



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 2021

Suivi de la mortalité au sol  
Suivi de l'activité des chiroptères par TrackBat

Parc éolien du Carreau- 4 éoliennes  
Eure-et-Loir (28), Centre-Val de Loire

Avril 2022

Rédaction :  
[Alban Mazars-Simon](#)  
Responsable de l'agence de Poitiers  
[alban.mazars.simon@sensoflife.com](mailto:alban.mazars.simon@sensoflife.com)

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

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

## SOMMAIRE

<b>I. Cadre général du parc</b> .....	<b>5</b>
I.1. Contexte de l'étude .....	5
I.2. Localisation et description du parc .....	5
I.3. Rappel des enjeux des suivis environnementaux.....	5
I.4. Objectifs.....	6
<b>II. Suivi de l'activité des chiroptères sur le parc éolien du Carreau</b> .....	<b>9</b>
II.1. Matériel et méthodes .....	9
II.1.1. Enregistrement acoustique .....	9
II.1.2. Méthode d'analyse des sons .....	9
II.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique .....	11
II.2.1. Activité brute et corrigée par espèce.....	11
II.2.2. Activité des chiroptères en fonction de la date sur le parc éolien du Carreau .....	12
II.2.3. Activité des chiroptères en fonction de l'heure sur le parc éolien du Carreau .....	12
II.2.4. Activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent et de la température .....	13
II.2.5. Caractérisation du niveau d'activité des chiroptères par espèce et par saison par rapport au référentiel Sens Of Life .....	14
II.3. Zoom sur les espèces présentes sur le parc du Carreau et leur sensibilité .....	15
II.3.1. Patrimonialité des chiroptères sur le parc éolien du Carreau .....	15
II.3.2. Calcul de la note de risque .....	15
II.3.3. Pipistrelle commune ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> ).....	16
II.3.4. Pipistrelle de Nathusius ( <i>Pipistrellus nathusii</i> ).....	16
II.3.5. Pipistrelle de Kuhl ( <i>Pipistrellus kuhlii</i> ) .....	17
II.3.6. Noctule commune ( <i>Nyctalus noctula</i> ).....	18
II.3.7. Noctule de Leisler ( <i>Nyctalus leisleri</i> ).....	19
II.3.8. Sérotine commune ( <i>Eptesicus serotinus</i> ) .....	19
<b>III. Suivi de la mortalité sur le parc éolien du Carreau</b> .....	<b>21</b>
III.1. Protocole de recherche de cadavres au sol .....	21
III.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes du parc du Carreau .....	22
III.2.1. Analyse spatiale des cas de mortalité sur le parc éolien du Carreau .....	24
III.2.2. Analyse temporelle des cas de mortalité sur le parc éolien du Carreau .....	24
III.2.3. Analyse météorologique des mortalités sur le parc éolien du Carreau .....	25
III.2.4. Analyse des mortalités sur le parc du Carreau en fonction du milieu.....	25
III.3. Occupation du sol et surface prospectée .....	26
III.4. Test de prédation.....	28
III.5. Test du taux de détection .....	28
III.6. Estimations de la mortalité réelle sur le parc éolien du Carreau .....	29
III.6.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien du Carreau .....	30
III.6.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien du Carreau.....	30
III.7. Vulnérabilité des espèces retrouvées sur le parc éolien du Carreau .....	30
III.7.1. Calcul de la note de risque .....	30
III.7.2. Vulnérabilité des oiseaux retrouvés sur le parc du Carreau.....	31
III.7.3. Vulnérabilité des chiroptères retrouvés sur le parc du Carreau .....	31
<b>IV. Discussion</b> .....	<b>32</b>
IV.1. Comparaison des impacts avifaunistiques avec l'étude d'impact initiale .....	32
IV.2. Sensibilité des oiseaux à l'éolien.....	32
IV.2.1. Collision.....	32
IV.2.2. Perte d'habitat.....	34
IV.2.3. Effet barrière .....	35
IV.3. Comparaison des impacts chiroptérologiques avec l'étude d'impact initiale.....	35
IV.4. Comparaison mortalité et activité chiroptérologique ultrasonore.....	35
IV.5. Sensibilité des chiroptères à l'éolien.....	36
IV.5.1. Généralités.....	36
IV.5.2. Mortalité directe .....	37
IV.5.3. Mortalité indirecte .....	37
<b>V. Conclusion</b> .....	<b>37</b>
<b>VI. Bibliographie</b> .....	<b>38</b>
<b>VII. Annexes</b> .....	<b>42</b>
VII.1. Fiches de renseignement des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien du Carreau en 2021 .....	42
VII.2. Tableau 28 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).....	45
VII.3. Tableau 29 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021).....	48
VII.4. Tableau 30 : Référentiel d'activité chiroptérologique en altitude, Sens Of Life .....	49

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien du Carreau (28). ....7	Figure 18 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler. .... 22
Carte 2 : Espaces naturels remarquables recensés dans un rayon de 20 km autour du parc éolien du Carreau (28) .....8	Figure 19 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection. .... 28
Carte 3 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius .....17	Figure 20 : Perdrix grise. © Sens Of Life. .... 31
Carte 4 : Localisation des cadavres trouvés sous les éoliennes du parc éolien du Carreau en 2021. ....23	Figure 21 : Faisan de Colchide. © Sens Of Life. .... 31
Carte 5 : Surfaces prospectables et types de culture sous les six éoliennes du parc éolien du Carreau entre mai et octobre 2021. ....27	Figure 22:Fauvette à tête noire, CC0 domaine public ..... 31
Figure 1 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat. ....9	Figure 24 : Roitelet à triple bandeau, CC0 domaine public..... 31
Figure 2 : Boîtier TrackBat placé en nacelle (à gauche), avec microphone déporté sur la face inférieure de la nacelle d'une éolienne (à droite).....9	Figure 25 : Pipistrelle de Nathusius. CC0 domaine public..... 31
Figure 3 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission .....10	Figure 25 : Roitelet à triple bandeau ..... 33
Figure 4 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces .....10	Figure 26 : Eolienne avec une pale peinte en noire. .... 34
Figure 5 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine. ....11	Figure 27 : Aigle royal ..... 35
Figure 6 : Pipistrelle commune. CC0 domaine public. ....16	Figure 28 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001) ..... 35
Figure 7 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune .....16	Figure 29 : Description du phénomène de barotraumatisme..... 36
Figure 8 : Pipistrelle de Nathusius. CC0 domaine public.....16	Graphique 1 : Proportion (brute à gauche et corrigée à droite) des espèces contactées en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021..... 11
Figure 9 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl .....17	Graphique 2 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau en 2021. .... 12
Figure 10 : Pipistrelle de Kuhl. CC0 domaine public. ....17	Graphique 3 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau. .... 12
Figure 11 : Noctule commune. CC0 domaine public.....18	Graphique 4 : Activité des chiroptères en fonction du lever et du coucher du soleil, enregistrée entre mai et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau. .... 13
Figure 12 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune.....18	Graphique 5 : Activité des chiroptères, enregistrée entre mai et octobre 2021 en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, en fonction de la vitesse de vent..... 13
Figure 13 : Noctule de Leisler. CC0 domaine public. ....19	Graphique 6 : Activité des chiroptères, enregistrée entre mai et octobre 2021 en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, en fonction de la température. .... 13
Figure 14 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler .....19	Graphique 7 : Répartition des collisions constatées sur le parc éolien du Carreau en 2021, en fonction de l'éolienne la plus proche. .... 24
Figure 15 : Sérotine commune. CC0 domaine public.....19	<i>Graphique 8 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la distance au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien du Carreau, en 2021. .... 24</i>
Figure 16 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune.....20	<i>Graphique 9 : Répartition de la position des cadavres en fonction leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien du Carreau, en 2021. .... 24</i>
Figure 17 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne. ....21	Graphique 10 : Répartition des cadavres en fonction de la date sur le parc éolien du Carreau en 2021. .... 24

Graphique 11 : Conditions météorologiques caractérisant la mortalité sur le parc du Carreau entre mai et octobre 2021. ....	25	Tableau 18 : Conditions météorologiques observées lors des suivis de mortalité sur le parc du Carreau entre mai et octobre 2021. ....	21
Graphique 12 : Répartition des collisions en fonction de la culture, sur le parc du Carreau en 2021. ....	25	Tableau 19 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés morts lors des suivis de mortalité sur le parc éolien du Carreau en 2021. ....	22
Graphique 13 : Surface prospectée moyenne sous chaque éolienne du parc du Carreau en 2021. ....	26	Tableau 20 : Couvert végétal et surface prospectée sur le parc du Carreau entre mai et octobre 2021. ....	26
Graphique 14 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Marx, 2016).....	33	Tableau 21 : Évaluation du biais de prédation sur le parc éolien du Carreau en 2021. ....	28
Graphique 15 : Corrélations 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).....	34	Tableau 22 : Évaluation du taux de détection de cadavres sur le parc éolien du Carreau, en 2021.....	28
Tableau 1 : Caractéristiques techniques et coordonnées géographiques des éoliennes du Carreau. ....	5	Tableau 23 : Mortalité réelle estimée des chiroptères, selon les différentes formules, sur le parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021. ....	30
Tableau 2 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores .....	10	Tableau 24 : Mortalité réelle estimée des oiseaux, selon les différentes formules, sur le parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021. ....	30
Tableau 3 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes .....	11	Tableau 25 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale.....	30
Tableau 4 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, en nacelle de LCA4 sur le parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021. ....	11	<i>Tableau 26 : 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) .....</i>	<i>32</i>
Tableau 5 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s <sup>-1</sup> ) en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021.....	14	Tableau 27 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFPEM, 2016) .....	37
Tableau 6 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration printanière sur le Carreau en 2021 .....	14	VII.2. Tableau 28 : Récapitulatif des données de mortalité des oiseaux, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021) .....	45
Tableau 7 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la parturition sur le Carreau en 2021 .....	14	VII.3. Tableau 29 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021) .....	48
Tableau 8 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration automnale sur le Carreau en 2021 .....	14	VII.4. Tableau 30 : Référentiel d'activité chiroptérologique en altitude, Sens Of Life .....	49
Tableau 9 : Caractérisation du niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères enregistrée sur le Carreaux en 2021, en fonction du cycle biologique, selon la moyenne d'activité toutes nuits confondues .....	15		
Tableau 10 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien du Carreau entre mai et octobre 2021.....	15		
Tableau 11 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale.....	15		
Tableau 12 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021. ....	16		
Tableau 13 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur l'éolienne LCA04 du Carreau en 2021.....	17		
Tableau 14 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021. ....	18		
Tableau 15 : Données d'activité de la Noctule commune sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.....	18		
Tableau 16 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021. ....	19		
Tableau 17 : Données d'activité de la Sérotine commune sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.....	20		

## I. Cadre général du parc

### I.1. Contexte de l'étude

La société ERG exploite le parc éolien du Carreau, composé de 4 éoliennes implantées sur la commune de Terminières (28140), dans le département de l'Eure-et-Loir (28), en région Centre-Val de Loire. Autorisé par l'arrêté ministériel de l'économie, des finances et de l'industrie du 15 juin 2005 et mis en service en 2006, ce parc éolien est soumis au régime des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), conformément aux dispositions de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, appelée Loi Grenelle II. Une expertise environnementale initiale publiée en mai 2004 a été coordonnée par EURO2C et en faisant appel à L'Association des Naturalistes Orléanais pour les volets flore, faune terrestre, avifaune.

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

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

Ce rapport présente le suivi environnemental réalisé par Sens Of Life en 2021 et inclut les résultats des inventaires sur le terrain, les impacts et les éventuelles mesures à adopter sur ce parc pour réduire l'incidence sur les oiseaux et les chiroptères.

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

Ce parc est constitué de deux lignes de deux éoliennes sur la commune de Terminières (28140), dans le département de l'Eure-et-Loir (28), en région Centre-Val de Loire. Les turbines sont des Nordex N90 pour une puissance nominale totale de 9,2 MW. Le tableau suivant indique les caractéristiques techniques et les coordonnées géographiques de chacune des éoliennes (Carte 1).

Eolienne	Latitude	Longitude	Hauteur nacelle	Diamètre rotor	Puissance unitaire
LCA1	48°05'32.9"N	1°46'02.5"E	80 m	90 m	2,3 MW
LCA2	48°06'31.8"N	1°44'54.6"E	80 m	90 m	2,3 MW
LCA3	48°06'21.5"N	1°44'23.9"E	80 m	90 m	2,3 MW
LCA4	48°05'28.3"N	1°45'38.6"E	80 m	90 m	2,3 MW

Tableau 1 : Caractéristiques techniques et coordonnées géographiques des éoliennes du Carreau.

L'aire d'étude immédiate (500m autour du site) et l'aire d'étude rapprochée (5km autour du site) ne comprennent aucune zone naturelle (Carte 2).

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

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

- 1 Zone de Protection Spéciale (ZPS),
- 1 Zone d'Importance pour la Conservation des Oiseaux (ZICO),
- 2 sites classés au titre de la Directive Habitats (SIC),
- 2 terrains acquis par le Conservatoire des Espaces Naturels (CEN),
- 6 autres Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type II (ZNIEFF II),
- 18 autres Zones Naturelles d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique de type I (ZNIEFF I).

La zone d'implantation du parc se situe relativement à équidistance de l'autoroute A10 à l'est et du chemin ferroviaire à l'ouest et culmine à 130 mètres d'altitude, avec un relief globalement plat. Le paysage est ouvert et dominé par des parcelles agricoles, majoritairement des graminées (blé et maïs) et des tubercules (pommes de terre et betteraves), exploités de manière intensive, non favorables à la biodiversité. Deux petites mares ont été identifiées à 1500 m au sud-est de l'éolienne LCA2 ainsi qu'un petit boisement de 0,22 ha se situant entre les éoliennes LCA4 et LAC2.

### I.3. Rappel des enjeux des suivis environnementaux

L'objectif de cette partie est de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées lors de l'étude d'impact coordonnée par le EURO2C en 2004, afin de les comparer avec les résultats de ce suivi post-implantation en 2021.

Une liste de 47 espèces d'oiseaux présentes ou « potentiellement présentes » a été dressée :

Dans le secteur de l'étude, des espèces patrimoniales sont régulièrement suivies par la même association en charge des suivis naturalistes pour cette étude d'impact :

- **Busard Saint-Martin**
- **Busard cendré**
- **Busard des roseaux**
- **Œdicnème criard**
- **Alouette calandrelle**
- **Pluvier doré**

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

- Les espèces présentes et potentielles effectuant leur recherche de nourriture sur le site (milieu ouvert) : **Troglodyte mignon, Rouge-gorge, Merle noir, Grive musicienne, Fauvette à tête noire, Pouillot véloce, Pie bavarde, Pinson des arbres, Etourneau sansonnet, Pic vert, Pigeon ramier, Tourterelle des bois, Chouette hulotte, Faucon crécerelle.**
- Les espèces présentes dans les espaces habités aux alentours du site : **Moineau domestique, Rougequeue noir, Merle noir, Grive musicienne, Linotte mélodieuse, Mésanges bleues et charbonnières, Bergeronnette grise, Bruant jaune, Chardonneret élégant, Verdier d'Europe, Pigeon ramier, Tourterelle turque.**
- Les espèces nicheuses du site : **Bergeronnette printanière, Alouette des champs, Alouette calandrelle, Cochevis huppé, Pipit farlouse, Bruant proyer, Traquet motteux, Tarier pâtre, Martinet noir, Hirondelle de fenêtre, Hirondelle rustique, Busard Saint-Martin, Busard cendré, Busard des roseaux et Œdicnème criard.**

- Le site comprendrait ces espèces pendant la migration : **Vanneau huppé**, Pluvier doré, **Perdrix grise**, **Roitelet triple bandeau**, **Caille des blés**, **Faisan de Colchide**. L'étude d'impact précise ensuite que durant la « migration, la quasi-totalité de l'avifaune migratrice européenne est susceptible de passer dans le secteur, selon un axe migratoire Nord-Est à Sud-Ouest totalement diffus ».

Le reste de la faune n'a pu être évalué directement. Mais quelques espèces de chiroptère peuvent être observées dans les bourgs, fermes et bois alentour : le **Petit rhinolophe**, le **Grand murin**, l'**Oreillard roux**, la **Pipistrelle commune**.

#### 1.4. Objectifs

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

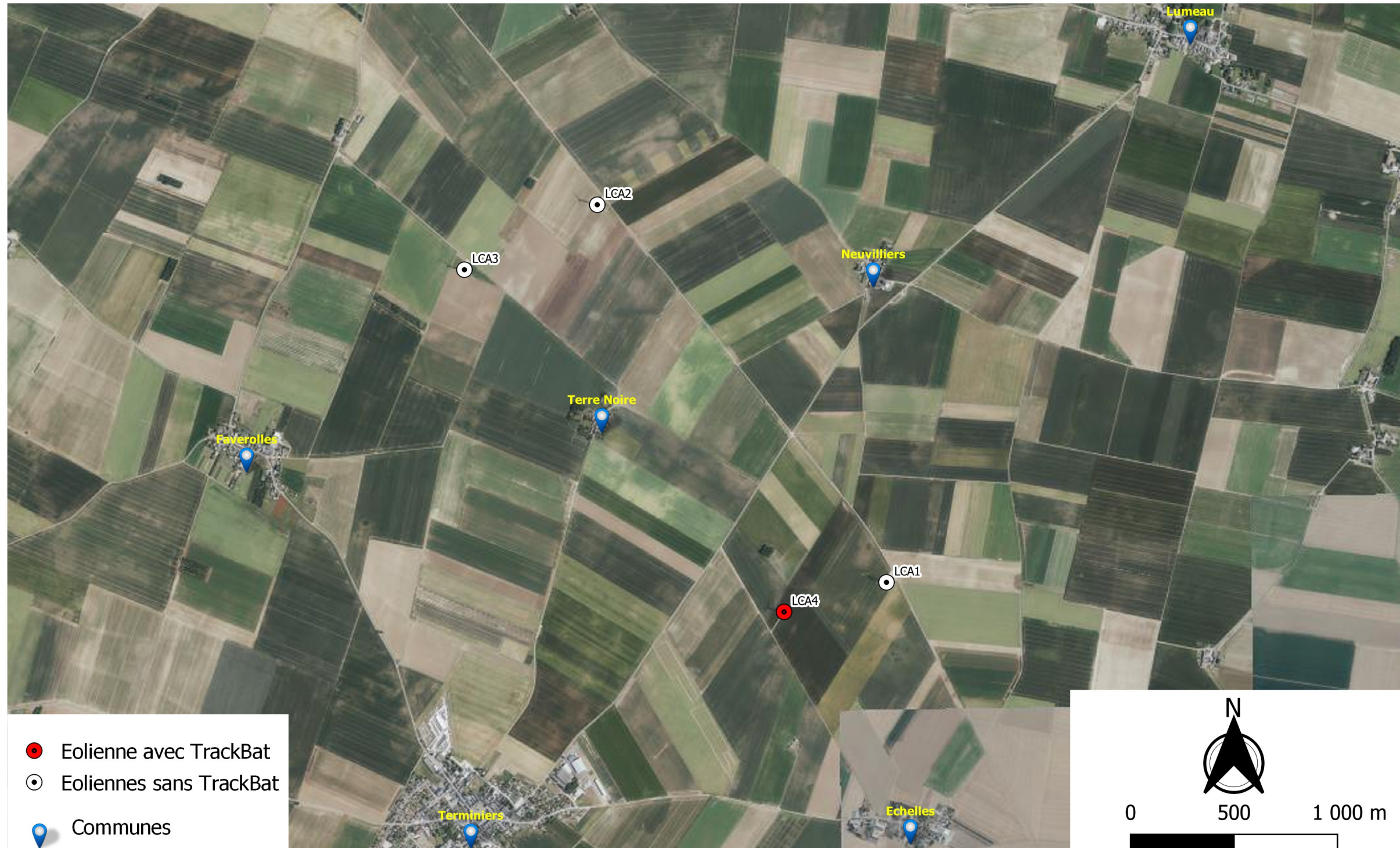
- Une mortalité directe, accidentelle :
  - Par collision avec les pales en mouvement,
  - Par barotraumatisme à proximité de l'extrados des pales en mouvement,
  - De manière plus anecdotique par collision contre le mât.
- Une perte d'habitat, temporaire en phase travaux ou permanente après construction,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

Ces impacts peuvent être très faibles à critiques suivant les configurations des parcs éoliens. Ils dépendent du site, de son utilisation par les chauves-souris et de la sensibilité des espèces présentes. Ils dépendent également du type d'éoliennes, de leur organisation, de leur fonctionnement, de la configuration du parc éolien, de son environnement et des conditions météorologiques. Les exploitants de parcs doivent donc s'assurer que la construction et l'exploitation de chaque parc ne dégradent pas l'état de conservation des espèces et des habitats.

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



## Approche scalaire du site d'implantation Parc éolien du Carreau (Le) Eure-et-Loir (28)

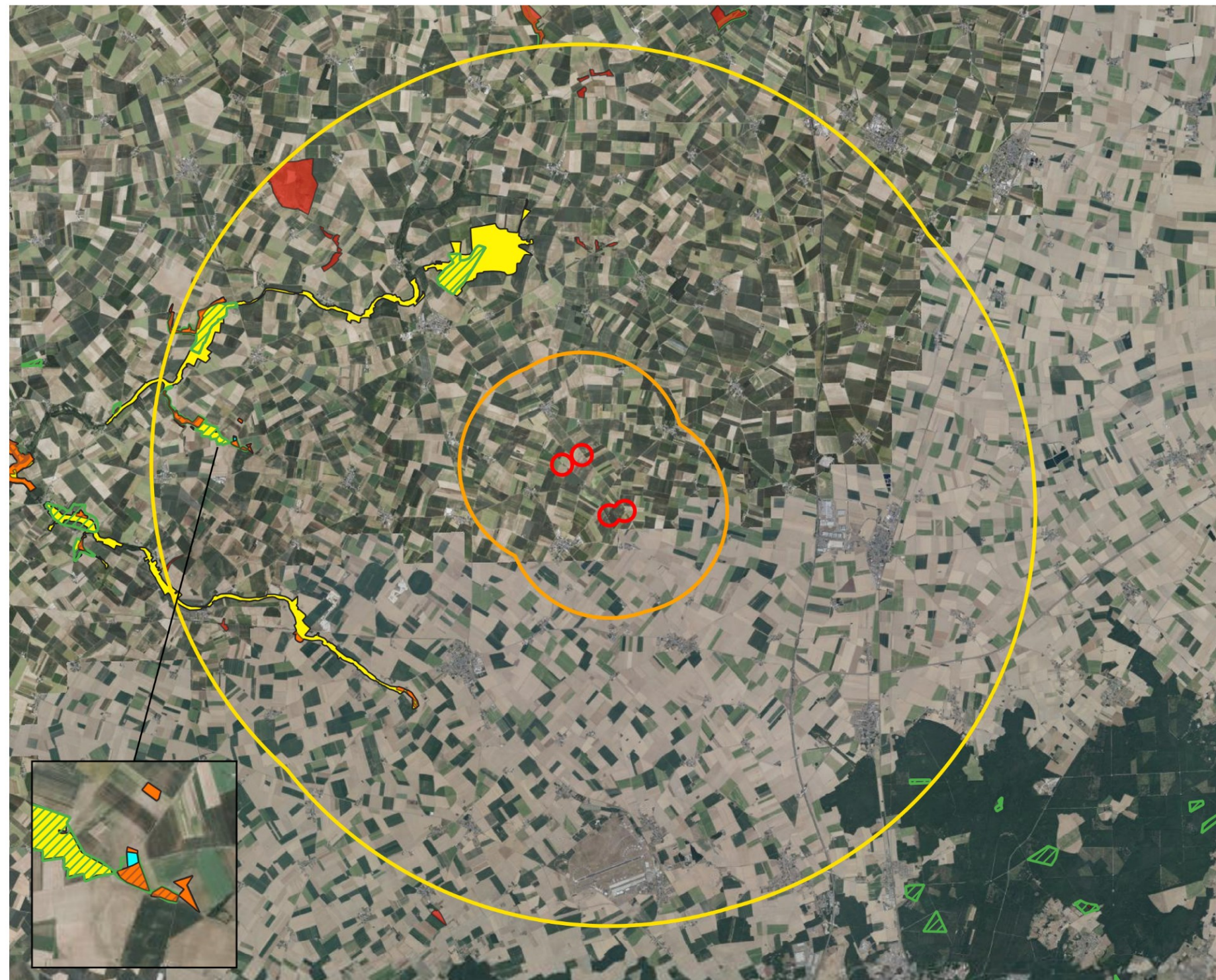


SensOfLife 2022. Fond de carte : géoportail.

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien du Carreau (28).



## Zones naturelles d'intérêts recensées dans un rayon de 20 km autour du parc éolien du Carreau (Le) Eure-et-Loir (28)



- Zone d'étude immédiate (500m)
- Zone d'étude rapprochée (5km)
- Zone d'étude éloignée (20km)
- Zones naturelles recensées**
- ZNIEFF de type I
- ZNIEFF de type II
- Zone Natura 2000 (SIC)
- Terrains acquis par les CEN

SensOfLife 2022. Fond de carte : géoportail.

Carte 2 : Espaces naturels remarquables recensés dans un rayon de 20 km autour du parc éolien du Carreau (28)



## II. Suivi de l'activité des chiroptères sur le parc éolien du Carreau

### II.1. Matériel et méthodes

#### II.1.1. Enregistrement acoustique

Les suivis d'activité chiroptérologique en altitude permettent de définir précisément les niveaux d'activité et les cortèges d'espèces qui interagiront réellement avec les pales des machines. Le suivi des chiroptères a été réalisé du 10 mai au 31 octobre 2021, afin de comprendre l'utilisation du site par ces espèces. Afin de qualifier les déplacements en hauteur, un TrackBat (version acoustique) a été mis en place en nacelle de l'éolienne LCA4 pour sa proximité avec un petit boisement (Carte 1). La pose de ces enregistreurs a pour objectifs :

- De caractériser le cortège d'espèces 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 lever 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 1).

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.

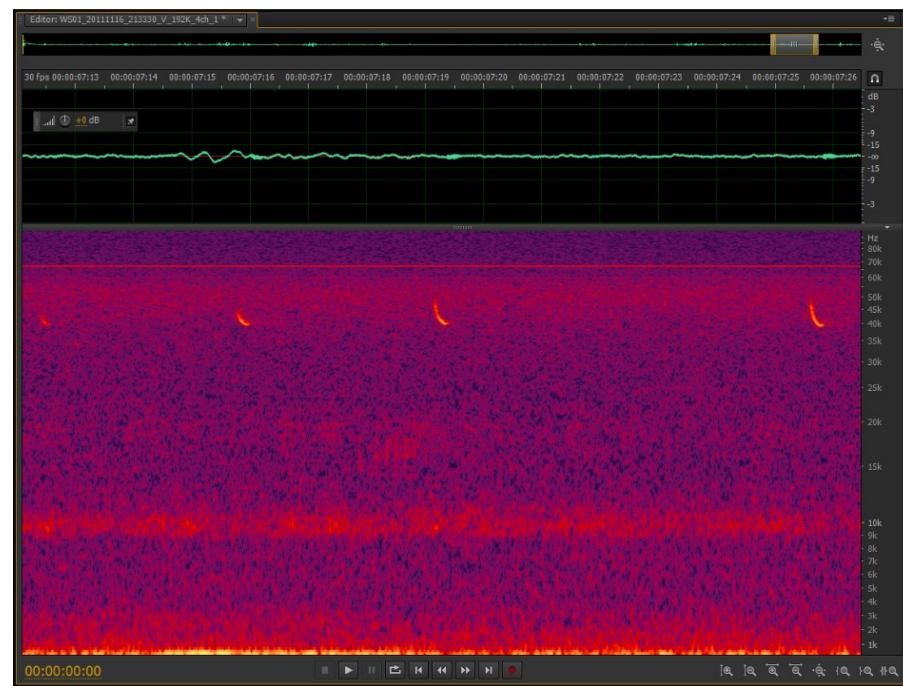


Figure 1 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.

- 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...). Conformément à la mise à jour du protocole de suivi environnemental en 2018, le microphone en altitude est placé sur la face inférieure de la nacelle.



Figure 2 : Boîtier TrackBat placé en nacelle (à gauche), avec microphone déporté sur la face inférieure de la nacelle d'une éolienne (à droite).

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

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

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

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

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

Tableau 2 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores

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

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

- Audacity, un logiciel libre d'analyse et de traitement de son (<http://audacity.fr/>). Il a été utilisé pour vérifier rapidement les sons ;
- Un système de mesure comparable à Sonobat 3.2, un logiciel payant de mesure de sons, dédié à l'identification de chauves-souris (<http://www.sonobat.com/>). Grâce à des algorithmes d'analyse intelligents, Sonobat génère des mesures automatiques des cris d'écholocation identifiés dans les enregistrements. 76 valeurs sont mesurées sur chaque cri. Les fichiers .csv obtenus sont ensuite utilisés pour l'identification proprement dite ;
- Un analogue d'IbatsID (<http://ibatsid.eu-west-1.elasticbeanstalk.com/>), une plateforme Java mobilisant des réseaux de neurones artificiels pour identifier les chauves-souris européennes à partir de leurs enregistrements ultrasonores.

#### Evaluation des indices d'activité

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

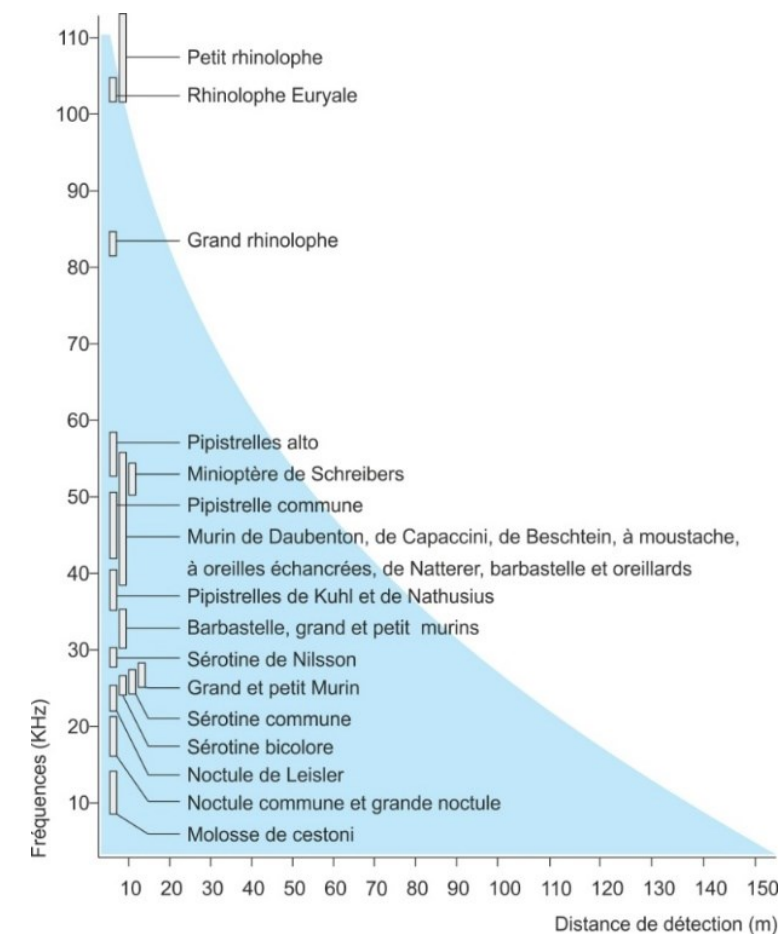


Figure 3 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

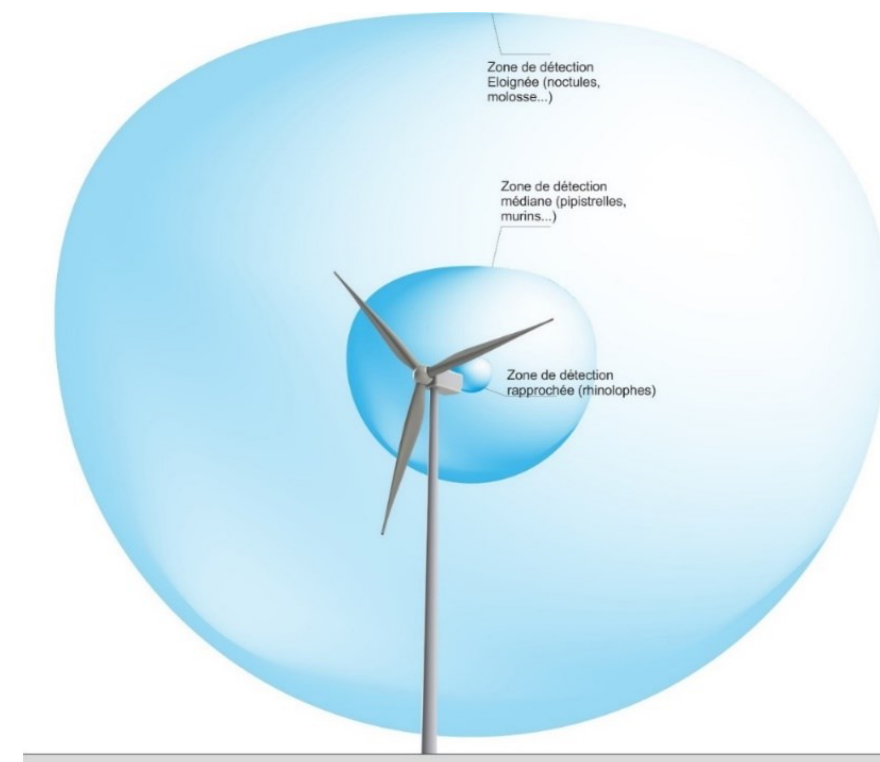


Figure 4 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

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

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

Tableau 3 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

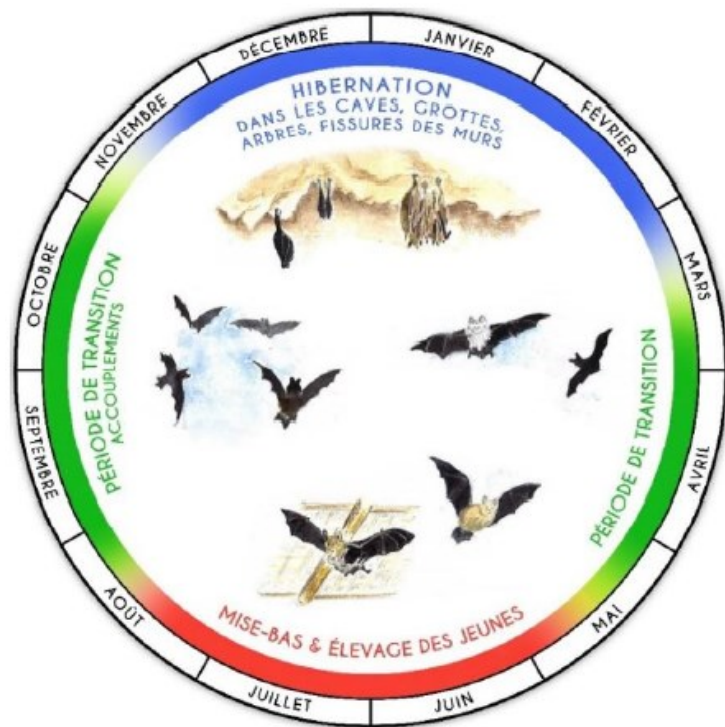


Figure 5 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine.

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

### II.2.1. Activité brute et corrigée par espèce

Les enregistrements des ultrasons ont eu lieu en continu du 10 mai au 31 octobre 2021. Ces suivis permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leurs activités. Le Tableau 4 synthétise le nombre de contacts bruts et corrigés pour chaque espèce contactée à hauteur de la nacelle de l'éolienne LCA4. Au total, 882 contacts de chiroptères ont été enregistrés sur le parc du Carreau. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 676,4 contacts sont comptabilisés.

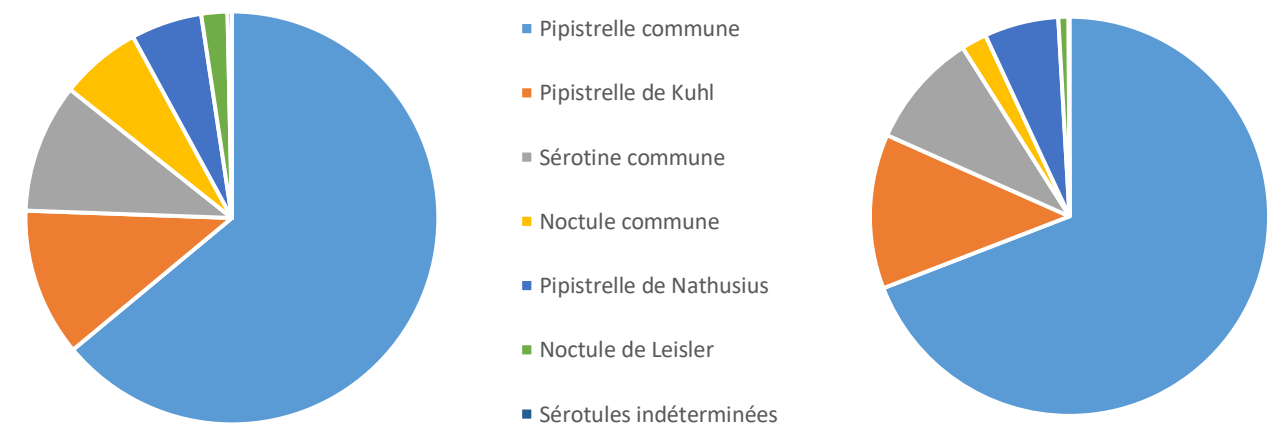
Six espèces ont été contactées et déterminées avec précision (Graphique 1) :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 69,08% des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 12,52% des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 9,34% des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 6,01% des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 2,14% des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 0,82% des contacts.

Des Sérotules indéterminées ont également été contactées et représentent 0,08% des contacts.

Espèce	Contacts bruts		Contacts corrigés	
	Nombre	Proportion	Nombre	Proportion
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	563	63,83%	467,29	69,08%
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	102	11,56%	84,66	12,52%
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	89	10,09%	63,19	9,34%
Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i>	49	5,56%	40,67	6,01%
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i>	58	6,58%	14,50	2,14%
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	18	2,04%	5,58	0,82%
Sérotules indéterminées	3	0,34%	0,34%	0,08%
<b>Total toutes espèces confondues</b>	<b>882</b>		<b>676,4</b>	

Tableau 4 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, en nacelle de LCA4 sur le parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021.



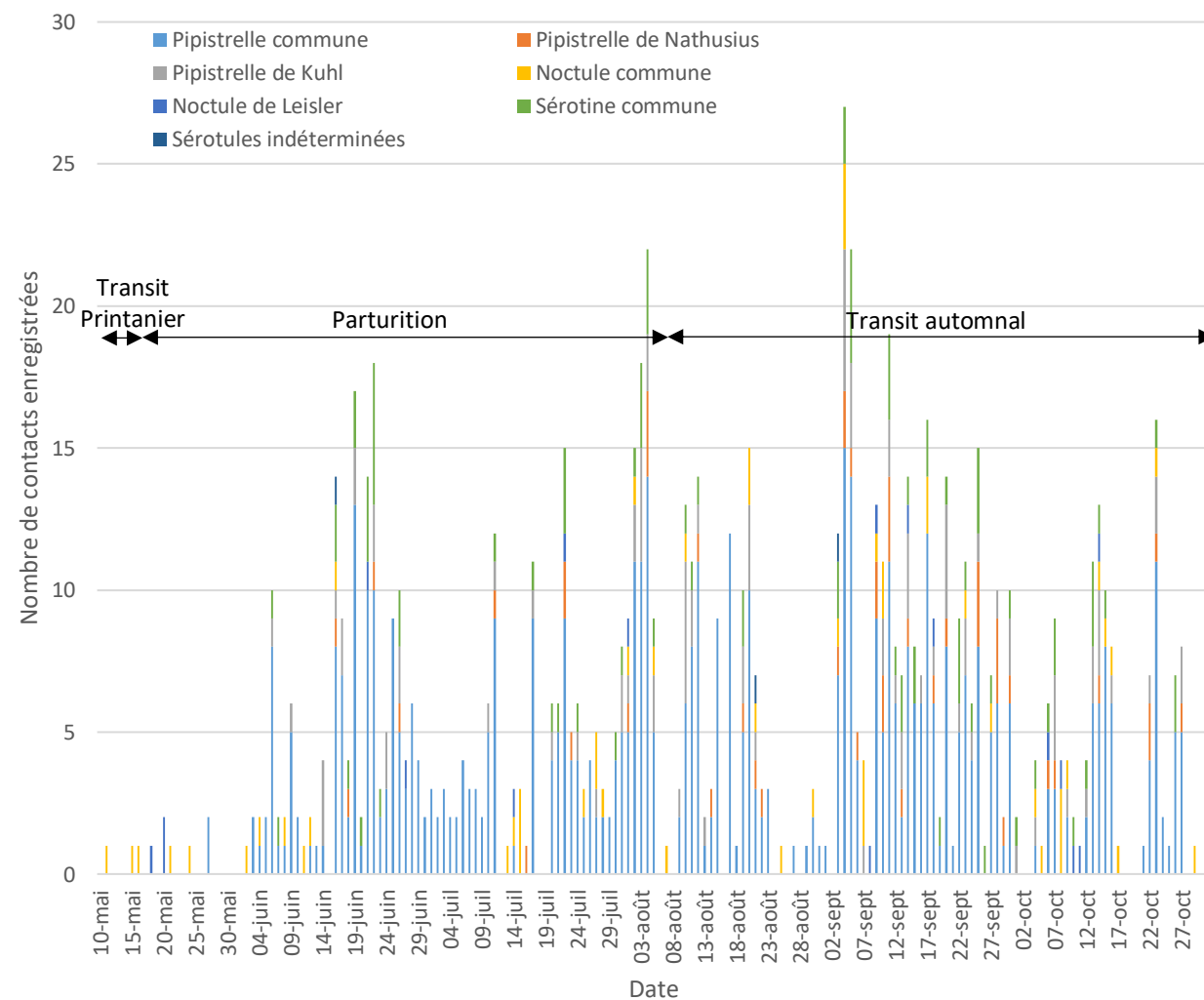
Graphique 1 : Proportion (brute à gauche et corrigée à droite) des espèces contactées en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021

### II.2.2. Activité des chiroptères en fonction de la date sur le parc éolien du Carreau

En nacelle de l'éolienne LCA4, la totalité des contacts a été enregistrée du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021 (Graphique 2). La Noctule commune est l'espèce enregistrée en premier ainsi qu'en dernier avec la Noctule Leisler. La Noctule commune présente la plus grande plage d'activité en termes de dates, contrairement à la Pipistrelle de Nathusius qui présente la plus petite plage d'activité. L'activité est très faible en période de migration printanière. Lors de la parturition, un pic d'activité a été enregistré le 4 août 2021 (22 contacts, soit 2,49% de l'activité totale). En période de migration automnale, un pic d'activité a été enregistré le 4 septembre 2021 (27 contacts, soit 3,06% de l'activité totale). Plus de 90% des contacts de chiroptères autour de cette éolienne sont concentrés entre le 16 juin et le 23 octobre 2021.

Des conditions météorologiques défavorables ont conduit à une forte réduction de l'activité chiroptérologique durant le transit automnal entre le 23 août et 2 septembre. Cette période enregistre une moyenne de vitesse de vent de 8,2ms<sup>-1</sup>

Nombre de contacts de chaque espèce de chiroptères enregistrés en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau en 2021 en fonction de la date

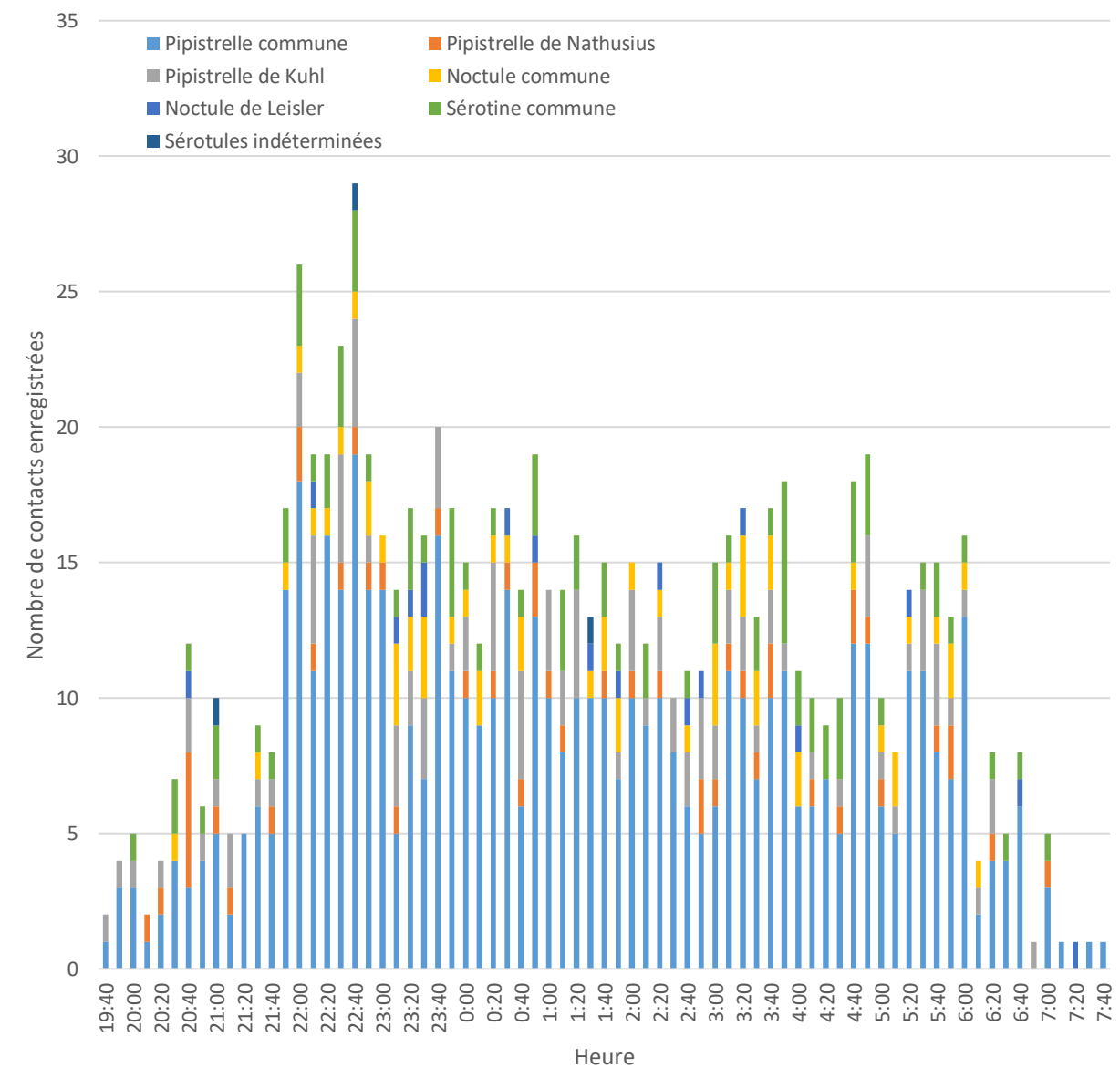


Graphique 2 : Activité des chiroptères en fonction de la date, en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau en 2021.

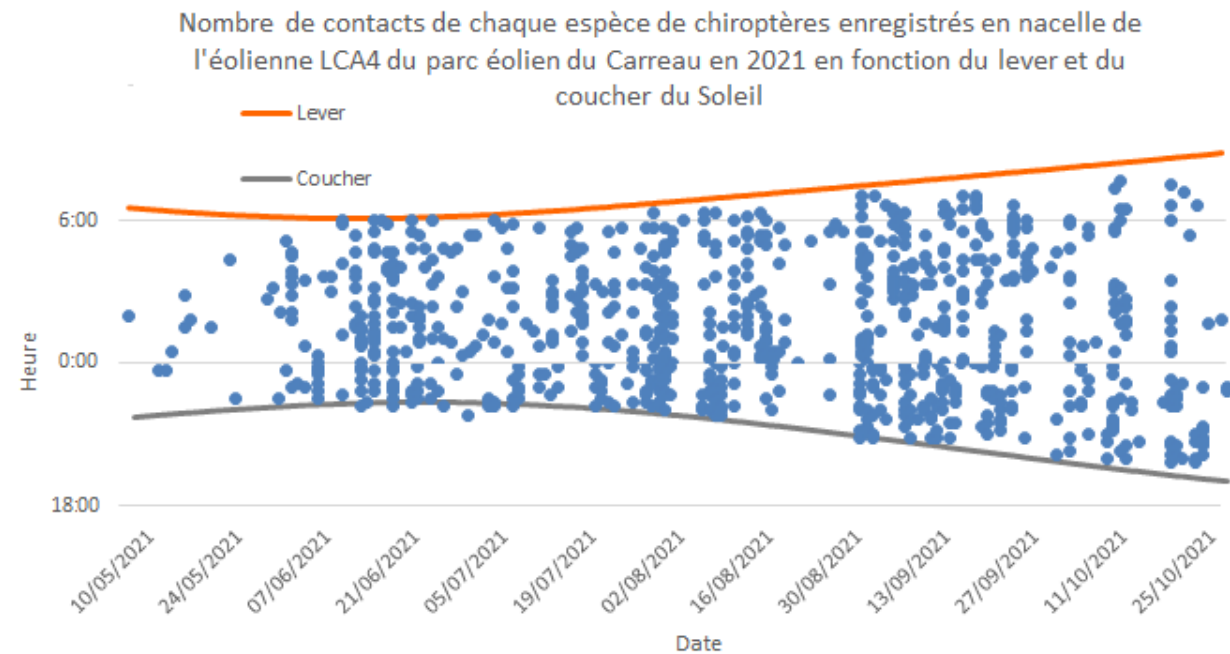
### II.2.3. Activité des chiroptères en fonction de l'heure sur le parc éolien du Carreau

En nacelle de l'éolienne LCA4, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h40 et 07h40 (Graphique 3). La Pipistrelle commune présente la plus grande amplitude horaire, contrairement à la Noctule commune, qui présente la plus petite amplitude horaire. Un pic d'activité a été enregistré à 22h40 (29 contacts, soit 3,29% de l'activité totale), composé de 19 contacts de Pipistrelle commune, 4 contacts de Pipistrelle de Kuhl, 3 contacts de Sérotine commune, 1 contact de Pipistrelle de Nathusius, 1 contact de Noctule commune et 1 contact de Sérotule indéterminée. À l'échelle d'une nuit, 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre 21h30 et 06h40, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne (Graphique 4).

Nombre de contacts de chaque espèce de chiroptères enregistrés en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau en 2021 en fonction de l'heure



Graphique 3 : Activité des chiroptères en fonction de l'heure, enregistrée entre mai et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau.



Graphique 4 : Activité des chiroptères en fonction du lever et du coucher du soleil, enregistrée entre mai et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau.

#### II.2.4. Activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent et de la température

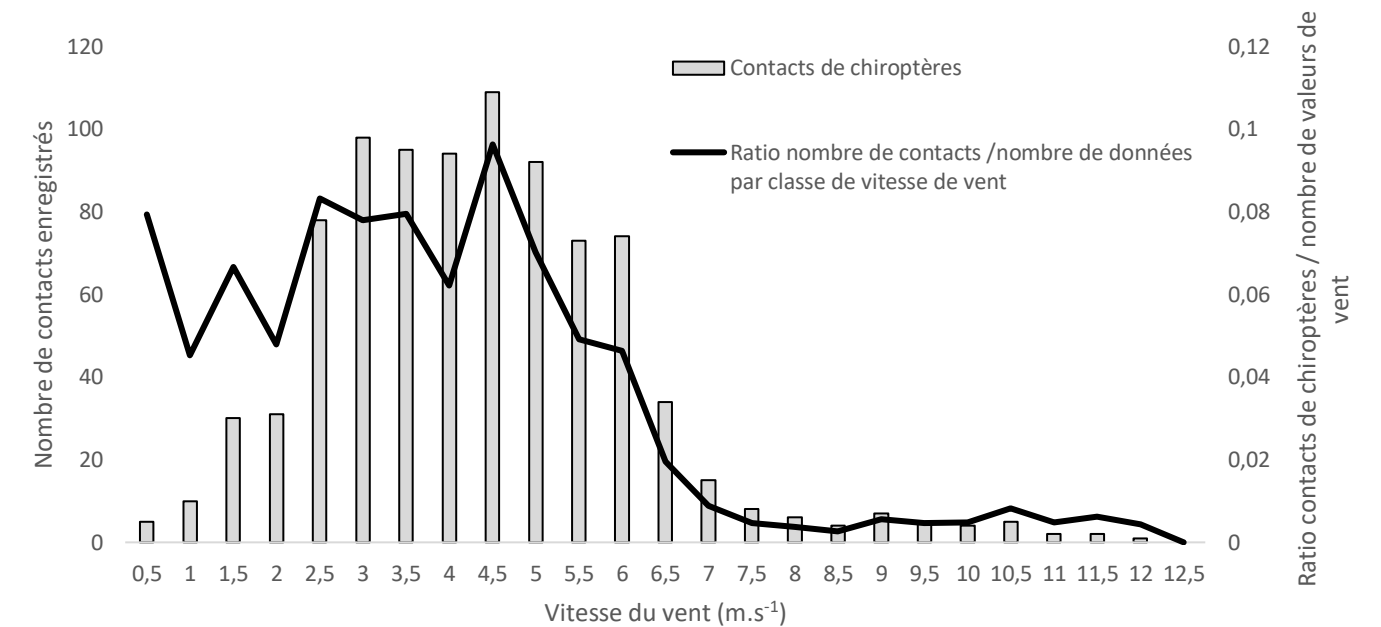
En nacelle de l'éolienne LCA4, l'activité des chiroptères est caractérisée par des vitesses de vent comprises entre 0,5 et 12,0 m.s<sup>-1</sup>, alors que des valeurs de vitesses de vent jusqu'à 23,0 m.s<sup>-1</sup> ont été enregistrées sur le parc éolien. Un pic d'activité a eu lieu pour une vitesse de vent de 4,5 m.s<sup>-1</sup> (Graphique 5), avec 109 contacts, soit 12,36% de l'activité totale. La Noctule commune est l'espèce qui a été enregistrée pour la plus forte vitesse de vent. Plus de 90% des contacts de chiroptères ont été enregistrés pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6,5 m.s<sup>-1</sup>.

Le ratio du nombre de contacts de chiroptères sur le nombre de valeurs de vitesse de vent enregistrées sur le parc éolien (courbe noire) met en lumière le fait que pour des vitesses de vent de 0,0 à 2,0 m.s<sup>-1</sup>, le nombre de contacts de chiroptères est élevé par rapport au nombre de valeurs enregistrées pour ces vitesses de vent.

En nacelle de l'éolienne LCA4, l'activité des chiroptères est caractérisée par des températures comprises entre 9°C et 29°C, alors que des valeurs de température plus extrêmes (jusqu'à 5°C et 32°C) ont bien été enregistrées sur le parc. Un pic d'activité a eu lieu pour une température de 19°C (Graphique 6), avec 92 contacts, soit 10,43% de l'activité totale. La Pipistrelle commune est l'espèce enregistrée aux températures les plus fraîches. Plus de 90% des contacts de chiroptères ont été enregistrés pour des températures supérieures ou égales à 12°C.

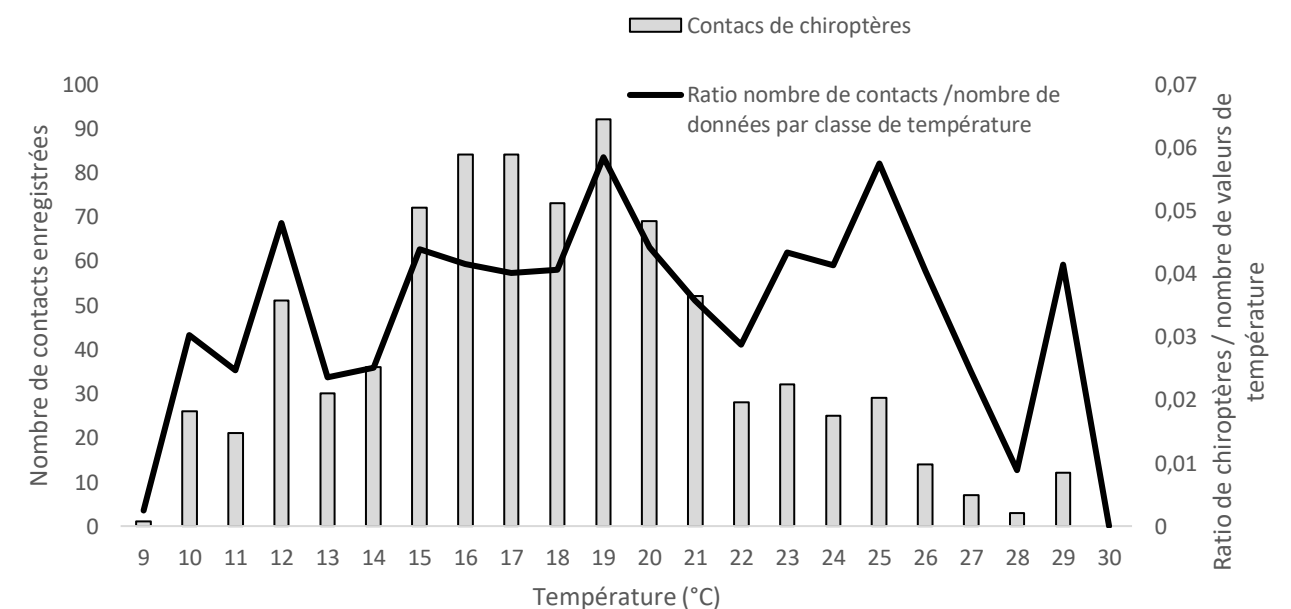
Le ratio du nombre de contacts de chiroptères sur le nombre de valeurs de température enregistrées sur le parc éolien (courbe noire) met en lumière le fait qu'une activité chiroptérologique importante se manifeste pour les températures comprises entre 22°C et 27°C ainsi qu'à 29°C alors ces valeurs de températures sont réduites. Autrement, le nombre de contacts de chiroptères suit globalement le nombre de valeurs enregistrées pour les températures restantes.

Nombre de contacts de chaque espèce de chiroptères enregistrés en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc du Carreau en 2021 en fonction de la vitesse du vent



Graphique 5 : Activité des chiroptères, enregistrée entre mai et octobre 2021 en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, en fonction de la vitesse de vent.

Nombre de contacts de chaque espèce de chiroptères enregistrés en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc du Carreau en 2021 en fonction de la température



Graphique 6 : Activité des chiroptères, enregistrée entre mai et octobre 2021 en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, en fonction de la température.

Le Tableau 5 présente l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent et de la température combinée. Pour plus de lisibilité, les températures extrêmes et les fortes vitesses de vent n'enregistrant aucun contact de chiroptère n'ont pas été incluses dans le tableau.

Dû à des redémarrages du TrackBat durant des sessions de collectes de données, certaines relevées d'activité ont par défaut indiqué une température égale à 0°C. Ces données chiroptérologiques ont été incluses dans le tableau afin de ne pas fausser les résultats totaux, mais cette température-ci n'est pas à prendre en compte lors l'interprétation de l'activité des chiroptères sur le parc éolien du Carreau.

En nacelle de l'éolienne LCA4, l'activité la plus forte a été enregistrée pour une vitesse de vent de 4 m.s-1 combinée à une température de 19°C (25 contacts). Plus de 90% des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6,5 m.s-1 et des températures supérieures ou égales à 12°C (carré rouge).

	Vitesse de vent (m.s <sup>-1</sup> )														Total
	0	1	2	3	4	5	6	6,5	7	8	9	10	11	12	
0	0	2	4	2	16	2	4	3	5	1	1	0	1	0	41
9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	4	9	4	3	3	0	1	0	1	1	0	0	26
11	0	0	4	5	2	3	1	0	1	0	1	2	1	1	21
12	0	2	4	11	16	6	7	1	2	1	0	1	0	0	51
13	0	0	3	10	2	10	3	0	0	1	1	0	0	0	30
14	0	0	3	2	5	10	8	3	1	1	2	0	1	0	36
15	0	3	10	17	10	12	12	3	2	1	0	2	0	0	72
16	1	3	16	14	21	16	7	3	1	0	1	1	0	0	84
17	0	0	11	12	19	21	13	6	0	1	1	0	0	0	84
18	0	2	7	19	10	19	7	2	2	1	1	1	1	1	73
19	0	5	4	20	25	15	14	4	1	1	3	0	0	0	92
20	0	0	5	22	16	12	5	5	3	1	0	0	0	0	69
21	0	0	4	9	13	14	9	1	0	0	1	1	0	0	52
22	0	3	2	4	8	6	4	1	0	0	0	0	0	0	28
23	0	0	0	5	13	8	5	1	0	0	0	0	0	0	32
24	0	0	2	8	3	9	2	0	1	0	0	0	0	0	25
25	0	4	1	3	7	8	5	1	0	0	0	0	0	0	29
26	0	0	1	3	2	6	1	0	1	0	0	0	0	0	14
27	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	1	0	0	0	7
28	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3
29	0	0	6	4	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	12
Total	1	24	92	179	195	183	115	34	21	9	14	9	4	2	882

Tableau 5 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s<sup>-1</sup>) en nacelle de l'éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021.

### II.2.5. Caractérisation du niveau d'activité des chiroptères par espèce et par saison par rapport au référentiel Sens Of Life

Rappelons ici que l'activité des chiroptères a été enregistrée sur le parc éolien du Carreau du 10 mai au 31 octobre 2021 et est donc séquencée en trois saisons en fonction de leur cycle biologique (Figure 5) :

- Du 10/05/2021 au 15/05/2021, soit 5 nuits d'enregistrement, pour la migration printanière,
- Du 16/05/2021 au 15/08/2021, soit 92 nuits d'enregistrement, pour la parturition,
- Du 16/08/2021 au 31/10/2021, soit 77 nuits d'enregistrement, pour la migration automnale.

Le Tableau 6, le Tableau 7 et le Tableau 8 précisent le détail de l'activité corrigée de chaque espèce de chiroptères par nuit, soit en prenant en compte seulement les nuits où l'espèce a été contactée, soit en prenant en compte toutes les nuits, respectivement lors de la migration printanière, de la parturition et de la migration automnale.

Migration printanière (n = 5)	Nombre de contacts corrigés	Moyenne toutes nuits	Moyenne par nuit d'activité
Pipistrelle commune	0	0	-
Pipistrelle de Nathusius	0	0	-
Pipistrelle de Kuhl	0	0	-
Noctule commune	0,5	0,1	0,25
Noctule de Leisler	0	0	-
Sérotine commune	0	0	-

Tableau 6 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration printanière sur le Carreau en 2021

Parturition (n = 92)	Nombre de contacts corrigés	Moyenne toutes nuits	Moyenne par nuit d'activité
Pipistrelle commune	242,36	2,63	3,79
Pipistrelle de Nathusius	12,45	0,14	1,04
Pipistrelle de Kuhl	37,35	0,41	1,44
Noctule commune	5,75	0,06	0,29
Noctule de Leisler	2,48	0,03	0,35
Sérotine commune	28,4	0,31	1,14

Tableau 7 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la parturition sur le Carreau en 2021

Migration automnale (n = 77)	Nombre de contacts corrigés	Moyenne toutes nuits	Moyenne par nuit d'activité
Pipistrelle commune	224,93	2,92	4,24
Pipistrelle de Nathusius	28,22	0,37	1,18
Pipistrelle de Kuhl	47,31	0,61	1,53
Noctule commune	8,25	0,11	0,36
Noctule de Leisler	3,1	0,04	0,31
Sérotine commune	34,79	0,45	1,16

Tableau 8 : Détail de l'activité des chiroptères lors de la migration automnale sur le Carreau en 2021

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

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

Ainsi, le référentiel Sens Of Life définit des valeurs seuils pour les espèces contactées sur le parc éolien du Carreau (détaillées en annexe VII.2) qui nous permettent de caractériser le niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères en fonction de la saison (Tableau 9).

Espèce		Migration printanière	Parturition	Migration automnale
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Nulle	Très forte	Très forte
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Nulle	Très faible	Forte
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Nulle	Moyenne	Très forte
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Très forte	Forte	Très forte
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nulle	Faible	Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Nulle	Très forte	Très forte

Tableau 9 : Caractérisation du niveau d'activité de chaque espèce de chiroptères enregistrée sur le Carreau en 2021, en fonction du cycle biologique, selon la moyenne d'activité toutes nuits confondues

À l'exception de la **Noctule commune**, aucune autre espèce n'a été enregistrée durant la période de migration printanière. Cette dernière montre une activité très soutenue tout au long de son cycle biologique et qui se réduit légèrement durant la parturition en passant d'une activité très forte à forte. Pour le restant du cycle biologique, la **Sérotine commune** et la **Pipistrelle commune** ont toutes les deux une activité très forte. En revanche, la **Noctule de Leisler** a, quant à elle, une activité faible pendant la parturition et la migration automnale. Les **Pipistrelles de Nathusius** et **de Kuhl** ont une activité qui augmente entre les périodes de parturition et de migration automnale en passant d'une activité chiroptérologique très faible à forte et de forte à très forte respectivement.

### II.3. Zoom sur les espèces présentes sur le parc du Carreau et leur sensibilité

#### II.3.1. Patrimonialité des chiroptères sur le parc éolien du Carreau

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

Toutes les espèces de chauves-souris présentes en France sont intégralement protégées par l'Arrêté Ministériel du 17 avril 1981 relatif à la protection de l'environnement. Depuis 1979, au niveau international, la Convention de Bonn et la Convention de Berne demandent aux états contractants d'assurer la protection de toutes les espèces de chauves-souris décrites dans les annexes, ainsi que la protection des gîtes de reproduction et d'hivernation. 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 Picardie
Noctule commune	IV	II	I	LC	VU	VU
Pipistrelle de Nathusius	IV	II	I	LC	NT	NT
Pipistrelle commune	IV	II	I	LC	NT	LC
Noctule de Leisler	IV	II	I	LC	NT	NT
Sérotine commune	IV	II	I	LC	NT	NT
Pipistrelle de Kuhl	IV	II	I	LC	LC	DD

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

#### Légende :

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

Berne/Bonn = Annexe des conventions de Berne/Bonn

EUROBATS = Annexe de la convention de Bonn, accord EUROBATS

LR Europe/France = Liste rouge Européenne / Française (2017).

LR Picardie = Liste rouge régionale, Picardie Nature (2016).

**VU** : Vulnérable

**NT** : Quasi menacée

**LC** : Préoccupation mineure

**DD** : Données insuffisantes

#### II.3.2. Calcul de la note de risque

Pour les chiroptères, la note de sensibilité à l'activité éolienne est le rapport entre la mortalité européenne constatée de l'espèce sur celle toutes espèces de chiroptères confondues (Dürr, 2021) :

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

Enfin, la note de risque, ou vulnérabilité à l'éolien, est le résultat du croisement entre l'enjeu de conservation d'une espèce au niveau national (Tableau 10) et sa sensibilité avérée à l'activité des parcs éoliens, selon la matrice ci-dessous.

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

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

### II.3.3. 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 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.

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.).

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).

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

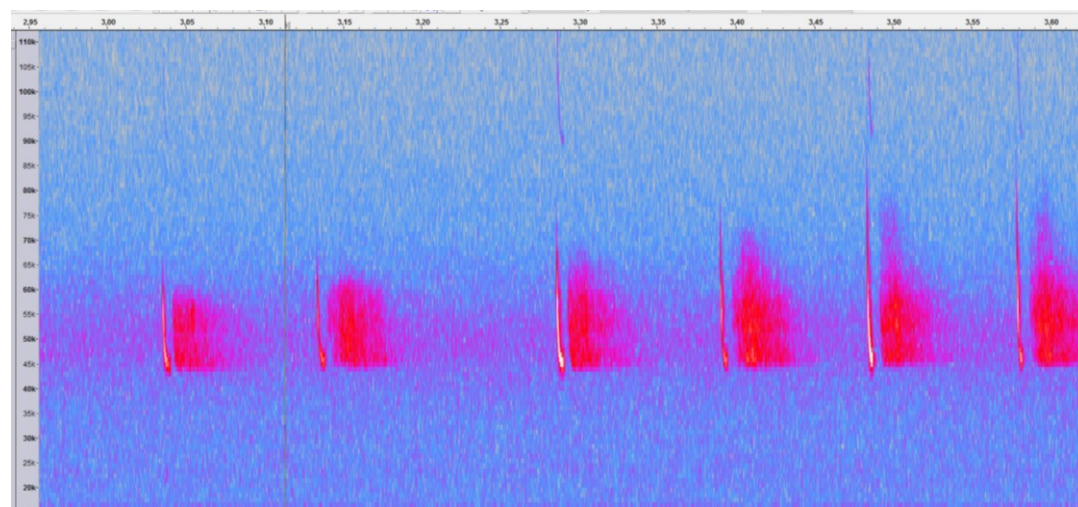


Figure 7 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune

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

	Pipistrelle commune – LCA4	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 563	
Nombre de contacts corrigés	N = 467,29	
Proportion par rapport aux contacts totaux	69,08%	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 15, le 04/09/2021	Du 27/05/21 au 27/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 19 à 22h40	Entre 19h40 et 07h40
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 58 pour 17°C et 19°C	9°C à 29°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 69 pour 3,0 m.s <sup>-1</sup> et 4,0 m.s <sup>-1</sup>	0,5 à 11,0 m.s <sup>-1</sup>

Tableau 12 : Données d'activité de la Pipistrelle commune sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.

Concernant la mortalité en Europe, 2 435 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune, dont 1 012 en France. C'est l'espèce dont les cas de mortalité relevés par Dürr (2021) 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. **Sa note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

### II.3.4. 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.

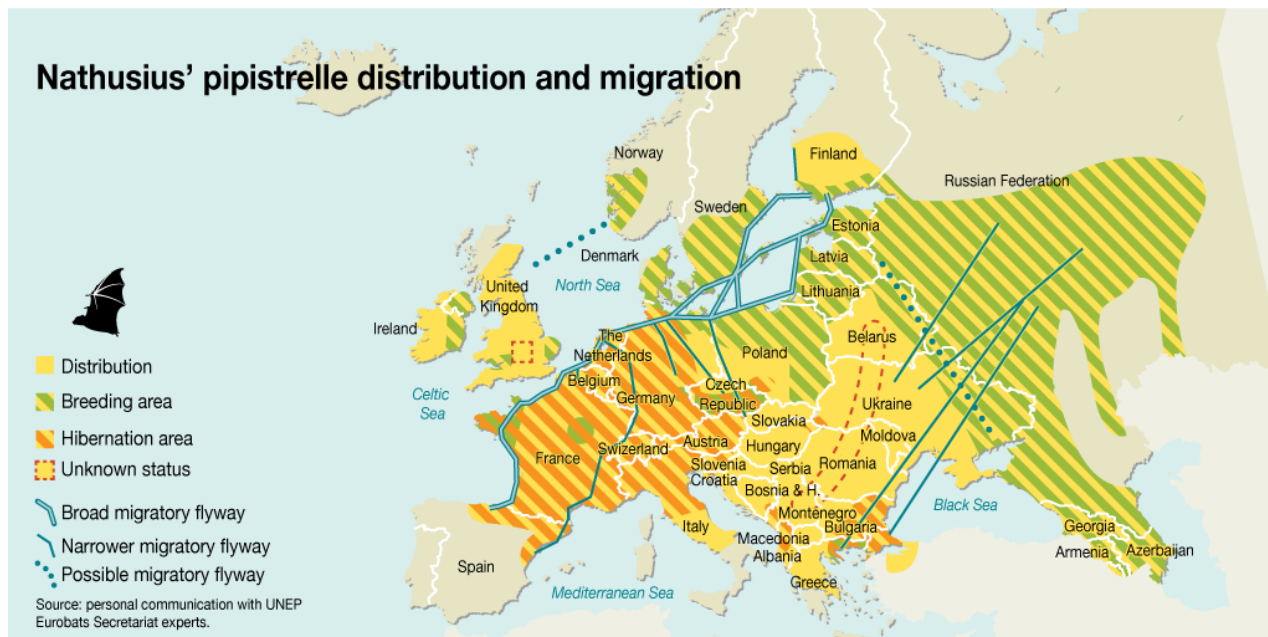


Figure 8 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.

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

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





Carte 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.

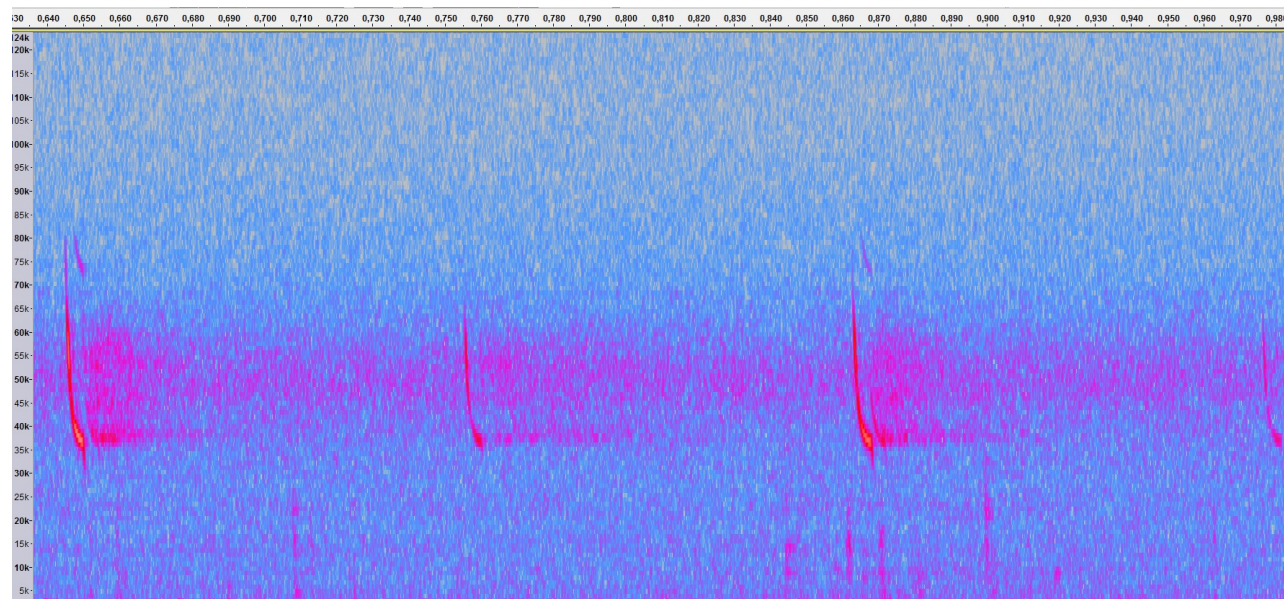


Figure 9 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

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

	Pipistrelle de Nathusius – LCA04	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 49	
Nombre de contacts corrigés	N = 40,67	
Proportion par rapport aux contacts totaux	6,01%	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 3, le 04/08/21, 11/09/21, 25/09/21 et le 28/09/21	Du 16/06/21 au 27/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 5 à 20h40	Entre 20h10 et 07h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 7 pour 16°C	10°C à 27°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 8 pour 3,5 m.s <sup>-1</sup> et 4,0 m.s <sup>-1</sup>	De 0,5 à 6,0 m.s <sup>-1</sup>

Tableau 13 : Données d'activité de la Pipistrelle de Nathusius sur l'éolienne LCA04 du Carreau en 2021.

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

### II.3.5. 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 (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II) 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 aussi bien dans les espaces boisés que 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.

Pour hiberner, elle se mélange avec d'autres Pipistrelles et préfère les infructuosités 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'infructuosité 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 observé est de huit ans et l'espérance de vie moyenne est se situe entre 2 et 3 ans.

L'espèce est abondante et même en expansion depuis quelques années. Elle jouit d'une grande aire de répartition. Cependant, par son caractère anthropophile, cette chauve-souris est souvent victime de dérangement ou de destruction de ses gîtes et les chats et les collisions automobiles sont les deux causes les plus connues d'accidents (Arthur & Lemaire, 2009).

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

	Pipistrelle de Kuhl – LCA4	
	Pic d'activité	Plage d'activité
<b>Nombre de contacts bruts</b>	N = 102	
<b>Nombre de contacts corrigés</b>	N = 84,66	
<b>Proportion par rapport aux contacts totaux</b>	12,52%	
<b>Nombre de contacts en fonction de la date</b>	N = 5 le 10/08/21 et le 04/09/21	Du 06/06/21 au 27/10/21
<b>Nombre de contacts en fonction de l'heure</b>	N = 4 à 22h10, 22h30, 22h40, 00h20, 00h40 et 01h20	Entre 19h40 et 06h50
<b>Nombre de contacts en fonction de la température</b>	N = 12 pour 19°C	10°C à 29°C
<b>Nombre de contacts en fonction du vent</b>	N = 15 pour 4,5 m.s <sup>-1</sup>	1,5 à 6,0 m.s <sup>-1</sup>

Tableau 14 : Données d'activité de la Pipistrelle de Kuhl sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.

La Pipistrelle de Kuhl est la 5<sup>ème</sup> espèce la plus impactée, avec 469 cadavres recensés en Europe, dont 219 en France (Dürr, 2021). Ceci s'explique par son affinité pour les milieux ouverts, sa tendance à suivre les structures verticales et par sa curiosité (LPO Rhône-Alpes). **Sa note de risque est moyenne (2,5/4,5).**

### II.3.6. 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 1 546 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 24 kHz ; elles peuvent porter jusqu'à 150 mètres.

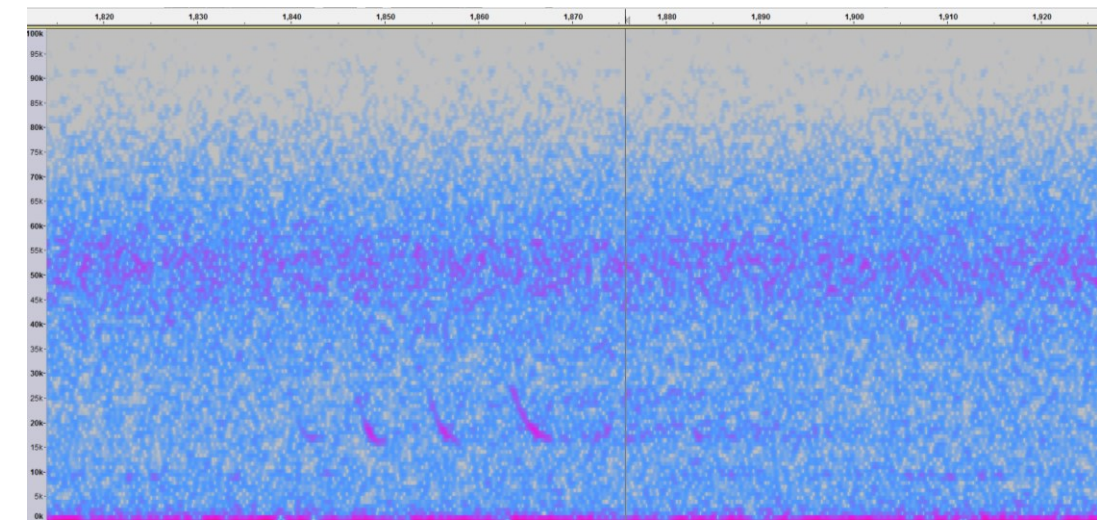


Figure 12 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune

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

	Noctule commune – LCA4	
	Pic d'activité	Plage d'activité
<b>Nombre de contacts bruts</b>	N = 58	
<b>Nombre de contacts corrigés</b>	N = 14,5	
<b>Proportion par rapport aux contacts totaux</b>	2,14%	
<b>Nombre de contacts en fonction de la date</b>	N = 3 le 15/07/21, le 04/09/21 et le 07/09/21	Du 11/05/21 au 31/10/21
<b>Nombre de contacts en fonction de l'heure</b>	N = 3 à 23h10, 23h30, 03h00 et 03h20	Entre 20h30 et 06h10
<b>Nombre de contacts en fonction de la température</b>	N = 8 pour 19°C	10°C à 27°C
<b>Nombre de contacts en fonction du vent</b>	N = 7 pour 5,0 m.s <sup>-1</sup>	2,0 à 12,0 m.s <sup>-1</sup>

Tableau 15 : Données d'activité de la Noctule commune sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.

La Noctule commune est la 3<sup>ème</sup> espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 1 565 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à la Noctule commune en Europe, dont 104 en France (Dürr, 2021). Son comportement de chasse et ses déplacements à des altitudes élevées la rendent particulièrement sensible à cet impact. **Sa note de risque est la plus élevée chez les chiroptères (4/4,5).**

### 11.3.7. Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)

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

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.



Figure 13 : Noctule de Leisler. CCO domaine public.

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, Hémérobiiidés, 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 1 567 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 26 kHz.

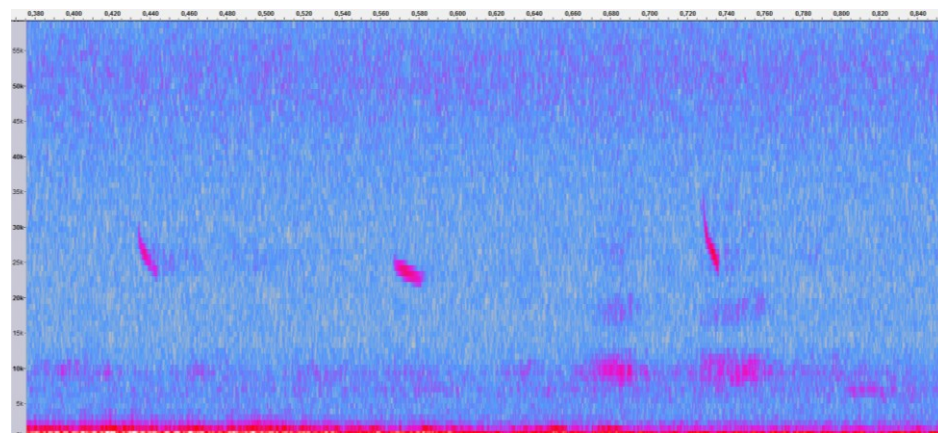


Figure 14 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

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

	Noctule de Leisler – LCA4	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 18	
Nombre de contacts corrigés	N = 5,58	
Proportion par rapport aux contacts totaux	0,82%	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 2 le 20/05/21	Du 18/05/21 au 31/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 2 à 23h30	Entre 20h40 et 07h20
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 3 à 10°C, 11°C et 17°C	10°C à 23°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 4 à 9,0 m.s <sup>-1</sup>	2,5 à 10,0 m.s <sup>-1</sup>

Tableau 16 : Données d'activité de la Noctule de Leisler sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.

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

### 11.3.8. Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)



Figure 15 : Sérotine commune. CCO domaine public.

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.

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

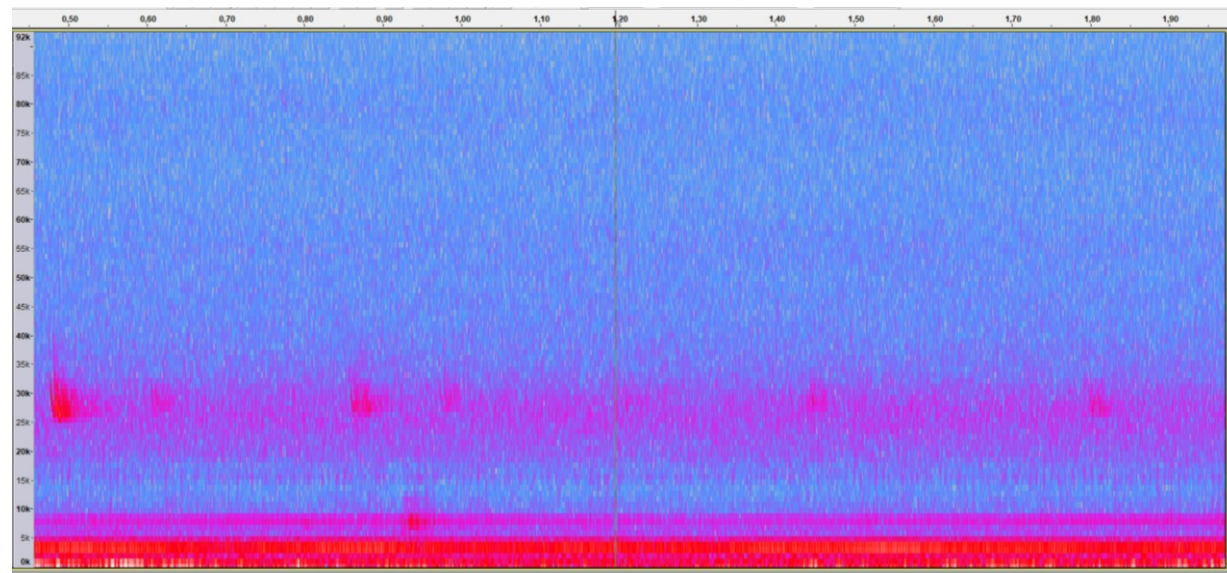


Figure 16 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

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

	Sérotine commune – LCA4	
	Pic d'activité	Plage d'activité
Nombre de contacts bruts	N = 89	
Nombre de contacts corrigés	N = 63,19	
Proportion par rapport aux contacts totaux	9,34%	
Nombre de contacts en fonction de la date	N = 5 le 22/06/2021	Du 06/06/21 au 26/10/21
Nombre de contacts en fonction de l'heure	N = 6 à 3h50	Entre 20h00 et 07h00
Nombre de contacts en fonction de la température	N = 10 pour 16°C et 17°C	10°C à 29°C
Nombre de contacts en fonction du vent	N = 16 pour 5,5 m.s <sup>-1</sup>	0,5 à 6,0 m.s <sup>-1</sup>

Tableau 17 : Données d'activité de la Sérotine commune sur l'éolienne LCA4 du Carreau en 2021.

C'est la 10<sup>ème</sup> espèce la plus impactée par l'éolien en Europe : 123 cas ont été attribués de manière certaine à la Sérotine commune en Europe, dont 34 en France, et 115 cas en Europe où la détermination n'a pu discriminer la Sérotine commune et la Sérotine isabelle (Dürr, 2021). Les éoliennes situées à proximité de lisières et dont le champ de rotation des pales passe proche des structures de végétation (canopée, lisières...) sont les plus dangereuses. **Sa note de risque est élevée (3/4,5).**

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

Avec un total de 676,40 contacts corrigés, six espèces de chiroptères ont été identifiées en altitude :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente 69,08% des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente 12,52% des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente 9,34% des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente 6,01% des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente 2,14% des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente 0,82% des contacts.

Des Sérotines indéterminées ont également été contactées et représentent 0,08% des contacts.

À l'exception de la **Noctule commune**, aucune autre espèce n'a été enregistrée durant la période de migration printanière. Cette dernière montre une activité très soutenue tout au long de son cycle biologique et qui se réduit légèrement durant la parturition en passant d'une activité très forte à forte. Pour le restant du cycle biologique, la **Sérotine commune** et la **Pipistrelle commune** ont toutes les deux une activité très forte. En revanche, la **Noctule de Leisler** a, quant à elle, une activité faible pendant la parturition et la migration automnale. Les **Pipistrelles de Nathusius** et de **Kuhl** ont une activité qui augmente entre les périodes de parturition et de migration automnale en passant d'une activité chiroptérologique très faible à forte et de forte à très forte respectivement.

L'ensemble des contacts a été enregistré du 10 mai 2021 au 31 octobre 2021. Plus de 90% des contacts sont concentrés entre le 16 juin et le 23 octobre 2021, avec des pics d'activité enregistrés le 4 août 2021 en période de parturition et le 4 septembre 2021 en période de migration automnale. L'activité est très faible en période de migration printanière.

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

La totalité de l'activité est enregistrée pour des vitesses de vent inférieures à 12,0 m.s<sup>-1</sup>, dont 90% de cette activité pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6,5 m.s<sup>-1</sup>. Un pic d'activité a été enregistré pour une vitesse de vent de 4,5 m.s<sup>-1</sup>.

La totalité de l'activité est enregistrée pour des températures comprises entre 9°C et 29°C, dont 90% de cette activité pour des températures supérieures ou égales à 12°C. Un pic d'activité a été enregistré pour une température de 19°C.

### III. Suivi de la mortalité sur le parc éolien du Carreau

Cette étude est proposée dans le but d'optimiser les connaissances quant à l'impact du parc éolien du Carreau 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 de recherche de cadavres au sol

Le suivi de la mortalité est basé sur un protocole développé par l'équipe d'Arnett (Casselman Wind Project, 2008-2010), puis adapté et appliqué en Europe par des membres de notre équipe sur le parc éolien de Bouin (Lagrange *et al.*, 2009). Il est conforme au protocole ministériel publié en 2018 et se déroule sur 20 prospections au minimum, à débuter dès le lever du jour, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre) et dans un rayon de 50 mètres minimum autour du mât de chaque éolienne. Les suivis de mortalité ont été effectués sur le parc éolien du Carreau selon le protocole, avec 21 passages répartis entre le 27/05/2021 et le 20/10/2021 (Tableau 18).

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 (60 mètres, soit 14 mètres de plus que la longueur des pales) 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 12 cercles (60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25, 20, 15, 10 et 5 mètres) soit 2 450 mètres de transect, à une vitesse approximative de 3 km/h (Figure 17). L'opération nécessite 50 minutes de parcours, auxquelles s'ajoutent 10 minutes de relevés de cadavres. La surface prospectée est de 12 272 m<sup>2</sup> ( $S = \pi.R^2$ , avec  $R = 62,5$  mètres, dont 60 mètres de corde et 2,5 mètres de prospection).

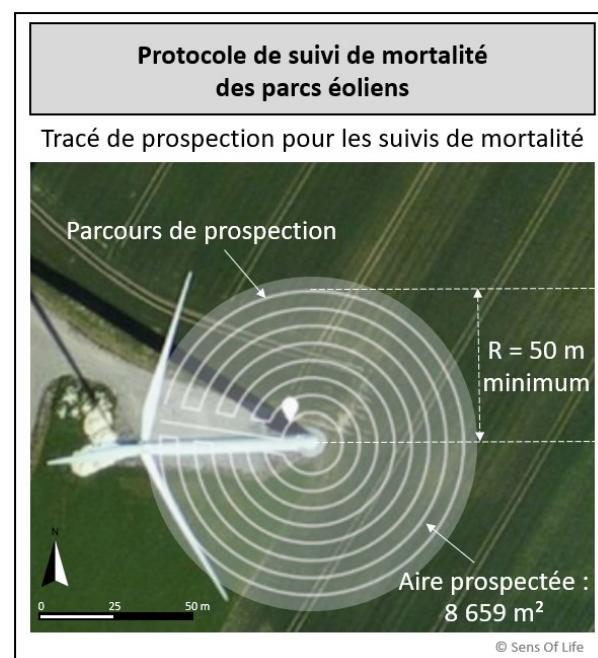


Figure 17 : Représentation du transect de prospection réalisé pour la recherche de cadavres sous une éolienne.

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

- La nature des individus (taille et poids) ;
- Du protocole de recherche implémenté, avec une détectabilité maximale avec des prospections au-delà de 50 mètres de rayon ;
- De la visibilité du terrain prospecté (couverture végétale, relief, conditions météo...);
- 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).

Les conditions météorologiques observées lors des suivis de mortalité sur le parc du Carreau et pouvant influencer la détectabilité ont été détaillées dans le tableau suivant :

Date	Parc éolien du Carreau			
	Direction du vent	Vitesse de vent (km/h)	Température (°C)	Conditions climatiques
27/05/2021	NA	10,8	22	Soleil et partiellement nuageux
04/06/2021	NA	19,8	17	Pluie légère et soleil
07/06/2021	NA	16,2	18	Nuageux
17/06/2021	NA	21,6	20	Pluie légère et soleil
24/06/2021	NA	19,8	29	Ciel dégagé
30/06/2021	NA	14,4	22	Nuageux
06/07/2021	NA	37,8	19	Soleil et partiellement nuageux
14/07/2021	NA	28,8	22	Soleil et partiellement nuageux
19/07/2021	NA	32,4	28	Nuageux
27/07/2021	NA	25,2	29	Soleil et partiellement nuageux
05/08/2021	NA	25,2	30	Ciel dégagé
09/08/2021	NA	25,2	37	Soleil et partiellement nuageux
18/08/2021	NA	18	26	Soleil et partiellement nuageux
19/08/2021	NA	19,8	19	Soleil et partiellement nuageux
24/08/2021	NA	29	16 - 22	Ciel dégagé
30/08/2021	NE	15-18	26 - 28	Dégagé
06/09/2021	N	7.9	19	Dégagé
16/09/2021	NE à E	9 à 11	16 - 20	Pluie légère et soleil
05/10/2021	SO	21 à 27	18	Couvert pluie et éclaircies
15/10/2021	NE	1	4 - 14	Dégagé
20/10/2021	SSO	35.2	18	Nuageux

Tableau 18 : Conditions météorologiques observées lors des suivis de mortalité sur le parc du Carreau entre mai et octobre 2021.

L'identification des chauves-souris a été réalisée par analyse morphologique de la dentition des cadavres, après avoir été conservés congelés (Figure 18). L'ouvrage d'Arthur & Lemaire, 2009 a été utilisé comme référence.

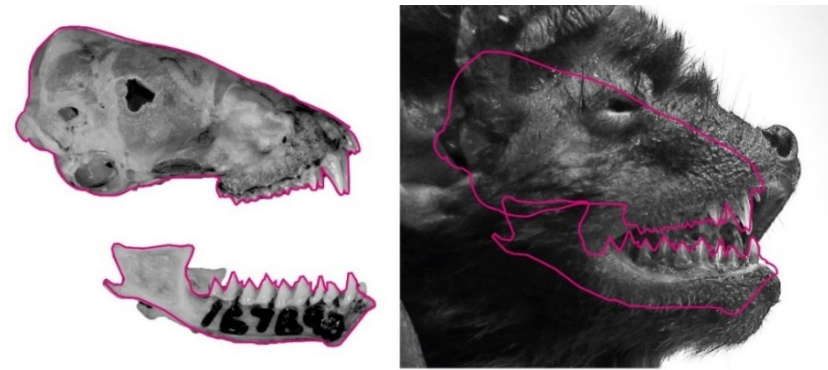


Figure 18 : Comparaison de la dentition pour identification de la Noctule de Leisler.

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

➤ <http://skullsite.w3basix.nl/search/index.cfm>

➤ <https://sketchfab.com/laboratorinatura/collections/aves?cursor=48>

### III.2. Mortalité brute constatée au pied des éoliennes du parc du Carreau

Le suivi de mortalité du parc éolien du Carreau est basé sur un passage hebdomadaire entre mai et octobre, soit une pression d'échantillonnage relativement importante. Les éoliennes ont été prospectées au cours de 21 passages réalisés aux dates listées dans le Tableau 20. Au total, un cadavre de chiroptère et cinq cadavres d'oiseaux ont été retrouvés lors des suivis de mortalité. Pour les six individus découverts sur le parc éolien du Carreau, aucune cause présumée concernant leur mort n'a été déterminée.

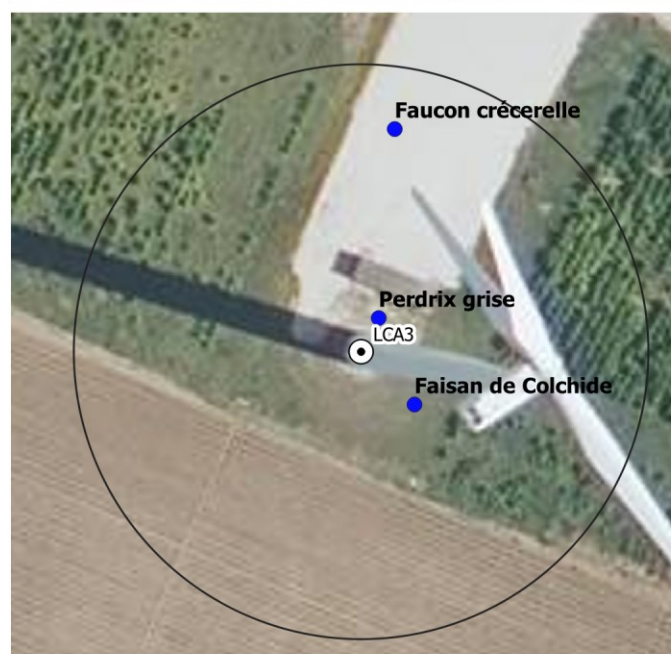
Le Tableau 19 indique les caractéristiques générales des collisions constatées sur le parc éolien du Carreau en 2021. Toutes les fiches d'identification des cadavres sont disponibles en annexe VII.1.

Date	Espèce	Nom latin	Type	Statut de conservation (France)	Statut de conservation (Région)*	Coordonnées GPS	Eolienne	Distance	Orientation
07/06/2021	Perdrix grise	<i>Perdrix perdrix</i>	Oiseau	LC	NT	48.106009 ; 1.740003	LCA3	3 m	30°
30/06/2021	Faisan de Colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	Oiseau	LC	NE	48.105881 ; 1.740077	LCA3	12 m	140°
06/09/2021	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Chiroptère	NT	NT	48.090989 ; 1.760566	LCA4	20 m	160°
16/09/2021	Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	Oiseau	NT	LC	48.106322 ; 1.740060	LCA3	39 m	10°
05/10/2021	Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	Oiseau	LC	LC	48.091526 ; 1.760575	LCA4	38 m	340°
15/10/2021	Roitelet triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	Oiseau	LC	LC	48.092202 ; 1.766790	LCA1	50 m	240°

Tableau 19 : Liste des oiseaux et des chauves-souris retrouvés morts lors des suivis de mortalité sur le parc éolien du Carreau en 2021.



### Localisation des cadavres découverts en 2021 Parc éolien du Carreau (Le) Eure-et-Loir (28)



- Cadavre de chiroptère
- Cadavre d'oiseau
- Surface prospectée
- ⊙ Localisation des éoliennes

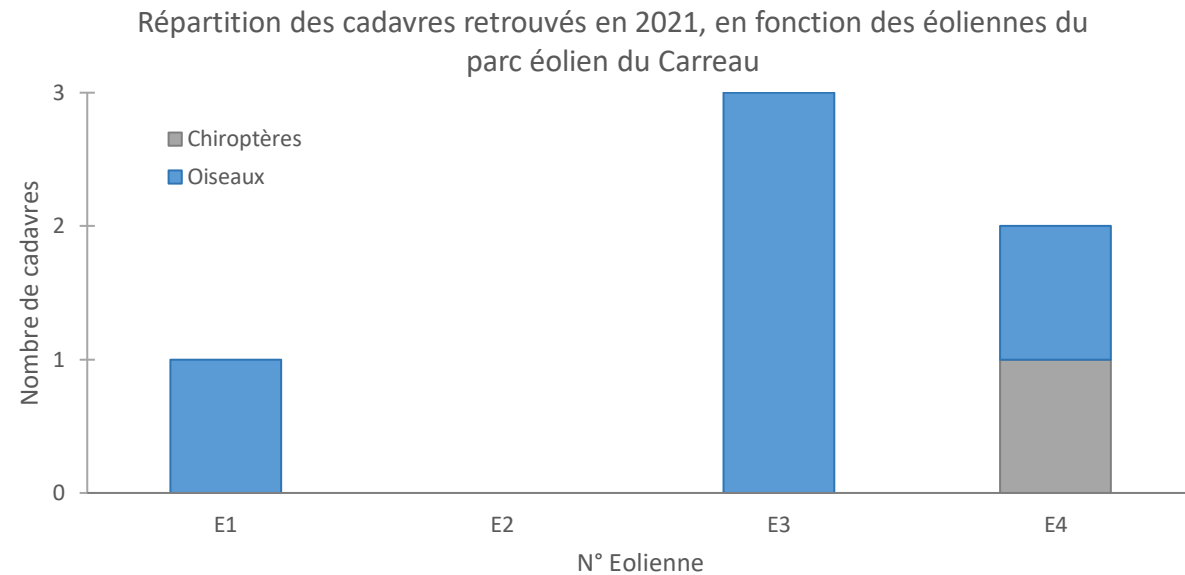


SensOfLife 2022. Fond de carte : géoportail.

Carte 4 : Localisation des cadavres trouvés sous les éoliennes du parc éolien du Carreau en 2021.

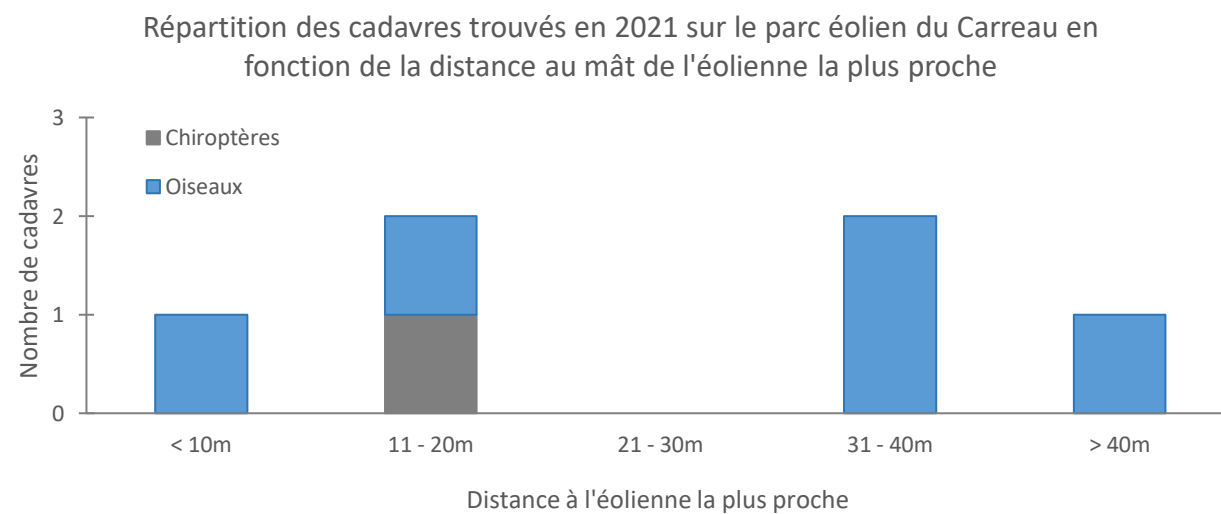
### III.2.1. Analyse spatiale des cas de mortalité sur le parc éolien du Carreau

Le Graphique 7 permet d'analyser la répartition géographique des collisions sur l'ensemble du parc éolien du Carreau. Au minimum un cadavre a été trouvé sous chaque éolienne, sauf sous l'éolienne LCA2. Trois cadavres d'oiseaux ont été retrouvés sous l'éolienne LCA3 puis un sous les éoliennes LCA1 et 4. Le seul cadavre de chiroptère a été retrouvé sous l'éolienne LCA4.



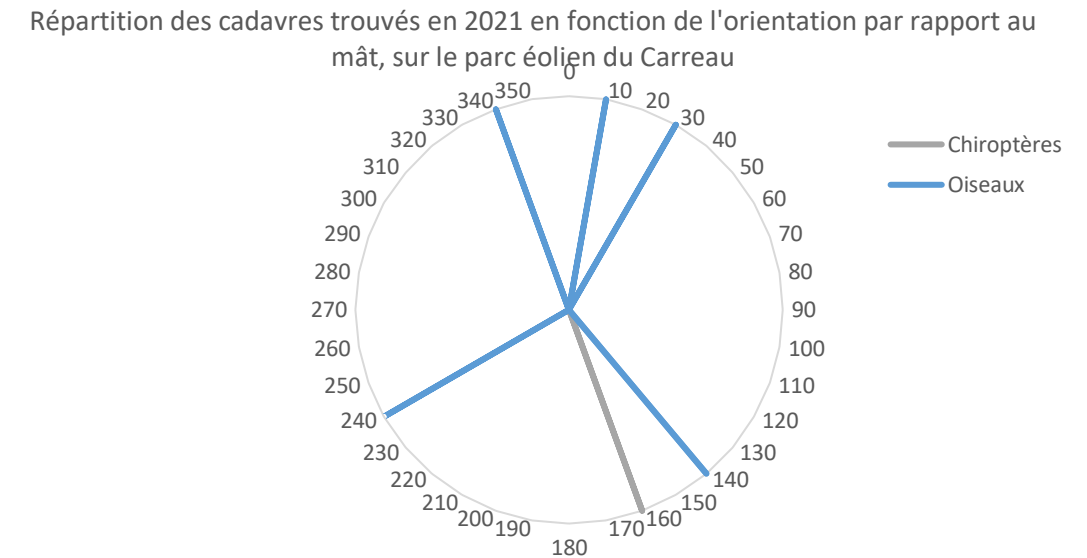
Graphique 7 : Répartition des collisions constatées sur le parc éolien du Carreau en 2021, en fonction de l'éolienne la plus proche.

En ce qui concerne la distance des cadavres au mât de l'éolienne (Graphique 8), les cinq cadavres d'oiseaux ont été retrouvés de façon éparse dans un rayon de 50 m autour de l'éolienne la plus proche. Le seul cadavre de chiroptère a été retrouvé entre 11 et 20 m du mât de l'éolienne la plus proche.



Graphique 8 : Répartition de la position des cadavres en fonction de la distance au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien du Carreau, en 2021.

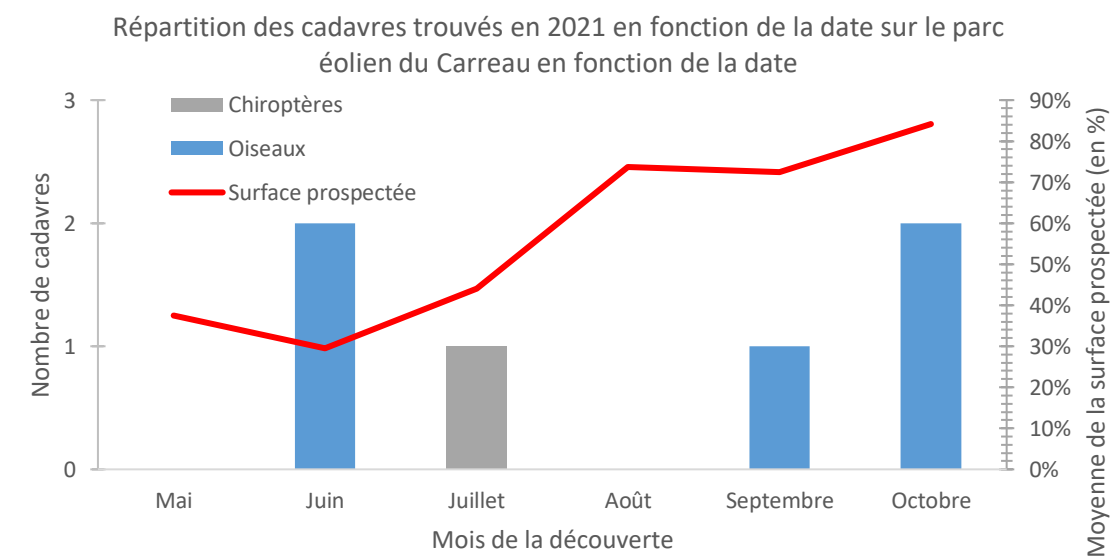
Enfin, la répartition des cadavres a été analysée en fonction de leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche (Graphique 9). Un pic de cadavres d'oiseaux s'est concentré au nord des éoliennes, mais le reste des cadavres ont été trouvés uniformément dans les autres directions et ne permet pas d'émettre d'hypothèse.



Graphique 9 : Répartition de la position des cadavres en fonction leur orientation par rapport au mât de l'éolienne la plus proche, sur le parc éolien du Carreau, en 2021.

### III.2.2. Analyse temporelle des cas de mortalité sur le parc éolien du Carreau

Le Graphique 10 permet d'analyser la mortalité constatée sur le parc éolien du Carreau en fonction de la période biologique. Tous les cadavres ont été retrouvés de façon diffuse entre juin et octobre. Les cadavres d'oiseaux touchent les périodes d'élevages des jeunes et de migrations tandis que l'unique cadavre de chiroptère a été retrouvé en juillet soit en période de mise-bas et élevage des jeunes.



Graphique 10 : Répartition des cadavres en fonction de la date sur le parc éolien du Carreau en 2021.

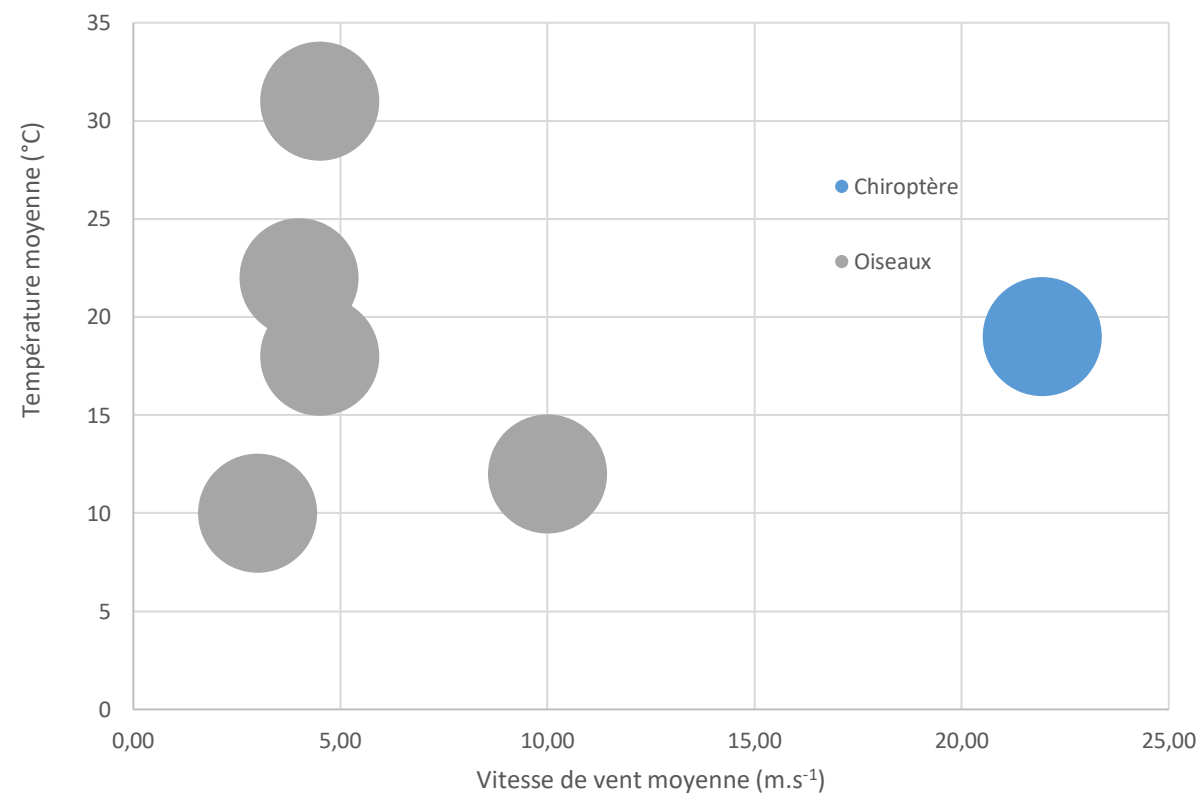


Au mois de mai, seulement une prospection a été effectuée sous les éoliennes, et aucun cadavre n’a été retrouvé. La faible mortalité constatée au mois mai doit être interprétée avec précaution : en effet, les cultures étant trop hautes à cette période de l’année, seule une moyenne de 38% de la surface a été réellement prospectée. Ce biais sera corrigé grâce à un coefficient surfacique pour le calcul de la mortalité estimée. Ce biais de surface n’a pourtant pas empêché de trouver les cadavres au mois de juin lorsque la surface prospectée était encore plus diminuée (30% accessible). Et au contraire, lors du mois d’août, une surface prospectée importante (78%) n’a pas permis de trouver plus de cadavres.

### III.2.3. Analyse météorologique des mortalités sur le parc éolien du Carreau

Les données météorologiques récoltées en nacelle de l’éolienne LCA4 du parc éolien du Carreau permettent d’analyser les conditions de vent et de température pouvant expliquer les mortalités constatées en 2021 (Graphique 11). Une fois la date de la collision estimée en fonction de l’avancement de la décomposition du cadavre, les moyennes de vitesses de vent et de températures ont été calculées, soit sur la nuit ou la journée si l’estimation se révélait précise, soit sur les trois jours entourant la date estimée, de 21h00 à 07h00 pour les collisions de chiroptères et de 07h00 à 21h00 pour les oiseaux.

Conditions météorologiques caractérisant les conditions des décès constatés en 2021 sur le parc éolien du Carreaux



Graphique 11 : Conditions météorologiques caractérisant la mortalité sur le parc du Carreau entre mai et octobre 2021.

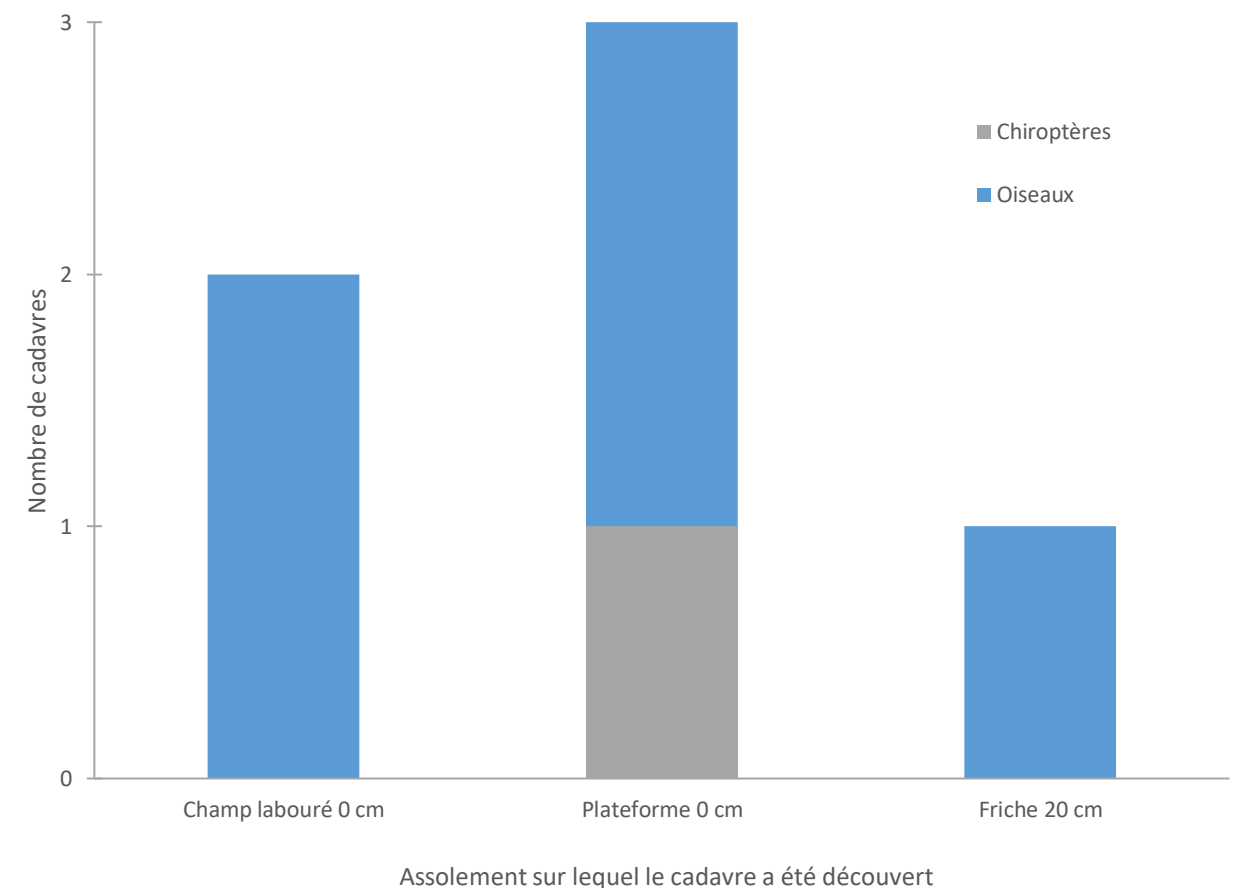
En ce qui concerne le chiroptère retrouvé au cours des suivis de mortalité, les nuits entourant la date de découverte de cadavre sont caractérisées par une vitesse de vent moyenne de 21,9 m.s<sup>-1</sup> et une température moyenne de 19°C. En ce qui concerne les oiseaux retrouvés au cours des suivis de mortalité, les nuits entourant les dates de découvertes des cadavres sont caractérisées par une vitesse de vent moyenne comprise entre 3,0 et 10,0 m.s<sup>-1</sup> et une température moyenne comprise entre 10°C et 31°C.

Ces données doivent être interprétées avec précaution, car les dates de collisions n’ont pas pu être déterminées (excepté pour le chiroptère). Ces conclusions ne doivent en aucun cas servir à l’élaboration d’éventuelles mesures de réduction d’impact.

### III.2.4. Analyse des mortalités sur le parc du Carreau en fonction du milieu

Les cadavres sur le parc éolien du Carreau ont presque été tous constatés (5 cadavres sur 6) sur les plateformes ou des champs labourés, là où la visibilité est meilleure (0 cm). Un cadavre a été retrouvé également dans une friche avec une hauteur de 20 cm. Cela n’illustre en aucun cas une certaine attractivité de ces assolements, mais plutôt une plus grande facilité à trouver un individu sur de telles surfaces, appuyée par une surface prospectée plus importante (Graphique 12).

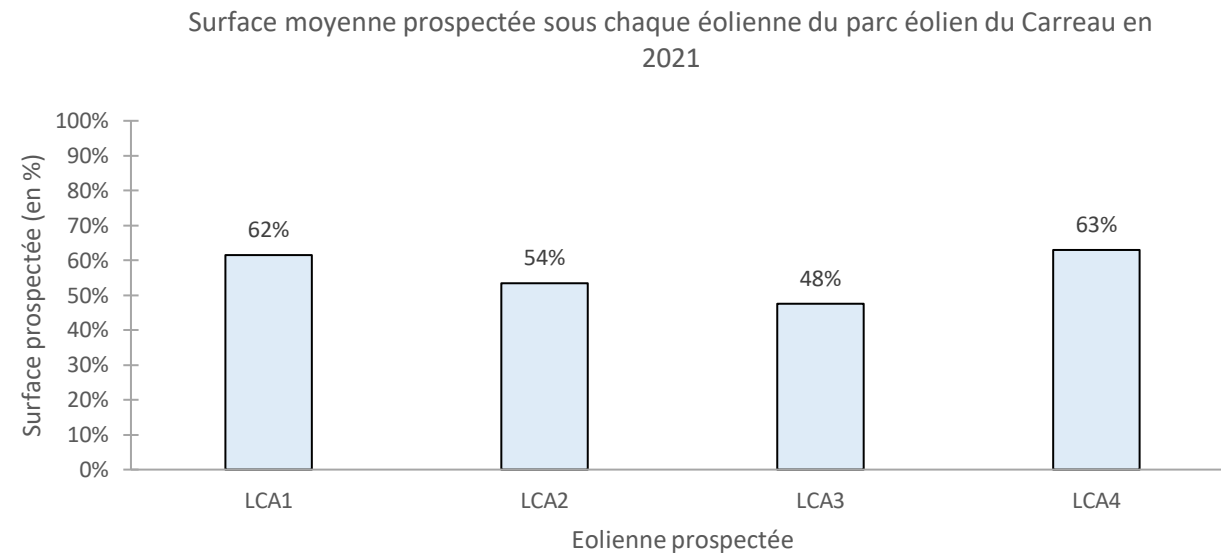
Répartition des cadavres trouvés sur le parc éolien du Carreau en 2021 selon l’assolement



Graphique 12 : Répartition des collisions en fonction de la culture, sur le parc du Carreau en 2021.

### III.3. Occupation du sol et surface prospectée

La couverture végétale au moment des passages pour la recherche des cadavres, ainsi que la surface prospectable, sont relevées à chaque passage. La surface prospectée peut être inférieure à la surface théorique, à cause des obstacles comme des haies, des grillages... ou par un souci de préserver l'intégralité des cultures en place. Dans la mesure du possible, les dates du suivi sont programmées quand la plupart des cultures ont déjà été moissonnées. La Carte 5 montre un aperçu des zones prospectables au sein des surfaces délimitées pour la recherche de cadavres sur le parc éolien du Carreau.



Graphique 13 : Surface prospectée moyenne sous chaque éolienne du parc du Carreau en 2021.

Au pied des éoliennes, la plus grande partie du sol correspond à des terres agricoles en culture (colza, blé, orge, sapin...). La couverture végétale sous les éoliennes du Carreau étant 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 20). Les éoliennes ont été prospectées en moyenne entre 48% (sous l'éolienne LCA3, sous laquelle se trouvait une culture d'orge et de sapin difficilement prospectable) et 63% (sous l'éolienne LCA4, sous laquelle se trouvait du colza fauché à la mi-juillet).

Le 30/08/2021 et le 06/09/2021, l'éolienne LCA2 n'a pu être prospectée, car des techniciens effectuaient une maintenance tout comme le 15/10/2021 sur l'éolienne LCA4.

Le coefficient A est calculé selon la formule suivant :  $A = 1 + (1 - S)$  avec S le pourcentage de surface réellement prospectée sous chaque éolienne.

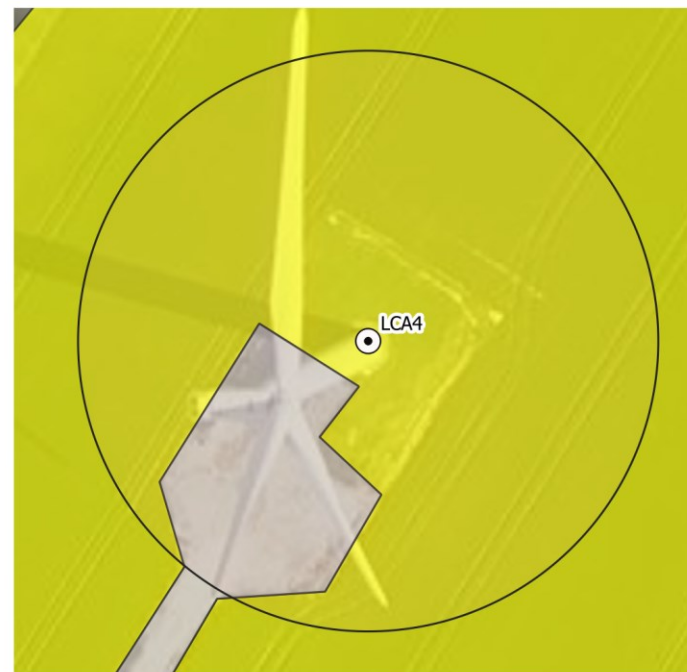
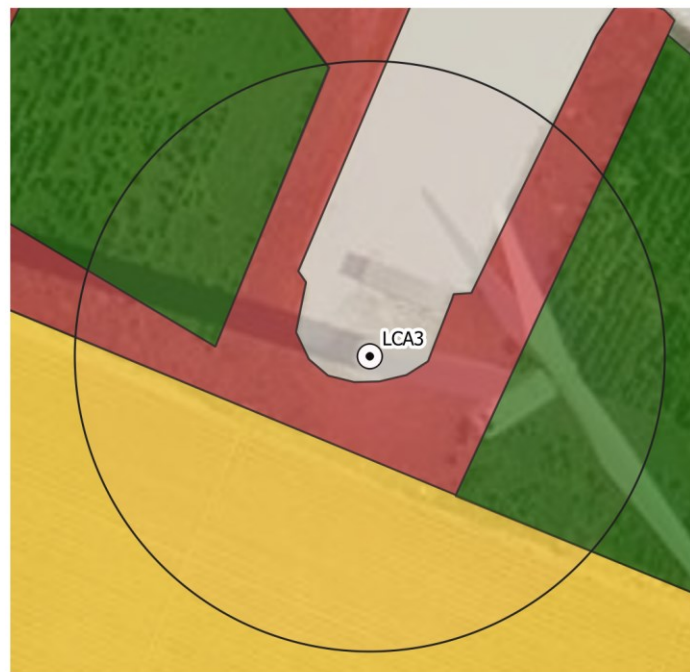
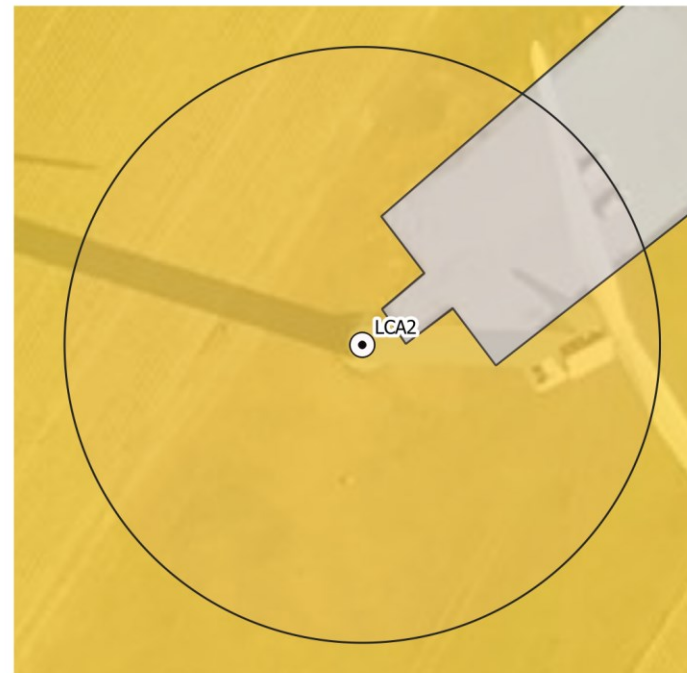
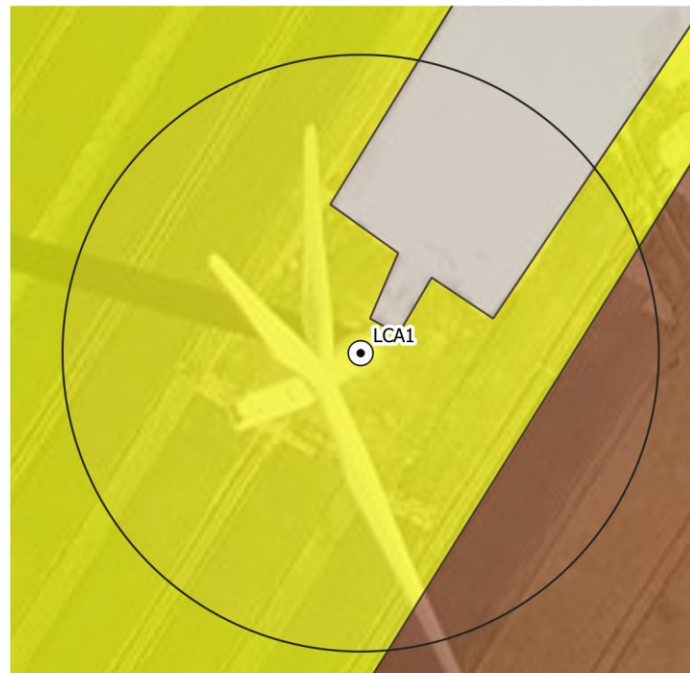
En 2021 la moyenne de la surface prospectée a été de 57% sous les éoliennes du parc éolien du Carreau, ce qui n'est pas optimal : le biais de surface prospectée est donc significatif.

Dates	LCA1	LCA2	LCA3	LCA4
27/05/2021	50%	60%	20%	20%
04/06/2021	50%	40%	20%	20%
07/06/2021	50%	40%	20%	20%
17/06/2021	20%	50%	20%	20%
24/06/2021	20%	50%	20%	20%
30/06/2021	20%	50%	20%	20%
06/07/2021	20%	50%	20%	20%
14/07/2021	20%	20%	20%	20%
19/07/2021	70%	20%	20%	100%
27/07/2021	70%	65%	70%	100%
05/08/2021	70%	65%	70%	100%
09/08/2021	75%	65%	70%	100%
18/08/2021	75%	65%	70%	100%
24/08/2021	70%	65%	70%	100%
30/08/2021	75%	0%	70%	100%
06/09/2021	75%	0%	70%	100%
16/09/2021	100%	65%	70%	100%
05/10/2021	100%	100%	70%	100%
15/10/2021	100%	100%	70%	0%
20/10/2021	100%	100%	70%	100%
<b>Total</b>	<b>62%</b>	<b>54%</b>	<b>48%</b>	<b>63%</b>
<b>Coefficient A</b>	<b>1,38</b>	<b>1,46</b>	<b>1,52</b>	<b>1,37</b>

Tableau 20 : Couvert végétal et surface prospectée sur le parc du Carreau entre mai et octobre 2021.



### Surfaces prospectées sous les éoliennes Parc éolien du Carreau (Le) Eure-et-Loir (28)



- Surface prospectée
- Localisation des éoliennes
- Jachère
- Plateforme et chemins
- Culture de Sapin
- Culture de blé/orge
- Culture de Colza
- Culture de pomme de terre



SensOfLife 2022. Fond de carte : géoportail.

Carte 5 : Surfaces prospectables et types de culture sous les six éoliennes du parc éolien du Carreau entre mai et octobre 2021.

### III.4. Test de prédation

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

Ainsi, des appâts ont été déposés sous les éoliennes LCA2 et LCA3 le 18/08/2021 et une deuxième série de tests a été réalisée sous les éoliennes LCA1 et LCA4. Leur recherche a été menée le lendemain (J+1), puis à J+2, J+6, J+9 et J+12, donc pendant 2 semaines s'il y avait persistance. La disparition a été considérée complète au moment où l'observateur estimait que les restes ne pouvaient pas permettre de repérer les individus en dehors d'une connaissance précise de leur localisation.

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

- Le temps de séjour moyen d'un cadavre :  $t_m = \frac{\sum_i^n t_i}{n}$   
 $t_m$  = temps de séjour moyen d'un cadavre  
 $t_i$  = nombre de jours avant la disparition du cadavre j  
 $n$  = nombre de cadavres utilisés
- Le taux de persistance des cadavres :  $S = \frac{n_{nuit}}{n}$   
 $S$  = taux de persistance des cadavres à J6  
 $n_{nuit}$  = nombre de cadavres persistant au passage à J6  
 $n$  = nombre de cadavres utilisés

	Eoliennes	J0	J+1	J+2	J+6	J+9	J+12	Temps de séjour moyen		Taux de persistance moyen à J6
								Par éolienne	Par test	
Test n°1 J0 le 18/08/2021	LCA2	3	3	3	1	0	0	5,17	3,75	17%
	LCA3	3	3	1	0	0	0	2,33		
Test n°2	LCA1	3	1	1	0	0	0	1,67	2,42	0%
	LCA4	3	3	2	0	0	0	3,17		
Moyenne des tests								3,08		8%

Tableau 21 : Évaluation du biais de prédation sur le parc éolien du Carreau en 2021.

Sur le parc éolien du Carreau, le temps de séjour moyen d'un cadavre est estimé à 3,08 jours et le taux de persistance au sixième jour est estimé à 8% (Tableau 21). Les résultats de ce test montrent que la prédation sur le site d'étude est importante. Etant donné que l'intervalle moyen entre deux prospections est de 7,3 jours, un oiseau ou une chauve-souris, tué durant les premières nuits suivant une recherche, aura une assez faible probabilité d'être retrouvé lors de la recherche suivante car le biais de prédation est important.

### III.5. Test du taux de détection

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

Ainsi, un premier chargé d'études a déposé 5 leurres d'oiseaux et 10 leurres de chauves-souris (Figure 19), soit 15 leurres au total, sous chacune des éoliennes, dans les zones où la prospection était possible, en variant la distance au mât de l'éolienne et la couverture végétale. Un second chargé d'études a ensuite collecté les leurres au cours des passages dédiés aux suivis de mortalité, en suivant le protocole décrit dans le début du paragraphe.

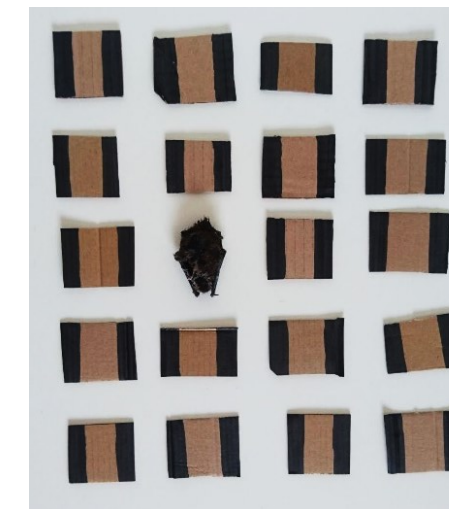


Figure 19 : Cadavre de chauve-souris parmi 19 leurres utilisés pour tester le taux de détection.

Ce test a été réalisé deux fois durant l'année 2021 sous les éoliennes toutes les éoliennes, afin d'obtenir des résultats précis et correspondant à l'efficacité sur différentes couvertures de sol (terre, semis, terrain après récolte...). La répartition du nombre de leurres déposés et les résultats de ce test sont détaillés dans le tableau 22. Cette approche prend en compte d'éventuelles variations de détection en fonction de la couverture du sol et du contexte sous chacune des éoliennes.

Eolienne	Chiroptères		Taux de détection chiroptères	Oiseaux		Taux de détection oiseaux
	Leurre déposés	Leurres trouvés		Leurre déposés	Leurres trouvés	
LCA1	20	11	55%	10	10	100%
LCA2	20	17	85%	10	10	100%
LCA3	10	7	70%	5	5	100%
LCA4	20	14	70%	10	10	100%
Parc	70	49	70%	35	35	100%

Tableau 22 : Évaluation du taux de détection de cadavres sur le parc éolien du Carreau, en 2021.

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

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

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

$l_{Tot_{Ex}}$  = nombre total de leurres dispersés sous l'éolienne Ex

Sur le parc éolien du Carreau, le taux de détection sous les éoliennes varie de 55% à 100%, avec une excellente détection de 100% pour les oiseaux et de 70% pour les chiroptères (Tableau 22). Le biais d'observateur est donc modéré pour les chiroptères et faible pour les oiseaux.

### III.6. Estimations de la mortalité réelle sur le parc éolien du Carreau

Plusieurs formules ont été publiées dans la littérature depuis 1992, permettant d'estimer la mortalité réelle des oiseaux et des chauves-souris sur un parc éolien, à partir de la mortalité brute constatée au pied des éoliennes et en prenant en compte les biais mentionnés dans les paragraphes précédents. Pour chaque formule, les notations suivantes seront utilisées :

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

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

A = coefficient de correction surfacique

- A = 1,38 pour l'éolienne LCA1 ; A = 1,46 pour l'éolienne LCA2 ; A = 1,52 pour l'éolienne LCA3 et ; A = 1,37 pour l'éolienne LCA4,

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

- p = 0,08 sur le parc éolien du Carreau,

t = temps de séjour moyen des cadavres (jours) :

- t = 3,08 sur le parc éolien du Carreau,

d = probabilité de détection des leurres :

- d = 0,70 pour les chiroptères sur le parc éolien du Carreau
- d = 1,00 pour les oiseaux sur le parc éolien du Carreau,

b = nombre de recherches effectuées sur le terrain :

- b = 20 sur le parc éolien du Carreau,

I = intervalle de temps entre chaque recherche (jours) :

- I = 7,3 sur le parc éolien du Carreau,

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

- i = 6,17 sur le parc éolien du Carreau,

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

- ê = 0,84 sur le parc éolien du Carreau,

M = nombre de turbines prospectées :

- M = 4 sur le parc éolien du Carreau.

Winckelmann (1992) est le premier à avoir calculé la mortalité estimée en fonction d'un nombre de cadavres retrouvés. Les biais de prédation, de détection et de surface prospectée avaient d'ores et déjà été pris en compte. Sur le parc éolien de Bel Air, la prédation trop importante empêche l'application de cette formule, car la proportion de cadavres qui ont perduré au-delà de l'intervalle entre deux suivis a été en moyenne de 0 % lors des deux tests de prédation.

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

La formule d'Erickson *et al.* (2005) utilise l'intervalle de temps entre les recherches (I) divisé le temps de séjour moyen d'un cadavre avant disparition (t), ce qui a l'avantage de s'adapter à un changement d'intervalle imprévu. Mathématiquement, si le taux de persistance est supérieur à l'intervalle, alors il est supérieur à 1, ce qui est impossible en pratique. Avec des intervalles courts, cette méthode a tendance à sous-estimer le taux de prédation et donc sous-estimer le nombre de cadavres tués. Sur le parc éolien du Carreau, l'intervalle de temps entre les suivis étant en moyenne de 7,95 jours, l'application de cette formule est tout à fait pertinente.

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

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

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

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

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

Enfin, la formule de Bastos *et al.* (2013) considère la non-constance et l'interdépendance des paramètres « efficacité de recherche » et « persistance des cadavres ». Cet algorithme innovant est capable d'estimer la mortalité potentielle, même en l'absence des cadavres retrouvés et ainsi éviter de fausses interprétations.

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

### III.6.1. Mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien du Carreau

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des chiroptères afin de calculer leur mortalité réelle estimée sur le parc (Tableau 23).

Eolienne	Nombre de cadavres	Mortalité estimée des chiroptères selon la formule de :			
		Erickson et al. (2005)	Jones et al. (2009)	Huso (2010)	Bastos et al. (2013)
LCA1	0	0,0	0,0	0,0	6,6
LCA2	0	0,0	0,0	0,0	3,0
LCA3	0	0,0	0,0	0,0	4,7
LCA4	1	5,2	8,4	6,7	8,2
Parc	1	4,9	7,9	6,3	12,5
<b>Nombre de chiroptères/éolienne</b>		<b>1,2</b>	<b>2,0</b>	<b>1,6</b>	<b>3,1</b>
<b>Intervalles de confiance 95%</b>		<b>0,6</b>	<b>1,0</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>

Tableau 23 : Mortalité réelle estimée des chiroptères, selon les différentes formules, sur le parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021.

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien du Carreau est estimée entre  $1,2 \pm 0,6$  (Erickson *et al.*, 2005) et  $3,1 \pm 0,6$  (Bastos *et al.*, 2013) chiroptères tués par éolienne, sur la période étudiée, de mai à octobre 2021.

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

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

Le contexte paysager du parc éolien est assimilable à la dernière configuration décrite par cet auteur. En 2021, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien du Carreau est donc conforme aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Rydell *et al.*, 2010).

### III.6.2. Mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien du Carreau

Les formules présentées précédemment ont été appliquées sur l'ensemble des données brutes de mortalité des oiseaux afin de calculer leur mortalité réelle estimée sur le parc (Tableau 24).

Eolienne	Nombre de cadavres	Mortalité estimée des oiseaux selon la formule de :			
		Erickson et al. (2005)	Jones et al. (2009)	Huso (2010)	Bastos et al. (2013)
LCA1	1	3,3	5,4	4,3	3,5
LCA2	0	0,0	0,0	0,0	1,9
LCA3	3	10,8	17,7	14,1	6,9
LCA4	1	3,6	5,9	4,7	3,9
Parc	5	17,0	27,8	22,2	14,1
<b>Nombre d'oiseaux/éolienne</b>		<b>4,3</b>	<b>6,9</b>	<b>5,6</b>	<b>3,5</b>
<b>Intervalles de confiance 95%</b>		<b>1,1</b>	<b>1,8</b>	<b>1,5</b>	<b>0,5</b>

Tableau 24 : Mortalité réelle estimée des oiseaux, selon les différentes formules, sur le parc éolien du Carreau, entre mai et octobre 2021.

En utilisant les biais testés sur le parc éolien, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien du Carreau est estimée entre  $4,3 \pm 1,1$  (Erickson *et al.*, 2005) et  $6,9 \pm 1,8$  (Jones *et al.*, 2009) oiseaux tués par éolienne, sur la période étudiée, de mai à octobre 2021.

Pour les parcs en Zone de Protection Spéciale (ZPS), une mortalité brute de 2,2 oiseaux/éolienne/an, avec une mortalité réelle estimée moyenne de 7 oiseaux/éolienne/an (Marx, 2017) est attendue. En 2021, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien du Carreau est donc conforme aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires selon toutes les formules.

### III.7. Vulnérabilité des espèces retrouvées sur le parc éolien du Carreau

#### III.7.1. Calcul de la note de risque

Pour les oiseaux, la note de sensibilité à l'activité éolienne est déterminée en fonction de la mortalité européenne constatée (Dürr, 2021), pondérée par l'abondance relative de l'espèce, c'est-à-dire le nombre de couple nicheurs en Europe (BirdLife International) :

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

Pour les chiroptères, la note de sensibilité à l'activité éolienne est le rapport entre la mortalité européenne constatée de l'espèce sur celle toutes espèces de chiroptères confondues (Dürr, 2021) :

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

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

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

Tableau 25 : Calcul de la note de risque d'une espèce à l'éolien, en fonction de sa sensibilité et de son statut de conservation à l'échelle nationale.

## III.7.2. Vulnérabilité des oiseaux retrouvés sur le parc du Carreau



Figure 20 : Perdrix grise. © Sens Of Life.

La **Perdrix grise** (*Perdix perdrix*) est une espèce très peu impactée par les éoliennes (Dürr, 2021). C'est par ailleurs une espèce non protégée. **La note de risque pour cette espèce est donc faible (0,5/4,5)**. Au cours des suivis de mortalité effectués en 2021 sur le parc éolien du Carreau, un individu a été retrouvé mort le 07/06/2021 sous la LCA3, soit en période de nidification.

Le **Faisan de Colchide** (*Phasianus colchicus*) n'a pas un statut patrimonial très important et c'est une espèce non protégée. Mais elle est tout de même relativement sensible aux éoliennes, puisque c'est la 30<sup>ème</sup> espèce la plus impactée en Europe avec 121 cas de mortalité recensés, dont 15 en France (Dürr, 2021). **La note de risque pour cette espèce est faible (1,5/4,5)**. Au cours des suivis de mortalité effectués en 2021 sur le parc éolien du Carreau, un individu a été retrouvé le 30/06/2021 sous la LCA3.



Figure 21 : Faisan de Colchide. © Sens Of Life.

La **Fauvette à tête noire** (*Sylvia atricapilla*) est une espèce protégée qui n'est pas classée comme en danger au niveau mondial, européen ou national. Concernant les cas de mortalité imputables aux éoliennes, il en a été recensé 199 en Europe dont 3 en France (Dürr, 2021). **La note de risque pour cette espèce est donc faible (1/4,5)**. Au cours des suivis de mortalité effectués en 2021 sur le parc éolien du Carreau, un individu a été retrouvé mort le 05/10/2021 sous l'éolienne LCA4, soit en période de migration postnuptiale.



Figure 22 : Fauvette à tête noire, CCO domaine public



Figure 23 : Faucon crécerelle. © Sens Of Life.

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, et comme « À surveiller » sur celle de la région Grand-Est. Cette espèce est très sensible aux éoliennes, **avec 614 cas de mortalité recensés en Europe, dont 108 en France (Dürr, 2021)**. **La note de risque est élevée (3/4,5)**. Au cours des suivis de mortalité effectués en 2021 sur le parc éolien du Carreau, un individu a été retrouvé mort le 16/09/2021 sous l'éolienne LCA3, soit en période de migration automnale.



Figure 23 : Roitelet à triple bandeau, CCO domaine public

Le **Roitelet à triple bandeau** (*Regulus ignicapilla*) est une espèce protégée qui n'est pas classée comme en danger au niveau mondial, européen ou national. Concernant les cas de mortalité imputables aux éoliennes, il en a été recensé 269 en Europe dont 164 en France (Dürr, 2021). **La note de risque pour cette espèce est donc faible (1,5/4,5)**. Au cours des suivis de mortalité effectués en 2021 sur le parc éolien du Carreau, un individu a été retrouvé mort le 15/10/2021 sous l'éolienne LCA1, soit en période de migration postnuptiale.

## III.7.3. Vulnérabilité des chiroptères retrouvés sur le parc du Carreau

La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) est également une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II de la convention de Bonn et de la convention de Berne, annexe I de la directive EUROBATS). Cette espèce est classée « quasi menacée » sur la liste rouge des mammifères continentaux de France métropolitaine (2017) et « rare » à l'échelle régionale. Elle est la deuxième plus impactée en Europe avec **1 623 cas de mortalité, dont 276 en France (Dürr, 2021)** et les éoliennes situées le long des grands axes migratoires semblent être les plus à risque. **La note de risque est très élevée pour cette espèce (3,5/4,5)**. Lors des suivis de mortalité sur le parc éolien du Carreau, un individu a été retrouvé le 06/09/2021 sous l'éolienne LCA4, soit en période de transition automnale.



Figure 23 : Pipistrelle de Nathusius. CCO domaine public.

## ⇒ Synthèse du suivi de mortalité du parc éolien du Carreau

Au total, 6 cadavres ont été trouvés au pied des éoliennes du parc éolien du Carreau.

Parmi eux, on dénombre cinq oiseaux d'espèces différentes : le **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*) possédant une note de risque élevée de (3/4,5), le **Faisan de Colchide** (*Phasianus colchicus*) et le **Roitelet triple bandeau** (*Regulus ignicapilla*) qui possèdent une note de risque faible (1,5/4,5), la **Fauvette à tête noire** (*Sylvia atricapilla*) qui possède une note de risque faible (1/4,5) et pour finir la **Perdrix grise** (*Perdix perdrix*) possédant une note de risque faible également (0,5/4,5).

Une fois cette mortalité brute corrigée avec les biais de prédation et d'observateur, ainsi qu'avec la surface réellement prospectée, la mortalité réelle des oiseaux sur le parc éolien du Carreau est estimée **entre 4,3 ± 1,1** (Erickson *et al.*, 2005) et **6,9 ± 1,8** (Jones *et al.*, 2009) **oiseaux tués par éolienne**, sur la période étudiée, de mai à octobre 2021. Le parc éolien du Carreau présente donc un **taux de mortalité conforme** aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires selon toutes les formules utilisées. Cependant, un cadavre de Faucon crécerelle qui est une espèce très sensible aux éoliennes, a été retrouvé sous une éolienne du parc éolien du Carreau.

On trouve également un chiroptère, qui est la **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*), qui présente une note de risque très élevée (3,5/4,5).

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 1,2 ± 0,6** (Erickson *et al.*, 2005) et **3,1 ± 0,6** (Bastos *et al.*, 2013) **chiroptères tués par éolienne**, sur la période étudiée, de mai à octobre 2021. En 2021, la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien du Carreau est donc **conforme** au taux de mortalités rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Rydell *et al.*, 2010a).

## IV. Discussion

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

En 2004 l'étude d'impact cordonnée par le EURO2C en 2004 avait fait ressortir 6 espèces patrimoniales présentes sur le site : **Busard Saint-Martin** (*Circus cyaneus*), **Busard cendré** (*Circus pygargus*), **Busard des roseaux** (*Circus aeruginosus*), **Œdicnème criard** (*Burhinus oedicanus*), **Alouette calandrelle** (*Calandrella brachydactyla*), **Pluvier doré** (*Pluvialis apricaria*).

Ainsi qu'une liste de 47 espèces d'oiseaux présentes ou « potentiellement présentes », parmi elles, tous les cadavres retrouvés sous les éoliennes du parc du Carreau étaient décrits par l'étude d'impact :

- Les espèces présentes et potentielles effectuant leur recherche de nourriture sur le site (milieu ouvert) : **Fauvette à tête noire** (*Sylvia atricapilla*), **Faucon crécerelle** (*Falco tinnunculus*).
- Le site comprendrait ces espèces pendant la migration : **Perdrix grise** (*Perdix perdix*), **Faisan de Colchide** (*Phasianus colchicus*), **Roitelet triple bandeau** (*Regulus ignicapilla*).

Les chiroptères n'ayant pas été inventoriés durant l'étude d'impact, il n'y a pas la possibilité de comparer les impacts avec ce suivi. Seule une brève mention de **Petit rhinolophe** (*Rhinolophus hipposideros*), **Grand murin** (*Myotis myotis*), **Oreillard roux** (*Plecotus auritus*) et de **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) dans les bourgs, fermes et bois alentour du site.

### IV.2. Sensibilité des oiseaux à l'éolien

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

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

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

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

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

### IV.2.1. Collision

En comparaison avec d'autres origines anthropiques (lignes électriques, routes, prédation par les animaux domestiques, chasse, pesticides...), les parcs éoliens ont un faible impact sur la mortalité directe de l'avifaune (Erickson et al., 2005; Loss et al., 2015). Le risque de collision avec les éoliennes est très variable et dépend :

- De la sensibilité des espèces, avec plusieurs groupes d'espèces impactées (migrateurs : Johnson et al., 2003 ; déclin d'une population de *Lyrurus tetrax* : Zeiler & Grünschachner-Berger, 2009 ; les rapaces : de Lucas et al., 2008 ; Hernández-Pliego et al., 2015 ; les oiseaux chanteurs : Morinha et al., 2014).
- De la saison (Barrios & Rodríguez, 2004) ;
- Des caractéristiques du site d'étude (de Lucas et al., 2008 ; Marques et al., 2014 ; Thaxter et al., 2017)

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

Cause de mortalité en France (LPO, AMBE – 2010)	Estimation de la mortalité annuelle	
Ligne HT (> 63 kV)	80 à 120 oiseaux / km / an (en zone sensible) / réseau aérien de 10 000 km : estimation = 8 à 12 millions / an.	
Ligne MT (20 à 63 kV)	40 à 100 oiseaux / km / an (en zone sensible) / réseau aérien de 460 000 km : estimation = 18 à 46 millions / an.	
Autoroute	30 à 100 oiseaux / km / an / réseau terrestre de 10 000 km : estimation = 300 000 à 1 million / an.	
Cause de mortalité aux USA (Erickson et al. 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 26 : Comparaison indicative des différentes causes de mortalité anthropique de l'avifaune en France (en haut, LPO, AMBE - 2010) et aux Etats-Unis (en bas, Erickson et al., 2005)

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

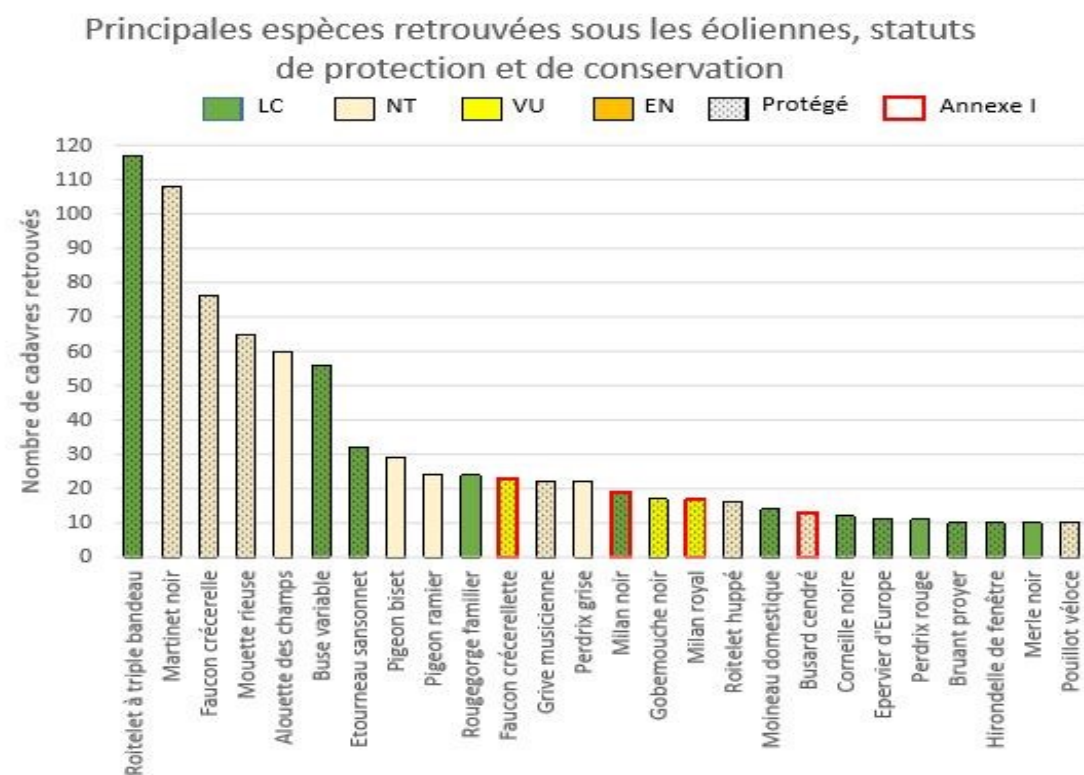
Le nombre de cadavres dans le monde est inconnu (Pagel et al., 2013), mais ceux comptabilisés jusqu'à présent en Europe s'élèvent à 15 906 oiseaux de plus de 250 espèces différentes, dont 5 552 cas de mortalité en Espagne, 4 565 cas en Allemagne, 1 791 cas en Belgique et 1 481 cas en France (Dürr, 2021).



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

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

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



Graphique 14 : Principales espèces retrouvées sous les éoliennes en France (Marx, 2016)

En France, les oiseaux les plus impactés par les éoliennes sont les Passériformes, avec 49,3% des cadavres totaux (Marx, 2017). Les espèces les plus sensibles sont les suivantes (Dürr, 2021 ; Marx, 2017) :

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

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

Les oiseaux sédentaires et nicheurs semblent intégrer la présence des éoliennes sur leur territoire et se tiennent en général à distance des turbines (100-300 m) (Strickland *et al.*, 2001 ; Winkelman, 1992 ; Thomas, 2000) sauf en cas de facteur attractif à proximité comme des champs labourés ou moissonnés qui augmentent les ressources alimentaires (Janss, 1998 ; Pedersen & Poulsen, 1991 ; Winkelman, 1985). Les oiseaux semblent toutefois capables de percevoir si les éoliennes sont en fonctionnement et de réagir en conséquence (Albouy *et al.*, 1997), bien que certaines espèces apparaissent moins aptes à prendre en compte la présence des éoliennes 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, 1998 ; Hill *et al.*, 2014). Les collisions peuvent être plus fréquentes la nuit, les migrateurs étant attirés par les lumières des éoliennes, ou par mauvais temps, lorsqu'ils sont obligés de voler à faible hauteur. Cependant, l'utilisation de lumière rouge n'a pas d'impact sur le taux de collision des migrateurs nocturnes (Kerlinger *et al.*, 2010).

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

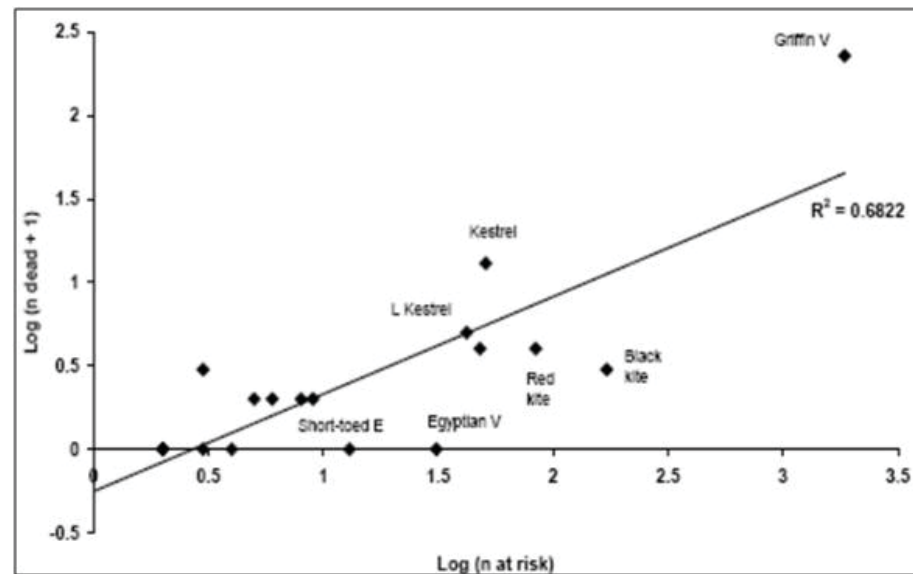
Le degré de sensibilité générale de l'avifaune migratrice est donné ci-dessous :

- 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 pas toujours.



Figure 24 : Roitelet à triple bandeau (Sens Of Life, 2020).



Graphique 15 : Corrélation entre le nombre de rapaces avec un comportement à risque et la mortalité, pendant 3 ans sur 13 parcs éoliens au nord de l'Espagne (Lekuona & Ursua, 2006).

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



Figure 25 : Eolienne avec une pale peinte en noire.

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

#### IV.2.2. Perte d'habitat

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

Il s'agit principalement de destruction ou d'altération d'habitats naturels ou d'habitats d'espèces, et de destruction de stations végétales. Ils ne se distinguent pas sensiblement des effets des autres types

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

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

La corrélation positive entre la hauteur des éoliennes et la distance d'évitement est moins importante pour les oiseaux nicheurs (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, 2004), avec une diminution progressive de la distance d'éloignement.

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

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

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

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

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



Figure 26 : Aigle royal (CCO domaine public).

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

2007 et avait également aboutie aux mêmes conclusions de pertes d'habitat pour l'Aigle royal, dans une autre région de France (Riols-Loyrette, 2015). Cette perte d'habitat fonctionnel a également été constatée pour des Milans noirs suite à l'implantation d'éoliennes au Portugal (Marques *et al.*, 2020)

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

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

#### IV.2.3. Effet barrière

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

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

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

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

Il faut considérer les risques de collision et d'effarouchement comme les deux faces d'une même pièce. Les oiseaux qui ne montrent pas de réaction d'évitement par rapport aux éoliennes seront souvent plus sujets aux collisions que ceux qui sont effarouchés. Les grues cendrées, par exemple, peuvent être considérées comme sensibles à l'effarouchement dans le sens où elles ont tendance à contourner les parcs (le plus

souvent bien en amont et sans montrer de réaction vive). De fait, aucun cadavre de Grue cendrée n'a, à ce jour, été répertorié en France et seuls 33 cadavres ont été recensés en Europe (Dürr, 2021 ; Marx, 2017). Cependant, cette faible mortalité constatée résulte en partie du faible nombre d'éoliennes implantées jusqu'ici sur le couloir de migration ou à proximité des sites d'hivernage des grues cendrées et du faible nombre de rapports de suivis de mortalité disponibles. Le coût engendré par le contournement des parcs éoliens reste un domaine de recherche à explorer (Gaultier *et al.*, 2019). Les cygnes en migration semblent également sensibles à l'effet barrière puisqu'ils contournent les sites d'implantation (Moriguchi *et al.*, 2019). Le nombre de collisions est supérieur aux extrémités des alignements d'éoliennes (Anderson *et al.*, 2001 ; Cade, 1994 ; Thelander & Rugge, 2000). Les distances de réaction varient de 300 à 500 mètres des éoliennes pour la majorité des migrateurs diurnes (contre 20 mètres pour les migrateurs nocturnes) (Albouy *et al.*, 1997 ; Winkelman, 1994). Des effets indirects cumulatifs peuvent être envisagés lorsqu'une modification de la trajectoire initiale implique de nouveaux obstacles (lignes électriques à haute tension par exemple).

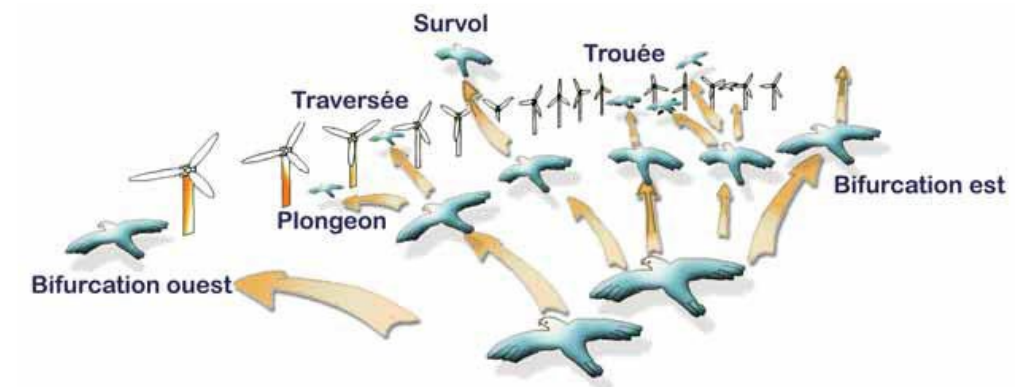


Figure 27 : Stratégie de franchissement d'un parc éolien sur le littoral audois (source : LPO Aude, 2001)

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

L'étude d'impact réalisée par EURO2C en 2004 ne fait pas état d'un effort de prospection sur la faune chiroptérologique, puisqu'aucune recherche active n'a été réalisée sur le site. Trois espèces de chiroptère ont été incluses comme probable sur le futur site dû à leurs observations ponctuelles dans les localités à proximité du site : le **Petit rhinolophe**, le **Grand murin**, l'**Oreillard roux** et la **Pipistrelle commune**. En 2021, un seul cadavre de chiroptères a été retrouvé sur le parc du Carreau : une **Pipistrelle de Nathusius**.

#### IV.4. Comparaison mortalité et activité chiroptérologique ultrasonore

La Pipistrelle de Nathusius retrouvée le 06/09/2021 sous l'éolienne LCA4 ayant fait l'objet des écoutes continu en nacelle. Cela concorde avec un contact acoustique de Pipistrelle de Nathusius durant cette nuit. Ce contact se produit aussi durant la même période que le pic d'activité chiroptérologique enregistré sur le parc du Carreau le 4 septembre 2021.

## IV.5. Sensibilité des chiroptères à l'éolien

### IV.5.1. Généralités

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

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

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

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

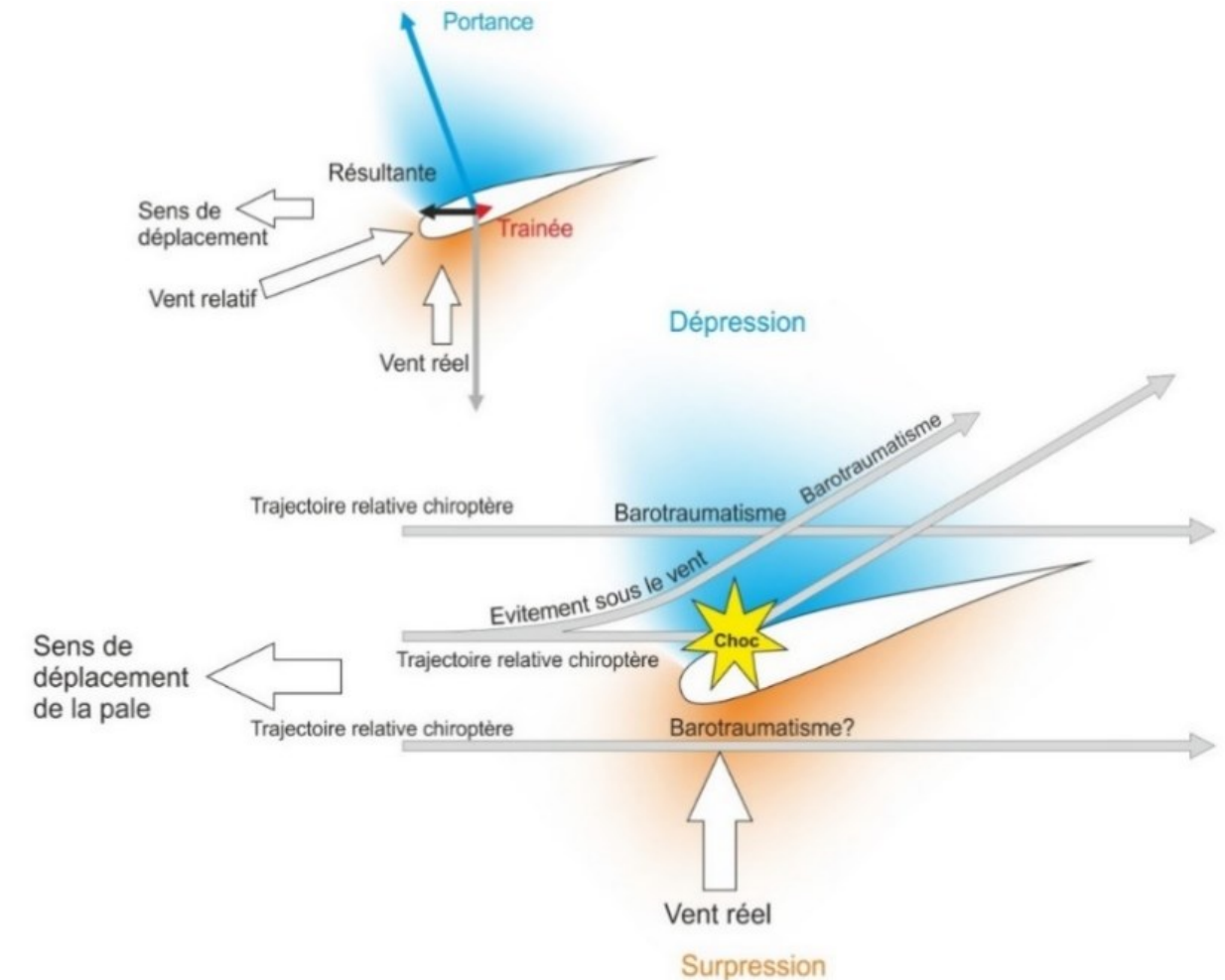


Figure 28 : Description du phénomène de barotraumatisme.

Le phénomène de barotraumatisme (Figure 28) décrit par Baerwald *et al.* (2008) et Seiche (2007), puis par Baerwald & Barclay (2009) résulterait du passage de la pale à proximité de la chauve-souris. L'animal pourrait donc être impacté dans certaines conditions même s'il a évité la pale. En effet, à proximité immédiate de l'extrados des pales en mouvement, les chauves-souris traversent une zone de dépression brutale. Cette variation de pression entraîne la rupture des vaisseaux capillaires (pulmonaires essentiellement) et provoque une hémorragie létale sans qu'il n'y ait eu de contact avec la pale. Ce phénomène explique que la plupart des cadavres récupérés et examinés ne présentent aucune lésion externe. Horn *et al.* (2008) montrent que les risques sont plus importants lorsque la vitesse de rotation des pales n'est pas très élevée, ce qui se produit par vent faible. La mort par barotraumatisme n'étant pas directe, il est possible que l'individu soit encore capable de voler quelques temps après le traumatisme et donc que le cadavre ne soit pas retrouvé sous l'éolienne (Gaultier *et al.*, 2020).

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

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

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

#### IV.5.2. Mortalité directe

La mortalité directe, qu'elle soit produite par barotraumatisme ou collision, génère une mortalité qui est de mieux en mieux documentée. Il apparaît que toutes les espèces ne sont pas impactées de la même manière par ce phénomène. Le comportement et l'écologie des animaux influenceraient fortement leur sensibilité à l'éolien. Ainsi, les chauves-souris chassant en plein ciel (espèces de haut vol) ou réalisant des migrations, seraient beaucoup plus impactées que les espèces sédentaires glanant leur nourriture au sol ou dans la canopée (Roemer *et al.*, 2017). En Europe, le Tableau 29 compilé par Tobias Dürr permet de constater le nombre de cas de mortalité, relevé par espèce et par pays. En croisant ces données avec la sensibilité des espèces, il est possible de définir la vulnérabilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 27).

Vulnérabilité élevée	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité 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 27 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFPEM, 2016)

#### IV.5.3. Mortalité indirecte

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

Ces perturbations peuvent être de plusieurs natures :

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

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

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

## V. Conclusion

En 2021, 90% de l'activité chiroptérologique sur le parc éolien du Carreau a été caractérisée par les paramètres suivants :

- Du 16 juin au 23 octobre 2021
- Entre le coucher du soleil et le lever du soleil (entre 21h30 et 06h40),
- Pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6,5 m.s<sup>-1</sup>,
- Pour des températures supérieures ou égales à 12°C.

La mortalité réelle estimée sur le parc éolien du Carreau varie entre 4,3 ± 1,1 (Erickson *et al.*, 2005) et 6,9 ± 1,8 (Jones *et al.*, 2009) oiseaux tués par éolienne et estimée entre 1,2 ± 0,6 (Erickson *et al.*, 2005) et 3,1 ± 0,6 (Bastos *et al.*, 2013) chiroptères tués par éolienne, entre mai et octobre 2021.

Concernant l'avifaune, le taux de mortalité est considéré comme **similaire** aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Marx, 2017). Pour les chiroptères, cette mortalité est également **conforme** aux taux de mortalité rencontrés usuellement dans les parcs situés dans des contextes paysagers similaires (Rydell *et al.*, 2010a).

**Au regard de ces résultats et conformément aux préconisations du protocole ministériel 2018, nous préconisons donc le renouvellement du suivi environnemental entre les semaines 20 et 43 de l'année 2026.**

## VI. Bibliographie

- ADEME. (1999). *Guide du porteur de projet de parc éolien*. (ADEME Edition).
- Albouy, S., Clément, D., Jonard, A., Massé, P., Pagès, J.-M., & Nea, P. (1997). *Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle : Rapport final*. (p. 67). Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.
- Albouy, S., Dubois, Y., & Picq, H. (2001). *Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude)—Résultats 2006-2009* (p. 76). LPO Aube et Abies. <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>
- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Allouche, L., AVES environnement, & Groupe Chiroptères de Provence. (2010). *Etude de la mortalité des chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau (13)*. (p. 1-31). Energie du Delta.
- Anderson, R. L., Strickland, D., Tom, J., Neumann, N., Erickson, W., Cleckler, J., Mayorga, G., Nuhn, G., Leuders, A., Schneider, J., Backus, L., Becker, P., & Flagg, N. (2001). *Avian monitoring and risk assessment at Tehachapi Pass and San Geronio Pass wind resource areas, California : Phase 1 Preliminary Results*. 16.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. (Publications scientifiques du muséum). Biotopie édition.
- Aschwanden, J., Stark, H., Peter, D., Steuri, T., Schmid, B., & Liechti, F. (2018). Bird collisions at wind turbines in a mountainous area related to bird movement intensities measured by radar. *Biological Conservation*, 220, 228-236. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.01.005>
- Bach, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—Reale Probleme oder Einbildung? *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 33, 119-124.
- Bach, L., Brinckmann Robert, Limpens Herman, Rahmel Ulf, Reichenbach, M., & Roschen Axel. (1999). Bewertung und planerische umsetzung von fledermausdaten im rahmen der windkraftplanung. *Bremer Beitrage für Naturkunde und Naturschutz, Themenheft « Voegel und Windkraft »*(Band 4), 163-170.
- Baerwald, E. F., & Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1341-1349. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-104R.1>
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J., & Barclay, R. M. R. (2008). Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology*, 18(16), R695-R696. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.06.029>
- Barré, K. (2018). Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats\_ Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 10.
- Barrios, L., & Rodríguez, A. (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines : Bird mortality at wind power plants. *Journal of Applied Ecology*, 41(1), 72-81. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00876.x>
- Bastos, R., Santos, M., & Cabral, J. A. (2013). A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34, 428-440. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.06.003>
- Bennett, V. J., & Hale, A. M. (2014). Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions : Bats are not attracted to aviation lighting. *Animal Conservation*, 17(4), 354-358. <https://doi.org/10.1111/acv.12102>
- Bennett, V. J., Hale, A. M., & Williams, D. A. (2017). When the excrement hits the fan : Fecal surveys reveal species-specific bat activity at wind turbines. *Mammalian Biology*, 87, 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.08.003>
- Beucher, Y. (2020). *Maîtrise des impacts éoliens sur les chauves-souris : Actions et stratégie du Groupe Technique éolien de la SFPEM*. 7.
- Beucher, Y., Kelm, V., Geyelin, M., & Pick, D. (2011). *Réduction significative de la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes—Poster*.
- Beucher, Y., Langlois, A., Albespy, F., & Mounetou, R. (2017). *Les pics d'activité des chauves-souris en plein ciel : Vers une nouvelle perception de la typologie des risques d'impacts éoliens*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20519.80803>
- Brinkmann, R., Schauer-Weisshahn, H., & Bontadina, F. (2006). *Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg* (Projekt 0410 L; p. 66). Regierungspräsidium Freiburg.
- Cade, T. J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. *Wind Power*, 156.
- Cieślak et Dul. (2006). *Feather identification for bird conservation* (Natura publishing house).
- Cornut, J., & Vincent, S. (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes* (p. 43). LPO Drôme.
- Cryan, P. M. (2008). *Mating Behavior as a Possible Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines*. 72 (3), 845-849.
- Cryan, P. M., & Barclay, R. M. R. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines : Hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1330-1340. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-076R1.1>
- Curry, R. C., & Kerlinger, P. (1998). *Avian Mitigation Plan : Kenetech Model Wind Turbines, Altamont Pass WRA, California*. 214.
- Dalthorp, D., Huso, M., & Dail, D. (2017). Evidence of Absence (v2.0) Software User Guide. *U.S. Geological Survey, Data Series(1055)*, 109.
- de Lucas, M., Janss, G. F. E., Whitfield, D. P., & Ferrer, M. (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *Journal of Applied Ecology*, 45(6), 1695-1703. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01549.x>
- Dirksen, S., Spaans, A. L., & Van der Winden, J. (2000). *Studies on Nocturnal Flight Paths and Altitudes of Waterbirds in Relation to Wind Turbines : A Review of Current Research in The Netherlands*. In : *PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 97-109*.
- Dooling, R., & Lohr, B. (2000, mai). *The role of hearing in avian avoidance of wind turbines*. National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California.
- DREAL. (2015). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- DREAL. (2018). *Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres*. Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer.
- Dulac, P. (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi* (p. 106). Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire.
- Dürr, T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus*, 8(2), 115-118.
- Dürr, T. (2020). *Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de novembre 2020*.

- Erickson, W. P., Johnson, G. D., & Young, D. P. J. (2005). A summary and comparison of bird mortality from anthropogenic causes with an emphasis on collisions. *USDA Forest Service Gen. Tech. Rep., PSW-GTR-191*, 14.
- Foo, C. F., Bennett, V. J., Hale, A. M., Korstian, J. M., Schildt, A. J., & Williams, D. A. (2017). Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ*, 5, e3985. <https://doi.org/10.7717/peerj.3985>
- Garvin, J. C., Jennelle, C. S., Drake, D., & Grodsky, S. M. (2011). Response of raptors to a windfarm : Raptor behaviour within a windfarm. *Journal of Applied Ecology*, 48(1), 199-209. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01912.x>
- Gaultier, S. P., Blomberg, A. S., Ijäs, A., Vasko, V., Vesterinen, E. J., Brommer, J. E., & Lilley, T. M. (2020). Bats and Wind Farms : The Role and Importance of the Baltic Sea Countries in the European Context of Power Transition and Biodiversity Conservation. *Environmental Science & Technology*, 54(17), 10385-10398. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00070>
- Gaultier, S. P., Marx, G., & Roux, D. (2019). *Éoliennes et biodiversité Synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer* (p. 120). LPO et Office national de la chasse et de la faune sauvage. [https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo\\_oncfs\\_2019.pdf](https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf)
- Gensbol, B. (2004). *Guide des rapaces diurnes d'Europe, d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient* (Delachaux et Niestlé). Editions Delachaux et Niestlé.
- Groupe Chiroptères de la SFPEM. (2016). *Suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères—Actualisation 2016 des recommandations de la SFPEM*. (Version 2; p. 17). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères (SFPEM).
- Grünkorn, T., Diederichs, A., Poszig, D., Diederichs, B., & Nehls, G. (2009). Wie viele Vogel kollidieren mit Windenergieanlagen? *Natur und Landschaft*, 84(7), 309-314.
- Guyonne, J., & Clave, A. T. (2000, in press). *A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations*. National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California.
- Hall, L. S., & Richards, G. C. (1972). *Notes on Tadarida australis (Chiroptera : Molossidae)*. 46-47.
- Haquart, A. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Éléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École Pratique des Hautes Études.
- Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique)* (p. 149). Ecosphère.
- Hernández-Pliego, J., de Lucas, M., Muñoz, A.-R., & Ferrer, M. (2015). Effects of wind farms on Montagu's harrier (*Circus pygargus*) in Southern Spain. *Biological Conservation*, 191, 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.07.040>
- Hill, R., Hill, K., Aumüller, R., Schulz, A., Dittmann, T., Kulemever, C., & Coppack, T. (2014). *Of birds, blades and barriers : Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus* (Springer Fachmedien, p. 111-131) [Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus]. Federal Maritime and Hydrographic Agency, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.
- Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123-132. <https://doi.org/10.2193/2006-465>
- Hötker, H., Thomsen, K.-M., & Jeromin, H. (2006). *Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : The example of birds and bats—Facts, gaps in knowledge, demands for further research, and ornithological guidelines for the development of renewable energy exploitation*. Michael-Otto-Institut im NABU, Bergenhusen.
- Huso, M. M. P. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318-329. <https://doi.org/10.1002/env.1052>
- Itty, C., & Duriez, O. (2017). *Le suivi par GPS, une méthode efficace pour évaluer l'impact des parcs éoliens sur des espèces à fort enjeux de conservation : L'exemple de l'aigle royal (Aquila chrysaetos) dans le sud du massif central*. 42-48.
- James, R. D., & Coady, G. (2004). Bird monitoring at Toronto's exhibition place wind turbine. *Ontario Birds*, 22(2), 78-88.
- Janss, G. F. E. (1998). *Bird Behavior In and Near a Wind Farm at Tarifa, Spain : Management Considerations*. 214.
- Johnson, G. D., Erickson, W. P., Dale Strickland, M., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A., & Sarappo, S. A. (2003). Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 150(2), 332-342. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2003\)150\[0332:MOBAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2003)150[0332:MOBAAL]2.0.CO;2)
- Johnston, N. N., Bradley, J. E., & Otter, K. A. (2014). Increased flight altitudes among migrating Golden Eagles suggest turbine avoidance at a rocky mountain wind installation. *PLoS ONE*, 9(3), e93030. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0093030>
- Joiris, E. (2012, mars 24). *High altitude bat monitoring* [Preliminary results Hainaut & Ardennes]. CSD Ingénieurs.
- Jones, G., Cooper-Bohannon, R., Barlow, K., & Parsons, K. (2009). *Determining the potential ecological impact of wind turbines on bat populations in Britain* [Scoping and method development report]. University of Bristol, Bat Conservation Trust.
- Kerlinger, P., Gehring, J. L., Erickson, W. P., Curry, R., Jain, A., & Guarnaccia, J. (2010). Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. *The Wilson Journal of Ornithology*, 122(4), 744-754. <https://doi.org/10.1676/06-075.1>
- Kingsley, A., & Whittam, B. (2001). *Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island* (p. 33). Bird Studies Canada, Atlantic Region.
- Kitano, M., & Shiraki, S. (2013). *Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan*. 37, 41-48.
- Kreuziger, J. (2008). *Kulissenwirkung und Vögel. Methodische Rahmenbedingungen für die Auswirkungsanalyse in der FFH-VP*. Vilmer Expertentagung.
- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats : Questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), 315-324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- Lagrange, H., Roussel, E., Anne-Lise Ughetto, Boulnois, R., Haquart, A., & Melki, F. (2009). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin—2009*. Ecosphère. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.10316.21129>
- Langston, R., & Pullan, J. (2003). Windfarms and birds : An analysis of the effects of windfarms on birds, and guidance on environmental assessment criteria and site selection issues. *23rd Meeting*, 58.
- Larsen, J. K., & Madsen, J. (2000). Effects of wind turbines and other physical elements on field utilization by pink-footed geese (*Anser brachyrhynchus*) : A landscape perspective. *Landscape Ecology*, 15(8), 755-764. <https://doi.org/10.1023/A:1008127702944>
- Leddy, K. L., Higgins, K. F., & Naugle, D. E. (1999). Effects of wind turbines on upland nesting birds in conservation reserve program grasslands. *Wilson Bulletin*, 111(1), 100-104.

- Lekuona, J. M. (2001). *Usa del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual* (p. 155). Dirección General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra.
- Lekuona, J. M., & Ursua, C. (2006). *Avian mortality in wind plants of Navarra (northern Spain)*. In : *De Lucas M., Janss G. & Ferrer M. (eds). Birds and Wind Power*. (lynx Edicions).
- Loesch, C. R., Walker, J. A., Reynolds, R. E., Gleason, J. S., Niemuth, N. D., Stephens, S. E., & Erickson, M. A. (2013). Effect of wind energy development on breeding duck densities in the Prairie Pothole Region : Wind Energy and Breeding Ducks. *The Journal of Wildlife Management*, 77(3), 587-598. <https://doi.org/10.1002/jwmg.481>
- Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2015). Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46(1), 99-120. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>
- Marques, A. T., Batalha, H., Rodrigues, S., Costa, H., Pereira, M. J. R., Fonseca, C., Mascarenhas, M., & Bernardino, J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms : An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation*, 179, 40-52. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.08.017>
- Marques, A. T., Santos, C. D., Hanssen, F., Muñoz, A., Onrubia, A., Wikelski, M., Moreira, F., Palmeirim, J. M., & Silva, J. P. (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *Journal of Animal Ecology*, 89(1), 93-103. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12961>
- Marx, G. (2017). *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015* (LN 1216-54). LPO France.
- May, R., Nygård, T., Falkdalen, U., Åström, J., Hamre, Ø., & Stokke, B. G. (2020). Paint it black : Efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. *Ecology and Evolution*, 10(16), 8927-8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>
- Millon, L., Colin, C., Brescia, F., & Kerbiriou, C. (2018). Wind turbines impact bat activity, leading to high losses of habitat use in a biodiversity hotspot. *Ecological Engineering*, 112, 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.024>
- Millon, L., Julien, J.-F., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2015). Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F., & Park, K. J. (2017). Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation*, 20(5), 455-462. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>
- Moriguchi, S., Mukai, H., Komachi, R., & Sekijima, T. (2019). Wind farm effects on migratory flight of Swans and foraging distribution at their stopover site. In R. Bispo, J. Bernardino, H. Coelho, & J. Lino Costa (Éds.), *Wind Energy and Wildlife Impacts* (p. 125-133). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05520-2_8)
- Morinha, F., Travassos, P., Seixas, F., Martins, A., Bastos, R., Carvalho, D., Magalhães, P., Santos, M., Bastos, E., & Cabral, J. A. (2014). Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study*, 61(2), 255-259. <https://doi.org/10.1080/00063657.2014.883357>
- Osborn, R. G., Dieter, C. D., Higgins, K. F., & Usgaard, R. E. (1998). Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 139(1), 29-38. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(1998\)139\[0029:BFCNWT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(1998)139[0029:BFCNWT]2.0.CO;2)
- Osborn, R. G., Higgins, K. F., Dieter, C. D., & Usgaard, R. E. (1996). *Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota*. 37(4), 105-108.
- Page, J. E., Kritz, K. J., Millsap, B. A., Murphy, R. K., Kershner, E. L., & Covington, S. (2013). Bald Eagle and Golden Eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. *Journal of Raptor Research*, 47(3), 311-315. <https://doi.org/10.3356/JRR-12-00019.1>
- Pearce-Higgins, J. W., Stephen, L., Douse, A., & Langston, R. H. W. (2012). Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation : Results of a multi-site and multi-species analysis. *Journal of Applied Ecology*, 49(2), 386-394. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02110.x>
- Pedersen, M. B., & Poulsen, E. (1991). Avian Response to the Implementation of the Tjaereborg Wind Turbine at the Danish Wadden Sea. Studies on Danish Fauna Report 47. *Denmark Institute of Ecological Studies*.
- Percival, S. M. (1998). *Birds and wind turbines—Managing potential planning issues*. 345-350.
- Percival, S. M. (2001). *Assessment of the effects of offshore wind farms on birds* (DTI/Pub URN 01/1434; p. 96).
- Perret, M. (2017). *Eolien et biodiversité : Prise en compte des enjeux relatifs à la biodiversité dans le cadre réglementaire français*. 6.
- Puzen, S. C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. *Wisconsin Public Service Corporation, Green Bay, USA*.
- Richardson, W. J. (1998). *Bird migration and wind turbines : Migration timing, flight behavior, and collision risk*. 214.
- Rico, P., & Lagrange, H. (2011). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2011*. Biotope. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23108.83849>
- Rico, P., & Lagrange, H. (2015). *Etude de l'impact des parcs éoliens sur l'activité et la mortalité des chiroptères par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherche de cadavres au sol—Contributions aux évaluations des incidences sur l'environnement*. (p. 174). Sens Of Life, DGO3, SPW.
- Rico, P., Lagrange, H., Cosson, E., & Allouche, L. (2012). *Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2012* (p. 67). Biotope.
- Riols-Loyrette, C. (2015). Impact de parcs éoliens sur un couple d'aigle royal *Aquila chrysaetos* dans les Corbières. *Ornithos*, 22(4), 196-207.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y., & Voigt, C. C. (2016). Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*, 6(1), 28961. <https://doi.org/10.1038/srep28961>
- Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., & Bas, Y. (2017). Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation*, 215, 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010a). Bat mortality at wind turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12(2), 261-274. <https://doi.org/10.3161/150811010X537846>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010b). Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research*, 56(6), 823-827. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0444-3>
- Schuster, E., Bulling, L., & Köppel, J. (2015). Consolidating the state of knowledge : A synoptical review of wind energy's wildlife effects. *Environmental Management*, 56(2), 300-331. <https://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>
- Seiche, K. (2007). *Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006*. (Naturschutz und Landschaftspflege). Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.



- Shaffer, J. A., & Buhl, D. A. (2016). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions : Wind-energy effects on grassland birds. *Conservation Biology*, 30(1), 59-71. <https://doi.org/10.1111/cobi.12569>
- Smallwood, K. S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33. <https://doi.org/10.1002/wsb.260>
- Smith, J. A., & Dwyer, J. F. (2016). Avian interactions with renewable energy infrastructure : An update. *The Condor*, 118(2), 411-423. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-15-61.1>
- Strickland, M. D., Johnson, G., Erickson, W. P., & Kronner, K. (2001). *Avian studies at wind plants located at Buffalo Ridge, Minnesota and Vansycle Ridge, Oregon*. 38-52.
- Svensson, L., Mullarney, K., & Zetterström, D. (2015). *Le Guide Ornitho* (Delachaux et Niestlé).
- Thaxter, C. B., Buchanan, G. M., Carr, J., Butchart, S. H. M., Newbold, T., Green, R. E., Tobias, J. A., Foden, W. B., O'Brien, S., & Pearce-Higgins, J. W. (2017). Bird and bat species' global vulnerability to collision mortality at wind farms revealed through a trait-based assessment. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1862), 20170829. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0829>
- Thelander, C. G., & Rugge, L. (2000). *Examining relationships between bird risk behaviors and fatalities at the Altamont wind resource area : A second year's progress report*. 5-14.
- Thomas, R. (2000). *An Assessment of the Impact of Wind Turbines on Birds at Ten Windfarm Sites in the UK*. 215-219.
- Vogelwarte. (2016). *Energie eolienne et protection des oiseaux*.
- Whitfield, D. P., & Madders, M. (2006). A review of the impacts of wind farms on Hen Harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. *Natural Research Ltd*, 33.
- Winkelman, J. E. (1985). Vogelhinder door middelgrote windturbines—Over vlieggedrag, slachtoffers en verstoring [Bird impact by middle-sized wind turbines on flight behaviour, victims, and disturbance]. *Limosa*, 58, 117-121.
- Winkelman, J. E. (1992). *De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1 : Aanvaringslachtoffers. [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1 : Collision victims.]* (RIN-rapport92/2; p. 144). DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek.
- Winkelman, J. E. (1994). Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. *Wind Power*, 156.
- Zeiler, H. P., & Grünschnacher-Berger, V. (2009). Impact of wind power plants on black grouse, *Lyrurus tetrix* in Alpine regions. *Folia Zoologica*, 58(2), 173-182.

## VII. Annexes

### VII.1. Fiches de renseignement des cadavres d'oiseaux et de chauves-souris trouvés sur le parc éolien du Carreau en 2021

Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	LCA3	Nom du site :	Le Carreau
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Ensolement :	Graviers, herbe rase	Date du suivi :	7/6/2021
Hauteur de la culture :	0	Heure du relevé :	10h10
Distance au pied du mât :	3,25 m	Espèce :	Perdrix grise
Direction par rapport au mât :	30°	Cadavre n° :	1
Latitude :	48,106009	Photo :	
Longitude :	1,740003	Envergure :	46 cm
<b>Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques</b>		Sexe :	Mâle
Date présumée :		Age :	Adulte Juvénile
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Frais
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Oui
Cause présumée de la mort :			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : Cadavre encore souple mais vidé.			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	LCA3	Nom du site :	Le Carreau
Eolienne à l'arrêt :	Non	Observateur :	Clémentine Bougain
Ensolement :	Friche	Date du suivi :	30/6/2021
Hauteur de la culture :	20 cm	Heure du relevé :	11h30
Distance au pied du mât :	12 m	Espèce :	Faisan de Colchide
Direction par rapport au mât :	140°	Cadavre n° :	2
Latitude :	48,105881	Photo :	
Longitude :	1,740077	Envergure :	
<b>Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques</b>		Sexe :	Femelle
Date présumée :		Age :	Adulte Juvénile
Température moyenne :		Etat du cadavre :	Avancé
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Non
Cause présumée de la mort :			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) : Plumes			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	LCA4	Nom du site :	Le Carreau
Eolienne à l'arrêt :	Oui	Observateur :	Adam Yadallee
Ensolement :	Gravier	Date du suivi :	06/09/21
Hauteur de la culture :	0	Heure du relevé :	10h29
Distance au pied du mât :	20m	Espèce :	Pipistrelle de Nathusius
Direction par rapport au mât :	SSE	Cadavre n° :	3
Latitude :	48.090989	Photo :	
Longitude :	1.760566	Envergure :	
<b>Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques</b>		Sexe :	Mâle      Femelle
Date présumée :	03/09/21	Age :	Adulte      Juvénile
Température moyenne :	19°	Etat du cadavre :	<b>Décomposé</b>
Force du vent et direction :	7.9km/h N	Présence d'insectes :	Non
Cause présumée de la mort :			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) :			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	LCA3	Nom du site :	Le Carreau
Eolienne à l'arrêt :	non	Observateur :	Clémentine Bougain
Ensolement :	parking	Date du suivi :	16/09/2021
Hauteur de la culture :	-	Heure du relevé :	9h
Distance au pied du mât :	39 m	Espèce :	Faucon crécerelle
Direction par rapport au mât :	10°	Cadavre n° :	4
Latitude :	48.106322	Photo :	
Longitude :	1.740060	Envergure :	69.5 cm
<b>Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques</b>		Sexe :	<b>Femelle</b>
Date présumée :		Age :	<b>Adulte</b>
Température moyenne :		Etat du cadavre :	<b>Avancé</b>
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	oui
Cause présumée de la mort :			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) :			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	<b>LCA4</b>	Nom du site :	<b>Le Carreau</b>
Eolienne à l'arrêt :	Oui	Observateur :	<b>Clémentine Bougain</b>
Ensolement :	Champ labouré	Date du suivi :	<b>05/10/21</b>
Hauteur de la culture :	-	Heure du relevé :	15h20
Distance au pied du mât :	38m	Espèce :	<b>Fauvette à tête noire</b>
Direction par rapport au mât :	340°	Cadavre n° :	5
Latitude :	48.091526	Photo :	
Longitude :	1.760575	Envergure :	
<b>Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques</b>		Sexe :	<b>Mâle</b>
Date présumée :		Age :	Adulte Juvénile
Température moyenne :		Etat du cadavre :	<b>Avancé</b>
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	Non
Cause présumée de la mort :			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) :			



Formulaire de renseignements sur le suivi des cadavres			
N° de l'éolienne :	<b>LCA1</b>	Nom du site :	<b>Le Carreau</b>
Eolienne à l'arrêt :	oui	Observateur :	<b>Clémentine Bougain</b>
Ensolement :	champ nu	Date du suivi :	<b>15/10/21</b>
Hauteur de la culture :	0	Heure du relevé :	10h25
Distance au pied du mât :	50m	Espèce :	<b>Roitelet triple bandeau</b>
Direction par rapport au mât :	240°	Cadavre n° :	6
Latitude :	48.092202	Photo :	
Longitude :	1.766790	Envergure :	
<b>Date présumée de la collision et ses conditions météorologiques</b>		Sexe :	Mâle Femelle
Date présumée :		Age :	Adulte Juvénile
Température moyenne :		Etat du cadavre :	<b>Décomposé</b>
Force du vent et direction :		Présence d'insectes :	oui
Cause présumée de la mort :			
Particularités du cadavre (couleur, forme), note sur ses blessures, état du cadavre (prédaté ou non) :			







Espèce	Mortalité en Europe																			Total			
	A	BE	BG	CH	CR	CZ	D	DK	E	EST	F	FR	GB	GR	LX	NL	N	PT	PL		RO	S	
<i>Sterna hirundo</i>		162					1									5							168
<i>Sterna spec.</i>													3										3
<i>Streptopelia decaocto</i>	4						3		2			5											14
<i>Streptopelia turtur</i>	1								33			5						1					40
<i>Strigiformes spec.</i>									2														2
<i>Strix aluco</i>							6		3														9
<i>Sturnus unicolor</i>									96														96
<i>Sturnus vulgaris</i>	9	27				2	92		8			48				26	1		3				216
<i>Sula bassana</i>													1										1
<i>Sylvia atricapilla</i>	1						9		184			3		2									199
<i>Sylvia borin</i>									11			1											12
<i>Sylvia cantillans</i>									43														43
<i>Sylvia conspicillata</i>									5														5
<i>Sylvia curruca</i>						2																	2
<i>Sylvia hortensis</i>									4														4
<i>Sylvia melanocephala</i>									10					1									11
<i>Sylvia spec.</i>												1											1
<i>Sylvia undata</i>									11									7					18
<i>Sylvias communis</i>						1		1			1												3
<i>Tachymarptis melba</i>						2		23			2												27
<i>Tadorna tadorna</i>		2				2					1				7								12
<i>Tetrao urogallus</i>						1		1														12	14
<i>Tetrax tetrax</i>								1															1
<i>Thalasseus sandvicensis</i>		25														1							26
<i>Tringa totanus</i>		3														1	1					1	6
<i>Troglodytes troglodytes</i>						4		1			4		1										10
<i>Turdus iliacus</i>		7				4	1	11								2							25
<i>Turdus merula</i>	2	1				18		44			11		6		1		1				4		88
<i>Turdus philomelos</i>		12		1		27		129			24		2		3						1		199
<i>Turdus pilaris</i>	1			1		18		5			1				2	1							29
<i>Turdus spec.</i>		1					1	2			1		1		1								7
<i>Turdus torquatus</i>						1		1															2
<i>Turdus viscivorus</i>				1		10		27					1										39
<i>Tyto alba</i>						15		6			5				3				1				30
<i>Upupa epops</i>								7					1					1					9
<i>Uria aalge</i>						1										1							2
<i>Vanellus vanellus</i>		3				19					2				3								27
<b>TOTAL</b>	<b>376</b>	<b>1791</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>4565</b>	<b>49</b>	<b>5552</b>	<b>1</b>	<b>7</b>	<b>1481</b>	<b>174</b>	<b>99</b>	<b>1</b>	<b>704</b>	<b>346</b>	<b>442</b>	<b>82</b>	<b>2</b>	<b>181</b>	<b>15906</b>	

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 ; LX = Luxembourg ; NL = Pays-Bas ; N = Norvège ; P = Portugal, PL = Pologne ; RO = Roumanie ; S = Suède.

VII.3. Tableau 29 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, 2021)

Espèce	Mortalité en Europe																				Total	
	A	BE	CH	CR	CZ	D	DK	ES	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	PT	PL	RO	S		UK
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2	28	6	5	16	758		211			1012	0	1		15		323	5	6	1	46	2435
<i>P. nathusii</i>	13	6	6	17	7	1115	2				276	35	1	23	10			16	90	5	1	1623
<i>Nyctalus noctula</i>	46	1			31	1252		1			104	10					2	17	76	14	11	1565
<i>Chiroptera spec.</i>	1	11		60	1	77		320	1		439	8	1				120	3	15	30	9	1096
<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		102	9	96		25			305	1		2			128	2	48		12	740
<i>N. leislerii</i>			1	4	3	195		15			153	58	2				273	5	10			719
<i>P. kuhlii</i>				144				44			219	1					51		10			469
<i>P. pygmaeus</i>	4			1	2	149					176	0		1			42	1	5	18	52	451
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>	1		2			3		271			40	54					38	1	2			412
<i>Hypsugo savii</i>	1			137		1		50			57	28	12				56		2			344
<i>Vespertilio murinus</i>	2	1		17	6	150					11	1		1				9	15	2		215
<i>Eptesicus serotinus</i>	1				11	68		2			34	1			2			3	1			123
<i>E. isabellinus</i>								117									3					120
<i>E. serotinus / isabellinus</i>								98									17					115
<i>Tadarida teniotis</i>				7				36			2						39					84
<i>E. nilssonii</i>	1				1	6			2	6				13		1		1	1	13		45
<i>N. lasiopterus</i>								21			10	1					9					41
<i>Nyctalus spec.</i>						2		2			1						17					22
<i>Miniopterus schreibersi</i>								2			7						4					13
<i>M. daubentonii</i>						8					1						2					11
<i>Myotis spec.</i>						2		3			1								4			10
<i>Plecotus austriacus</i>	1					8																9
<i>P. auritus</i>						7															1	8
<i>Myotis myotis</i>						2		2			3											7
<i>M. blythii</i>								6			1											7
<i>Barbastella barbastellus</i>						1		1			4											6
<i>M. emarginatus</i>								1			3						1					5
<i>M. mystacinus</i>						3					1	1										5
<i>M. dasycneme</i>						3																3
<i>M. nattereri</i>						2															1	3
<i>M. brandtii</i>						2																2
<i>M. bechsteini</i>											1											1
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>								1														1
<i>R. mehelyi</i>								1														1
<i>Rhinolophus spec.</i>								1														1
<b>TOTAL</b>	<b>81</b>	<b>49</b>	<b>15</b>	<b>494</b>	<b>87</b>	<b>3910</b>	<b>2</b>	<b>1231</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>2861</b>	<b>199</b>	<b>17</b>	<b>40</b>	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>1125</b>	<b>63</b>	<b>285</b>	<b>83</b>	<b>133</b>	<b>10712</b>

A = 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.



VII.4. Tableau 30 : Référentiel d'activité chiroptérologique en altitude, Sens Of Life

Espèce	Période	Nuits de contact				Toutes nuits			
		Q2	Q25	Q75	Q98	Q2	Q25	Q75	Q98
Pipistrelle commune	Migration printanière	1,83474	2,10776	2,41628	2,78487	0,16382	0,30579	0,49145	0,74263
	Parturition	2,12895	2,39978	2,68848	3,04033	1,06457	1,33522	1,61489	1,94870
	Migration automnale	2,21697	2,50092	2,81763	3,15618	0,90645	1,17947	1,48526	1,84566
Pipistrelle de Nathusius	Migration printanière	1,29961	1,50711	1,73645	2,00947	0	0,03276	0,09829	0,20750
	Parturition	1,11870	1,21793	1,32620	1,44348	0,17141	0,25261	0,35185	0,46011
	Migration automnale	1,12487	1,24500	1,36513	1,50711	0,16382	0,25118	0,34947	0,46961
Pipistrelle de Kuhl	Migration printanière	1,20132	1,35421	1,55079	1,76921	0,02184	0,06553	0,14197	0,26211
	Parturition	1,19989	1,30815	1,43446	1,56978	0,26163	0,36087	0,47815	0,60446
	Migration automnale	1,23408	1,36513	1,48526	1,63816	0,22934	0,33855	0,45868	0,60066
Noctule commune	Migration printanière	0,25658	0,26316	0,27632	0,28947	0	0,00658	0,01645	0,02632
	Parturition	0,28533	0,30163	0,32065	0,34239	0,02717	0,04348	0,06250	0,08152
	Migration automnale	0,29934	0,32237	0,34868	0,38158	0,02632	0,04605	0,06908	0,09868
Noctule de Leisler	Migration printanière	0,33447	0,35487	0,37934	0,40382	0	0,00816	0,01632	0,03263
	Parturition	0,33696	0,35717	0,38196	0,41348	0,01685	0,03033	0,05054	0,07304
	Migration automnale	0,35632	0,38368	0,41618	0,45434	0,02039	0,04079	0,06395	0,09250
Sérotine commune	Migration printanière	0,83145	0,92487	1,06500	1,25203	0,00934	0,03737	0,08408	0,18684
	Parturition	0,85663	0,91837	0,98783	1,06500	0,11576	0,16978	0,23924	0,30870
	Migration automnale	0,87816	0,95289	1,03697	1,13039	0,10276	0,16816	0,23355	0,32697