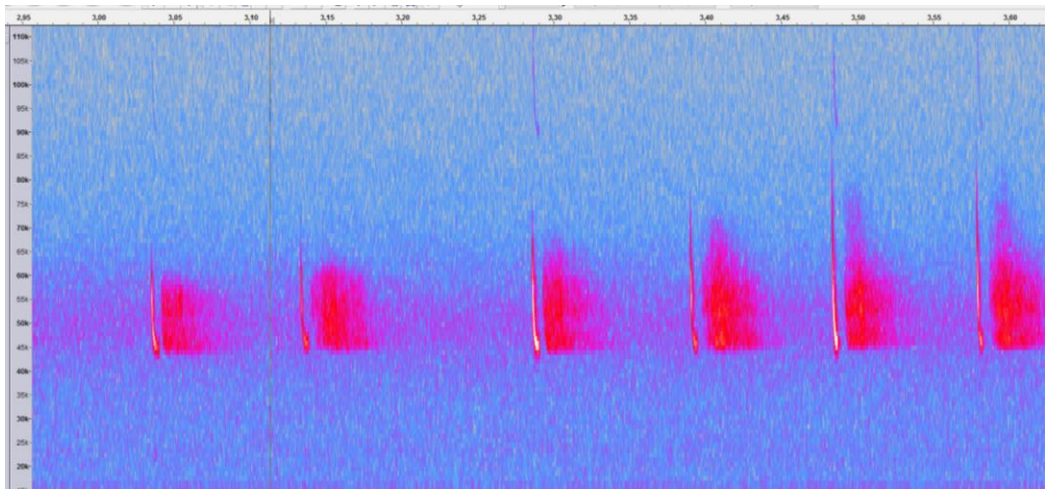


Figure 7 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune

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		
	E6	E7	Plage d'activité
Nombre de contacts corrigés	N = 189	N = 171	Total = 360
Proportion par rapport aux contacts totaux (toutes espèces)	38,5%	37,4%	38,0% des contacts totaux
Nombre maximal de contacts en fonction de la date	N = 5, le 13/07	N = 7, le 20/08	Du 01/06/19 au 31/10/19
Nombre maximal de contacts en fonction de l'heure	N = 6 à 21h20, 22h30, 00h50 et 03h20	N = 9 à 23h20	Entre 19h40 et 08h20
Nombre maximal de contacts en fonction de la température	N = 7 pour 18°C et 21°C	N = 6 pour 23°C et 24°C	9°C à 33°C
Nombre maximal de contacts en fonction du vent	N = 38 pour 5 m.s ⁻¹	N = 23 pour 5 m.s ⁻¹	0 à 8 m.s ⁻¹

Tableau 9 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019.

Concernant la mortalité en Europe, 2362 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune. C'est l'espèce dont les cas de mortalité relevés par Dürr (2019) 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 du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est élevée (3/4).**

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.



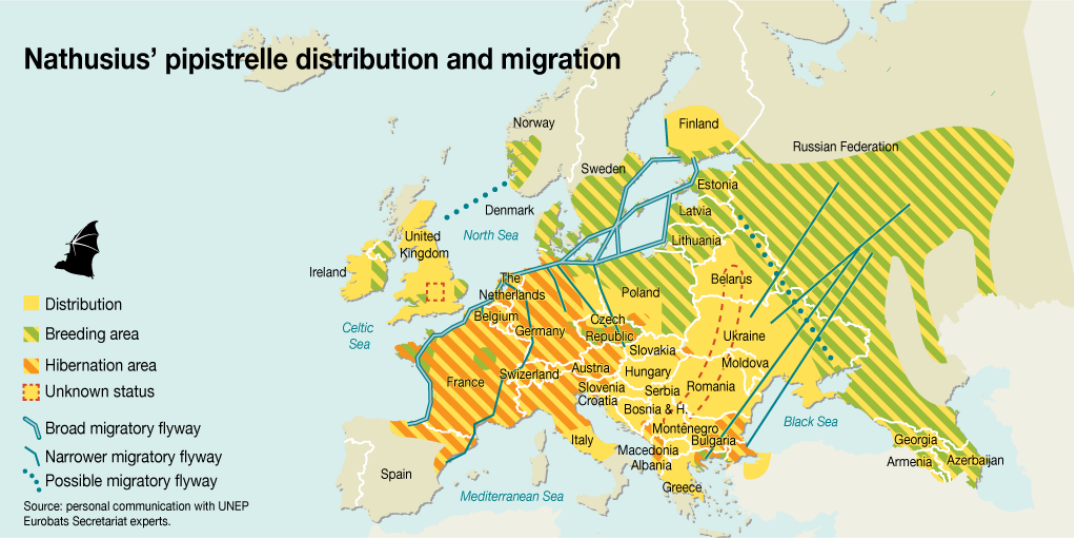
Figure 8 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.

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'hibernation. 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'hibernation 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.



Carte 3 : 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.

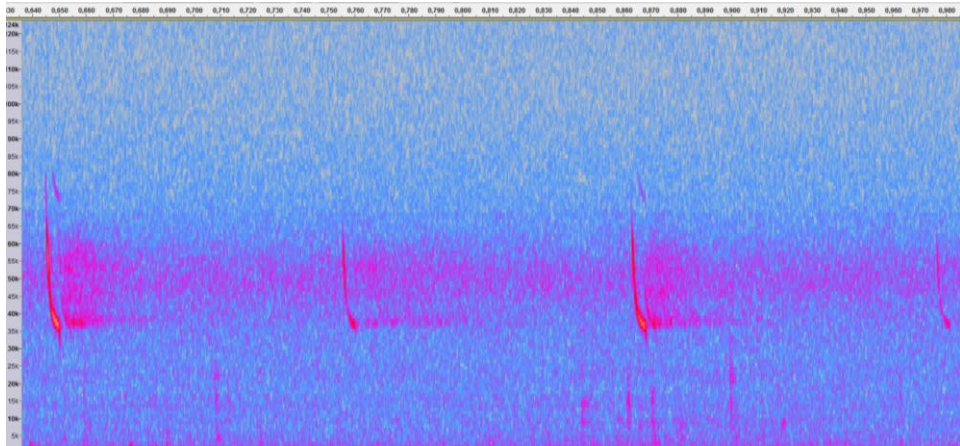


Figure 9 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

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

	Pipistrelle de Nathusius		
	E6	E7	Plage d'activité
Nombre de contacts corrigés	N = 67	N = 98	Total = 165
Proportion par rapport aux contacts totaux (toutes espèces)	13,6%	21,4%	17,4% des contacts totaux
Nombre maximal de contacts en fonction de la date	N = 6, le 29/08	N = 4, le 01/09	Du 05/06/19 au 25/10/2019
Nombre maximal de contacts en fonction de l'heure	N = 3 à 21h50, 00h50, 03h00, 04h20 et 05h00	N = 5 à 02h00	Entre 18h50 et 07h20
Nombre maximal de contacts en fonction de la température	N = 11 pour 19°C	N = 12 pour 22°C	9 à 34°C
Nombre maximal de contacts en fonction du vent	N = 17 pour 4,5 m.s ⁻¹	N = 15 pour 5 m.s ⁻¹	0 à 6,5 m.s ⁻¹

Tableau 10 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019.

La Pipistrelle de Nathusius apparaît comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes : avec 1564 cas recensés en Europe (Dürr, 2019), 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 du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée (3,5/4).**

c) Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)



Figure 10 : 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 se situe entre 2 et 3 ans.

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

	Pipistrelle de Kuhl		
	E6	E7	Plage d'activité
Nombre de contacts corrigés	N = 156	N = 95	Total = 251
Proportion par rapport aux contacts totaux (toutes espèces)	31,8%	20,8%	26,5% des contacts totaux
Nombre maximal de contacts en fonction de la date	N = 5, le 28/07	N = 5, le 05/08	Du 02/06/19 au 31/10/2019
Nombre maximal de contacts en fonction de l'heure	N = 7, à 00h10	N = 4, à 20h30, 23h10 et 01h10	Entre 19h20 et 07h20
Nombre maximal de contacts en fonction de la température	N = 17 pour 17°C	N = 11 pour 19°C	9 à 34°C
Nombre maximal de contacts en fonction du vent	N = 35 pour 5 m.s ⁻¹	N = 21 pour 5 m.s ⁻¹	0 à 7,5 m.s ⁻¹

Tableau 11 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019.

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, 2019). Ceci s'explique par son affinité pour les milieux ouverts, sa tendance à suivre les structures verticales et par sa curiosité (LPO Rhône-Alpes). **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est relativement élevée (2,5/4).**

d) Noctule commune (*Nyctalus noctula*)



Figure 11 : 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.

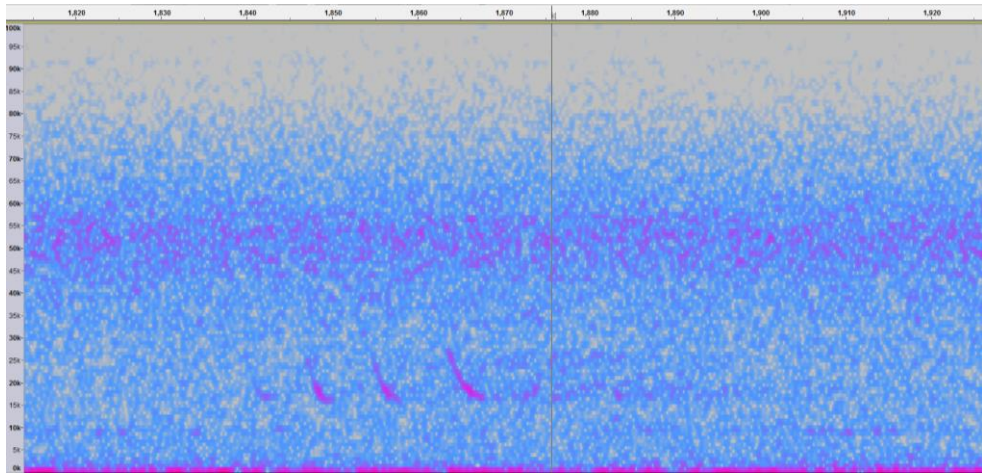


Figure 12 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune

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

	Noctule commune		
	E6	E7	Plage d’activité
Nombre de contacts corrigés	N = 27	N = 21	Total = 48
Proportion par rapport aux contacts totaux (toutes espèces)	5,5%	4,6%	5,1% des contacts totaux
Nombre maximal de contacts en fonction de la date	N = 2, le 26/10	N = 2, le 19/06 et le 29/07	Du 19/05/19 au 26/10/19
Nombre maximal de contacts en fonction de l’heure	N = 3, à 23h30	N = 2, à 00h10, 01h40 et 06h20	Entre 20h10 et 07h50
Nombre maximal de contacts en fonction de la température	N = 5 pour 11°C et 13°C	N = 4 pour 11°C	9 à 33°C
Nombre maximal de contacts en fonction du vent	N = 5 pour 7 m.s ⁻¹	N = 3 pour 4, 4,5 et 6,5 m.s ⁻¹	0,5 à 8,5 m.s ⁻¹

Tableau 12 : Données d’activité de la Noctule commune sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019.

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 du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée (3,5/4).**

e) Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)



Figure 13 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.

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.

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

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

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

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

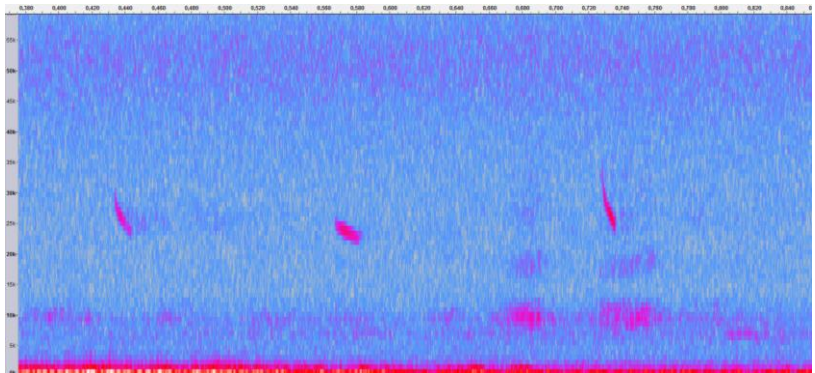


Figure 14 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

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

	Noctule de Leisler		
	E6	E7	Plage d'activité
Nombre de contacts corrigés	N = 14	N = 16	Total = 30
Proportion par rapport aux contacts totaux (toutes espèces)	2,9%	3,5%	3,2% des contacts totaux
Nombre maximal de contacts en fonction de la date	N = 2, le 25/09 et le 05/10	Trop peu de données	Du 26/05/19 au 27/10/19
Nombre maximal de contacts en fonction de l'heure	N = 2, à 01h00	N = 2, à 23h10	Entre 20h20 et 06h10
Nombre maximal de contacts en fonction de la température	N = 3 pour 13 et 17°C	N = 4 pour 19°C	9 à 29°C
Nombre maximal de contacts en fonction du vent	N = 3 pour 6 et 7 m.s ⁻¹	N = 3 pour 1,5 m.s ⁻¹	1,5 à 8,5 m.s ⁻¹

Tableau 13 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019.

La Noctule de Leisler est la 4^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 711 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine (Dürr, 2019). Sa technique de chasse en hauteur et ses grands déplacements à des altitudes à risque expliquent sa sensibilité. **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est élevée (3/4).**

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.

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.



Figure 15 : Sérotine commune. CCO domaine public.

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.

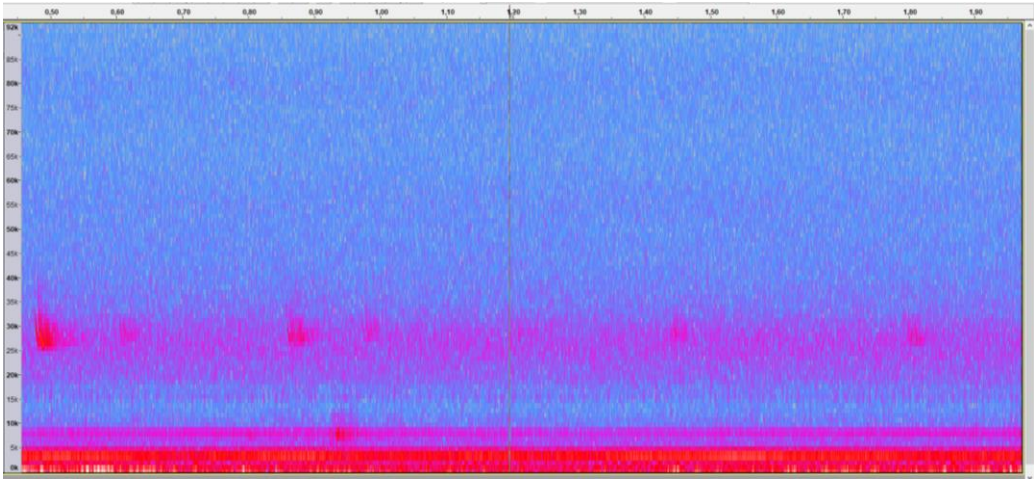


Figure 16 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

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

	Sérotine commune		
	E6	E7	Plage d'activité
Nombre de contacts corrigés	N = 38	N = 56	Total = 94
Proportion par rapport aux contacts totaux (toutes espèces)	7,7%	12,3%	9,9 % des contacts totaux
Nombre maximal de contacts en fonction de la date	N = 2, le 24/05, le 27/05, le 05/06, le 10/06, le 07/08, le 19/08 et le 01/09	N = 3, le 19/07, le 01/09, le 16/09 et le 25/10	Du 20/05/19 au 27/10/19
Nombre maximal de contacts en fonction de l'heure	N = 3, à 02h20	N = 4, à 05h50	Entre 19h50 et 06h50
Nombre maximal de contacts en fonction de la température	N = 11 pour 16°C	N = 7 pour 16°C	9 à 33°C
Nombre maximal de contacts en fonction du vent	N = 6 pour 4,5 et 5 m.s ⁻¹	N = 11 pour 4,5 m.s ⁻¹	0 à 5,5 m.s ⁻¹

Tableau 14 : Données d'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Tonnerrois en 2019.

La Sérotine commune est la 10^{ème} espèce la plus impactée par l'éolien en Europe : 116 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, 2019). 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 du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est relativement élevée (2,5/4).**

II.5. Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes

Le Tableau 15 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 BFC	Indice de vulnérabilité
Noctule commune	IV	II	I	LC	VU	DD	3,5
Pipistrelle de Nathusius	IV	II	I	LC	NT	DD	3,5
Pipistrelle commune	IV	II	I	LC	NT	LC	3
Noctule de Leisler	IV	II	I	LC	NT	NT	3
Sérotine commune	IV	II	I	LC	NT	LC	2,5
Pipistrelle de Kuhl	IV	II	I	LC	LC	LC	2,5

Tableau 15 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Tonnerrois entre mai et novembre 2019.

Légende :
Directive Habitats = Directive européenne dite Directive Habitats-Faune-Flore
Berne/Bonn = Convention de Berne/Bonn
EUROBATS = Convention de Bonn, accord EUROBATS
LR Europe/France = Liste rouge Européenne/Française (2017) ; LR BFC = Liste rouge Bourgogne-Franche-Comté (2015)
CR : En danger critique
EN : En danger
VU : Vulnérable
NT : Quasi menacée
LC : Préoccupation mineure
DD : Données insuffisantes
NA : Non applicable
NE : Non évalué

La Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius sont les deux espèces les plus sensibles au risque de collision avec les pales des éoliennes. La Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Noctule de Leisler et la Sérotine commune ont également une forte sensibilité au risque de collision. En croisant les niveaux de patrimonialité et de sensibilité à l'éolien, il est possible de classer les espèces par ordre de risque d'impact, du plus fort au plus faible :

- 1) La Noctule commune, vulnérable à l'échelle nationale et très fortement sensible à l'éolien, avec une activité faible sur le site ;

- 2) La Pipistrelle de Nathusius, quasi-menacée à l'échelle nationale et très fortement sensible à l'éolien, avec une activité très faible sur le site ;
3) La Noctule de Leisler, quasi-menacée aux niveaux national et régional, et fortement sensible à l'éolien, avec une activité très faible sur le site ;
4) La Pipistrelle commune, quasi-menacée au niveau national, et fortement sensible à l'éolien, avec une activité très faible sur le site ;
5) La Sérotine commune, quasi-menacée à l'échelle nationale et sensible à l'éolien, avec une activité faible sur le site ;
6) La Pipistrelle de Kuhl, non menacée à l'échelle nationale et sensible à l'éolien, avec une activité très faible sur le site.

⇒ Synthèse du suivi d'activité des chiroptères sur le parc éolien de Tonnerrois par deux TrackBats

Avec un total de 712 contacts corrigés, 6 espèces ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente environ 38% des contacts (38,5% en E6 et 37,4% en E7) ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 26,5% des contacts (31,8% en E6 et 20,8% en E7) ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 17,4% des contacts (13,6% en E6 et 21,4% en E7) ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 9,9% des contacts (7,7% en E6 et 12,3% en E7) ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 5,1% des contacts (5,5% en E6 et 4,6% en E7) ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 3,2% des contacts (2,9% en E6 et 3,5% en E7).

L'activité sur le site est considérée comme très faible pour la majeure partie des espèces contactées en nacelle, et comme faible pour la **Noctule commune** et la **Sérotine commune**, d'après le référentiel Sens Of Life et le référentiel d'Haquart (2015).

L'ensemble des contacts a été enregistré du 18 mai au 02 novembre 2019. Sur E6, 90% des contacts sont concentrés entre le 13 juin et le 23 octobre 2019, avec des pics d'activité enregistrés le 13 juillet 2019 et la 2^{ème} semaine d'août. Pour E7, 90% des contacts sont concentrés entre le 17 juin et le 25 octobre 2019, avec un pic d'activité enregistré le 20 août 2019.

Sur E6, l'ensemble de l'activité se déroule entre 18h50 et 08h20, avec des pics d'activité entre 21h50 et 00h10. Sur E7, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h40 et 07h10, avec un pic d'activité à 23h20. Plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre le coucher du soleil et le lever du soleil, 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 11 m.s⁻¹, dont 95% de cette activité pour des vitesses de vent inférieures à 5,5 m.s⁻¹, que ce soit sur E6 ou E7. Des pics d'activité ont été enregistrés pour une vitesse de vent de 5 m.s⁻¹ sur E6 et de 3 m.s⁻¹ sur E7.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des températures comprises entre 9°C et 35°C, dont 90% de cette activité pour des températures supérieures à 11°C sur E7 et 12°C sur E6. Des pics d'activité ont été enregistrés pour une température de 14°C sur E6 et de 14°C et 20°C sur E7.

III. Suivi de la mortalité

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

III.1. Protocole

Le suivi de la mortalité est basé sur un protocole développé par l'équipe d'Arnett (Casselman Wind Project, 2008-2010), puis adapté et appliqué en Europe par des membres de notre équipe sur le parc éolien de Bouin (Lagrange *et al.*, 2009).

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 (Figure 17). L'opération nécessite 35 minutes de parcours, auxquelles s'ajoutent 10 minutes de relevés de cadavres. La surface prospectée est de 8659 m² ($S = \pi.R^2$, avec $R = 52,5$ mètres, dont 50 mètres de corde et 2,5 mètres de prospection).

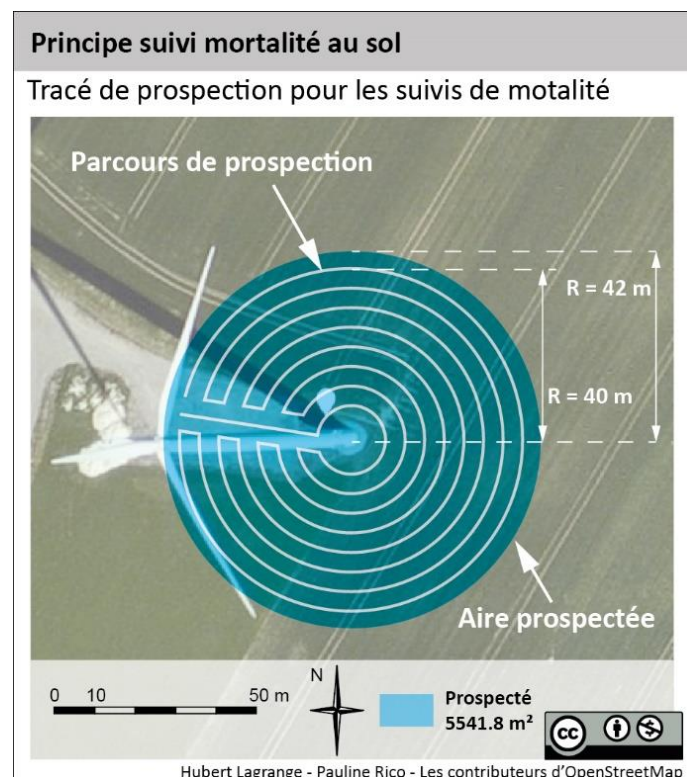


Figure 17 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne. Ici, l'aire de recherche a été augmentée à un rayon de 50m.

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) :

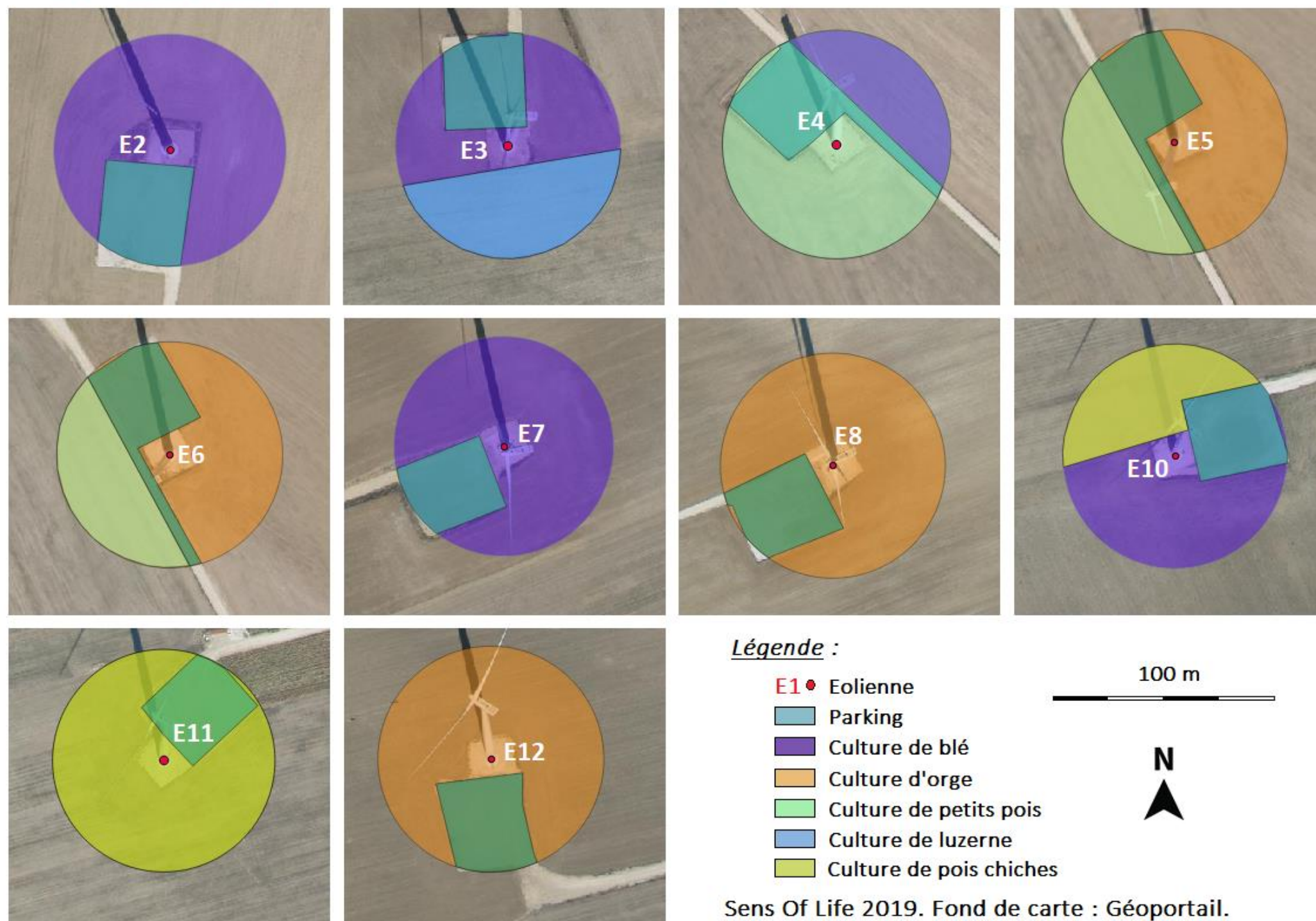
- La nature des individus (taille et poids) ;
- Du protocole de recherche implémenté, avec une détectabilité maximale avec des prospections au-delà de 50 mètres de rayon ;
- De la visibilité du terrain prospecté (couverture végétale, relief...) ;
- De la durée des suivis (moyenne de 25 semaines/an en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

III.1.1. 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 4 montre un aperçu des zones prospectables au sein des surfaces délimitées pour la recherche de cadavres sur le parc éolien de Tonnerrois.



Occupation de la surface de recherche Parc éolien de Tonnerrois Yonne (89)



Carte 4 : Surfaces prospectables et types de culture, sous les 10 éoliennes du parc éolien de Tonnerrois.

III.1.2. Test de prédation

Les cadavres des oiseaux et chauves-souris tombés au sol sont consommés par divers prédateurs, tels que des renards, corneilles, sangliers, guêpes... Leur disparition est susceptible d'affecter l'évaluation de la mortalité induite par les éoliennes. Pour évaluer ce biais, le taux de prédation des cadavres doit être évalué, selon le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres défini par le Ministère de la transition écologique et solidaire (document révisé en 2018).

Pour prendre en compte d'éventuelles variations entre éoliennes, ce test a été conduit sous chaque éolienne.

La prédation est testée sur les cadavres des chauves-souris et d'oiseaux tués par les éoliennes sur le site. Cette technique permet d'éviter d'attirer les prédateurs avec des cadavres autres que ceux des chauves-souris et oiseaux morts sur site, ou de risquer d'avoir des résultats biaisés par la mise en place de cadavres plus appétants que des cadavres de chauves-souris et d'oiseaux.

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

III.1.3. 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, 2009). Cependant, l'utilisation de leurres artificiels permet de s'affranchir d'une éventuelle altération de la pression de prédation.

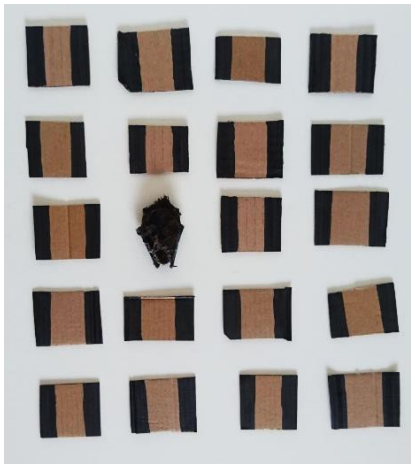


Figure 18 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection.

Nous avons testé le taux de détection par la pose de 4 leurres d'oiseaux et de 10 leurres de chauves-souris (Figure 18), réalisés en carton, sous chacune des éoliennes du parc, dans les zones où la prospection était possible. La répartition du nombre de leurres déposés et les dates de mise en place sont détaillées dans le Tableau 18. Cette approche prend en compte d'éventuelles variations de détection en fonction de la couverture du sol et du contexte sous chacune des éoliennes. Un observateur a ensuite collecté les leurres au cours des passages dédiés aux suivis de mortalité, en suivant le protocole décrit dans le début du paragraphe.

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

III.1.4. Estimation de la mortalité réelle

La mortalité réelle a été calculée grâce à trois formules différentes : Erickson *et al.* (2000), Huso (2010) et Bastos *et al.* (2013). La formule de Korner-Nievergelt *et al.* (2011) ne peut être utilisée dans notre cas, le biais de prédation ayant été estimé tous les 3 jours, et non sur 24 h comme le demande cette formule.

La formule d'Erickson *et al.* (2000) utilise le taux de persistance des cadavres comme le nombre moyen de jours de persistance (t_m) 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 globalement le nombre de cadavres tués, ce qui n'est pas le cas ici.

$$M = I \times C / t_m \times p$$

Avec :

- m = nombre effectif de victimes estimé,
- I = intervalle (en nombre de jours) entre les contrôles,
- C = nombre de cadavres trouvés,
- t_m = temps de séjour moyen (en jours) des cadavres,
- p = taux d'efficacité de l'observateur.

La formule d'Huso (2010) présuppose que la persistance des cadavres dans le temps suit 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.

$$N = \frac{c}{p} \quad \text{et} \quad p = f * k * \frac{t * (1 - e^{-d'' * t})}{d''}$$

Avec :

- N = nombre d'individus potentiellement tués
- c = nombre de cadavres trouvés
- p = probabilité de persistance d'un cadavre
- f = taux de détection
- k = min (1, d'/d)
- t = temps moyen de persistance d'un cadavre
- d = durée de l'intervalle entre les recherches
- d' = -log (0.01)*t
- d'' = min (d, d')

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.

$$N = 10 \exp[0.276 + 0.471 * \log_{10}(a + 1) + 0.463 * \log_{10}(b + 1) + 0.45 * \log_{10}(c + 1) + 0.638 * \log_{10}(d + 1) - 0.432 * \log_{10}(e + 1) - 3.633 * \log_{10}(f + 1)] - 1$$

Avec :

N = nombre d'individus potentiellement tués pendant la période b
a = durée de l'intervalle entre les recherches
b = durée du suivi
c = nombre de turbines
d = nombre de cadavres trouvés
e = taux de persistance d'un cadavre
f = taux de détection

III.2. Données brutes de mortalité

L'identification des chauves-souris a été réalisée par analyse morphologique de la dentition des cadavres, après avoir été conservés congelés (Figure 19). L'ouvrage d'Arthur et Lemaire (2009) a été utilisé comme référence.

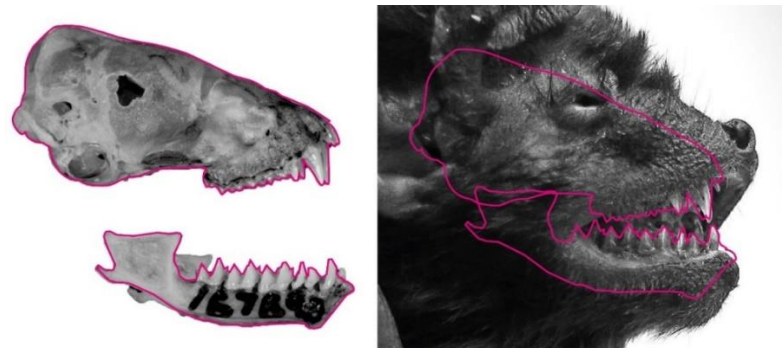


Figure 19 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler.

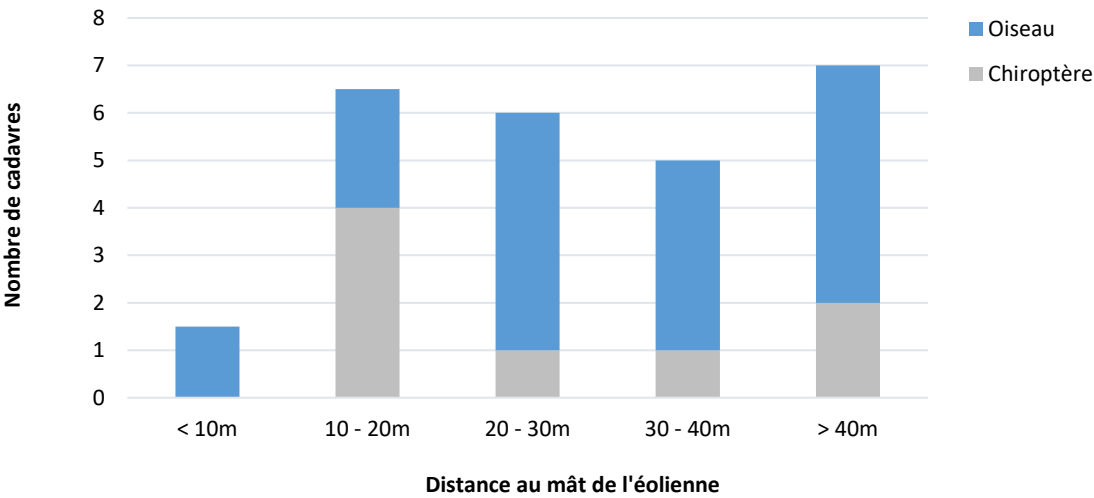
L'identification des oiseaux a été réalisée à partir du plumage, de la taille du squelette et de la forme des pattes et du bec, en se référant à l'ouvrage de Svensson, Mullarney et Zetterström (2015) et aux sites Internet :

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

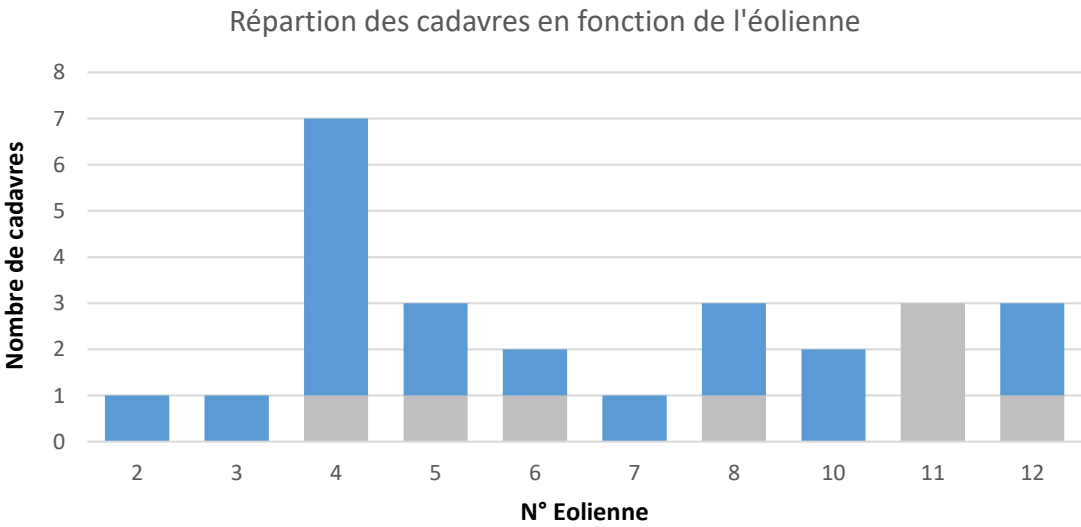
Le suivi de mortalité du parc éolien de Tonnerrois est basé sur un passage par semaine entre mai et octobre, soit une pression d'échantillonnage relativement importante. L'ensemble des éoliennes a été suivi au cours de 24 passages réalisés aux dates listées dans le Tableau 17. Au total, vingt-six cadavres ont été retrouvés au cours des suivis de mortalité.

Espèce	Nom latin	Type	Statut de conservation	Sexe	Age	Coordonnées GPS	Eolienne proche	Distance au mât	Orientation p/ au mât	Date
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	NT		Ad	47,698671 ; 4,063427	E2	10 m	Sud	13/05/2019
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	Rapace	LC			47,705461 ; 4,069335 47,705260 ; 4,069454	E4	04 m 10 m	Ouest Nord	19/06/2019
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	Rapace	NT	M	Ju	47,724037 ; 4,048255	E12	10 m	Nord	25/06/2019
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	Rapace	LC			47,700783 ; 4,061702	E3	50 m	Sud-est	10/07/2019
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	Rapace	LC			47,705282 ; 4,069404	E4	50 m	Sud	10/07/2019
Espèce indéterminée		Passereau				47,4253 ; 4,03458	E7	08 m	Sud-ouest	17/07/2019
Espèce indéterminée		Chiroptère				47,43213 ; 4,03007	E11	50 m	Nord	23/07/2019
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	Passereau	NT			47,43127 ; 4,03117	E4	35 m	Sud	23/07/2019
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Chiroptère	NT			47,43193 ; 4,03016	E11	12 m	Nord-Est	06/08/2019
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Chiroptère	VU	M		47,43011 ; 4,03409	E8	10 m	Ouest	20/08/2019
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Chiroptère	NT			47,4239 ; 4,03507	E6	55 m	Ouest	27/08/2019
Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	Passereau	LC		Ju	47,43125 ; 4,0309	E10	22 m	Nord-Ouest	05/09/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC	M	Ad	47,4301 ; 4,03397	E8	46 m	Ouest	05/09/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC	M	Ad	47,42382 ; 4,03531	E6	25 m	Sud-Ouest	05/09/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC	M	Ad	47,42291 ; 4,04034	E5	36 m	Sud-Est	05/09/2019
Espèce indéterminée		Chiroptère				47,42198 ; 4,04088	E4	25 m	Nord-Ouest	05/09/2019
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Chiroptère	NT			47,43193 ; 4,03024	E11	13 m	Est	10/09/2019
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Passereau	LC			47,7054044 ; 4,069715	E4	36 m	Est	09/10/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC			47,724372 ; 4,048485	E12	45 m	Est	09/10/2019
Espèce indéterminée		Passereau				47,43128 ; 4,03098	E10	25 m	Nord	17/10/2019
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Passereau	LC			47,708365 ; 4,067432	E5	35 m	Sud	17/10/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC			47,705841 ; 4,069083	E4	42 m	Nord-Est	17/10/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC			47,716796 ; 4,061401	E8	25 m	Sud	22/10/2019
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Passereau	LC			47,705712 ; 4,06928	E4	27 m	Nord	22/10/2019
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Chiroptère	NT			47,708041 ; 4,066699	E5	40 m	Sud-Ouest	22/10/2019
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Chiroptère	NT	M		47,724125 ; 4,048019	E12	12 m	Ouest	22/10/2019

Tableau 16 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés lors des suivis de mortalité dans le parc éolien de Tonnerrois.



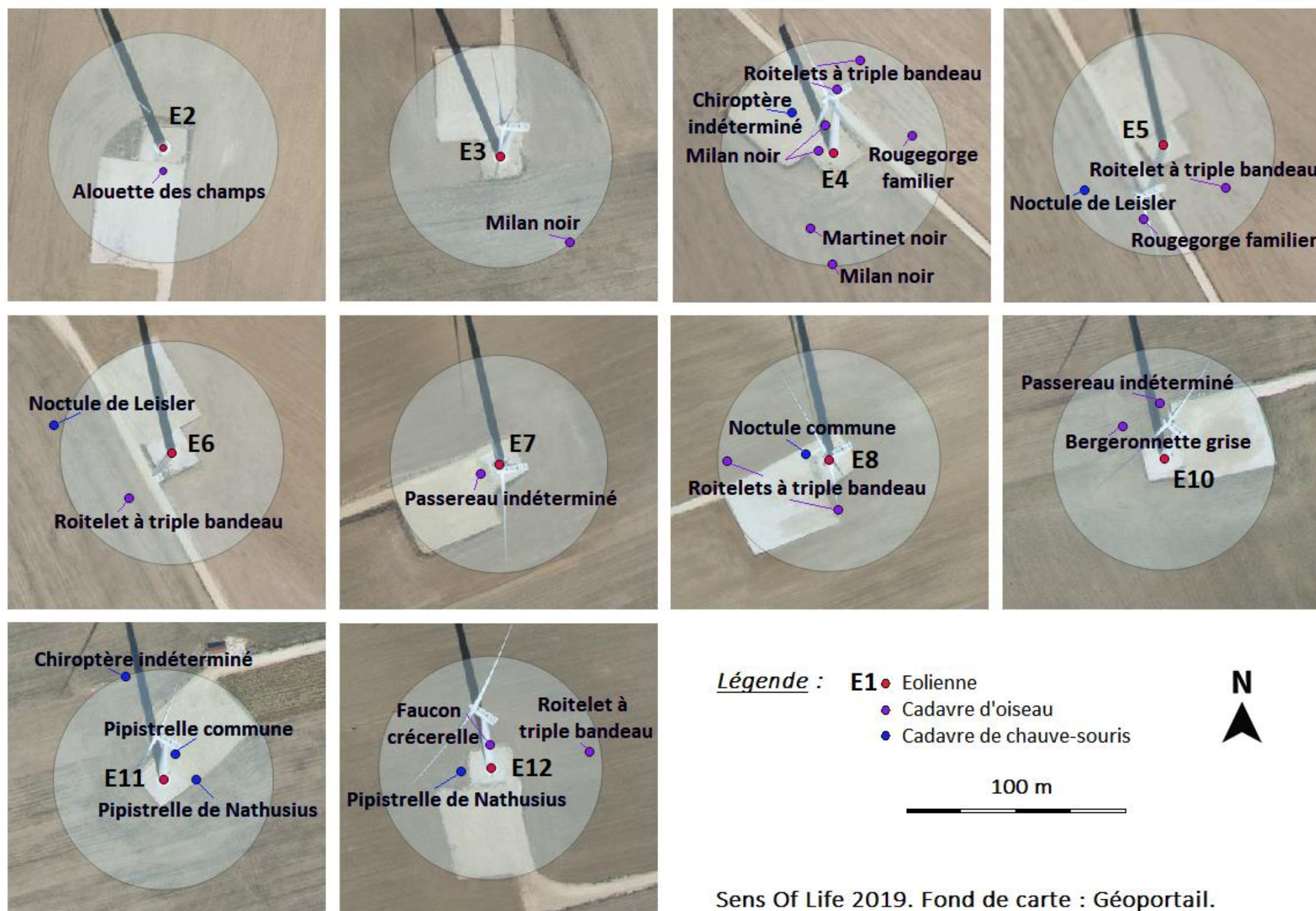
Graphique 8 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la distance au mât, sur le parc éolien de Tonnerrois



Graphique 9 : Répartition des cadavres en fonction des éoliennes du parc éolien de Tonnerrois



Localisation des cadavres retrouvés Parc éolien de Tonnerrois Yonne (89)



Carte 5 : Localisation des cadavres sous les éoliennes du parc éolien de Tonnerrois

III.3.Estimation du nombre effectif de victimes et facteurs de correction

III.3.1. Occupation du sol et surface prospectée

Au pied des éoliennes, la plus grande partie du sol est occupée par de grandes cultures de graminées et de fabacées. Au cours du mois de juin, les cultures ont commencé à être trop hautes donc certaines surfaces n’ont pas pu être prospectées entièrement. La couverture végétale sous les éoliennes de Tonnerrois 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 17). Les croix indiquent qu’une éolienne n’était pas accessible pendant le suivi de mortalité (moisson, épandage, travail sur l’éolienne...).

Date	Surface prospectable									
	E 2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E10	E11	E12
13/05/19	20%	20%	60%	50%	50%	20%	20%	50%	90%	20%
21/05/19	20%	20%	60%	50%	50%	20%	X	50%	90%	20%
28/05/19	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	50%	90%	20%
05/06/19	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	90%	20%
12/06/19	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	90%	20%
19/06/19	20%	50%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	90%	20%
25/06/19	20%	50%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	90%	20%
05/07/19	20%	50%	20%	20%	20%	20%	20%	50%	20%	20%
10/07/19	20%	50%	70%	X	60%	20%	20%	50%	100%	100%
17/07/19	20%	50%	100%	80%	60%	20%	20%	20%	20%	100%
23/07/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	70%	25%	100%
31/07/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	70%	25%	100%
06/08/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	70%	25%	100%
13/08/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	70%	25%	100%
20/08/19	100%	100%	100%	100%	60%	100%	100%	70%	25%	100%
27/08/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
05/09/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
10/09/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
19/09/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
23/09/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
30/09/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
09/10/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
17/10/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
22/10/19	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	66.7%	72.9%	75.4%	73.9%	70.8%	66.7%	68.7%	66.7%	74.8%	73.3%

Tableau 17 : Couvert végétal et surface prospectée pour chaque éolienne du parc éolien de Tonnerrois

III.3.2. Test de prédation

Le taux de prédation sur le parc éolien de Tonnerrois a été évalué grâce au calcul du temps de séjour moyen d’un cadavre et du taux de persistance des cadavres. 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. Le temps de séjour moyen d’un cadavre est estimé à 5,3 jours et le taux de persistance au deuxième jour est estimé à 60%. Les résultats de ce test montrent que la prédation sur le site d’étude est modérée, mais étant donné que l’intervalle moyen entre deux prospections est de 7 jours, une chauve-souris ou un oiseau, tué

durant les premières nuits suivant une recherche, aura une faible probabilité d’être retrouvé lors de la recherche suivante.

III.3.3. Test du taux de détection

Le taux de détection de l’observateur a été calculé au moyen d’un test : 4 leurres d’oiseaux en carton (de différentes tailles pour représenter les différents groupes) et 10 leurres de chauves-souris en carton ont été éparpillés dans la zone prospectable sous chaque éolienne. Ce test a été effectué deux fois, permettant de faire une estimation moyenne de l’efficacité de l’observateur sous chaque éolienne (Tableau 18).

Eolienne	Leurres retrouvés (13/08/19)		Taux de détection (13/08/19)		Leurres retrouvés (22/10/19)		Taux de détection (22/10/19)		Taux de détection moyen	
	Oiseaux	Chiroptères	Oiseaux	Chiroptères	Oiseaux	Chiroptères	Oiseaux	Chiroptères	Oiseaux	Chiroptères
E2	4	4	100%	40%	4	6	100%	60%	100%	50%
E3	4	5	100%	50%	4	4	100%	40%	100%	45%
E4	3	0	75%	0%	4	5	100%	50%	88%	25%
E5	4	2	100%	20%	4	6	100%	60%	100%	40%
E6	2	5	50%	50%	4	7	100%	70%	75%	60%
E7	4	9	100%	90%	4	4	100%	40%	100%	65%
E8	4	5	100%	50%	4	8	100%	80%	100%	65%
E10	4	4	100%	40%	4	4	100%	40%	100%	40%
E11	4	5	100%	50%	4	7	100%	70%	100%	60%
E12	4	6	100%	60%	3	1	75%	10%	88%	35%
Moyenne du parc			92.5%	45.0%	Moyenne du parc		97.5%	52.0%	95.0%	48.5%

Tableau 18 : Évaluation du taux de détection de cadavres sous chaque éolienne du parc éolien de Tonnerrois.

Le taux de détection sous les éoliennes varie de 0% à 100%, avec une excellente détection moyenne de 95,0% pour les oiseaux et une plus faible détection moyenne de 48,5% pour les chiroptères, sur l’ensemble du parc éolien.

III.3.4. Estimation de la mortalité réelle

a) Mortalité réelle des oiseaux sur le parc de Tonnerrois

Les trois formules de Bastos *et al.* (2013), d’Huso (2000) et d’Erickson *et al.* (2010) présentées précédemment ont été appliquées sur l’ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux (Tableau 19), puis la mortalité estimée a été corrigée selon la surface réellement prospectée (Tableau 20).

Éolienne	Taux de détection	Nombre de cadavres	Mortalité estimée, Huso (2010)	Mortalité estimée, Erickson <i>et al.</i> (2000)	Mortalité estimée, Bastos <i>et al.</i> (2013)
E2	1,00	1	16,36	1,3	2,1
E3	1,00	1	16,36	1,3	2,1
E4	0,88	6	112,16	9,1	7,8
E5	1,00	2	32,71	2,6	3,0
E6	0,75	1	21,81	1,8	4,1
E7	1,00	1	16,36	1,3	2,1
E8	1,00	2	32,71	2,6	3,0
E10	1,00	2	32,71	2,6	3,0
E11	1,00	0	-	-	1,0
E12	0,88	2	37,39	3,0	4,1
Parc	0,95	18	309,92	25,0	30,0
Nb oiseaux/éolienne			31,0	2,5	3,0

Tableau 19 : Mortalité estimée des oiseaux selon les formules de Bastos *et al.* (2013), d'Erickson *et al.* (2000) et d'Huso (2010), sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019.

Eolienne	Nombre de cadavres	Surface prospectée (%)	Mortalité corrigée, Huso (2010)	Mortalité corrigée, Erickson <i>et al.</i> (2000)	Mortalité corrigée, Bastos <i>et al.</i> (2013)
E2	1	66,7%	21,8	1,8	2,8
E3	1	72,9%	20,8	1,7	2,7
E4	6	75,4%	139,7	11,3	9,7
E5	2	73,9%	41,2	3,3	3,8
E6	1	70,8%	28,2	2,3	5,3
E7	1	66,7%	21,8	1,8	2,8
E8	2	68,7%	43,0	3,5	4,0
E10	2	66,7%	43,6	3,5	4,1
E11	0	74,8%	-	-	1,3
E12	2	73,3%	47,4	3,8	5,2
Parc	18	71,0%	399,8	32,3	38,7
Nb oiseaux/éolienne			40,0	3,2	3,9

Tableau 20 : Mortalité des oiseaux, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019.

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Tonnerrois est estimée entre 3,2 (Erickson *et al.*, 2000) et 40,0 (Huso, 2000) oiseaux tués, sur la période d'étude, de mai à octobre 2019. Si l'on considère que l'activité de l'avifaune est constante au cours de l'année, et que l'activité et la mortalité sont proportionnelles, alors la mortalité annuelle serait donc près de deux fois plus élevée.

Pour les oiseaux, 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 2019, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien de Tonnerrois est donc inférieure aux chiffres trouvés dans la bibliographie. Cependant, il est important de souligner que l'éolienne E4 présente une mortalité supérieure à cette limite.

b) Mortalité réelle des chiroptères sur le parc de Tonnerrois

Les trois formules de Bastos *et al.* (2013), d'Huso (2000) et d'Erickson *et al.* (2010) présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux (Tableau 21), puis la mortalité estimée a été corrigée selon la surface réellement prospectée (Tableau 22).

Éolienne	Taux de détection	Nombre de cadavres	Mortalité estimée, Huso (2010)	Mortalité estimée, Erickson <i>et al.</i> (2000)	Mortalité estimée, Bastos <i>et al.</i> (2013)
E2	0,50	0	-	-	4,7
E3	0,45	0	-	-	5,5
E4	0,25	1	65,4	5,3	16,2
E5	0,40	1	40,9	3,3	10,4
E6	0,60	1	27,3	2,2	6,0
E7	0,65	0	-	-	3,0
E8	0,65	1	25,2	2,0	5,3
E10	0,40	0	-	-	6,3
E11	0,60	3	81,8	6,6	9,9
E12	0,35	1	46,7	3,8	12,0
Parc	0,49	8	269,8	21,8	50,8
Nb chiroptères/éolienne			27,0	2,2	5,1

Tableau 21 : Mortalité estimée des chiroptères selon les formules de Bastos *et al.* (2013), d'Erickson *et al.* (2000) et d'Huso (2010), sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019.

Eolienne	Nombre de cadavres	Surface prospectée (%)	Mortalité corrigée, Huso (2010)	Mortalité corrigée, Erickson <i>et al.</i> (2000)	Mortalité corrigée, Bastos <i>et al.</i> (2013)
E2	0	66,7%	-	-	6,3
E3	0	72,9%	-	-	6,9
E4	1	75,4%	81,5	6,6	20,2
E5	1	73,9%	51,6	4,2	13,1
E6	1	70,8%	35,2	2,8	7,8
E7	0	66,7%	-	-	4,0
E8	1	68,7%	33,0	2,7	6,9
E10	0	66,7%	-	-	8,4
E11	3	74,8%	102,4	8,3	12,4
E12	1	73,3%	59,2	4,8	15,2
Parc	8	71,0%	348,1	28,1	65,5
Nb chiroptères/éolienne			34,8	2,8	6,5

Tableau 22 : Mortalité des chiroptères, corrigée selon les coefficients surfaciques, sur le parc éolien de Tonnerrois, entre mai et octobre 2019.

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de Tonnerrois est estimée entre 2,8 (Erickson *et al.*, 2000) et 34,8 (Huso, 2010) chauves-souris tuées par éolienne, sur la période étudiée, de mai à octobre 2019. Cette période correspondant à la période annuelle caractérisant la majeure partie de l'activité des chiroptères, ces résultats peuvent être considérés comme étant la mortalité annuelle.

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, composé majoritairement de parcelles agricoles avec quelques boisements, est assimilable à la seconde configuration décrite par cet auteur. En 2019, la mortalité réelle des chauves-souris sur le parc éolien de Tonnerrois est donc supérieure aux chiffres annoncés dans la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010) pour toutes les éoliennes sauf E7, qui est la moins impactante.

III.4. Sensibilité des espèces retrouvées

III.4.1. Rapaces



Figure 20 : 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 est classé comme « Quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France. Cette espèce est très sensible aux éoliennes, avec 589 cas de mortalité recensés en Europe, dont 100 en France (Dürr, 2019). **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est élevée pour cette espèce (3/4).**



Figure 21 : Milan noir.
CCO domaine public.

III.4.2. Passereaux



Figure 22 : Martinet noir.
CCO domaine public.

L'**Alouette des champs** (*Alauda arvensis*) est inscrite en annexe III de la convention de Berne et en annexe II de la Directive Oiseaux. Elle est classée comme « Quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France, ainsi que sur celle de la région Bourgogne-Franche-Comté. Cette espèce est légèrement sensible aux éoliennes, avec 380 cas de mortalité recensés en Europe, dont 90 en France (Dürr, 2019), **sa note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est relativement faible (1,5/4).**



Figure 23 : Alouette des champs.
CCO domaine public.

Le **Roitelet à triple bandeau** (*Regulus ignicapilla*) est une espèce protégée, inscrite en annexe II de la Convention de Berne. Elle n'est pas classée comme menacée sur la liste rouge des oiseaux nicheurs, quelle que soit l'échelle considérée. On recense 241 cas de mortalité en Europe, dont 141 en France (Dürr, 2019). **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est faible (1/4).**



Figure 24 : Roitelet à triple bandeau.
CCO domaine public.



Figure 25 : Rougegorge familier.
CCO domaine public.

Le **Rougegorge familier** (*Erithacus rubecula*) est une espèce protégée, inscrite en annexe II de la convention de Berne. Cette espèce n'est pas classée comme menacée sur la liste rouge des oiseaux nicheurs, quelle que soit l'échelle considérée. On recense 160 cas de mortalité en Europe, dont 33 en France (Dürr, 2019). **Sa note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est faible (1/4).**

La **Bergeronnette grise** (*Motacilla alba*) est une espèce protégée, inscrite en annexe III de la convention de Berne. Elle n'est pas classée comme menacée sur la liste rouge des oiseaux nicheurs, quelle que soit l'échelle considérée. On recense 45 cas de mortalité en Europe, dont seulement 4 en France (Dürr, 2019). **Concernant la note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens, elle est faible pour cette espèce (1/4).**



Figure 26 : Bergeronnette grise.
CCO domaine public.

III.4.3. Chiroptères



Figure 27 : Pipistrelle de Nathusius.
CCO domaine public.

La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) 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 « Quasi menacé » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine. Espèce forestière, la Pipistrelle de Nathusius patrouille à basse altitude le long des zones humides mais elle chasse aussi en plein ciel à grande hauteur, préférentiellement en milieux boisés diversifiés, ou à proximité de structures linéaires (haies, lisières forestières...) ou en milieu urbain sous des lampadaires. Elle quitte son gîte en moyenne 50 minutes après le coucher du soleil. 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. La Pipistrelle de Nathusius apparaît comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes : avec 1 564 cas recensés en Europe dont 260 en France (Dürr, 2019), 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 du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée pour cette espèce (3,5/4).**

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 1 546 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 : 1 538 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à la Noctule commune, dont 104 en France (Dürr, 2019). Son comportement de chasse et ses déplacements à des altitudes élevées la rendent particulièrement sensible à cet impact. **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est très élevée pour cette espèce (3,5/4).**



Figure 28 : Noctule commune.
CCO domaine public.



Figure 29 : Pipistrelle commune.
CCO domaine public.

La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) 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 « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine. Sur son secteur de chasse, elle vole entre 5 et 30 mètres 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 20 km les uns des autres. L'espèce étant liée à des zones fortement anthropisées, les éoliennes à proximité des habitations ont une forte incidence sur l'espèce, avec une mortalité élevée par collision avec les pales des éoliennes ou par barotraumatisme. Il semblerait qu'elles s'approchent de ces structures par simple curiosité (MJ Dubourg-Savage, 2004). C'est l'espèce dont les cas de mortalité relevés par Dürr (2019) sont les plus nombreux en Europe, puisque 2 362 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune, dont 979 en France. 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 du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est élevée pour cette espèce (3/4).**

La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) 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 « Quasi menacé » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine, ainsi que sur celle de la Bourgogne-Franche-Comté. C'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 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 1 567 km entre le Nord de l'Allemagne et l'Espagne). 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. La Noctule de Leisler est la 4^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 711 cas de mortalité lui ont été attribués de manière certaine, dont 153 en France (Dürr, 2019). Sa technique de chasse en hauteur et ses grands déplacements à des altitudes à risque expliquent sa sensibilité. **La note de risque du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens est élevée pour cette espèce (3/4).**



Figure 30 : Noctule de Leisler.
CCO domaine public.

⇒ Synthèse du suivi de mortalité du parc éolien de Tonnerrois

Au total, 26 individus ont été retrouvés morts au pied des éoliennes du parc éolien de Tonnerrois. Parmi eux, on dénombre 18 oiseaux (2 espèces de rapaces et 5 espèces de passereaux), dont le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*) qui possède une note de risque élevée (3/4), le **Milan noir** (*Milvus migrans*) qui possède une note de risque importante (2,5/4) et le **Martinet noir** (*Apus apus*) qui possède une note de risque moyenne (2/4). L'espèce la plus retrouvée est le **Roitelet à triple bandeau** (*Regulus ignicapilla*), qui représente 39% des oiseaux retrouvés. 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 3,2 (Erickson *et al.*, 2000) et 40,0 (Huso, 2000) oiseaux tués par éolienne sur le parc éolien de Tonnerrois, sur la période étudiée de mai à octobre 2019. Selon Bastos *et al.* (2013), le parc éolien de Tonnerrois a donc une mortalité conforme aux chiffres annoncés par Marx (2017). Cependant, il est important de souligner que l'éolienne E4 présente une mortalité supérieure à la limite annoncée de 7 oiseaux/an.

Sur les 26 individus retrouvés au pied des éoliennes, on dénombre également 8 chiroptères (4 espèces différentes). La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) et la **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) présentent toutes deux une note de risque très élevée (3,5/4). La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) et la **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*), quant à elles, présentent une note de risque élevée (3/4). 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 2,8 (Erickson *et al.*, 2000) et 34,8 (Huso, 2000) chiroptères tués par éolienne sur le parc éolien de Tonnerrois, sur la période étudiée de mai à octobre 2019. Cette mortalité est bien supérieure à la limite de 5 chiroptères/éolienne/an, annoncée par Rydell *et al.* (2010). En particulier, les éoliennes E4, E5, E11 et E12 semblent être plus impactantes pour les chiroptères (plus de 10 chiroptères sur la période étudiée).

IV. Discussion

IV.1. Sensibilité des oiseaux et des chiroptères

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

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

IV.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).

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.* 2002 ; déclin d'une population de *Lyrurus tetrix* : Zeiler and Grünsachner-Berger 2009 ; les rapaces : De Lucas *et al.* 2008, Hernandez-Pliego *et al.* 2015 ; les oiseaux chanteurs : Morinha *et al.* 2014, etc.) ;
- De la saison (Barrios et Rodriguez 2004) ;
- Des caractéristiques du site d'étude (De Lucas *et al.* 2008 ; Marques *et al.* 2014).

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, 2016).

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 23 : 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, 2016) 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, 4088 en Allemagne, 1791 en Belgique et 1312 en France (Dürr, 2019).

Les espèces les plus touchées en Europe (Dürr, 2019) sont :

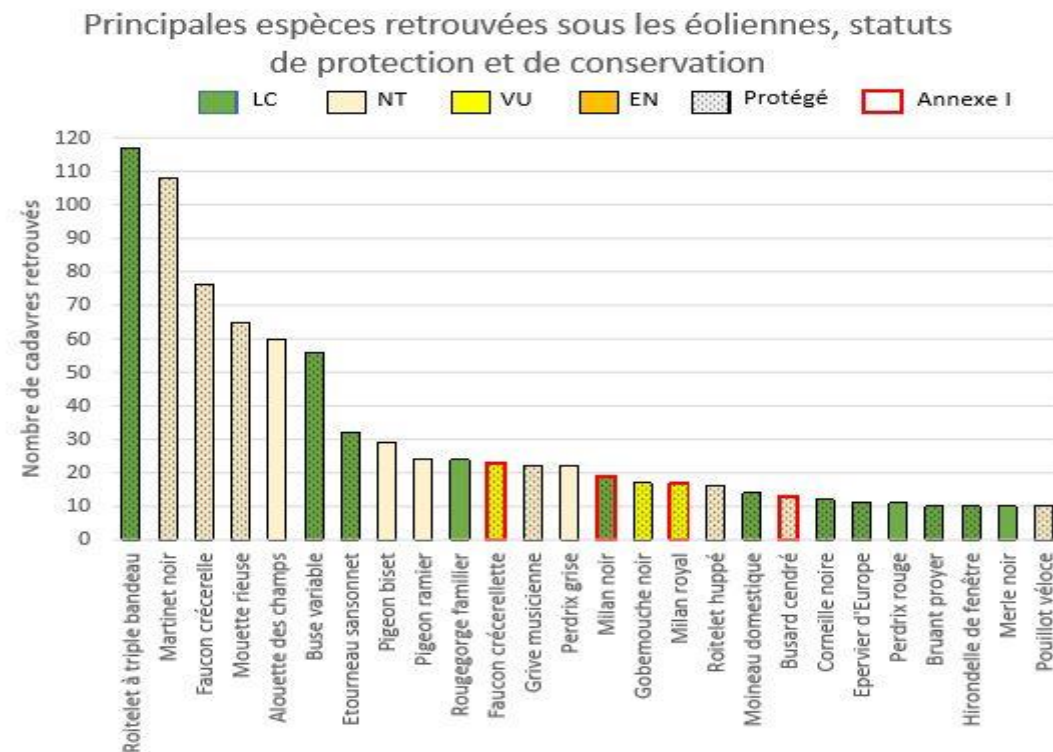
- Le Vautour fauve (quasi exclusivement en Espagne),
- Le Goéland argenté puis la Mouette rieuse (en Belgique essentiellement),
- La Buse variable (en Allemagne principalement),
- La Mouette rieuse (en Belgique principalement),
- Le Faucon crécerelle (en Espagne et en moindre mesure en France et Allemagne),
- Le Milan royal (en Allemagne principalement),
- 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, 2016). Les espèces le plus sensibles sont les suivantes (Dürr, 2019 ; Marx, 2016) :

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

Pour les oiseaux migrateurs, le risque de collision dépend aussi de l'importance du flux migratoire (probabilité de collision proportionnelle aux effectifs), de la hauteur de déplacement, de la phénologie migratoire des espèces (solitaire, en groupes familiaux, sociaux, etc.). 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...).

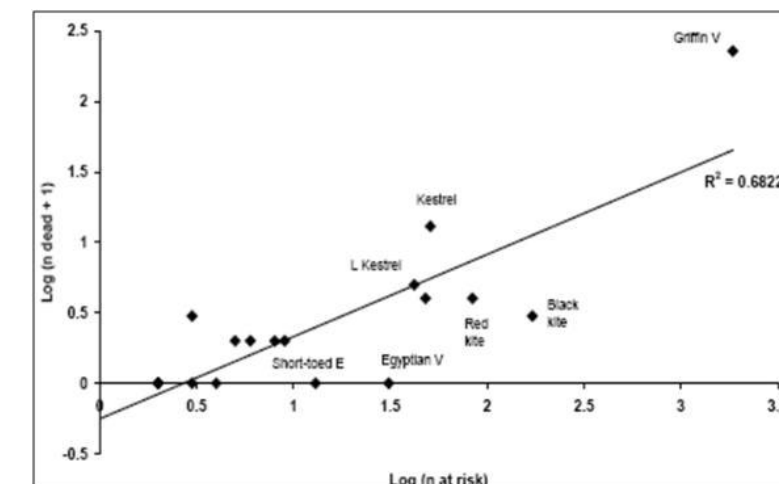
Les oiseaux sédentaires et nicheurs semblent intégrer la présence des éoliennes sur leur territoire et se tiennent en général à distance des turbines (100-300 m) (Pedersen & Poulsen, 1991, Strickland *et al.*, 2001, Thomas, 2000, Winkelman, 1992), sauf en cas de facteur attractif à proximité comme des 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.

Les rapaces et les migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les éoliennes (Curry & Kerlinger, 2000 ; Evans, 2000 ; 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, 2000 ; 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 & Ursua, 2006) permet une appréciation comparative des sensibilités au risque de collision pour les rapaces diurnes. Le graphique suivant apporte une vision synthétique des résultats, que les suivis de mortalité ne confortent cependant pas toujours.



Graphique 11 : 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).

IV.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 and 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).

Certaines espèces sont sensibles à des structures verticales comme les éoliennes (Walters *et al.*, 2013), qui peuvent être assimilées par certains oiseaux comme reposoirs de rapaces (Kreuzinger 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 (Hötter *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 2003 ; Indré *et al.*, 2006), avec une diminution progressive de la distance d'éloignement (Hinsch, 1996).

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 et chronique, 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.

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, 216).

IV.1.3. Effet barrière

L'effet barrière consiste 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, J.E. 1985 ; ADEME. 1999 ; Curry R.C. & Kerlinger P. 2000 ; Dirksen S., Spaans A.L. & van der Winden J. 2000 ; Percival, S.M. 2001), dans l'axe vertical ou bien un 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.* 2002) 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 et Madsen, 2000 ; Albouy S., Dubois Y. & Picq H. 2001). Les caractéristiques météorologiques (plafond nuageux bas, nappes de brouillards persistants, vent de face) peuvent conduire à des situations plus risquées (Thonnerieux Y., 2010).

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, mais 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 and Madsen 2000 ; Loesch *et al.* 2013), un peu moins chez les échassiers et les grives, dont certaines migrent la nuit, et les corvidés (Dooling R.J. & Lohr B. 2001 ; Winkelmann, J.E. 1985). Le nombre de collisions est supérieur aux extrémités des alignements d'éoliennes (Anderson R.L., Erickson W., Strickland D., Bourassa M., Tom J. & Neumann N. 2001a ; Cade T.J. 1994 ; Carl G., Thelander C.G. & Rugges D.L. 2001). Les distances de réaction varient de 300 à 500 mètres des éoliennes pour la majorité des migrateurs diurnes (contre 20 mètres pour les migrateurs nocturnes) (Albouy S., Clément D., Jonard A., Massé P., Pagès J.-M. & Neau P. 1997 ; Winkelman J.E. 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).

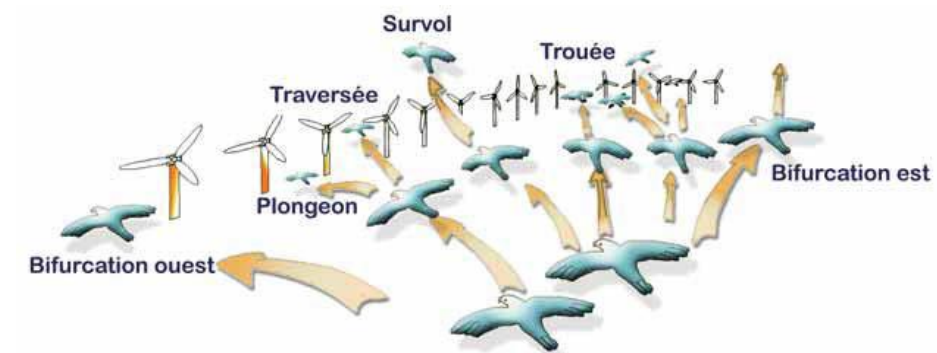


Figure 31 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

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

IV.2. Suivi de l'activité des chiroptères sur le parc éolien de Tonnerrois

Six espèces ont été identifiées en altitude :

- La Pipistrelle commune est l'espèce la plus représentée, avec 38% de l'activité enregistrée ;
- La Pipistrelle de Kuhl représente 26,5% de l'activité enregistrée ;
- La Pipistrelle de Nathusius représente 17,4% de l'activité enregistrée ;
- La Sérotine commune représente 9,9% de l'activité enregistrée ;
- La Noctule commune représente 5,1% de l'activité enregistrée ;
- La Noctule de Leisler représente 3,2% de l'activité enregistrée ;

Des pics d'activité ont été enregistrés entre mi-juillet et mi-août 2019, fin de la période de mise-bas et d'élevage (Figure 32). A l'échelle d'une nuit, les pics d'activité se situent entre 19h40 et 07h10, selon l'éolienne. Plus de 90% de l'activité chiroptérologique du site se déroule pour des vitesses de vent inférieures à 5,5 m.s⁻¹ et pour des températures supérieures à 11°C sur E7 et 12°C sur E6.

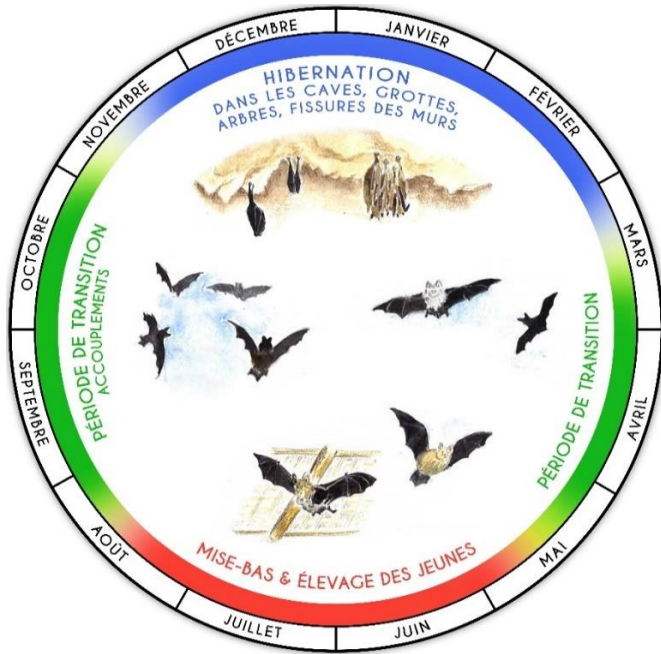


Figure 32 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine

L'activité sur le site, bien que continue tout au long de la nuit, est considérée très faible pour la plupart des espèces contactées en nacelle, mais est considérée moyenne pour la Noctule commune et la Sérotine commune, d'après le référentiel Sens Of Life et le référentiel d'Haquart (2015).

A cause de sa forte vulnérabilité aux éoliennes et de son activité considérée comme moyenne sur le site, une attention particulière doit être portée sur la Noctule commune. La Pipistrelle de Nathusius présente aussi une très forte vulnérabilité aux éoliennes et nécessite une vigilance accrue, puisqu'elle représente un quart de l'activité enregistrée (même si son activité est considérée comme très faible sur le site). A l'inverse, même si la vulnérabilité de la Pipistrelle commune face aux éoliennes est légèrement plus faible, elle reste tout de même importante, et le fait qu'elle représente plus d'un tiers de l'activité enregistrée la prédispose également à une mortalité élevée.

IV.3. Suivi de la mortalité sur le parc éolien de Tonnerrois

Les suivis de mortalité au sol se sont déroulés sans encombre, même si la couverture végétale et des travaux agricoles ou d'aménagement ont minimisé l'efficacité des prospections, en particulier sous les machines E2, E7, E8 et E10 (moyenne inférieure à 70% sur la période étudiée). Dix-huit oiseaux (sept espèces différentes) et huit chiroptères (quatre espèces différentes) ont été retrouvés au sol au cours des suivis de mortalité.

En ce qui concerne les oiseaux, selon Bastos *et al.* (2013) et Erickson *et al.* (2000), la mortalité réelle estimée sur le parc éolien de Tonnerrois est comprise entre 3,2 et 3,9 individus tués par éolienne sur la période étudiée, de mai à octobre 2019, ce qui démontre un impact conforme à ce qui est attendu dans la bibliographie (Marx, 2017), dans ce contexte agricole avec quelques bois à proximité. La formule d'Huso (2010) amène à une mortalité plus importante de 40,0 oiseaux tués par éolienne sur la même période. Le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*), le **Milan noir** (*Milvus migrans*) et le **Martinet noir** (*Apus apus*) font partie des victimes qui possèdent les notes de risque les plus élevées. L'espèce la plus retrouvée est le **Roitelet à triple bandeau** (*Regulus ignicapilla*), qui représente 39% des oiseaux tués sur l'ensemble du parc, lors de la migration postnuptiale nocturne. Il est important de souligner que l'**éolienne E4** présente une mortalité bien supérieure à ce qui est attendu dans la bibliographie (Marx, 2017), sur seulement 6 mois. Cette éolienne est d'autant plus problématique que si l'on considère que l'activité de l'avifaune est constante au cours de l'année, et que l'activité et la mortalité sont proportionnelles, alors la mortalité annuelle serait donc près de deux fois plus élevée.

En ce qui concerne les chiroptères, la mortalité réelle estimée sur le parc éolien de Tonnerrois, sur la période étudiée, est de 2,8 individus tués par éolienne selon Erickson *et al.* (2000), de 6,5 individus tués par éolienne selon Bastos *et al.* (2013) et de 34,8 individus tués par éolienne selon Huso (2010). La formule de Bastos *et al.* (2013) est la seule à calculer une mortalité réelle en l'absence de cadavre, et selon celle-ci, l'impact du parc éolien de Tonnerrois est donc trop important sur les populations de chiroptères, comparé à la bibliographie (Rydell *et al.*, 2010). En particulier, les **éoliennes E4, E5, E11 et E12** présentent une mortalité de plus de 12 chiroptères/éolienne, les **éoliennes E2, E3, E6, E8 et E10** présentent une mortalité comprise entre 5 et 9 chiroptères par éolienne. Seule l'éolienne E7 présente une mortalité conforme aux chiffres trouvés dans la bibliographie. La présence d'un cadavre de **Pipistrelle commune**, retrouvé sous E11, celle de deux cadavres de **Pipistrelle de Nathusius**, retrouvés sous E11 et E12, et celle d'un cadavre de **Noctule commune**, retrouvé sous E8, doivent être considérées comme problématiques car nous les avons identifiées au paragraphe IV.2. comme les trois espèces les plus vulnérables sur le site, ce qui appelle à rester vigilant sur le maintien des populations locales. De plus, le fait d'avoir trouvé deux cadavres de **Noctule de Leisler**, retrouvés sous E5 et E6, nous amène à considérer également cette espèce comme vulnérable sur le site, en dépit de son activité considérée comme très faible et de sa faible proportion dans l'activité totale enregistrée. Tous les chiroptères morts ont été trouvés au pied des éoliennes entre début août et fin octobre, période correspondant à la transition et l'accouplement des ces espèces (Figure 32). C'est donc à cette période que devront être mises en place les éventuelles mesures de réduction d'impact.

V. Conclusion

Sur les six espèces présentes en altitude, l'activité est considérée moyenne seulement pour la Noctule commune et la Sérotine commune, les activités des autres espèces étant considérées comme très faibles. Pendant la durée de l'étude, sur l'ensemble du parc éolien de Tonnerrois, environ 90% de l'activité chiroptérologique a été caractérisée par les paramètres suivants :

- Du 13 juin 2019 au 24 octobre 2019,
- Entre 20h20 et 06h00,
- Pour une vitesse de vent inférieure à 5,5 m.s⁻¹,
- Pour une température supérieure à 12°C,
- Plus de 95% de l'activité se déroule en l'absence de pluie.

Pour l'avifaune, la mortalité réelle estimée est supérieure aux résultats attendus dans ce contexte bocager pour l'éolienne E4, sous laquelle nous avons notamment retrouvé deux **Milans noirs** (*Milvus migrans*) en période de moissonnage des champs. Pour rappel, cette espèce est inscrite en annexe III de la Convention de Berne, en annexe II de la Convention de Bonn et en annexe I de la Directive Oiseaux. Bien qu'elle soit classée « Non menacée » de l'échelle mondiale à régionale, cette espèce est cependant vulnérable face au risque de collision avec les éoliennes (note de risque de 2,5/4), avec 22 cas de mortalité recensés en France (Dürr, 2019). Avec trois milans noirs tués en 2019 (dont deux sous E4), le parc éolien de Tonnerrois représenterait donc 13,6% des cas de mortalité en France.

Pour la chiroptérofaune, toutes les éoliennes du parc, sauf l'éolienne E7, présentent une mortalité trop importante, pour des espèces considérées comme particulièrement vulnérables sur ce site : la **Pipistrelle commune**, la **Pipistrelle de Nathusius**, la **Noctule commune** et la **Noctule de Leisler**. Ces quatre espèces sont toutes inscrites en annexe IV de la Directive Habitats, en annexes II des conventions de Berne et de Bonne, ainsi qu'en annexe I de la directive EUROBATS. Au niveau national, la Noctule commune est considérée comme « Vulnérable » sur la liste rouge des mammifères, et les autres espèces comme « Quasi-menacées ». A l'échelle de la Bourgogne-Franche-Comté, les données manquent pour la Noctule commune et la Pipistrelle de Nathusius, qui sont pourtant les plus vulnérables face au risque de collision avec les éoliennes (note de risque de 3,5/4). La Pipistrelle commune n'est pas considérée comme menacée, à l'inverse de la Noctule de Leisler, classée « Quasi-menacée », mais elles sont toutes les deux très vulnérables face au risque de collision avec les éoliennes (note de risque de 3/4). Nous rappelons qu'en termes de mortalité due aux aérogénérateurs, ce sont les chiroptères les plus impactés : la Pipistrelle commune comptabilise 979 cas de mortalité en France, la Pipistrelle de Nathusius 260 cas, la Noctule de Leisler 153 cas et la Noctule commune 104 cas (Dürr, 2019).

Pour les oiseaux, nous préconisons un suivi automatisé en continu durant une année, pour évaluer la fréquentation du site par le Milan noir (par caméra) et détecter les cas de mortalité des oiseaux, en particulier sur E4, avant de prévoir ou non une mesure de réduction d'impact.

Pour les chiroptères, trois solutions sont envisagées en 2020 :

- Un bridage du parc éolien de mi-juin à mi-octobre en fonction des paramètres météorologiques décrivant l'activité, couplé à une détection de l'activité mesurée en temps réel sur le site, permettant de vérifier que les niveaux d'activité des chiroptères, et en particulier ceux des quatre espèces citées précédemment, restent constants ;
- Un bridage du parc éolien seulement de mi-août à mi-octobre (période où la plupart des chiroptères ont été retrouvés), en fonction des paramètres météorologiques décrivant l'activité, couplé à une détection de l'activité mesurée en temps réel sur le site, mais avec un suivi de mortalité par caméras de mi-mai à mi-août, pour pouvoir s'affranchir de la couverture végétale qui masquerait d'éventuels cadavres. Ce suivi par caméras serait mis en place dès la première année suite à la mise en place du bridage, avec en

parallèle, un suivi d'activité par enregistreur ultrasonore en nacelle, pour vérifier que les variations de mortalité filmées ne sont pas dues à des variations d'activité inter-annuelle ;

- Une année supplémentaire de suivi d'activité chiroptérologique par enregistreur ultrasonore, couplé à un suivi automatisé de la mortalité par caméra avec illuminateurs infrarouges, permettant de rationaliser l'impact des éoliennes en fonction de la population contactée, particulièrement sur E4 et E12. Si un fort impact est confirmé par cette 2^{ème} année de suivi, alors les mesures de bridage seront modélisées pour définir celui qui concilie le mieux préservation des chiroptères et du productible. Le suivi de mortalité par caméra présente un 3^{ème} avantage en plus de celui de permettre des suivis objectifs (sans biais) et efficaces sur du long terme : les conditions des interactions horodatées sont connues précisément. Il est ainsi possible d'établir un plan de bridage relatif à la mortalité et non à l'activité.

VI. Bibliographie

- ADEME (1999). Guide du porteur de projet de parc éolien. Connaître pour agir. Guides et cahiers techniques 6 : 23-28.
- ADEME (2012). Projet 2012. Schéma Régional éolien. Annexe n°1 du SRCAE (Schéma Climat Air Energie). 28 p.
- Albouy S. (2010). Suivi de l'impact éolien sur l'avifaune et les chiroptères. Exemples de parcs audois (11). Séminaire national LPO Eolien et Biodiversité, Reims le 16 septembre 2010. Abies Energie & Environnement, presentation Power Point 31 p.
- 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, 67 p. Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.
- Albouy S., Dubois Y. & Picq H. (2001) Suivi Ornithologique Des Parcs Éoliens Du Plateau de Garrigue Haute (Aude). Abies & LPO Aude. Publication ADEME. Consultable ici : <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>.
- Alcalde J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. Barbastella, 2: 3–6.
- Allouche L., AVES environnement & Groupe Chiroptères de Provence (2010). Etude de la mortalité des Chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, commune de Saint-Martin-de-Crau (13), 17 mars – 27 novembre 2009. Pour Energie du Delta. 36 p.
- Altmann J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. Behaviour, 49(3), 227-266.
- Anderson R.L., Erickson W., Strickland D., Bourassa M., Tom J. & Neumann N. (2001). Avian Monitoring and Risk Assessment at Tchachapi Pass and San Gorgonio Pass Wind Resource Areas, California. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California, May 2001 : 53-54.
- Arthur, L. et Lemaire, M. (2009). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse, Collection Parthénope. Biotope éditions, deuxième édition. Publications scientifiques du muséum. 544 p. ISBN Biotope : 978-2-36662-139-6.
- Bach L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—reale probleme oder einbildung. Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 33:119-124.
- Bach L., Brinkmann R., Limpens H.J.G.A., Rahmel U., Reichenbach M. & Roschen A. (1999). Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten im Rahmen der Windkraftplanung. - Bremer Beitrage fuer Naturkunde und Naturschutz, Band 4. Themenheft "Voegel und Windkraft" : 163-170.
- Baerwald E.F. & Barclay R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. J Mammal 90(6):1341–1349
- Baerwald E.F., D'Amours G.H., Klug BJ & Barclay R. (2008). Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. Curr Biol 18(16):R695–696
- Barataud M. (2012). Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344 p.
- Barrios L. & Rodriguez, A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines. Journal of Applied Ecology, Vol 41, 72-81.
- 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
- Bellebaum J., Korner-Nievergelt F., Dürr T., Mammen U. (2013). Wind turbine fatalities approach a level of concern in a raptor population. J Nat Conserv 21(6):394–400. doi:10.1016/j.jnc.2013.06.001
- Bennett V.J., Hale A.M. (2014). Red aviation lights on wind turbines do not increase bat–turbine collisions. Animal Conserv 17:354–358. doi:10.1111/acv.12102
- Bergen F. (2001). Untersuchungen zum Einfluss der Errichtung und des Betriebs von Windenergieanlagen auf Vögel im Binnenland. Dissertation, Ruhr Universität Bochum.
- Beucher Y. (2007). Suivi évaluation de l'impact sur les oiseaux du parc éolien de Ségur (12). Campagne 2007, première année d'exploitation. 66p.
- Beucher Y., Kelm V., Geyelin M. & Pick D. (2011). Réduction significative de la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes - Poster
- Brinkmann R., Schauer-Weissahn H. & Bontadina F. (2006). Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Gundelfingen, Germany. <http://www.rp-freiburg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-wind-kraft-fledermaeuse.pdf>. Accessed 7 August 2013
- Cade T.J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. In : PNAWPPM I, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting I, Denver, Colorado, July 1994. 179 p.
- Camiña A. (2013). Guidelines for wind farm planning on birds and bats: Lessons learned from operating wind farms. Washington, DC, USA: Biodiversity & Ecosystem Services in Impact Assessment Inter-American Development Bank.
- Carl G., Thelander C.G. & Rugges D.L. (2001). Examining relationships between bird Risk behaviours and fatalities at the Altamont Wind Resource Area : a second year's progress report. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California : 5-14.
- Cornut J. & Vincent S. (2010). Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme. Rapport 39 p.
- Cryan P.M. & Barclay R. (2009). Causes of Bat Fatalities at Wind Turbines : hypotheses and Predictions. J Mammal. 90(6):1330–1340.
- Curry R.C. & Kerlinger P. (2000). Avian Mitigation Plan : Kenetech Model Wind Turbines, Altamont Pass WRA, California. In : PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 18-27.
- 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. J Appl Ecol 45(6):1695–1703. doi: 10.1111/j.13652664.2008.01549.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. J., & Lohr, B. (2001). The role of hearing in avian avoidance of wind turbines. In Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting IV (ed. PNAWPPM-IV) (pp. 115-127).
- Dulac P. (2008). Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, la Roche sur Yon - Nantes, 106 p.
- Dürr T. & Bach L. (2004). Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen – Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 7 : 253 – 263.
- Dürr T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. Nyctalus. 8(2):115–118.
- Dürr T. (2017). Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de novembre 2017.
- Erickson W.P., Johnson G.D. & Young D.P. (2005). A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. USDA Forest Service General Technical Report PSWGTR-191, 1029-1042.
- Evans W.R. (2000). Applications of Acoustic Bird Monitoring for the wind power Industry. In : PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 141-151.
- Garvin J.C., Jennelle C.S., Drake D. & Grodsky S.M. (2011) Response of raptors to a windfarm. J Appl Ecol 48(1):199–209. doi: 10.1111/j. 1365-2664.2010.01912.x
- Gensbol B. (2004) – Guide des rapaces diurnes, Europe, Afrique du Nord et Moyen Orient – Coll° Les guides du naturaliste – Ed° Delachaux et Niestlé. Paris. 403 p.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM (2016). Diagnostic chiroptérologique des projets éoliens terrestres. Actualisation 2016 des recommandations SFEPM, Version 2.1 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 33 pages + annexes.
- Grünkorn T., Diederichs A., Poszig D., Diederichs B. & Nehls G. (2009). Wie viele Vogel kollidieren mit Windenergieanlagen? How many birds collide with wind turbines? Nat Landsch 84(7): 309– 314
- Guyonne J. & Clave A.T. (2000, In press). A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations. Proc. Nat. Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego.
- Hall L.S. & Richards G.C. (1972). Notes on *Tadarida australis* (Chiroptera : Molossidae). Australian Mammalogy 1: 46-47.
- Haquart A., Bas Y., Tranchard J. & Lagrange H. (2012). Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mâts de mesure : évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien. Biotope, Bourges. 54 p.
- Heitz C. & Jung L. (2017). Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions. Etude bibliographique. Ecosphère. Rapport, 149 p.
- Hernandez-Pliego, J., de Lucas M., Munoz A.-R. & Ferrer M. (2015). Effects of wind farms on Montagu's Harrier (*Circus pygargus*) in southern Spain. Biological Conservation 191: 452–458.
- Hill R., Hill K., Aumüller R., Schulz A., Dittmann T., Kulemeyer C. & Coppack T. (2014). Of birds, blades and barriers: Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus. 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, pp 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.
- Hötter H., Thomsen K.-M. & Jeromin H. (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats. NABU Michael-Otto-Institut. 65 p.
- Huso M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318-329.
- James R.D. & Coady G. (2003). Exhibition Place wind turbine bird monitoring program in 2003. Toronto Hydro Energy Services Inc., Toronto, Ont., and Windshare, Toronto, Ont.
- Janss G. (2000). Bird Behaviour in and Near a Wind Farm at Tarifa, Spain: Management Considerations. In PNAWPPM-III, p110-114.
- Johnson G.D., Erickson W.P., Strickland M.D., Shepherd M.F., Shepherd D.A. & Sarappo S.A. (2002). Collision mortality of local and migrant birds at a large-scale wind-power development on Buffalo Ridge, Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* 30: 879–887.
- Johnson G.D., Erickson W.P., Strickland M.D., Shepherd M.F., Shepherd D.A. & Sarappo S.A. (2003). Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. *Am Midl Nat.* 150(2):332–342.
- 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:e93030. doi:10.1371/journal.pone.0093030
- Joiris E. (2012). High altitude bat monitoring. Preliminary results Hainaut & Ardennes. CSD Ingenieurs. 69 p.
- 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. *Wilson Journal of Ornithology* 122: 744–754.
- Kingsley A. & Whittam B. (2001). Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island. *Bird Studies Canada*, Sackville, New Brunswick, Canada.
- Kitano M. & Shiraki S. (2013). Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan. *Wildlife Society Bulletin* 37:41–48.
- Kreuzinger J. (2008). Kulissenwirkung und Vögel. Methodische Rahmenbedingungen für die Auswirkungsanalyse in der FFH-VP. Vilmer Expertentagung 29.09.-01.10.2008. http://www.bfn.de/fileadmin/MDb/documents/ina/vortraege/2008-FFH-VP_Gesamt.pdf.
- Kunz T.H., Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., *et al.* (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ.* 5(6): 315–324.
- Lagrange H. & Rico P. (2011). Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13). ADEME, Biotope : 50 p. DOI : 10.13140/RG.2.2.23108.83849
- Lagrange H., Roussel E., Ughetto A.L., Boulnois R., Haquart A. & Melki F. (2009). Bilan des tests d'asservissement sur le parc éolien de Bouin, en Vendée. ADEME, Biotope : 47 p. DOI : 10.13140/RG.2.2.10316.21129
- Langston R.H.W. & Pullan, J.D. (2003) Wind Farms and Birds: an Analysis of the Effects of Wind Farms on Birds and Guidance on Environmental Assessment Criteria and Site Selection Issues. BirdLife International report to the Bern Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, 59 pp.
- 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. *Landsc Ecol* 15(8):755–764. doi: 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 Bull* 111(1): 100–104.
- Lekuona J.M. (2001). Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. Dirección General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra, Pamplona. Rapport Technique 155 p.
- Lekuona, J.M. & Ursúa, C. (2006). Avian mortality in wind plants of Navarra (northern Spain). In: de Lucas M., Janss G. & Ferrer M. (eds). *Birds and Wind Power*. Lynx Edicions, Barcelona.
- 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. *Journal of Wildlife Management* 77: 587–598.
- Loriet Nature Environnement, Eure et Loir Nature, Biotope/Green ingénierie, Lustrat, P. & Pratz, J.P. (2010). Suivi Ornithologique et Chiroptérologique Des Parcs Éoliens de Beauce (Résultats 2006-2009). Accessed June 23, 2017. <http://www.loiret-nature-environnement.org/inventaires/fichiers-eoliennes/Plaque-Eolienne.pdf>.
- 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.
- Martin G.R. (2012). Through birds' eyes: Insights into avian sensory ecology. *Journal of Ornithology* 153 (Supplement 1): S23–S48.
- Marx G. (2016). Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisées en France de 1997 à 2015. LPO France.
- MEDDE (2014). Electricité renouvelable installée par commune. Actualisation au 31 décembre 2013
- MEDDM (2010). Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. Actualisation 2010. 188 p. + Fiches techniques
- Morinha F., Travassos P., Seixas F., Martins A., Bastos R., Carvalho D., *et al.* (2014) Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study* 61(2): 255–259. doi: 10.1080/00063657.2014.883357
- Olea P.P. (2001). Postfledging dispersal in the endangered Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Bird Study*, 48(1), 110-115.
- Osborn R.G., Higgins K.F., Dieter C.D. & Usgaard R.E. (1996). Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota. *Bat Research News*, 37(4), 105-108.
- Osborn R.G., Dieter C.D., Higgins K.F. & Usgaard R.E. (1998) Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *American Midland Naturalist*, 139, 20–38.
- Pagel J.E., Kritz K.J., Millsap B.A., Murphy R.K., Kershner E.L. & Covington S. (2013). Bald and Golden eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. *Journal of Raptor Research* 47: 311–315.
- 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. *J Appl Ecol* 49(2): 386–394. doi: 10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x
- Pedersen M.B. & Poulsen E. (1991) Avian Response to the Implementation of the Tjaereborg Wind Turbine at the Danish Wadden Sea. *Studies on Danish Fauna Report* 47. Denmark Institute of Ecological Studies, Kalø, Denmark.
- Percival S.M. (1998). Birds and wind turbines - managing potential planning issues. Pages 345-350 in S. Powles, editor. *British Wind Energy Association*. Bury St. Edmunds, Cardiff.
- Percival S.M. (2001). Assessment of the effects of offshore wind farms on birds. *Ecology consulting*. 66 p.
- Puzen S.C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. Wisconsin Public Service Corporation, Green Bay, USA.
- Recommandation EUROBATS : Distances Maximales Des Terrains de Chasse Par Espèce et Hauteurs de Vol." Accessed June 23, 2017. https://www.sfepm.org/pdf/Annexe_3_distance_max.pdf.
- Reichenbach M. & Steinborn H. (2006). Windkraft, Vögel, Lebensraum- Ergebnisse einer fünfjährigen BACI-Studie zum Einfluss von Windkraftanlagen und Habitatparametern auf Wiesenvögel. *Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen* 32:243–259
- Richardson W.J. (2000). Bird Migration and Wind Turbines : Migration Timing, Flight Behavior, and Collision Risk. In : PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 132-140.
- Rico P., Lagrange H., Cosson E., Fourasté S. & Allouche L. (2012). Bilan des tests d'asservissement sur le parc éolien du Mas de Leuze-commune de Saint Martin de Crau (13). ADEME/Biotope : 84p.
- Rocamora & Yeatman-Berthelot (1999). Oiseaux menacés et à surveiller en France. Liste rouge et priorités. Société d'Etudes ornithologiques de France / Ligue pour la protection des oiseaux. Paris. 560p.
- 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. *Sci. rep.* 6, 28961;doi:10.1038/srep28961. Rydell *et al.*, 2011 ;
- Rydell J. *et al.* (2012). The effect on wind power on birds and bats. A synthesis. 152 p.
- Rydell J., Bach L., Dubourg-Savage M., Green M., Rodrigues L. & Hedenström A. (2010). Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*. 12(2): 261–274.
- 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. <http://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>
- Seiche K. (2008). Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006. Report to Freistaat Sachsen. Landesamt für Umwelt und Geologie. www.smul.sachsen.de/lfug
- Shaffer J.A. & Buhl D.A. (2016). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions. *Conservation Biology* 30: 59–71.

- Smallwood K.S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33.
- Smallwood K.S., Rugge L.M., Morrison M.L. (2009). Influence of behavior on bird mortality in wind energy developments. *J Wildl Manag* 73(7):1082–1098. doi:10.2193/2008-555
- Smith J.A. & Dwyer J.F. (2016). Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *The Condor. Ornithological Application*. Vol 18, pp. 441-423. DOI: 10.1650/CONDOR-15-61.1
- Soufflot, J. (2010). Synthèse des impacts de l'éolien sur l'avifaune migratrice sur cinq parcs en Champagne-Ardenne. LPO Champagne-Ardenne. <http://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lposynthesesuivis.pdf>.
- Steinborn H. & Reichenbach M. (2012). Einfluss von Windenergieanlagen auf den Ortolan *Emberiza hortulana* in Relation zu weiteren Habitat parametern. *Vogelwelt* 133:59–75
- 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. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California, May 2001 : 38-52.
- Svensson L., Mullarney K. et Zetterström D. (2015). *Le Guide Ornitho*, Collection Guide Delachaux. Editions Delachaux et Niestlé. 446p. ISBN : 978-2-603-02393-8.
- Thomas R. (2000). An Assessment of the Impact of Wind Turbines on Birds at Ten Windfarm Sites in the UK. *Sustainable Development International* 2 : 215-219.
- UICN (2017). La liste rouge des espèces menacées de France. Chapitre Oiseaux nicheurs de France métropolitaine. 12 p.
- Van Diermen J., Van Manen W. & Baaij E. (2009). Terreingebruik en activiteitspatroon van Wespandieven *Pernis apivorus* op de Veluwe. *De takkeling*, 17(2), 109-133.
- Walters K., Kosciuch K. & Jones J. (2013). A Critical Review of the Effects of Tall Structures on Birds. In: *Naturvardsverket (ed): Book of Abstracts. Conference on Wind Power and Environmental Impacts (CWE2013) Stockholm 5–7 February*. Report 6546, Stockholm, Sweden. p 106
- 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 information note 1 (revised)*. Aberdeen. 32 p.
- Winkelman J.E. (1992). De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1: aanvaringsslachtoffers. [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1: collision victims.] RIN-rapport92/2. DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek, Arnhem.
- Winkelman J.E. (1985). Bird impact by middle-sized wind turbines on flight behaviour, victims, and disturbance. *Limosa*, 58, 117–121.
- Winkelman J.E. (1989). Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese and swans. RIN Rep. 89/15. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, The Netherlands. Pp.122-166, in: *Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting, Lakewood, Colorado, July 20-21, 1994*. 145 p.
- Winkelman J.E. (1994). Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. In : PNAWPPM I, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting I, Denver, Colorado, July 1994. 179 p.
- Zeiler H.P. & Gruenschachner-Berger V. (2009). Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zool* 58(2): 173–182.
- Zimmerling J.R., Pomeroy A.C., d'Entremont M.V. & Francis C.M. (2013). Canadian estimate of bird mortality due to collisions and direct habitat loss associated with wind turbine developments. *Avian Conserv Ecol*. Doi:10.5751/ACE-00609-080210

VII. Annexes

VII.1. Photographies calibrées des cadavres d’oiseaux et de chauves-souris retrouvés sur le parc éolien de Tonnerrois.



Alouette des champs, trouvée le 13/05 sous E2.



Milan noir, trouvé le 19/06 sous E4.



Faucon crécerelle, trouvé le 25/06 sous E12.



Milan noir, trouvé le 10/07 sous E3.



Milan noir, trouvé le 10/07 sous E4.



Passereau indéterminé, trouvé le 17/07 sous E7.



Chiroptère indéterminé, trouvé le 23/07 sous E11.



Martinet noir, trouvé le 23/07 sous E4.



Pipistrelle commune, trouvée le 06/08 sous E11.



Noctule commune, trouvée le 20/08 sous E8.



Noctule de Leisler, trouvée le 27/08 sous E6.



Bergeronnette grise, trouvée le 05/09 sous E10.



Pipistrelle de Nathusius, trouvée le 10/09 sous E11.



Rougegorge familier, trouvé le 09/10 sous E4.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 05/09 sous E8.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 05/09 sous E6.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 09/10 sous E12.



Passereau indéterminé, trouvé le 17/10 sous E10.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 05/09 sous E5.



Chiroptère indéterminé, trouvé le 05/09 sous E4.



Rouge-gorge familier, trouvé le 17/10 sous E5.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 17/10 sous E4.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 22/10 sous E8.



Roitelet à triple bandeau, trouvé le 22/10 sous E4.



Noctule de Leisler, trouvée le 22/10 sous E5.



Pipistrelle de Nathusius, trouvée le 22/10 sous E12.

Espèces d'oiseaux	Europe																				Total	
	A	BE	BG	CH	CR	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N	P	PL	RO		S
Gavia stellata							1															1
Podiceps cristatus							1									2						3
Fulmarus glacialis													1			1	1					3
Sula bassana													1									1
Phalacrocorax carbo							4		4			3	1			6						18
Pelecanus onocrotalus							1															1
Botaurus stellaris							2									2			1			5
Nycticorax nycticorax									1													1
Bubulcus ibis									96			1						4				101
Egretta garzetta									3			3										6
Casmerodius albus							1															1
Ardea cinerea	1	7					14		2			3				5	4					36
Ciconia nigra							4		3			1										8
Ciconia ciconia	1						73		66			1										141
Geronticos eremita									1													1
Platalea leucorodia									1													1
Cygnus olor	1						24												5		1	31
Cygnus columbianus bewickii																2						2
Cygnus cygnus							2										1					3
Cygnus cygnus / olor							7															7
Anser fabalis							5									1						6
Anser albifrons							5									1						6
Anser albifrons / fabalis							3															3
Anser anser	1	1					17		3							6	4					32
Anser anser f. domestica		3																				3
Anseridae spec.	1															1						2
Branta canadensis																1						1
Branta leucopsis							8									1						9
Branta bernicla																1						1
Alopochen aegyptiacus							2									1						3
Chloephaga picta		1																				1
Tadorna tadorna		2					2					1				7						12
Anas penelope		1					5															6
Anas spec.							1					2				1			2			6
Anas strepera							3									2						5
Anas crecca		2					6									1	2					11
Anas platyr																						

<i>Charadrius Hiaticula</i>							1												1
<i>Charadrius alexandrinus</i>		1																	1
<i>Charadrius morinellus</i>						1													1
<i>Pluvialis apricaria</i>					25		3						3	7				1	39
<i>Pluvialis squatarola</i>													1						1
<i>Vanellus vanellus</i>		3				19				2			3						27
<i>Calidris canutus</i>							1												1
<i>Calidris alpina</i>						3							1						4
<i>Lymnocyrtes minimus</i>										1									1
<i>Gallinago gallinago</i>						2		1		1	1		1	11	1				18
<i>Scolopax rusticola</i>	1	1				10		2			1		1					1	17
<i>Limosa limosa</i>		3											1						4
<i>Numenius phaeopus</i>										2									2
<i>Numenius arquata</i>						4				1			7						12
<i>Tringa totanus</i>		3											1	1				1	6
<i>Arenaria interpres</i>		3																	3
<i>Ichthyaetus melanocephalus</i>		2								4									6
<i>Larus minutus</i>													2						2
<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	4	330				172		2		66	12		81			1			668
<i>Ichthyaetus audouinii</i>							1												1
<i>Larus canus</i>	2	6				58	1						15					2	84
<i>Larus fuscus</i>		202				61		4		4	1		23						295
<i>Larus argentatus</i>		799				119		1		6	52		103					2	1082
<i>Larus michahellis</i>	1						11			2									14
<i>Larus cachinnans</i>	1		1			2	45												49
<i>Larus marinus</i>		22				2				2	55		3	1					85
<i>Larus spec.</i>	10	1				16		1		16		1	3	2				2	52
<i>Rissa tridactyla</i>		3					5				1		1	1					11
<i>Thalasseus sandvicensis</i>		25											1						26
<i>Sterna hirundo</i>		162				1							4						167
<i>Sterna albifrons</i>		15																	15
<i>Sterna spec.</i>											3								3
<i>Chlidonias niger</i>						1													1
<i>Uria aalge</i>						1							1						2
<i>Plautus alle</i>														1					1
<i>Pterocles orientalis</i>							2												2
<i>Pterocles alchata</i>							4												4
<i>Columba livia</i>							3			23			1						27
<i>Columba livia f. domestica</i>	26	19				1	75		7				15						172
<i>Columba oenas</i>		3				13		3							6				25
<i>Columba palumbus</i>	5	12				181		14		25			3			2		1	243
<i>Columba spec.</i>	30					5		9		3	1		2						50
<i>Streptopelia decaoctao</i>	4					3		2		5									14
<i>Streptopelia turtur</i>	1						33			5					1				40
<i>Psittacus krameri</i>							1												1
<i>Clamator glandarius</i>							6												6
<i>Cuculus canorus</i>						3		6				1							10
<i>Tyto alba</i>						12		6		5			1				1		25
<i>Otus scops</i>							1												1
<i>Bubo bubo</i>			1			1	18	18		1									39
<i>Athene noctua</i>							4												4
<i>Strix aluco</i>						4		3											7
<i>Asio otus</i>	1					16		2		4									23

Asio flammea						4		1											5	
Aegolius funereus				1															1	
Strigiformes spec.								2											2	
Caprimulgus europaeus								1											1	
Caprimulgus ruficollis								1											1	
Apus apus	14	4		1		2	153	1	75		122		2		5		18		3	400
Apus pallidus									12								1			13
Tachymarptis melba							2		23		2									27
Hirundapus caudatus												1								1
Alcedo atthis											1									1
Merops apiaster	1								9		2						1			13
Upupa epops									7				1				1			9
Jynx torquilla							1		1		1						1			4
Picus viridis							3		2								1			6
Dendrocopus major							4											1		5
Dendrocoptes medius													1							1
Dendrocopus spec.													1							1
Nonpasseriformes spec.							5				1				1					7
Cersophilus duponti									1											1
Melanocorypha calandra									75											75
Calandrella brachydactyla									5								1			6
Galerida cristata									105		1		2				1			109
Galerida theklae									182								5			187
Lullula arborea							11		62		5		17				25			120
Alauda arvensis	23					8	114		89		90		1		2		44	9		380
Eremophila alpestris							1													1
Alauda spec.									7											7
Riparia riparia							5		3				1		1					10
Ptyonoprogne rupestris									7											7
Hirundo rustica							27		13		2				1		1		1	45
Hirundo daurica									1											1
Delichon urbica	1						48		42		11		25		3		158		6	294
Hirundidae spec.							1				1									2
Anthus campestris									20		1						1			22
Anthus trivialis							5		2		4									11
Anthus pratensis		5					1		17		3		1		1	1	3			32
Anthus spinoletta									7								1			8
Anthus spec.																	1			1
Motacilla flava							7		1		4									12
Motacilla alba		2					11		27		4				1					45
Motacilla spec.											1									1
Troglodytes troglodytes							4		1		4		1							10
Erithacus rubecula		1		1		1	34		79		33		2		1		3	1	4	160
Luscinia megarhynchos							1		5		1									7
Phoenicurus ochrorus	1						1		11		1									14
Phoenicurus phoenicurus							1		5											6
Saxicola rubetra	1						3		1											5
Saxicola torquata									14		1						2			17
Oenanthe oenanthe							3		7		2		3			1				16
Oenanthe hispanica									18											18
Oenanthe spec.									1											1
Monticola saxatilis									2											2
Turdus torquatus							1		1											2

<i>Turdus merula</i>	2	1					16		43			11		6			1			4	84
<i>Turdus pilaris</i>	1			1			16		5			1			2	1					27
<i>Turdus philomelos</i>		12		1			24		129			24		2		3				1	196
<i>Turdus iliacus</i>		7					4	1	11						2						25
<i>Turdus viscivorus</i>				1			6		27					1							35
<i>Turdus spec.</i>		1						1	2			1		1		1					7
<i>Cisticola juncidis</i>									2								2				4
<i>Locustella naevia</i>				1			1		6			1									9
<i>Acrocephalus palustris</i>							1														1
<i>Acrocephalus scirpaceus</i>							3		13												16
<i>Acrocephalus arundinaceus</i>									1												1
<i>Hippolais polyglotta</i>							1		10			1									12
<i>Sylvia undata</i>									11								7				18
<i>Sylvia conspicillata</i>									5												5
<i>Sylvia cantillans</i>									43												43
<i>Sylvia melanocephala</i>									10					1							11
<i>Sylvia hortensis</i>									4												4
<i>Sylvia curruca</i>							2														2
<i>Sylvias communis</i>							1		1			1									3
<i>Sylvia borin</i>									11			1									12
<i>Sylvia atricapilla</i>	1						8		184			3		2							198
<i>Sylvia spec.</i>												1									1
<i>Phylloscopus inornatus</i>									1			1									2
<i>Phylloscopus sibilatrix</i>							1		1												2
<i>Phylloscopus collybita</i>							4		37			14									55
<i>Phylloscopus ibericus</i>									2								7				9
<i>Phylloscopus trochilus</i>	1						7		14										1	23	
<i>Phylloscopus spec.</i>									5												5
<i>Regulus regulus</i>	14	1		3			116		5			20			3			6			168
<i>Regulus ignicapillus</i>	1	2		8		3	39		45			141					2				241
<i>Regulus spec.</i>	2			2			12					16				3				48	83
<i>Muscicapa striata</i>									2			3					1				6
<i>Ficedula hypoleuca</i>					1		9		37			22			1		8				78
<i>Aegothalus caudatus</i>							1														1
<i>Poecile montanus</i>														1							1
<i>Periparus ater</i>							6					4									10
<i>Cyanistes caeruleus</i>	2			1			7		3			4			1						18
<i>Parus major</i>						1	11		3												15
<i>Parus spec.</i>	1																				1
<i>Sitta europaea</i>							3														3
<i>Certhia familiaris</i>							2														2
<i>Oriolus oriolus</i>							5		2												7
<i>Lanius collurio</i>	1						25		1			2		2				1			32
<i>Lanius excubitor</i>							2		2			1									5
<i>Lanius meridionalis</i>									4												4
<i>Lanius senator</i>									20												20
<i>Garrulus glandarius</i>							8		8			2									18
<i>Cyanopica cyana</i>									1												1
<i>Pica pica</i>	6	2					5		33												46
<i>Pyrrhocorax pyrrhocorax</i>									2												2
<i>Coloeus monedula</i>		1					6		9						4						20
<i>Corvus frugilegus</i>	9						6												1		16
<i>Corvus corone</i>	6	1					49	1	12			14				5	10	2		1	101

<i>Corvus corax</i>							26		3										29			
<i>Corvus spec.</i>	3						11		1		4								19			
<i>Sturnus vulgaris</i>	9	27				2	92		8		36			21	1		2		198			
<i>Sturnus unicolor</i>									96										96			
<i>Passer domesticus</i>	1						5		82		14			3		1			106			
<i>Passer hispaniolensis</i>									2										2			
<i>Passer montanus</i>	1						23				1			1					26			
<i>Passer spec.</i>											10								10			
<i>Petronia petronia</i>									29										29			
<i>Fringilla coelebs</i>							16	1	24		8		2					1	52			
<i>Fingilla spec.</i>									1										1			
<i>Serinus serinus</i>									20										20			
<i>Chloris chloris</i>							9		3		2								14			
<i>Carduelis carduelis</i>							4		36		2			1		1			44			
<i>Spinus spinus</i>																1			1			
<i>Linaria cannabina</i>	3						2	1	24		7			1		10	1		49			
<i>Linaria flavoristris</i>															1				1			
<i>Acanthis flammea</i>							1												1			
<i>Loxia curvirostra</i>							1		4		1								6			
<i>Loxia pytyopsittacus</i>															1				1			
<i>Coccothraustes coccothraustes</i>							5						1						6			
<i>Plectrophenax nivalis</i>						1											1		2			
<i>Emberiza citrinella</i>						1	32		6		8						2		49			
<i>Emberiza cirlus</i>									6							2			8			
<i>Emberiza cia</i>									14							1			15			
<i>Emberiza hortulana</i>																1			1			
<i>Emberiza schoeniclus</i>							4		3										7			
<i>Emberiza spec.</i>											1		1						2			
<i>Emberiza calandra</i>							37		252		11					20			320			
<i>Passeres spec.</i>	11						25		26		49	14			4	3		3	135			
TOTAL	360	1791	5	22	1	24	4088	10	5545	1	7	1312	172	99	1	499	185	442	80	2	176	14822

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.

VII.3. Tableau 25 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2019).

Espèces	Europe																				Total	
	A	B E	C H	CR	C Z	D	D K	E	ES T	F I	FR	GR	IT	L V	N L	N	PT	PL	RO	S		UK
<i>Nyctalus noctula</i>	4 6	1			3 1	122 6		1			104	10					2	1 6	76	1 4	11	1538
<i>Nyctalus lasiopterus</i>								21			10	1					9					41
<i>Nyctalus leislerii</i>			1	4	3	187		15			153	58	2				273	5	10			711
<i>Nyctalus spec.</i>						2		2			1						17					22
<i>Eptesicus serotinus</i>	1				1 1	66		2			29	1			2			3	1			116
<i>Eptesicus isabellinus</i>								117									3					120
<i>E. serotinus / isabellinus</i>								98									17					115
<i>Eptesicus nilssonii</i>	1				1	6			2	6				1 3		1		1	1	1 3		45
<i>Vespertilio murinus</i>	2	1		17	6	149					11	1		1				8	15	2		213
<i>Myotis myotis</i>						2		2			3											7
<i>Myotis blythii</i>								6			1											7
<i>Myotis dasycneme</i>						3																3
<i>Myotis daubentonii</i>						7											2					9
<i>Myotis bechsteini</i>											1											1
<i>Myotis nattereri</i>						1															1	2
<i>Myotis emarginatus</i>								1			3						1					5
<i>Myotis brandtii</i>						2																2
<i>Myotis mystacinus</i>						3					1	1										5
<i>Myotis spec.</i>						2		3			1								4			10
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2	2 8	6	5	1 6	720		211			979	0	1		15		323	3	6	1	46	2362
<i>Pipistrellus nathusii</i>	1 3	6	6	17	7	107 4	2				260	35	1	2 3	8			1 6	90	5	1	1564
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	4			1	2	137					176	0		1			42	1	5	1 8	52	439
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>	1		2			3		271			40	54					38	1	2			412
<i>Pipistrellus kuhlii</i>				14 4				44			219	1					51		10			469
<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		10 2	9	91		25			303	1		2			128	2	48		12	733
<i>Hypsugo savii</i>	1			13 7		1		50			57	28	1 2				56		2			344
<i>Barbastella barbastellus</i>						1		1			4											6
<i>Plecotus austriacus</i>	1					8																9
<i>Plecotus auritus</i>						7															1	8
<i>Tadarida teniotis</i>				7				23			2						39					71
<i>Miniopterus schreibersi</i>								2			7						4					13
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>								1														1
<i>Rhinolophus mehelyi</i>								1														1
<i>Rhinolophus spec.</i>								1														1
<i>Chiroptera spec.</i>	1	1 1		60	1	76		320	1		435	8	1				120	3	15	3 0	9	1091
Total	8 1	4 9	15	49 4	8 7	377 4	2	121 8	3	6	280 0	19 9	1 7	4 0	25	1	112 5	5 9	28 5	8 3	13 3	1049 6

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