

Suivi Environnemental ICPE

PARC ÉOLIEN DE KERDROUALLAN

COMMUNE DE SAINT-GILDAS (22)

SUIVI DE L'ANNÉE 11 D'EXPLOITATION (2024-2025)

Dans le cadre de l'article 9 de l'arrêté ICPE du 22 juin 2020 modifiant les prescriptions de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011, relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, les exploitants des parcs éoliens doivent tenir à disposition de l'inspection des ICPE un suivi environnemental.

Pour chaque parc éolien, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé de tout ou partie des quatre suivis suivants en fonction des spécificités du site :

- Suivi de l'activité des chiroptères
- Suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères

Le bureau d'études ENCIS Environnement a été missionné par la société Energiequelle GmbH pour réaliser ce suivi environnemental ICPE en 2024 et 2025 pour la onzième et douzième année d'exploitation après la mise en service du parc en octobre 2013.

Après avoir précisé la méthodologie utilisée et ses limites, ce dossier présente les résultats des différents suivis.

SOMMAIRE

1 Cadre général de l'étude 4

1.1 Maître d'ouvrage – exploitant..... 5

1.2 Auteurs de l'étude 5

1.3 Présentation du parc éolien étudié..... 5

1.4 Cadre réglementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens7

1.4.1 Création ou extension d'un parc éolien 7

1.5 Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel.. 9

1.5.1 Avifaune 9

1.5.2 Chiroptères..... 12

2 Méthodes utilisées 20

2.1 Méthodologie et démarche générale 21

2.1.1 Avifaune 21

2.1.2 Chiroptères..... 21

2.2 Suivi d'activité des chiroptères 22

2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte..... 22

2.2.2 Méthodologie et pression d'inventaire 22

2.3 Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères 24

2.3.1 Principes et objectif 24

2.3.2 Protocole utilisé 24

2.3.3 Déclaration d'incident faune volante 25

2.3.4 Détermination du statut biologique 26

2.3.5 Méthodes d'estimation de la mortalité 26

2.4 Calendrier des inventaires 29

2.5 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées 29

2.5.1 Limites des méthodes employées..... 29

2.5.2 Difficultés rencontrées 29

3 Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères 31

3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact 32

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères en 2024/2025 33

3.2.1 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle 33

3.2.2 Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle 38

3.3 Bilan et comparaison avec l'étude d'impact et les suivis environnementaux précédents..... 39

3.3.1 Diversité spécifique 39

3.3.2 Cumul des deux années de suivis environnementaux 39

3.4 Principaux éléments à retenir du suivi environnemental 43

4 Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères 44

4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation..... 45

4.1.1 Durée moyenne de l'intervalle..... 45

4.1.2 Efficacité du chercheur 45

4.1.3 Persistance des cadavres 45

4.1.4 Surfaces prospectées et correction surfacique 45

4.2 Mortalité de l'avifaune..... 46

4.2.1 Bilans national et européen de la mortalité de l'avifaune 46

4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact47

4.2.3 Mortalité brute de l'avifaune en 2024-202547

4.2.4 Estimation de la mortalité réelle de l'avifaune en 2024-2025.....48

4.2.5 Causes potentielles de la mortalité de l'avifaune48

4.2.6 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune49

4.2.7 Comparaisons des suivis 2024-2025, 2023 et 2016-2017.....50

4.2.8 Synthèse52

4.3 Mortalité des chiroptères..... 53

4.3.1 Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères53

4.3.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact et du suivi 2023.....53

4.3.3 Mortalité brute des chiroptères en 2024-202553

4.3.4 Estimation de la mortalité réelle des chiroptères en 2024-202555

4.3.5 Causes potentielles de la mortalité des chiroptères55

4.3.6 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères56

4.3.7 Comparaisons des suivis 2024-2025, 2023 et 2016-2017.....56

4.3.8 Synthèse58

5 Mesures correctrices 59

5.1 Mesures correctrices préconisées pour réduire l'incidence sur les chiroptères 60

5.1.1 Programmation préventive.....60

5.2 Mesures correctrices préconisées pour réduire l'incidence sur avifaune 62

5.3 Modalités de suivi préconisées 62

5.3.1 Suivi de la mortalité62

Tables des illustrations..... 63

Bibliographie 66

Annexes..... 72

1 Cadre général de l'étude

1.1 Maître d’ouvrage – exploitant

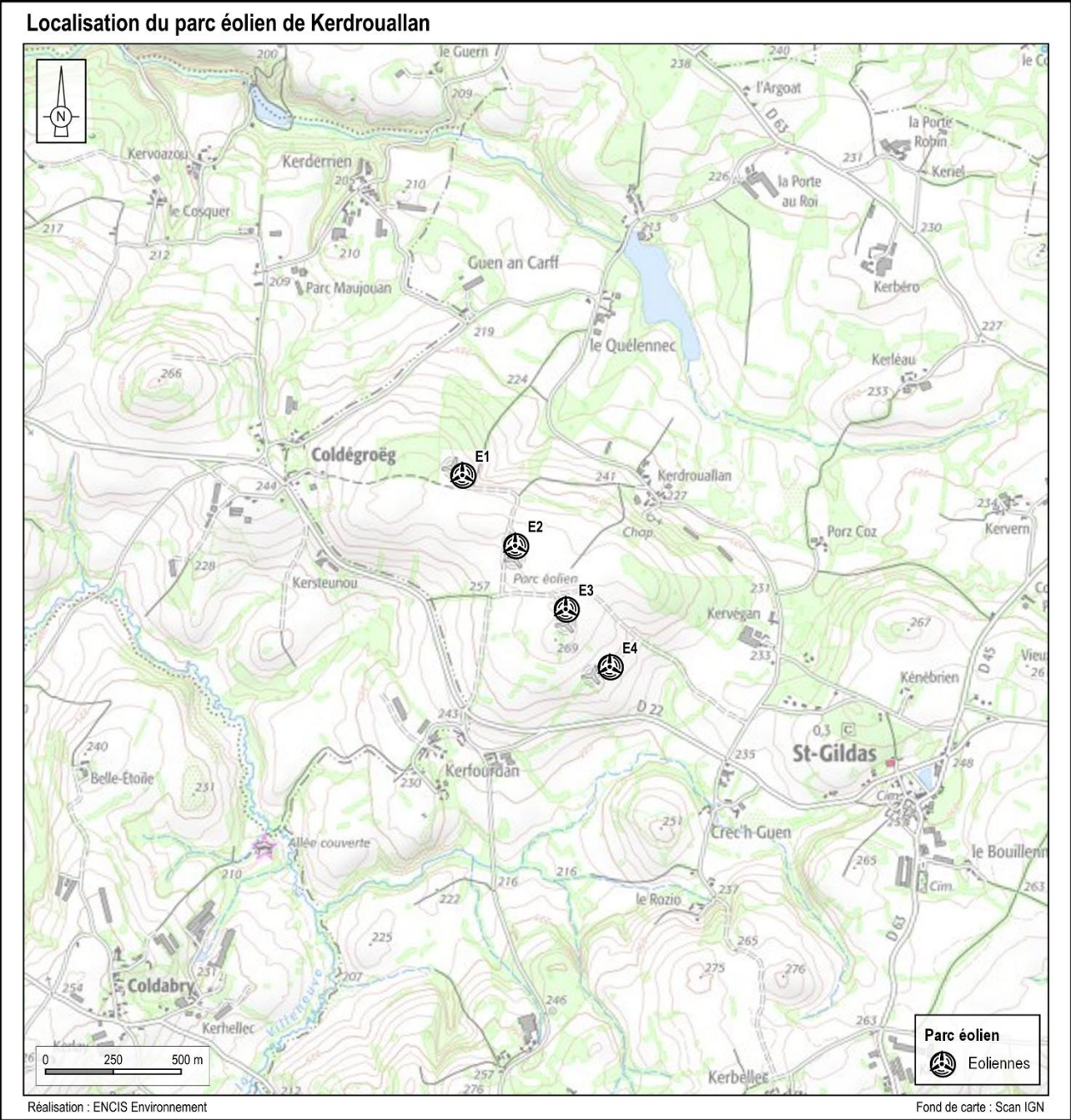
Destinataire	Parc éolien Kerdrouallan SAS
Adresse	26 rue du Rhône 68 300 SAINT-LOUIS
Interlocuteur	Julien LEON, Energiequelle
Téléphone	++33 (0)2 99 36 77 40

1.2 Auteurs de l'étude

Structure	
Adresse	90 rue Buck Clayton 87 100 LIMOGES Cedex
Téléphone	05 55 36 28 39
Coordination de l'étude	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de Nantes
Suivi de l'activité des chiroptères	Clément MADEC, Chargé d'études – chiroptérologue Julien HERVÉ, Responsable d'études - chiroptérologue
Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	Hugo PONTY, Chargé d'études – Ornithologue Valentine FURGÈRE, Chargée d'études – Ornithologue Antoine BEL, Chargé d'études – Ornithologue
Correction	Quentin SUREAU, Responsable qualité des dossiers
Validation	Quentin SUREAU, Responsable qualité des dossiers
Version 1 / date	Août 2025
Version finale / date	Décembre 2025

1.3 Présentation du parc éolien étudié

Le parc éolien se situe au nord-ouest de la commune de Saint-Gildas, à 10 km au nord-ouest de Quintin et à 20 km au sud-ouest de Saint-Brieuc, dans le département des Côtes-d'Armor (22). Le parc éolien est composé de quatre éoliennes de type ENERCON E82 d’une puissance nominale de 2 MW et alignées selon un axe nord-ouest / sud-est. Trois éoliennes ont une hauteur de 126 mètres en bout de pale (E1, E2 et E3), la quatrième de 140 mètres (E4) (carte suivante).



Carte 1 : Localisation du parc éolien de Kerdrouallan

Implantées sur une butte en zone rurale vouée à l'agriculture, deux éoliennes et leurs plateformes se situent dans des prairies de fauche (E1 et E2), les deux autres dans des parcelles cultivées (E3 et E4). Le paysage relativement ouvert de bocage déstructuré est ponctué de haies et de petits boisements (carte suivante).



Carte 2 : Localisation du parc éolien de Kerdrouallan sur photographie aérienne

1.4 Cadre réglementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens

1.4.1 Création ou extension d'un parc éolien

L'arrêté du 26 août 2011, dans son article 12, précise pour une installation classée ICPE :

« L'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Sauf cas particulier justifié et faisant l'objet d'un accord du préfet, ce suivi doit débuter dans les 12 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation afin d'assurer un suivi sur un cycle biologique complet et continu adapté aux enjeux avifaune et chiroptères susceptibles d'être présents. Dans le cas d'une dérogation accordée par le préfet, le suivi doit débuter au plus tard dans les 24 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation. Ce suivi est renouvelé dans les 12 mois si le précédent suivi a mis en évidence un impact significatif et qu'il est nécessaire de vérifier l'efficacité des mesures correctives. A minima, le suivi est renouvelé tous les 10 ans d'exploitation de l'installation. Le suivi mis en place par l'exploitant est conforme au protocole de suivi environnemental reconnu par le ministre chargé des installations classées. Les données brutes collectées dans le cadre du suivi environnemental sont versées, par l'exploitant ou toute personne qu'il aura mandatée à cette fin, dans l'outil de téléservice de " dépôt légal de données de biodiversité " créé en application de l'arrêté du 17 mai 2018. ».

Ce suivi doit également être conforme aux dispositions applicables aux ICPE relatives à l'étude d'impact. Ainsi, l'article R122-14 du code de l'environnement prévoit que : « - La décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution du projet mentionne :

1° Les mesures à la charge du pétitionnaire ou du maître d'ouvrage, destinées à éviter les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine, réduire les effets n'ayant pu être évités et, lorsque cela est possible, compenser les effets négatifs notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine qui n'ont pu être ni évités ni suffisamment réduits ;

2° Les modalités du suivi des effets du projet sur l'environnement ou la santé humaine ;

3° Les modalités du suivi de la réalisation des mesures prévues au 1° ainsi que du suivi de leurs effets sur l'environnement, qui font l'objet d'un ou plusieurs bilans réalisés selon un calendrier que l'autorité compétente pour autoriser ou approuver détermine. Ce ou ces bilans sont transmis pour information par l'autorité compétente pour prendre la décision d'autorisation, d'approbation ou d'exécution à l'autorité administrative de l'État compétente en matière d'environnement. »

En novembre 2015, l'État a publié un protocole standardisé permettant de réaliser les suivis environnementaux. Il guide également la définition des modalités du suivi des effets du projet sur l'avifaune et les chiroptères prévu par l'article R.122-14 du code de l'environnement. Ce protocole a été abrogé et remplacé en 2018.

La ferme éolienne de Kerdrouallan fait partie des cas particuliers des parcs autorisés avant l'entrée en vigueur du protocole. Ainsi le protocole, dans son annexe 3, stipule que : « Dans le cas des parcs éoliens autorisés avant la date de mise en œuvre du présent protocole de suivi environnemental des parcs éoliens, plusieurs cas de figure existent :

- Le parc éolien a été mis en service depuis plus de 3 ans → cas 1

- Le parc éolien a été mis en service depuis moins de 3 ans → cas 2 (cas du parc de Kerdrouallan)
- Le parc éolien n'a pas encore été mis en service → cas 3.

La prise en compte d'autres paramètres dans les suivis environnementaux de ces parcs éoliens, entraînent plusieurs situations différentes :

- Un suivi environnemental de l'avifaune et des chiroptères a été prévu par l'exploitant dans l'étude d'impact. Ce suivi peut avoir été repris dans les prescriptions de l'arrêté de permis de construire (et dans celles de l'arrêté d'autorisation d'exploiter, s'il existe) → cas A

- Un suivi environnemental soit de l'avifaune soit des chiroptères a été prévu par l'exploitant dans l'étude d'impact. Ce suivi peut avoir été repris dans les prescriptions de l'arrêté de permis de construire (et dans celles de l'arrêté d'autorisation d'exploiter s'il existe) → cas B

- Aucun suivi environnemental n'est prévu dans l'étude d'impact ou dans l'arrêté de permis de construire (ou dans l'arrêté d'autorisation d'exploiter s'il existe) → cas C (cas du parc de Kerdrouallan)

En fonction de ces différents cas de figure, l'exploitant devra se mettre en conformité par rapport aux prescriptions de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011 selon le tableau ci-dessous :

Mise en service du parc éolien			
Suivi environnemental prévu ou non	1	2	3
A	Les modalités de suivi prévues initialement et validées par l'administration seront conservées et tiendront lieu de suivi environnemental au sens de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011.	Les modalités de suivi prévues initialement et validées par l'administration seront conservées et tiendront lieu de suivi environnemental au sens de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011.	Les modalités de suivi prévues initialement et validées par l'administration seront conservées et tiendront lieu de suivi environnemental au sens de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011.
B	Les modalités de suivi prévues initialement et validées par l'administration seront conservées et tiendront lieu de suivi environnemental au sens de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011. Elles seront complétées par un suivi sur le groupe d'espèces non étudié conformément au présent protocole.	Les modalités de suivi prévues initialement et validées par l'administration seront conservées et tiendront lieu de suivi environnemental au sens de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011. Elles seront complétées par un suivi sur le groupe d'espèces non étudié conformément au présent protocole.	Les modalités de suivi prévues initialement et validées par l'administration seront conservées et tiendront lieu de suivi environnemental au sens de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011. Elles seront complétées par un suivi sur le groupe d'espèces non étudié conformément au présent protocole.
C	L'exploitant devra mettre en œuvre un suivi conforme au présent protocole selon une périodicité de 10 ans par rapport à la date de mise en service.	L'exploitant devra mettre en œuvre un suivi conforme au présent protocole dans les meilleurs délais, puis tous les 10 ans.	L'exploitant devra mettre en œuvre un suivi conforme au présent protocole dans les trois années suivant la mise en service, puis tous les 10 ans.

Tableau 1 : modalités de suivi des parcs autorisés avant l'entrée en vigueur du protocole national

1.5 Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel

1.5.1 Avifaune

Trois effets des parcs éoliens en fonctionnement sont généralement constatés sur l'avifaune, dans des proportions variables selon l'écologie des espèces, le territoire concerné et les caractéristiques du projet : **la mortalité** (collision avec les pales ou les mâts d'éolienne, projection au sol par les turbulences, barotraumatisme), **la perte d'habitat** (par effarouchement), et **l'effet barrière**.

1.5.1.1 Perte d'habitat liée à l'effarouchement par les éoliennes

La perte d'habitat par effarouchement résulte d'un comportement d'éloignement des oiseaux autour des éoliennes en mouvement. Selon les espèces, cet éloignement s'explique par une méfiance instinctive du mouvement des pales et de leur ombre portée. Ce dérangement répété peut conduire à une perte durable d'habitat. La perturbation peut avoir des conséquences faibles si le milieu concerné est commun et qu'il existe d'autres habitats similaires aux alentours. La perturbation peut cependant être importante lorsque les espèces sont inféodées à un habitat particulier et que cet habitat est rare dans le secteur du site d'implantation. L'habitat affecté peut aussi bien concerner une zone de reproduction qu'une zone d'alimentation, et ce pendant toutes les phases du cycle biologique des oiseaux (reproduction, migration, hivernage). À noter que pour certaines espèces d'oiseaux, aucune mesure efficace de revalorisation d'habitat n'est connue, l'évitement doit donc être la priorité (Werner *et al.*, 2018).



Certaines espèces s'adaptent facilement en s'habituant progressivement aux éoliennes dans leur environnement, d'autres sont très farouches. Le degré de sensibilité varie selon les espèces et le stade phénologique concerné (reproduction, migration, hivernage). Farfán *et al.*, (2009), ont par exemple constaté une diminution de la fréquentation des rapaces après la construction d'un parc éolien, mais ce phénomène n'a pas été observé pour les passereaux.

L'analyse des résultats de 127 études portant sur les impacts des éoliennes sur la biodiversité (Hötter *et al.*, 2006) illustre également ces différences inter-spécifiques, intra-spécifiques et phénologiques. L'étude indique notamment que les distances d'évitement sont moins importantes en période de reproduction qu'en dehors de cette dernière. Par exemple, il est mentionné une distance d'évitement de 113 mètres pour le Canard colvert en période de reproduction, contre 200 mètres hors période de reproduction (valeurs médianes). Cette distance d'évitement est de 300 mètres pour la Barge à queue noire en période de reproduction, ainsi que pour le Canard siffleur et la Bécassine des marais hors période de reproduction (valeurs médianes). D'autres espèces apparaissent moins sensibles à l'effarouchement, comme le Pipit farlouse et la Bergeronnette printanière (respectivement 0 et 50 mètres en période de reproduction, valeurs médianes) ou encore le Faucon crécerelle et le Héron cendré (respectivement 0 et 30 mètres hors période de reproduction, valeurs médianes). Le site internet du programme national « éolien-biodiversité » créé à l'initiative de l'ADEME, du MEEDDM, du SER-FEE et de la LPO, évoque une distance d'éloignement variant de quelques dizaines de mètres jusqu'à 400-500 mètres du mât de l'éolienne en fonctionnement. Selon la même source, certains auteurs témoignent de distances maximales avoisinant 800 à 1 000 mètres.

L'accoutumance des oiseaux aux éoliennes est toujours discutée, les données étant parfois contradictoires pour une même espèce.

1.5.1.1.1 Hivernants et migrants

La bibliographie est parfois contradictoire concernant les réponses comportementales des groupes de passereaux hivernants ou en halte migratoire face à la présence d'éoliennes. En Vendée, malgré les difficultés à appréhender le rôle des aérogénérateurs, après l'implantation du parc de Bouin (Dulac, 2008), certaines espèces semblent toujours fréquenter le secteur sans évolution significative de la taille des groupes (Étourneau sansonnet, Alouette des champs, Pigeon ramier, etc.) ; alors que pour d'autres espèces, une diminution du nombre d'oiseaux par groupe a été constatée (Hirondelle rustique).

Pour les espèces de petites et moyennes envergures, Hötter *et al.*, 2006, semblent confirmer un effet faible lié à la perte d'habitat, et indiquent une distance d'évitement nulle pour l'Alouette des champs, l'Étourneau sansonnet et la Corneille noire, et de 100 mètres pour le Pigeon ramier (valeurs médianes, hors période de reproduction). Devereux *et al.* (2008) n'ont pas trouvé d'effets liés à la proximité des éoliennes sur la distribution de plusieurs groupes d'oiseaux hivernants dans des paysages agricoles (granivores, corvidés, phasianidés, et Alouette des champs), à l'exception du Faisan de Colchide.

En revanche, en hiver, pour certaines espèces de moyenne envergure, Pratz (2010) indique que les groupes semblent rester à l'écart par rapport aux éoliennes et ne traversent que très rarement les parcs denses ou en éventail (Pigeon ramier, Pluvier doré, Vanneau huppé ; parcs de Beauce).

1.5.1.1.2 Nicheurs

La bibliographie s'intéressant à la méfiance des oiseaux vis-à-vis des éoliennes semble montrer que les nicheurs de petites et moyennes envergures sont moins gênés par la présence des éoliennes que les oiseaux migrants ou hivernants. Plusieurs auteurs témoignent d'une accoutumance des individus locaux à la présence de ces nouvelles structures (Dulac, 2008 ; Albouy, 2005). Faggio *et al.*, (2003) indiquent une indifférence totale vis-à-vis des éoliennes pour les espèces locales ou nicheuses qui restent en permanence près du sol comme la Fauvette sarde et la Perdrix rouge.

La densité des oiseaux peut également être affectée. Les travaux de Pearce-Higgins *et al.*, (2009), concernant neuf parcs éoliens au Royaume-Uni, suggèrent que les densités d'oiseaux nicheurs peuvent être réduites de 15 à 53 % dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes (espèces les plus touchées : Buse variable, Busard Saint-Martin, Pluvier doré, Bécassine des marais, Courlis cendré et Traquet motteux). Fernández-Bellon *et al.*, (2019), ont également mis en évidence des densités d'oiseaux plus faibles au sein de parcs éoliens, en comparaison de sites témoins.

1.5.1.1.3 Espèces des milieux aquatiques

Les oiseaux d'eau peuvent s'avérer farouches vis-à-vis de la présence des éoliennes. Hors période de reproduction, selon Hötter *et al.*, (2006), les anatidés (canards, oies, cygnes) se maintiennent parfois à distance des mâts. Cet éloignement a été estimé entre 125 et 300 mètres vis-à-vis du mât (valeurs médianes). Il est à noter que l'importance des écarts types révèle la disparité des comportements intra-spécifiques. Ces différences peuvent être liées à la configuration du site (nombre et hauteur des éoliennes, agencement, paysage), et à la capacité d'adaptation des oiseaux à la présence des éoliennes. À titre d'exemple, des études ont mis en évidence

des signes d'accoutumance (diminution des distances d'évitement) pour le Canard colvert et la Foulque macroule, des signes de non-accoutumance (augmentation des distances d'évitement) pour le Courlis cendré, voire les deux types de comportement pour le Vanneau huppé (Hötter *et al.*, 2006).

Également, une capacité d'accoutumance des oiseaux d'eau nicheurs à la présence des éoliennes dans leur environnement a été documentée (Dulac, 2008), notamment chez le Canard colvert (Roux *et al.*, 2013). Toutefois, les échassiers et les oiseaux aquatiques seraient plus sensibles à ces perturbations indirectes par perte ou modifications d'habitats que d'autres (Gaultier *et al.* 2019). Roux *et al.*, (2013), ont ainsi constaté l'abandon total d'une héronnière située à proximité d'une éolienne et une forte diminution du nombre de couples installés dans une autre située à 250 mètres d'un parc éolien.

Enfin, certaines espèces semblent particulièrement sensibles, comme le Courlis cendré, dont la distance d'évitement en période de reproduction est évaluée à 800 mètres (Pearce-Higgins *et al.*, 2009).

Compte-tenu des résultats décrits précédemment, et notamment des variations intra-spécifiques importantes, **il est difficile de généraliser le phénomène d'accoutumance**. Par ailleurs, il faut souligner que **cette habitude se fait au prix d'un risque accru de collision avec les éoliennes** (Gaultier *et al.*, 2019).

1.5.1.2 Effet barrière et contournement

L'effet barrière correspond à des réactions de contournement des éoliennes lors des vols des oiseaux. Les parcs éoliens peuvent représenter une barrière aussi bien pour les oiseaux en migration active que pour les oiseaux en transits quotidiens entre les zones de repos et les zones de gagnage. L'effet barrière dépend de la sensibilité des espèces, de la configuration du parc éolien, de celle du site, et des conditions climatiques.

La réaction d'évitement a l'avantage de réduire les risques de collision pour les espèces sensibles lorsque les conditions de visibilité sont favorables. En revanche, elle pourrait générer une dépense énergétique supplémentaire notable pour les migrants lorsque le contournement prend des proportions importantes (effet cumulatif de plusieurs obstacles successifs) ou quand, pour diverses raisons (mauvaises conditions météorologiques, relief, etc.), la réaction est tardive à l'approche des éoliennes (mouvements de panique, demi-tours, éclatement des groupes, etc.). Lors d'une étude par suivi GPS de 143 Courlis cendrés, il a été constaté qu'environ 70 % des individus ont présenté des comportements d'évitement (modifications des trajectoires et hauteurs de vol). Ces comportements d'évitement participent à réduire le risque de collision, mais augmentent la dépense énergétique (Schwemmer *et al.*, 2023).

Pour les oiseaux nicheurs ou hivernants, un parc formant une barrière entre une zone de reproduction/de repos et une zone d'alimentation peut conduire, selon la sensibilité des espèces, à une augmentation du risque de collision voire une perte d'habitat (abandon de la zone de reproduction ou de la zone de gagnage).

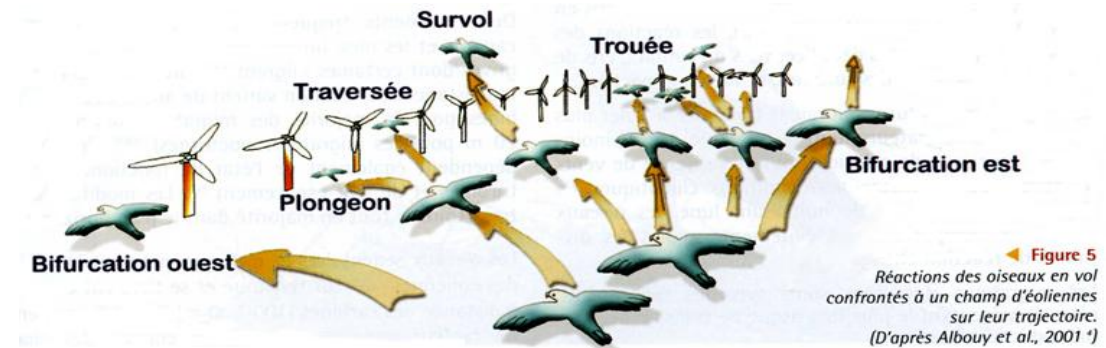


Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001)

Les espèces qui sont le plus susceptibles d'être affectées par l'effet barrière sont les espèces de grande envergure, qui se déplacent à des altitudes relativement élevées (notamment à hauteur de pales) et dont le rayon d'action est vaste. Les effets semblent être plus importants pour les rapaces, les échassiers (Héron cendré), les canards et les colombidés (Pigeon ramier). Toutefois, Hötter *et al.*, (2006), indiquent un effet barrière chez les oies, les rapaces et les passereaux (hors Etourneau sansonnet et Corvidés). Par exemple, un effet barrière a ainsi été noté chez la Grue cendrée (cinq études), le Milan noir (quatre études), le Milan royal (trois études), le Busard des roseaux (quatre études), le Busard Saint-Martin (une étude), l'Oie cendrée (deux études), le Pinson des arbres (trois études) ou encore l'Hirondelle rustique (quatre études).

D'après le programme national « éolien-biodiversité » (LPO-ADEME-MEDDE-SER/FEE), les anatidés (canards, oies, etc.) et les pigeons semblent assez sensibles à l'effet barrière, alors que les laridés (mouettes, sternes, goélands) et les passereaux le sont beaucoup moins. Faggio *et al.* (2003) ont ainsi observé que seulement 22,5 % des oiseaux de petite envergure et 16,3 % des oiseaux de moyenne envergure avaient un comportement d'évitement face aux éoliennes (évitement par-dessus, par-dessous, ou sur le côté).

Les réactions des espèces sont difficilement généralisables, car il existe des espèces pour lesquelles certaines études ont montré un effet barrière, tandis que d'autres ont mis en évidence l'absence d'un tel effet (Buse variable, Héron cendré, etc., Hötter *et al.*, 2006).

Les réponses comportementales face à un parc éolien dépendent de l'espèce, des habitats présents au sein et autour du parc et surtout du nombre et de la disposition des éoliennes (espacements entre les éoliennes, hauteur, etc.). À titre d'exemple, sur le site de Bouin (Dulac, 2008), l'éloignement d'un peu plus de 200 mètres entre chaque éolienne, laissant un passage de plus de 100 mètres de libre (abstraction faite des espaces de survol des pales) semble provoquer une diminution du nombre de passages d'oiseaux au niveau des éoliennes. Cependant, cette diminution ne concerne que certaines espèces (Tadornes de Belon, Canard colvert, Bergeronnette grise, Pipit farlouse, Faucon crécerelle) et d'autres ne semblent pas affectées, comme la Mouette rieuse et l'Etourneau sansonnet. Pour autre exemple, la distance d'évitement de la Buse variable est courte : environ 25 mètres hors période de reproduction (valeur médiane, Hötter *et al.*, 2006).

Albouy *et al.*, (2001), ont montré que toutes les espèces, quelle que soit leur taille, peuvent être « dérangées » par la présence des éoliennes (88 % des individus ont réagi en adaptant leur trajectoire). Également, les auteurs indiquent que la distance d'anticipation dépend de la taille des migrants. Ainsi, les passereaux et les rapaces de petite envergure réagissent généralement à 100-200 mètres en amont du parc, tandis que les grands rapaces et grands échassiers s'adaptent souvent au-delà de 500 mètres. Marques *et al.*, (2020), ont montré un effet négatif des éoliennes pour les Milans noirs en migration, avec une diminution de la fréquentation des habitats dans un

rayon d'environ 674 mètres autour des mâts (ce qui correspond à une surface de 143 hectares par éolienne). Le programme national « éolien-biodiversité » (LPO-ADEME-MEDDE-SER/FEE) signale que les Grues cendrées adoptent un comportement d'évitement du parc entre 300 et 1 000 mètres de distance.

L'orientation des alignements d'éoliennes a une influence sur les comportements des migrateurs qui abordent un parc éolien. Une ligne d'éoliennes parallèle à l'axe de migration provoque moins de modifications de comportement qu'une ligne perpendiculaire aux déplacements, réduisant ainsi les risques de collisions (Albouy *et al.*, 2001 ; Werner *et al.*, 2018). En outre, Albouy *et al.*, 2001, ont montré qu'un espace d'environ 200 mètres entre deux éoliennes semble suffisant au passage des passereaux et des rapaces de petite et moyenne envergure (faucons, éperviers, milans, Bondrée apivore) mais trop faible pour les oiseaux de plus grande envergure comme les cigognes ou le Circaète Jean-le-Blanc (aucun de ces derniers n'a été observé utilisant cet espace). Également, Roux *et al.*, (2013) ont constaté que des éoliennes implantées parallèlement au couloir de migration ne semblaient pas faire barrière aux mouvements des migrateurs. La littérature recommande de limiter l'emprise du parc sur les couloirs de vol (notamment les axes de migration), dans l'idéal à moins de 1 000 mètres (Soufflot, 2010 ; Marx, 2017 ; Gaultier *et al.*, 2019). Lorsque cette préconisation ne peut être respectée, il est recommandé d'aménager des trouées de taille suffisante pour laisser des échappatoires aux migrateurs. Soufflot, (2010) évalue la distance minimale d'une trouée à 1 000 mètres (1 250 mètres dans l'idéal, sans distinction du sens d'implantation des éoliennes), et recommande également d'exclure les croisements de lignes d'éoliennes (configuration en croix, en « Y » ou en « L »).

Au-delà des couloirs de migration, il est recommandé de ne pas réaliser d'implantation perpendiculaire aux axes principaux de déplacements, et de laisser des zones de passage en cohérence avec ces axes (Drewitt & Langston, 2006, 2008). Cela peut concerner, par exemple, des trajets quotidiens entre une colonie de reproduction et des zones d'alimentation.

Selon Gaultier *et al.*, (2019), l'impact de l'effet barrière sur les oiseaux migrateurs est encore difficile à évaluer et nécessiterait des travaux de recherche spécifiques.

1.5.1.3 Mortalité

La mortalité des oiseaux peut résulter de collisions avec les pales ou avec la tour de la nacelle. Les petits passereaux pourraient également subir des barotraumatismes et être projetés au sol par les turbulences créées par la rotation des pales (Gaultier *et al.*, 2019, Werner *et al.*, 2018). Il faut également noter qu'un faible taux de mortalité peut générer des incidences écologiques notables, pour les espèces menacées et pour les espèces à maturité lente et à faible productivité annuelle (Carrete *et al.*, 2009, Drewitt & Langston, 2006, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2019). Duriez *et al.*, (2022), ont ainsi montré l'influence de la mortalité additionnelle générée par les éoliennes sur une population de Faucon crécerellette, ce qui révèle l'importance d'évaluer l'impact à l'échelle de la population, en considérant les paramètres de dynamique de populations (fécondité, taux de survie, etc.).

Les principaux facteurs influençant le risque de collision sont l'espèce (comportement, phénologie, hauteur et type de vol), la densité d'oiseaux, les caractéristiques du parc éolien (nombre d'éolienne, gabarit, agencement, éclairage), les caractéristiques du paysage, la période de l'année, et les conditions météorologiques (Powlesland, 2009, Drewitt & Langston, 2006, 2008). L'environnement du parc (milieux, topographie) serait un paramètre particulièrement important, avec des cas de collisions souvent plus nombreux dans les parcs situés à proximité des zones humides et des zones côtières, et un risque de collision pouvant également être important dans les

secteurs montagneux (sommets et crêtes) ainsi que dans les zones présentant un changement de topographie marqué (Drewitt & Langston, 2008 ; Rydell *et al.*, 2012).

De même, les conditions météorologiques défavorables (brouillard, nuages bas, vent fort, neige), constituent des situations à risque. Par exemple, par temps de brouillard, les oiseaux migrateurs présentent une plus grande dispersion des directions de vol, s'écartant d'avantage de leur direction moyenne (Becciu *et al.*, 2021). Également, une augmentation de la vitesse a été constatée par vent de travers et brouillard (Becciu *et al.*, 2021).

Les espèces interagissent différemment face à un parc éolien. Les espèces plus sensibles à l'effarouchement (limicoles, anatidés, grues, aigles, etc.), plus méfiantes vis-à-vis des éoliennes en mouvement, seraient par conséquent moins sensibles au risque de collision. Les espèces moins farouches seraient potentiellement plus sensibles à la mortalité par collision avec les pales (milans, buses, Faucon crécerelle, busards, martinets, hirondelles, etc.). Cependant, les rapaces, les laridés, les ardéidés, les anatidés et les passereaux migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les turbines (Powlesland, 2009 ; Soufflot, 2010).

Certains rapaces, en particulier les espèces à tendance charognarde tels les milans, la Buse variable ou encore les busards peuvent être attirés sur les parcelles cultivées lors des travaux agricoles (notamment la fauche des prairies au printemps et les moissons en été) et par l'ouverture des milieux liée au défrichement.

Pendant les migrations, les collisions semblent survenir plus particulièrement la nuit. Les espèces qui ne migrent que de jour (rapaces, cigognes, fringilles, etc.) sont souvent capables d'adapter leurs trajectoires à distance. En effet, Albouy *et al.*, (2001), ont observé que 88 % des oiseaux changent leur trajectoire à la vue des éoliennes. Ces comportements d'anticipation participent à la réduction des situations à risque.



Photo 1 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales - ©Encis Environnement

1.5.2 Chiroptères

1.5.2.1 Généralités

1.5.2.1.1 Notion et tendance de population chez les chiroptères

Les chiroptères sont des espèces dites longévives présentant une longévité élevée, une maturité sexuelle tardive et un taux de reproduction faible avec un petit par an expliquant un très faible taux d'accroissement des populations (Culina *et al.*, 2019 ; Kerbiriou *et al.*, 2015b ; Froidevaux *et al.*, 2017). L'état des populations de chiroptères est encore mal connu mais le maintien de ces dernières repose sur la survie des adultes (Diffendorfer *et al.*, 2015 ; Lentini *et al.*, 2015 ; Culina *et al.*, 2019). Bien que l'estimation des populations soit complexe à surveiller, et que la taille des populations est encore loin d'être connue, les paramètres démographiques et, par conséquent, le potentiel impact des décès sur la viabilité des populations de chauves-souris est un paramètre important à prendre en compte (Lenhert *et al.*, 2014, Ellison LE 2013).

Des études récentes au niveau national présentent différents patterns avec des tendances à l'augmentation pour la Barbastelle d'Europe, le Grand Murin, le Grand Rhinolophe, le Murin à oreilles échancrées, le Petit Rhinolophe, la Pipistrelle de Kuhl et le Rhinolophe euryale, et à l'inverse, des tendances à la diminution pour le Minioptère de Schreibers, la Noctule commune, la Noctule de Leisler, le Petit Murin, la Pipistrelle commune et la Sérotine commune (Tapeiro *et al.*, 2017 ; SFEPM 2016a ; Bas *et al.*, 2020). Globalement, la tendance de population au niveau national sur l'ensemble des espèces de chiroptères est en diminution entre 2006 et 2018 (Bas *et al.*, 2020).

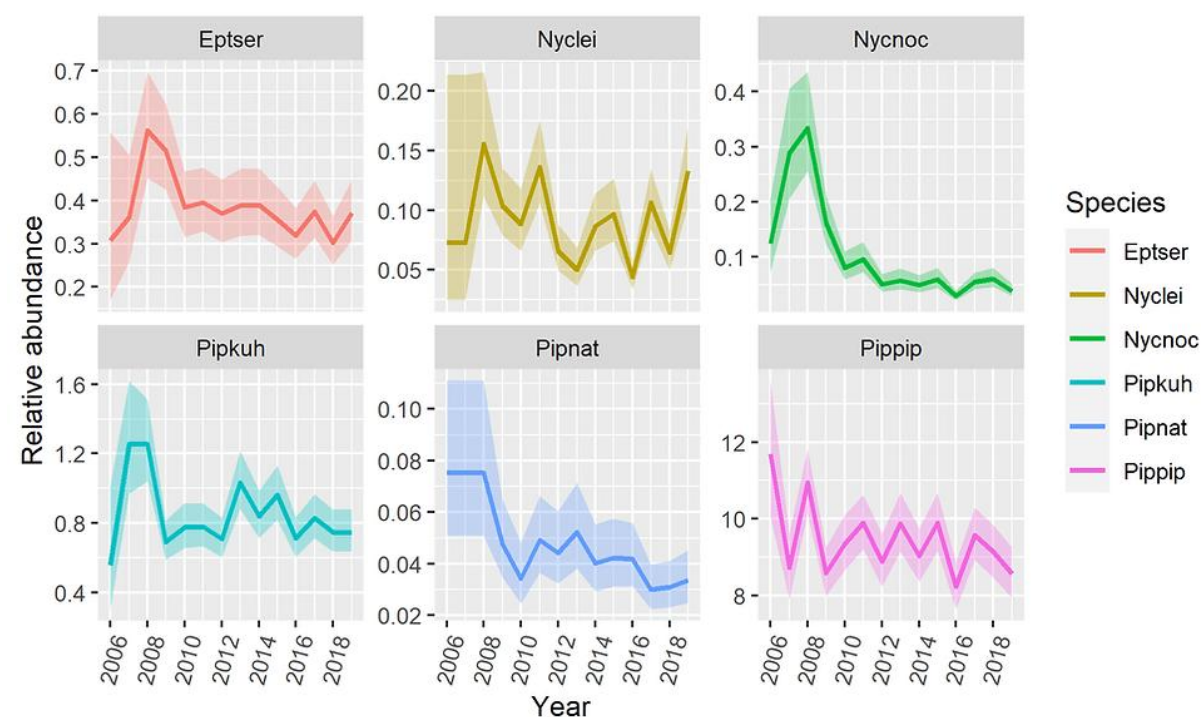


Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas *et al.*, 2020)

1.5.2.1.2 Impacts de l'éolien sur les chiroptères

La présence d'éoliennes en fonctionnement peut avoir deux types de conséquence sur les chiroptères :

- **la perte d'habitat** (abandon de certaines zones de chasse, de transit et/ou d'habitat de gîte) ;

- **la mortalité** (collision directe, barotraumatisme, écrasement dans les mécanismes de rouage, intoxication suite à l'absorption d'huile de rouage, etc.).

1.5.2.2 Perte et/ou altération d'habitat

1.5.2.2.1 Perte directe ou destruction d'habitats

Le premier impact en termes de perte d'habitat, est la destruction directe d'habitats de gîte, de chasse ou de déplacement. Ainsi, une destruction directe d'habitat est principalement impactante pour les espèces locales, notamment sur des habitats favorables aux chiroptères comme les boisements de feuillus ou mixte ou les haies (Barataud *et al.*, 2019 ; Kelm *et al.*, 2014 ; Eurobats 2017).

La perte d'habitat de gîte envisagée est la destruction d'arbres pouvant héberger différentes espèces de chiroptères. Les habitats privilégiés par les chauves-souris arboricoles sont généralement les forêts de feuillus matures et les arbres creux ou sénescents qu'ils soient au sein de boisements ou de haies (Kusch & Schotte 2007 ; Averback *et al.*, 2015 et Peste *et al.*, 2015). Ainsi, la perte de gîtes surtout dans les secteurs où ils sont rares aura un impact plus grand que des modifications d'habitats de chasse ou de transits (Brinkmann *et al.*, 2011 ; Amorim *et al.*, 2012).

Les pertes directes d'habitats de chasse et de déplacement auront pour conséquences un abandon du territoire de nourrissage, et/ou un changement de voies de déplacement, entraînant des conséquences similaires aux dérangements (phénomène détaillé dans les parties suivantes).

1.5.2.2.2 Dérangement par altération de la qualité de l'habitat de chasse

Plusieurs études relatent une modification de l'activité des chiroptères liée aux éoliennes. Ainsi, l'activité des chauves-souris est plus faible au niveau des éoliennes qu'au niveau de sites témoins, et est également liée au fonctionnement de la machine, et à la proximité des éoliennes entre elles (Millon *et al.*, 2018 ; Minderman *et al.*, 2012 ; Minderman *et al.*, 2017 ; Cryan *et al.*, 2014a). Ce dérangement semble impacter plus fortement les chiroptères locaux, notamment avec des observations d'évitement plus marquées de mai à juillet que chez les migrants (Millon *et al.*, 2015 ; Lehnert *et al.*, 2014). Ce même dérangement apparaît également être effectif lors des différentes saisons du cycle biologique des chiroptères (Schaub *et al.*, 2008 ; Stone *et al.*, 2009 ; Parsons *et al.*, 2003 ; Thomas 1995).

Cette altération de l'habitat de chasse provoque un impact au niveau des ensembles végétaux ainsi qu'au niveau local et plus particulièrement en fonction de la proximité des haies (Millon *et al.*, 2015 ; Barré *et al.*, 2018).

Ce type de dérangement touche de multiples espèces de chiroptères, qu'elles soient soumises ou non aux risques de collision avec l'éolien. C'est le cas notamment pour la Barbastelle d'Europe, les murins sp., la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune et les oreillards sp (Roemer *et al.*, 2017 ; Roekle *et al.*, 2016 ; Barré *et al.*, 2018).

Certaines études relèvent également la possibilité d'abandon des zones de chasse des espèces les plus sensibles aux ultrasons émis par les éoliennes, à l'instar de la Sérotine commune (Bach 2001 ; 2002 et 2003 ; Bach & Rahmel 2004). L'étude la plus récente sur le sujet (Brinkmann *et al.*, 2011) indique qu'une perte d'habitat ou un évitement de la zone concernée pourrait avoir lieu à cause de ces émissions d'ultrasons.

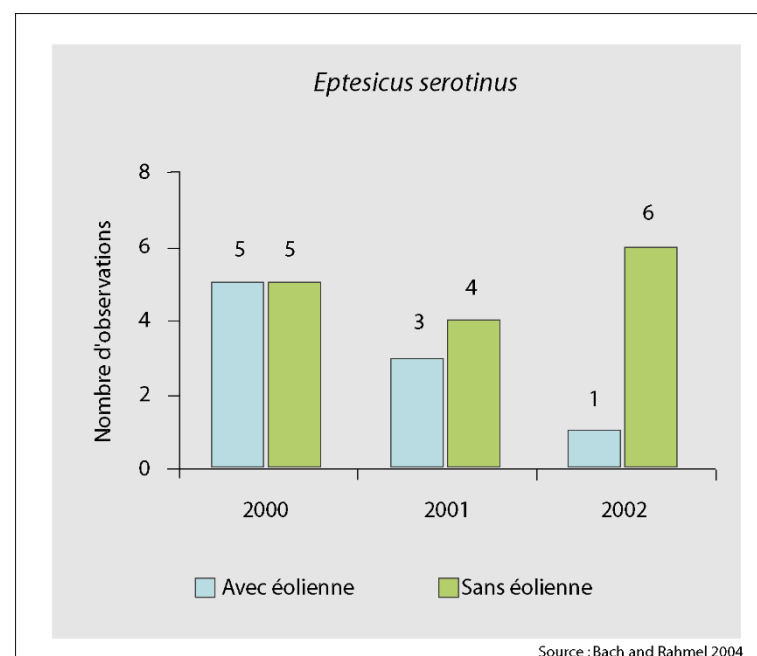


Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach & Rahmel 2004)

Perte des voies de migration ou des corridors de déplacement

Les chauves-souris sont en partie des espèces migratrices parfois sur de longues distances comme la Pipistrelle de Nathusius ou la Noctule commune (Hutterer *et al.*, 2005 ; Arthur et Lemaire 2015). Ces espèces migratrices après avoir reconstitué leurs réserves alimentaires à la sortie de l'hibernation, migrent dès le printemps vers des zones où elles passent l'été, pour ensuite revenir hiberner sur la zone initiale par une deuxième migration en fin d'été et début d'automne (Dechmann *et al.*, 2014 ; Dechmann *et al.*, 2017).

Bien que les voies de migration chez les chiroptères soient encore assez mal connues, certaines études relatent des axes importants au niveau du littoral et des vallées fluviales, à la fois pour des espèces migratrices de longue distance que pour les espèces régionales (Jamin *et al.*, 2020 ; Kunz *et al.*, 2007b ; Cryan *et al.*, 2014b ; Hayes *et al.*, 2019b ; Furmankiewicz & Kucharska 2009 ; Telleria *et al.*, 2009, Cryan *et al.*, 2011). Ainsi, le dérangement des chiroptères sur les voies de migration peut impacter les chiroptères sur de longues distances en créant des « effets barrières » (Voigt *et al.*, 2012 ; Brinkmann *et al.*, 2011). À noter cependant que les espèces migratrices semblent moins sensibles aux dérangements par les parcs éoliens que les individus locaux (Million *et al.*, 2015 ; Lehnert *et al.*, 2014).

Parallèlement, à la perte de voies de migration, il existe une perte de corridors de déplacement à l'échelle locale. Cette dernière est également susceptible de provoquer un abandon de gîtes pouvant engendrer une augmentation des dépenses énergétiques due à l'évitement des parcs et à la modification des corridors (Bach *et al.*, 2003 et Dubourg-Savage 2005). De nombreuses espèces sont ainsi susceptibles d'être impactées par la modification des corridors de déplacements locaux (Barré *et al.*, 2018 ; Roemer *et al.*, 2017 ; Roেকে *et al.*, 2016).

1.5.2.3 Mortalité directe et indirecte

Il existe de multiples causes de mortalité chez les chiroptères au niveau mondial comme le « White-Nose Syndrome », les mortalités intentionnelles, les accidents, les mortalités biotiques et abiotiques, *etc.*, dans lesquelles l'éolien affiche une assez forte proportion (O'Shea *et al.*, 2016).

Dans le cadre de l'éolien, la mortalité des chauves-souris peut être liée à différents facteurs : collision directe, barotraumatisme, écrasement dans les mécanismes de rouage, intoxication suite à l'absorption d'huile de rouage, *etc.*

La mortalité par contact direct ou indirect avec les aérogénérateurs reste l'impact le plus significatif des parcs éoliens sur les chiroptères (Brinkmann *et al.*, 2011). Ces collisions ont pour conséquence des blessures létales ou sublétales (Grodsky *et al.*, 2011).

Un état des lieux des connaissances avec une analyse approfondie de nombreuses publications scientifiques a été menée sur la base de synthèses bibliographiques récentes sur le sujet (Gaultier *et al.*, 2019, Schuster *et al.*, 2015). Cet état des connaissances sert ainsi de base à l'argumentaire suivant.

1.5.2.3.1 Mortalité directe et indirecte

La **mortalité directe** est le type de mortalité le plus évident résultant de la collision directe des chauves-souris avec les pales des éoliennes en rotation (Arnett *et al.*, 2005 ; Horn *et al.*, 2008).

Parallèlement, d'autres cas de mortalité cette fois-ci **indirecte** sont documentés.

Lors de la rotation des pales, s'opère un phénomène de pression/décompression entre les pales et le mât. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité, ce phénomène est nommé barotraumatisme. Dans une étude réalisée au Canada (Baerwald *et al.*, 2008), 92 % des cadavres retrouvés sous les éoliennes présentaient, après autopsie, les caractéristiques d'un barotraumatisme (hémorragie interne dans la cage thoracique ou la cavité abdominale). Certains auteurs remettent en question l'existence même de ce phénomène (Houck 2012 ; Rollins *et al.*, 2012). Grodsky *et al.*, (2011) et Rollins *et al.*, (2012) soulignent que certains facteurs environnementaux (temps écoulé après le décès, température, congélation des cadavres pour leur conservation) seraient à même de reproduire les critères diagnostiques d'une hémorragie pulmonaire concluant au barotraumatisme.

Trois autres phénomènes sont à relier bien que moins mentionnés dans la littérature scientifique. La rotation des pales d'éoliennes pourrait provoquer un vortex (tourbillon d'air) susceptible de piéger les chauves-souris passant à proximité (Horn *et al.*, 2008). De même, les courants d'air créés par la rotation des pales seraient susceptibles d'entraîner des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité des pales, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grodsky *et al.*, 2011). Enfin, Horn *et al.*, (2008) ont observé des cas de collision sublétale où des individus percutés par des pales ont continué à voler maladroitement. Ce type de collision aboutissant certainement au décès des individus en question, ne serait ainsi pas comptabilisé dans les suivis de mortalité opérés dans un rayon proche des éoliennes, puisque les cadavres se trouveraient alors à bonne distance du site.

1.5.2.3.2 Facteurs influençant la mortalité

La sensibilité des chiroptères à l'éolien

Il existe une corrélation significative entre les espèces sensibles au risque de collision sur les parcs éoliens, et leurs préférences en termes de hauteur de vol (Roemer *et al.*, 2017).

Ainsi parmi les espèces de chiroptères présentes en Europe, deux principaux groupes peuvent être créés :

- **Les espèces se déplaçant et chassant en plein ciel, dites de « haut-vol » (molosse, noctules) et celles de lisières susceptibles d'évoluer régulièrement en hauteur (pipistrelles, minioptères, sérotines).** Ces espèces sont considérées comme particulièrement sensibles au risque de collision (Dürr 2021).
- **Les espèces spécialistes et majoritairement associées aux milieux forestiers, bocagers ou humides, qui, dans la grande majorité de leurs déplacements, restent à proximité des structures arborées et dépassent rarement la canopée (Barbastelle d'Europe, murins sp., oreillards sp., rhinolophes sp.).** Ces espèces présentent un risque de collision avec les éoliennes assez faible (Dürr 2021).

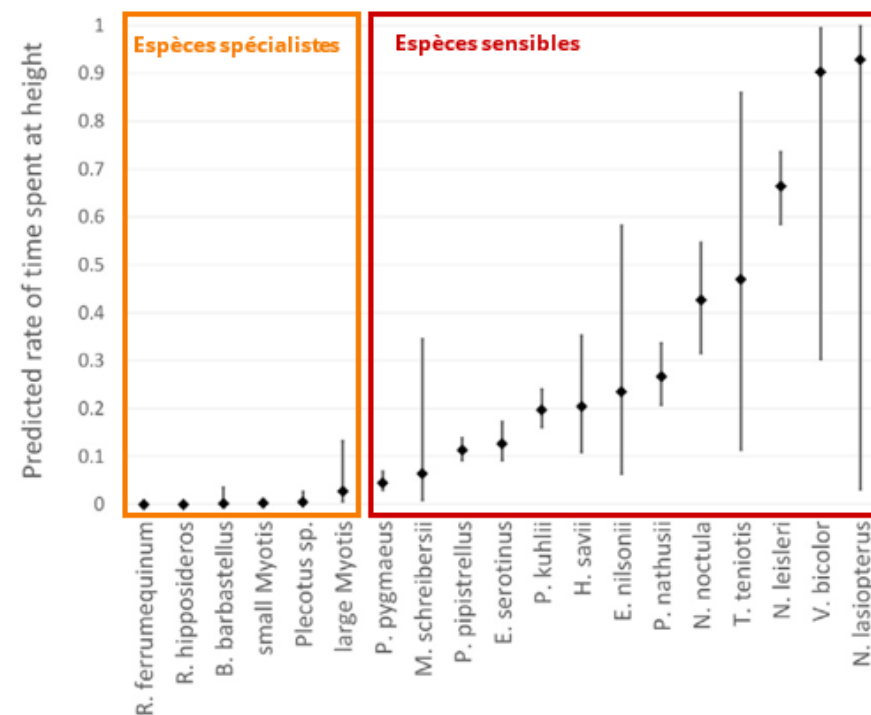


Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer et al., 2017).

La caractéristiques morphologiques et biologiques des chauves-souris

Certaines espèces de chiroptères ont des caractéristiques morphologiques et des spécificités écologiques qui semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell *et al.*, (2010) ont ainsi démontré les similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces dites glaneuses ou de poursuites de plein air aux ailes longues et effilées, adaptées à ce type de vol et utilisant des signaux à faible largeur de bande et à forte intensité. Rydell *et al.*, (2010) ont conclu que 98 % des espèces victimes de mortalité par collision sont des espèces présentant ces caractéristiques morphologiques et écologiques. Les espèces de haut vol, de grande taille (rythme d'émission lent impliquant un défaut d'appréciation de la rotation des pales), les espèces au vol peu manœuvrable, ainsi que les espèces chassant les insectes à proximité des sources lumineuses (balisage nocturne des éoliennes), sont donc les plus sujettes aux collisions.

La saisonnalité et le comportement des chiroptères

Les chiroptères possèdent un cycle biologique présentant une phase d'hibernation de novembre à février, une phase de migration printanière vers les gîtes estivaux de mars à mai, une phase de mise-bas au sein de ces gîtes de juin à juillet-août, une période de migration vers les secteurs de swarming (accouplements) et vers les gîtes hivernaux d'août à octobre.

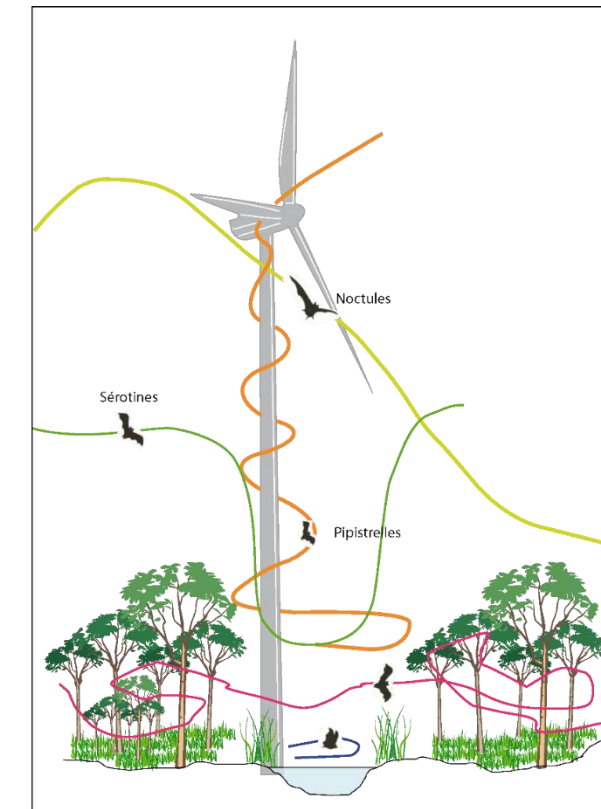


Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne

Sur l'ensemble de ces saisons, hormis l'hibernation, des cas de mortalités liés aux éoliennes sur des populations locales où migratrices sont observées (Brinkmann *et al.*, 2011 ; Voigt *et al.*, 2012). Cependant, la majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la saisonnalité joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique, et donc la mortalité, sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne, ce qui correspond à une période de migration des chauves-souris (Alcalde 2003 ; Arnett *et al.*, 2008 ; Rydell *et al.*, 2010a ; Brinkmann *et al.*, 2011 ; Amorim *et al.*, 2012 ; Limpens *et al.*, 2013). Des hécatombes de mortalité ont également été relevées au printemps et en début d'été dans le sud de l'Europe (Georgiakakis *et al.*, 2012 ; Beucher *et al.*, 2013). Cette observation a ainsi conduit de nombreux auteurs à considérer que la mortalité par collision est intrinsèquement liée au comportement migratoire, et plus particulièrement automnal. Si ce fait est avéré, ce n'est pas seulement le comportement migratoire des chauves-souris qui induirait cette mortalité importante (collisions lors de vols directs), mais plutôt un comportement saisonnier. Les espèces migratrices ne seraient en fait pas forcément plus touchées que les populations locales (Behr *et al.*, 2007 ; Brinkmann *et al.*, 2006 ; Rydell *et al.*, 2010 ; Voigt *et al.*, 2012). Ainsi, Lenhert a mené une étude en 2014 montrant une mortalité supérieure sur les individus locaux (72 %) que sur les individus migrants (28 %) durant la période de migration de la Noctule commune (espèce la plus impactée en Allemagne). Parmi les

individus impactés, la proportion de juvéniles est élevée (38 % chez les individus locaux et 32 % chez les migrants), et le sex-ratio est équilibré pour les individus locaux mais montre une majorité de femelles chez les individus migrants (62 %). Ces résultats sur la différence de comportement entre les mâles et les femelles, notamment chez la Noctule, a également été relevée par Roeleke en 2016 avec un évitement plus marqué des mâles au niveau des parcs éoliens que les femelles en période estivale. Ceci possiblement en raison des contraintes énergétiques liées à la lactation, ce qui engendre une augmentation du risque de collision sur les femelles. Selon Cryan et Brown (2007), la période migratoire automnale impliquerait en fait une activité accrue d'individus lors des pauses migratoires destinées à reconstituer les réserves, gîter ou se reproduire, augmentant ainsi le risque de collisions. Le besoin de stocker des réserves énergétiques en vue de l'hibernation serait également la cause d'une activité accrue en automne (Furmankiewicz et Kucharska 2009). De plus, lors des migrations, les chauves-souris traversent des zones moins bien connues que leurs territoires de chasse et/ou n'émettent que peu ou pas d'émissions sonar lors de ces trajets, elles seraient ainsi moins à même de repérer les pales en mouvement (Bach 2001 in Behr *et al.*, 2007 ; Johnson *et al.*, 2003).

Les conditions météorologiques et le cycle circadien

Les conditions météorologiques influent directement ou indirectement sur la disponibilité en ressource alimentaire (insectes majoritairement pour les chauves-souris européennes) et sur les conditions de vol des chiroptères, donc sur le taux de mortalité par collision (Baerwald & Barclay 2011).

Des analyses menées sur les résultats obtenus lors d'écoutes en hauteur ont montré une relation significative entre les variables de vitesse de vent, de température, d'heure de la nuit et l'activité des chiroptères (Labouré ENCIS Environnement 2021).

Concernant la **vitesse de vent**, Rydell *et al.*, (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. Selon, Martin *et al.*, (2015), la plupart des nuits lors desquelles une mortalité s'est produite (81,5 %), ont eu des vitesses de vent moyennes faibles (≤ 5 m/s mesurées au sol), et toutes les victimes ont été constatées lors de nuits présentant une vitesse moyenne du vent < 10 m/s. Behr *et al.*, (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s. Si la plupart des études sur le sujet concordent sur ce phénomène, les valeurs seuils sont variables et dépendantes de la localisation des sites, de la période de l'année, des espèces concernées. Arnett *et al.*, (2008) estimèrent pour deux parcs éoliens des Etats-Unis que la mortalité aurait été réduite de 85 % si les aérogénérateurs avaient été arrêtés pour des valeurs de vent inférieures à 6 m/s en fin d'été-début d'automne. À noter cependant que toutes les chauves-souris ne répondent pas de façon similaire à la vitesse de vent. Les espèces de haut-vol apparaissent plus tolérantes aux vitesses de vent supérieures à 7 m/s (Wellig *et al.*, 2018 ; Frick *et al.*, 2017 ; Voigt *et al.*, 2015). Enfin, la rotation des pales d'éoliennes avec la vitesse de vent rend difficile la localisation des chiroptères par écholocation qui n'arrivent pas à percevoir les bouts de pales dont la vitesse est de 100 et 150 m/s (Grodsky *et al.*, 2011 ; Long *et al.*, 2009 ; Rydell *et al.*, 2010a).

La **température** joue également un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre augmentation de la température et activité (Redell *et al.*, 2006 ; Arnett *et al.*, 2006 ; 2007 ; Baerwald & Barclay 2011 ; Voigt *et al.*, 2015), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influençant l'activité chiroptérologique (Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.*, 2005). Des études récentes ont cependant

permis de mettre en évidence une augmentation marquée de l'activité chiroptérologique entre 10 et 25 °C (Labouré 2021 ; Behr *et al.*, 2017 ; Heim *et al.*, 2016 ; Martin *et al.*, 2015).

L'activité des chiroptères est également corrélée à **d'autres variables météorologiques telles que la pression atmosphérique, l'humidité relative, le taux de précipitation, la couverture nuageuse, le brouillard ou encore le rayonnement lunaire** (Behr *et al.*, 2017 ; Heim *et al.*, 2016 ; Voigt *et al.*, 2015 ; Cryan *et al.*, 2014, Limpens *et al.*, 2013, Amorim *et al.*, 2012, Behr *et al.*, 2011, Brinkmann *et al.*, 2011, Baerwald & Barclay 2011 ; O'Donnell *et al.*, 2010 ; Bach & Bach 2009 ; Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.*, 2005). Cependant, les opinions sur ces autres paramètres météorologiques sont d'autant plus mitigées. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères ou l'abondance d'insectes (Corten & Veldkamp 2001 ; Behr *et al.*, 2011).

Enfin, le cycle circadien influence également l'activité chiroptérologique et ainsi le risque de collision (ENCIS Environnement, Labouré 2022). Les pipistrelles, noctules et sérotines sont souvent considérées comme des espèces crépusculaires et sont remplacées peu à peu au cours de la nuit par des espèces plus nocturnes à l'instar des barbastelles, murins et oreillards (Barataud, 2012). D'autres études suggèrent un regain d'activité à l'aube (Swift 1980). Les noctules, et plus particulièrement la Noctule commune, affichent ce second pic d'activité en fin de nuit (Kronwitter 1988 ; Rachwald 1992, Kanuch 2007 ; Arthur et Lemaire 2015). Ainsi, Behr *et al.*, en 2017 ont démontré que l'activité des chiroptères est maximale pendant la première moitié de la nuit. Le groupe des noctules (principalement la Noctule commune) est actif avant le coucher du soleil et avant le groupe des pipistrelles. Après le premier quart de la nuit, l'activité commence à diminuer, et diminue continuellement jusqu'au lever du soleil, avec une chute plus forte peu avant le lever du soleil. Parfois, un pic d'activité plus faible a été enregistré en fin de nuit, ce phénomène est principalement dû à l'activité des espèces de noctule. La Pipistrelle de Nathusius, montre un schéma légèrement différent de celui des autres espèces avec une activité culminant au milieu de la nuit. Ces résultats sont régulièrement observés sur les études de l'activité des chiroptères et peuvent varier en fonction de la saisonnalité (Arthur et Lemaire 2015 ; Newson *et al.*, 2015 ; Labouré 2021).

Ainsi, la mise en place de mesure sur la base des paramètres environnementaux apparaît comme une solution efficace pour diminuer les risques de collisions chez les chiroptères (Behr *et al.*, 2017 ; Good *et al.*, 2016 ; Martin *et al.*, 2015 ; Hein *et al.*, 2014).

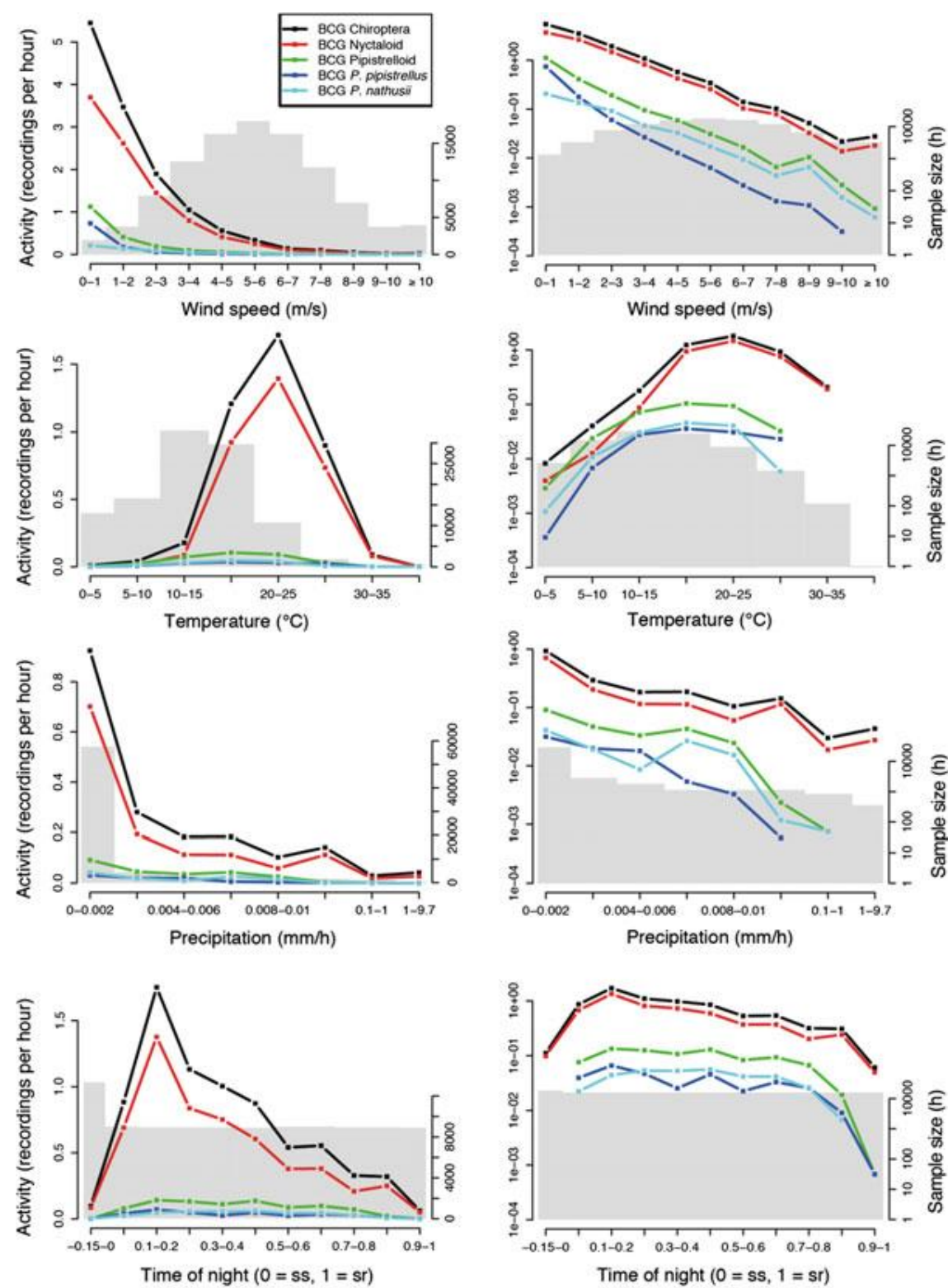


Figure 6 : Effet de différents paramètres sur l'activité des chiroptères mesurée en nacelle d'éolienne (sur 69 éoliennes dans 35 sites dans 5 différentes régions naturelles en Allemagne en 2008) (Behr et al., 2017)

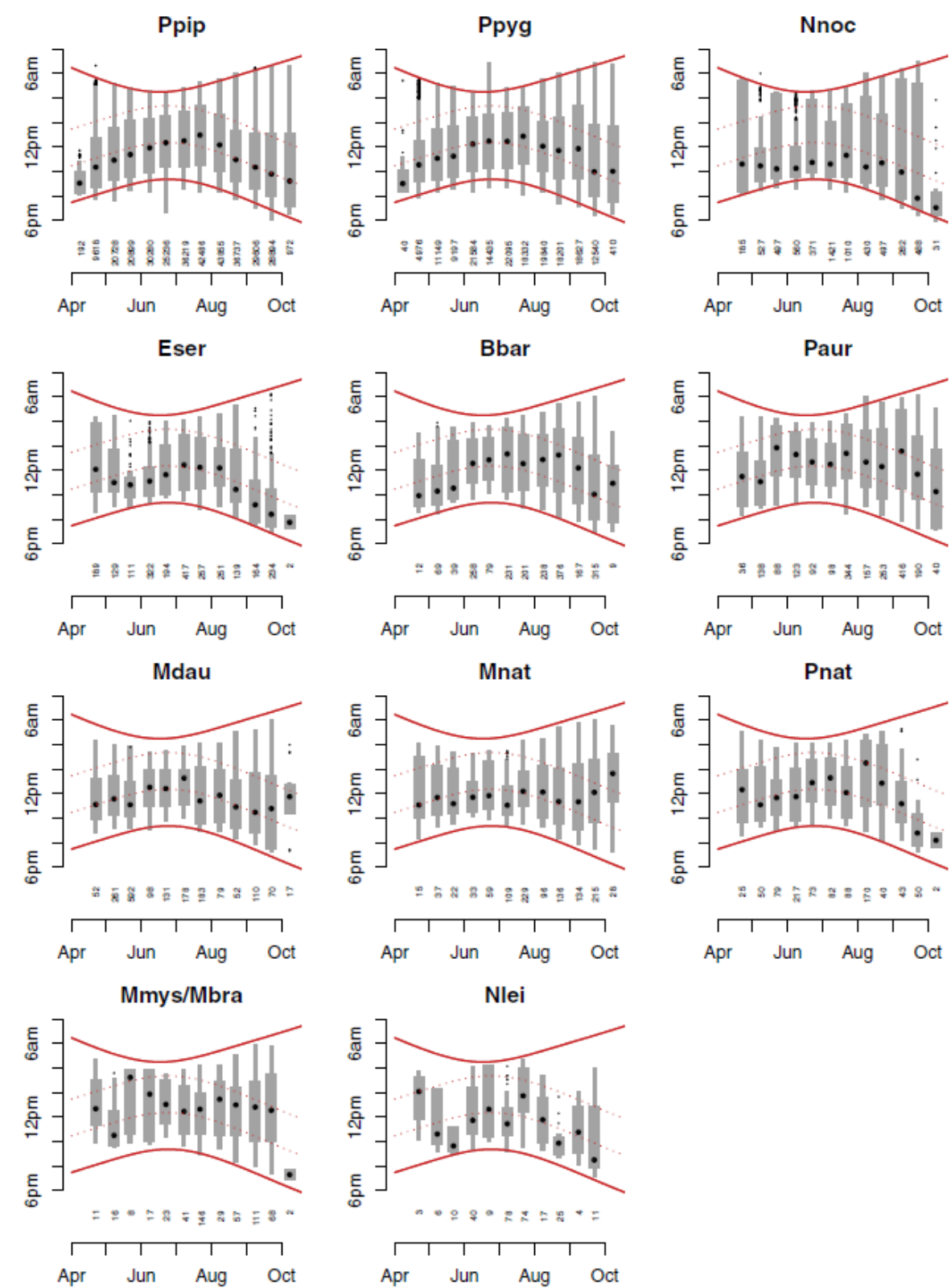


Figure 7 : Modèles d'activité nocturne de plusieurs espèces de chiroptères tout au long de la saison par rapport au coucher du soleil (Newson et al., 2015)

Le type d'habitats

Les habitats présents au niveau des aménagements des parcs éoliens et dans les secteurs environnants influencent le risque de mortalité chez les chiroptères (Brinkmann *et al.*, 2011 ; Hensen 2004 ; Grindal & Brigham 1998).

Dans un premier temps, une mortalité par destruction d'habitats, et plus particulièrement dans le cas d'abattage d'arbres à cavités pouvant héberger des gîtes de chiroptères arboricole est à relever. Ce premier risque de mortalité est à considérer durant la phase de travaux des aménagements du parc éolien et devient inexistant une fois les éoliennes misent en exploitation.

Dans un second temps, les habitats présents à proximité des éoliennes influencent les cas mortalités des chauves-souris. Rydell *et al.*, en 2010 observent une mortalité de 0 à 3 chiroptères/éolienne/an en milieu ouvert, de 2 à 5 chiroptères/éolienne/an en milieu plus hétérogène, et de 5 à 20 chiroptères/éolienne/an sur la côte et en forêt (surtout sur les promontoires et crêtes). Ces résultats sont confirmés par plusieurs études :

- **Concernant les plans d'eau et les côtes**, l'implantation d'éoliennes à proximité de ces habitats représente un fort risque de mortalité sur les chiroptères en raison de l'abondance d'insectes (Ahlen *et al.*, 2003, Eurobats 2016).
- **Concernant les secteurs boisés**, une activité chiroptérologique plus élevée est observée, avec une influence significative de la distance aux boisements sur la densité d'espèces de bas et moyen vol (Pipistrelle commune, Pipistrelle de Kuhl, Sérotine commune) mais les espèces de haut-vol ne semblent pas répondre à cette variable (Pipistrelle de Nathusius, Noctule commune, Noctule de Leisler) (Roemer *et al.*, 2019). Mathews *et al.*, en 2012 montrent également que la présence de bois dans un rayon de 1 500 m de parcs éoliens semble réduire le risque pour les pipistrelles suivant les lisières mais augmente le risque pour les noctules.

Parallèlement, **les haies** (à l'instar des lisières boisées) sont très importantes pour les chiroptères en fonction de leurs qualités et concentrent l'activité (Lacoeuilhe *et al.*, 2018 ; Lacoeuilhe *et al.*, 2016 ; Kelm *et al.*, 2014 ; Boughey *et al.*, 2011). Ainsi, l'étude de Kelm *et al.*, en 2014, présente une activité chiroptérologique concentrée dans les 50 premiers mètres à la haie (85 % des contacts enregistrés) qui devient anecdotique à partir de 200 m, ainsi que des espèces plus proches des haies (murins sp., Pipistrelle commune, Barbastelle d'Europe, Sérotine commune) que d'autres (Noctule commune, Pipistrelle de Nathusius).

Selon des études réalisées en Allemagne (Dürr 2003), plus la distance entre le mât de l'éolienne et les structures arborées avoisinantes (haies, lisières forestières) est faible et plus les cas de mortalité sont fréquents. Ainsi, plusieurs articles scientifiques et doctrines, à différentes échelles, recommandent une distance entre le bout de pale des éoliennes et les canopées des haies et boisements de 50 m (Dürr 2007 ; Kelm *et al.*, 2014 ; Natural England 2014) jusqu'à 200 m (Eurobats 2017 ; SFEPM 2016).

- **Concernant les milieux ouverts**, bien que moins attractifs pour la plupart des chiroptères ces habitats ne sont pas pour autant négligeables, notamment pour les espèces chassant en milieux ouverts comme les noctules et qui présentent un haut risque de collision (Bas *et al.*, 2014). Ainsi, même les espaces « défavorables » aux chiroptères comme les grandes plaines agricoles peuvent causer de fortes mortalité (Brinkmann *et al.*, 2011).

Quel que soit le milieu d'implantation des éoliennes, il apparaît nécessaire de quantifier l'activité des chiroptères dans ces secteurs et de mettre en place des mesures adaptées pour éviter tout risque de collision

(Kelm *et al.*, 2014 ; Boughey *et al.*, 2011). En effet, Lintott *et al.*, en 2016 relèvent le fait que des sites ayant été perçus comme "pauvres" en termes de qualité pour les chiroptères lors des inventaires pré-implantation, peuvent montrer des victimes après la construction des éoliennes. Cela pourrait être lié à un changement de comportement après l'implantation des éoliennes, et qui nécessiterait l'élaboration de stratégies d'atténuation, avec une compréhension du comportement des chauves-souris pouvant différer sur les sites après que les turbines ont été construites.

Le modèle d'éolienne

Parmi les multiples facteurs influençant le risque de mortalité des chiroptères au niveau des parcs éoliens, le modèle d'éolienne choisi a une importance. En effet, plusieurs études se sont intéressées à ce sujet et ont permis de démontrer plusieurs phénomènes :

- **La taille du rotor**. Plus les rotors sont grands plus la mortalité des chiroptères augmente (Arnett *et al.*, 2008). En effet, la longueur des pales est le facteur qui influence le plus le risque de collision avec les chiroptères devant la hauteur de nacelle (Mathews *et al.*, 2016, Rydell *et al.*, 2010a).
- **La garde au sol**. Plus la garde au sol est basse, plus le risque de collision est accru pour les chiroptères. Ainsi, les gardes au sol inférieures à 30 m présentent de fort risque de mortalité pour les chiroptères notamment sur des espèces jusqu'alors peu concernées par ce type d'impact, de par leur hauteur de vol entre autres facteurs (Roemer *et al.*, 2017 ; Heitz *et al.*, 2017 ; Hein *et al.*, 2016).
- **La couleur des éoliennes**. Les couleurs blanche et gris clair des éoliennes semblent également influencer la présence d'insectes, et ainsi engendrer d'éventuels comportements de chasse à risque à proximité des éoliennes (Long *et al.*, 2011 ; Kunz *et al.*, 2007).

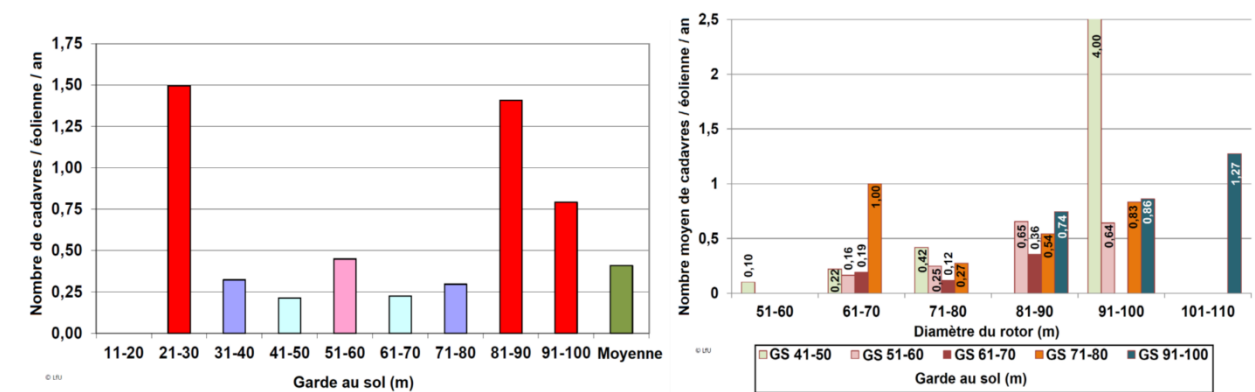


Figure 8 : Nombre de mortalités de chauves-souris par éolienne et par an en fonction de la garde au sol et du diamètre de rotor (Traduit de Dürr 2019, SFEPM 2020)

Ainsi, en 2020, la SFEPM préconise :

- De proscrire les hauteurs de garde inférieures à 30 m ;
- De limiter la taille des rotors à moins de 90 m ou si les rotors sont supérieurs à 90 m de proscrire les gardes au sol inférieures à 50 m.

Les phénomènes d'attractions

Comme nous l'avons abordé précédemment, les éoliennes peuvent elles-mêmes jouer un rôle localement attractif pour les chiroptères occasionnant des événements de mortalité (Cryan *et al.*, 2014a).

Les aérogénérateurs peuvent être confondus avec des arbres pouvant potentiellement comporter des **gîtes** ; tous les auteurs s'accordent sur ce sujet (Cryan & Brown 2007 ; Cryan *et al.*, 2014 ; Hull & Cawthen 2013 ; Kunz *et al.*, 2007).

Un autre phénomène est **l'attraction des insectes** par les éoliennes. Une partie des espèces de chiroptères sont assez opportunistes pour la nourriture en exploitant des ressources faciles telles que des insectes actifs nocturnes autour des éoliennes, ou espèces diurnes se reposant sur les machines (Bennett *et al.*, 2017 ; Foo *et al.*, 2017 ; Rydell *et al.*, 2016 ; Cryan *et al.*, 2014). La production de chaleur de certains types d'éoliennes pourrait concentrer les insectes, et donc augmenter le risque de mortalité des chiroptères par collision (Rydell *et al.*, 2010b ; Horn *et al.*, 2008 ; Ahlén 2002). De même, Horn *et al.*, (2008) ont vérifié que les abondances d'insectes sont supérieures à proximité des lumières de la FAA (Federal Aviation Administration), ce qui pourrait également être un facteur d'attraction pour les chiroptères. Dans la même étude, des images thermiques ont pu montrer des individus chassant activement autour de la nacelle et des pales. Johnson *et al.*, (2004) trouvent également des activités supérieures à proximité des **sources lumineuses** des éoliennes bien qu'une incidence directe sur la mortalité n'ait pu être mise en évidence. Outre la présence de nourriture, certaines espèces de chauves-souris dites héliophiles (Sérotine commune par exemple) ont assimilé que des nuages d'insectes pouvaient être présents au niveau de sources lumineuses, elles peuvent donc également être attirées par la luminosité, ce y compris en l'absence d'insectes. Beucher *et al.*, (2013) ont aussi mis en évidence l'influence du facteur luminosité sur l'attractivité des éoliennes pour les insectes et les chauves-souris. La couleur des éoliennes et certains effets acoustiques sont aussi suspectés d'attirer les insectes volants et les chauves-souris dans la zone à risque (Long *et al.*, 2011 ; Kunz *et al.*, 2007). Ces phénomènes d'attractions des chiroptères sont confirmés par des études récentes portant sur des analyses des contenus stomacaux de chauves-souris mettant en évidence une correspondance entre les insectes présents à la surface des mâts et dans l'atmosphère autour les éoliennes (Foo *et al.*, 2017 ; Rydell *et al.*, 2016).

Les éoliennes peuvent également être des sources **d'écoulement d'eau** à l'extérieur de l'éolienne durant des nuits sans pluie (hypothèse de phénomènes de condensation) sur des épisodes courts mais intenses, pouvant provoquer un attrait des chiroptères qui reste à confirmer (Roch *et al.*, 2018).

À noter cependant que les comportements d'approches sont nettement plus nombreux lorsque l'éolienne est à l'arrêt, et ce dans des conditions environnementales proches, signifiant que les deux concepts de répulsion et d'attraction coexistent (Cryan *et al.*, 2014a).

Conséquences de la mortalité sur les populations de chiroptères

Comme expliqué précédemment, la notion de population chez les chiroptères est complexe à estimer. Cependant, il apparaît important de prendre en compte l'étude de Frick *et al.*, menée en 2017. Cette étude montre que les taux actuels de mortalité dues aux éoliennes apparaissent suffisamment élevés pour modifier considérablement la probabilité de stabilité de la population. Le risque d'extinction dans une gamme de scénarios démographiques plausibles pour des chauves-souris cendrées aux États-Unis serait plus fort, ces chiroptères sont proches des noctules européennes. La mortalité due aux éoliennes pourrait ainsi entraîner une réduction de 50 % de la taille de la population en seulement 50 ans, même dans un scénario optimiste d'une population de chauves-souris cendrées aussi importante que 10 millions de chauves-souris et avec un taux de croissance annuel moyen de 1 % par an, qui soutiendrait une croissance démographique stable. Cette étude souligne également que pour les chiroptères migrateurs, la mortalité liée aux éoliennes est susceptible d'impacter la viabilité des

populations sur des scénarios démographiques probables. Elle suggère qu'à une échelle locale, l'implantation d'éoliennes pourrait suffire à faire chuter les effectifs d'une population jusqu'à l'extinction sur un pas de temps relativement court des cent prochaines années. Le graphique suivant représente ainsi les contours isolignes des déclin de population projetés après 50 ans de croissance, simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées, causées par les éoliennes, selon des combinaisons de tailles de populations initiales possibles (N_i) et de taux de croissance de population (λ). Les isolignes affichent les combinaisons de N_i , et où la population médiane de 10 000 simulations après 50 ans de croissance simulée était stable (ligne noire) ou a diminué de 25 %, 50 %, 75 %, 90 % et 95 %. La ligne pointillée montre l'isoligne de la stabilité de la population sans mortalité due aux éoliennes.

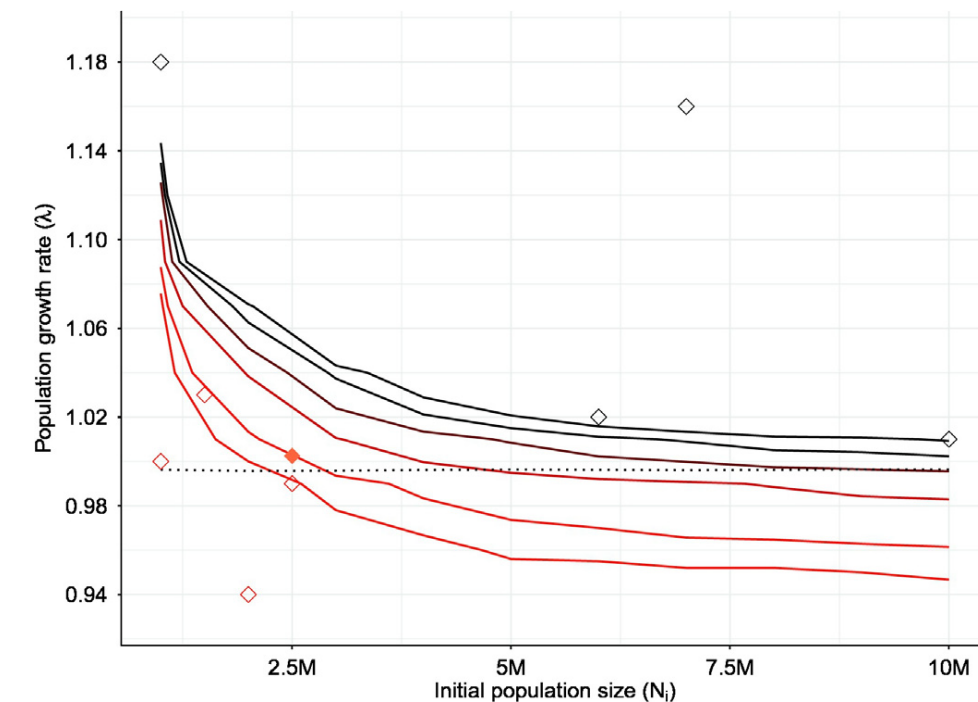


Figure 9 : Contours isolignes des déclin de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles (N_i) et de taux de croissance de population (λ) (Frick *et al.*, 2017)

Ainsi, la question du taux de mortalité acceptable se pose. Quelques études ont essayé de répondre à cette question via des méthodes de calcul estimant un nombre de cadavre par éolienne et par an, variant entre un et deux pour les chiroptères (Behr *et al.*, 2017 ; Brinkmann *et al.*, 2011).

Plusieurs études alertent sur le fait que, pour faire progresser la conservation des chauves-souris migratrices, il est essentiel de comprendre leurs modèles de migration. L'identification des schémas de déplacement permettrait alors de planifier l'emplacement des parcs éoliens pour atténuer les impacts sur les populations de chauves-souris. Cette information pourrait également être utilisée pour établir des normes pour une réduction « intelligente » (Jamin *et al.* 2020 ; Hayes *et al.*, 2019b ; Cryan *et al.*, 2014b ; Kunz *et al.*, 2007b).

Cet état des connaissances indique tout d'abord un effet avéré potentiellement important de l'exploitation des parcs éoliens sur les populations de chiroptères. Les publications scientifiques mentionnées constituent parmi les seuls retours d'expérience en la matière, nombre de suivis

comportementaux et de mortalité n'étant pas accessibles ou disponibles. Les diverses hypothèses avancées et souvent vérifiées ne représentent ainsi pas une seule cause de perturbation ou de mortalité des chiroptères par les éoliennes mais constituent différents facteurs agissants conjointement et dépendant des situations locales.

2 Méthodes utilisées

2.1 Méthodologie et démarche générale

Le suivi environnemental analyse les impacts du projet sur l'avifaune et les chiroptères et, pour les installations soumises à autorisation, sur toute espèce protégée identifiée dont la sensibilité à l'éolien est avérée et présentant un enjeu dans l'évaluation environnementale préalable (dont l'étude d'impact). Puis, les conclusions de cette dernière sont comparées avec les impacts de ce suivi environnemental. En application du principe de proportionnalité, l'intensité du suivi à mettre en œuvre dépendra des espèces présentes et des enjeux identifiés sur le site, ainsi que de l'impact résiduel déterminé par l'évaluation environnementale pour ces espèces. Pour les installations soumises à autorisation, le suivi mené par l'exploitant devra explicitement se référer aux mesures préconisées par l'étude d'impact et rappeler les données ayant permis de qualifier et quantifier les impacts résiduels du parc éolien précisés par cette dernière. Le suivi mis en œuvre est en conformité avec le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (2018).

L'intensité du suivi à mettre en œuvre est défini selon plusieurs critères (espèces observées, statuts de conservation, statuts réglementaires, tailles et dynamiques de population, sensibilité, note de risques, etc.).

2.1.1 Avifaune

Il est possible de déterminer un **indice de sensibilité** des espèces d'oiseaux vis-à-vis du risque de collision en se basant sur les cas de mortalité recensés en Europe (Dürr, 2023) et sur l'abondance des espèces (BirdLife International, 2021). Un niveau de sensibilité de 0 à 4 a ainsi été attribué à chaque espèce présente en Europe.

Ainsi, trois rapaces sont définis comme les espèces les plus sensibles (niveau 4). Il s'agit du Vautour fauve, du Milan royal et du Pygargue à queue blanche. 19 espèces, dont l'Aigle royal, le Circaète Jean-le-Blanc, le Grand-duc d'Europe, le Balbuzard pêcheur, le Faucon pèlerin et le Faucon crécerelle atteignent le niveau de sensibilité 3 (tableau complet en Annexe 6 : Niveaux de sensibilité au risque de collision pour l'avifaune).

2.1.2 Chiroptères

La sensibilité et la vulnérabilité sont regroupées sous la forme d'un seul coefficient pour les chiroptères. L'indice utilisé est ainsi la **note de risque**. Cette note, comprise entre 1 et 4, correspond au croisement entre le statut de conservation UICN national et le taux de mortalité en Europe. **Cet indice inclut ainsi la sensibilité et définit un risque pour les populations d'espèces** (cf. tableau en Annexe 7 : Cas de collision avec des chiroptères recensés en France et en Europe au 9 août 2023 (d'après Dürr, 2023)). Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluations des populations européennes ou nationales assez fiables, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Le parc éolien de Kerdrouallan a fait l'objet d'un suivi environnemental en 2016 (AEPE-Gingko) comprenant un suivi de l'évolution des habitats naturels et un suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères. En 2023, un suivi de l'activité des chiroptères et un suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères ont été réalisés.

Pour le suivi 2024-2025, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé des suivis suivants :

- Un suivi de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle ;
- Un suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères.

Le présent rapport comprend les résultats de ces suivis sur la période de mi-mai à octobre 2024 et d'avril à mi-mai 2025.

2.2 Suivi d’activité des chiroptères

2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte

Le suivi de l’activité des chauves-souris permet d’évaluer l’état de conservation des populations de chiroptères présentes de manière permanente ou temporaire au niveau de la zone d’implantation du parc éolien. Il a également pour objectif d’estimer l’impact direct ou indirect des éoliennes sur cet état de conservation, en prenant en compte l’ensemble des facteurs influençant la dynamique des populations. Ce suivi porte sur chacune des phases du cycle biologique des chauves-souris (transits printaniers et gestation, mise-bas et élevage des jeunes, transits automnaux et swarming).

Les paramètres faisant l’objet du suivi de l’activité des chiroptères sont déterminés dans l’étude d’impact en fonction des enjeux et des impacts potentiels identifiés sur le parc éolien. Ainsi, ce suivi examine des paramètres tels que l’état des populations sur le site (diversité spécifique, activité d’une espèce donnée, etc.), le comportement des chauves-souris en vol, les périodes et conditions de présence des individus, etc.

2.2.2 Méthodologie et pression d’inventaire

2.2.2.1 Inventaires ultrasoniques automatiques en nacelle

Le protocole d’écoute en nacelle a pour but de réaliser des inventaires sur une longue période et à hauteur de nacelle d’éolienne.

2.2.2.1.1 Pression d’inventaire

La pression d’inventaire est fonction des espèces présentes identifiées dans le cadre de l’étude d’impact. Pour le parc de Saint-Gildas, les modalités suivantes ont été prévues pour le suivi automatique en nacelle : **un suivi entre les semaines 14 et 43 est préconisé.**

D’après l’étude d’impact de la ferme éolienne de Saint-Gildas, l’espèce présentant l’indice de vulnérabilité le plus important sur le cycle biologique actif est la **Pipistrelle commune** avec **une note de 3,5 sur une échelle de 4.**

Les résultats du suivi ICPE de 2016 ont mis en évidence une mortalité plus importante sur **l’éolienne E3. En raison de sa position centrale, de sa proximité avec un linéaire arboré (au nord-est) et des résultats du suivi ICPE de 2016, cette éolienne est considérée comme la plus appropriée pour être équipée d’un dispositif d’écoute des chiroptères.**

De fait, le protocole présenté ci-après répond aux modalités prévues initialement et validées dans l’arrêté préfectoral d’autorisation (N° PC 022 291 09 Q004 du 19 mai 2011). Il est conforme également au protocole national de suivi environnemental des parcs éoliens révisé en 2018.

2.2.2.1.2 Protocole d’inventaire sur site

Un enregistreur automatique (modèle BATmode 2S+ de BioAcousticTechnology) est placé à l’intérieur de la nacelle de l’éolienne et le microphone est inséré dans sa paroi (illustration suivante).



Figure 10 : Dispositif installé dans la nacelle d’éolienne (copyright : B.A.T.)

L’enregistreur est équipé d’un micro, placé sous la nacelle de l’éolienne au moyen d’un trou effectué dans la paroi de cette dernière. Ainsi, des relevés de la présence de chiroptères, dans un rayon allant jusqu’à 60 mètres autour du micro (distance variable selon les espèces), pourront être réalisés chaque nuit pendant les périodes d’inventaires. L’ensemble du dispositif est piloté par un ordinateur, placé dans la nacelle, et pilotable à distance.

Le dispositif est configuré de la manière suivante :

Début d’enregistrement	Une heure avant le coucher du soleil
Fin d’enregistrement	Une heure après le lever du soleil
Fréquence d’échantillonnage	300 kHz
Gamme de fréquences	15 kHz - 120 kHz
Fenêtre de déclenchement	3 sec

Tableau 2 : Paramètres de calibration des microphones BATmode

2.2.2.1.3 Méthode d’analyse des résultats

Les pistes sonores sont analysées par logiciel afin de déterminer les espèces présentes ainsi que leur comportement. Le dispositif étant positionné sur une nacelle d’éolienne, les données sur les conditions extérieures récoltées par cette dernière sont utilisées afin de mener une analyse croisée des paramètres.

Dans le but d’obtenir des données exploitables servant de base à l’interprétation d’un chiroptérologue, trois étapes sont nécessaires :

Analyse automatique des données brutes

À chaque détection de cris, le dispositif BATmode enregistre et une piste sonore est générée au format numérique. Cette dernière est sauvegardée sur un disque dur, permettant par la suite un transfert vers un ordinateur à distance.

Le grand nombre d'heures d'écoute engendre une grande quantité de pistes sonores, difficilement analysables manuellement. C'est pourquoi un logiciel de reconnaissance automatique des signaux ultrasons est utilisé. Le logiciel SonoChiro® traite les enregistrements en deux étapes :

- Le processus de détection consiste à localiser puis caractériser dans les fichiers enregistrés un maximum de signaux potentiellement émis par les chiroptères.
- Le processus de classification s'appuie sur la caractérisation des signaux détectés lors de la phase précédente. Cette classification s'opère sur chaque fichier où le logiciel a détecté des signaux de chiroptères. À l'issue de cette phase de classification, chaque contact bénéficie d'une identification à 4 niveaux : espèce, groupe, indice de présence de buzz (son émis pour la détection d'une proie) et indice de présence de cris sociaux. Chaque niveau bénéficie d'un indice de confiance allant de 0 à 10 de façon à refléter le risque d'erreur d'identification. La présence d'une espèce est jugée fiable lorsque l'indice de confiance est supérieur à 5.



Figure 11 : Indices de confiance établis par SonoChiro® et risques d'erreurs associés

Vérification des résultats par un chiroptérologue

Le logiciel de reconnaissance automatique génère un tableau de résultats. Pour chaque séquence enregistrée, un certain nombre de paramètres est donné (groupe, espèce, indices de confiance, nombre de cris, date de l'enregistrement, etc.). La validité des déterminations issues de la reconnaissance automatique par logiciel est variable selon la qualité des enregistrements, les espèces contactées et le nombre de cris par séquence. Les déterminations au groupe sont généralement fiables tandis que les déterminations fines (à l'espèce) doivent être validées par un chiroptérologue. Dans ce cadre, un chiroptérologue procède à une vérification des espèces sur la base de la bibliographie, de sa connaissance du terrain et des inventaires déjà réalisés. La présence de chaque espèce est vérifiée par un chiroptérologue.

Les séquences de qualité médiocre (faiblesse des sons, bruits parasites) ou dont les signaux peuvent correspondre à plusieurs espèces sans possibilités de les différencier, sont laissées au genre afin de limiter les marges d'erreur. À défaut de la connaissance de l'espèce pour certains enregistrements, le nombre de contacts enregistrés constitue une donnée permettant de quantifier l'activité chiroptérologique.

Corrélation des données chiroptérologiques, météorologiques et astronomiques

La dernière étape de gestion et traitement des données consiste à mettre en conformité les données issues des enregistrements, les données fournies par l'éolienne et les données astronomiques de lever et coucher du soleil. À l'issue de cette opération, chaque enregistrement est défini par une série complète de paramètres permettant d'exploiter au mieux les données.

La mise en correspondance des données météorologiques et des enregistrements est réalisée par logiciel (macro Excel). Les enregistrements sont horodatés précisément tandis que les données météorologiques sont moyennées toutes les dix minutes. Concernant les vitesses de vent et la température, l'éolienne possède des instruments de mesure sur la nacelle.

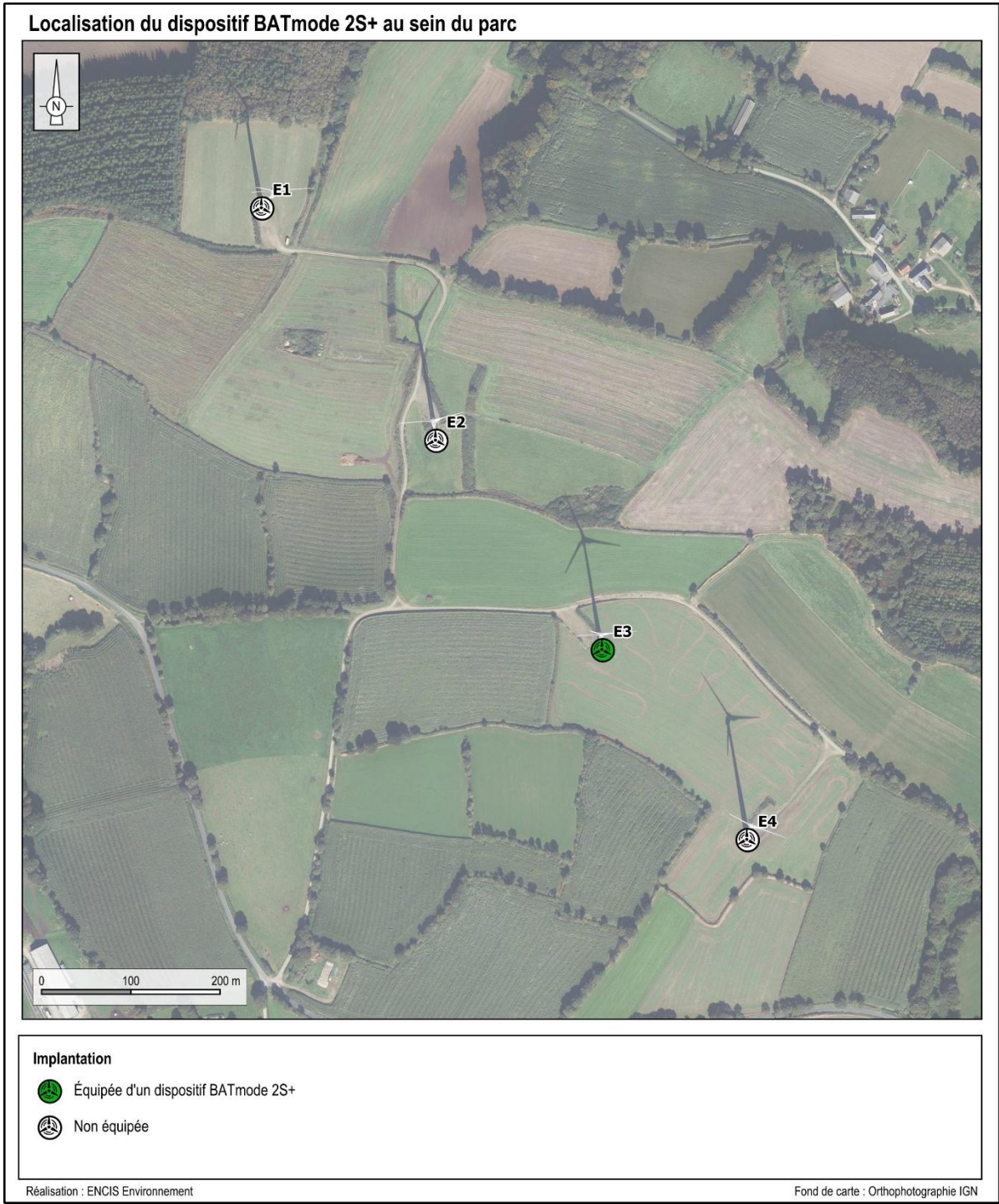
2.2.2.1.4 Localisation des protocoles effectués

Le tableau suivant présente les habitats dans lesquels les points d'écoute ont été réalisés.

Numéro du point	Habitat	Type de milieu
BATmode 2S+	Culture	Ouvert

Tableau 3 : Habitat et type de milieu inventorié

La cartographie suivante permet de rappeler la position du dispositif BATmode 2S+.



Carte 3 : Localisation du dispositif BATmode 2S+

2.3 Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères

2.3.1 Principes et objectif

L'exploitation d'un parc éolien engendre un risque de mortalité pour la faune volante présente de manière ponctuelle ou répétée à proximité des aérogénérateurs, par collision avec les pales ou les mâts d'éolienne, projection au sol par les turbulences, ou encore barotraumatisme. Afin de s'assurer que les populations d'oiseaux et de chiroptères ne soient pas affectées de manière significative par le parc éolien et que l'impact sur ces taxons n'excède pas les prévisions de l'étude d'impact, un suivi de la mortalité est effectué sur site.

Ce suivi repose sur une méthodologie proposée par le « protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » (2018), ainsi que sur les « suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères », document actualisé en 2016 par la SFPEM.

L'évaluation de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères engendrée par un parc éolien est réalisée par la recherche de cadavres au pied des aérogénérateurs. La technique consiste en une recherche visuelle au sol durant un trajet réalisé à pied, selon un parcours prédéfini et reproduit à plusieurs reprises durant une ou plusieurs périodes phénologiques au cours d'une année.

La mortalité réelle est ensuite estimée, lorsque cela est possible, par l'utilisation de différents estimateurs. Ces estimateurs intègrent plusieurs paramètres correcteurs, tels que la surface prospectée, l'intervalle de temps moyen entre deux prospections, l'efficacité du chercheur ou encore la durée de persistance des cadavres sur le site (liée notamment à la prédation par d'éventuels charognards).

Si la mortalité brute observée sur le parc peut permettre la mise en évidence d'un impact d'ordre qualitatif (incidence notable sur un taxon, période à risque ou éolienne particulièrement mortifère), seules les estimations de mortalité peuvent être utilisées pour quantifier l'impact de manière globale, et éventuellement, être comparées à d'autres parcs éoliens.

Compte tenu des nombreux facteurs aléatoires régissant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité, il est par ailleurs nécessaire d'être vigilant aux limites des estimations effectuées.

2.3.2 Protocole utilisé

2.3.2.1 Pression d'inventaires

La pression des inventaires et leur organisation au cours de l'année se définissent en fonction de la phénologie des espèces et tiennent compte des résultats de l'étude d'impact et des enjeux identifiés sur le site.

Le protocole national de suivi dans sa version de mars 2018 prévoit les modalités suivantes :

SEMAINE N°	1 A 19	20 A 30	31 A 43	44 A 52
Le suivi de mortalité doit être réalisé :	Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères	Dans tous les cas		Si enjeux avifaunistiques ou risque d'impact sur les chiroptères

Tableau 4 : modalités de suivi de la mortalité selon le protocole national (2018)

Dans le cas du parc de Kerdrouallan, l'arrêté de permis de construire (N° PC 022 291 09 Q0004 du 22 mai 2011) est en accord avec l'étude d'impact et ne préconise aucun protocole de suivi. La pression d'inventaire a donc été définie pour répondre aux modalités prévues dans le protocole national de suivi (2018) et a été ajustée suite aux préconisations du suivi 2023 afin de mieux couvrir la période de reproduction des oiseaux et de couvrir une partie de la période des transits printaniers des chauves-souris. Ainsi, un passage par semaine de la semaine 20 à 35 et 40 à 44 ont été réalisés en 2024, deux passages par semaine entre les semaines 36 et 40 en 2024, et une sortie par semaine entre les semaines 15 à 20 en 2025, soit 35 passages au total.

Au total pour le suivi 2024-2025, 35 prospections ont été réalisées dans le cadre du suivi de la mortalité, à raison d'une prospection par semaine de la semaine 20 à 35 et 40 à 44 en 2024, deux passages par semaine entre les semaines 36 et 40 (septembre) en 2024, et une sortie par semaine entre les semaines 15 à 20 en 2025. Le calendrier complet des sorties est présenté en Annexe 4 : Calendrier du suivi mortalité (2024-2025).

2.3.2.2 Nombre d'éoliennes prospectées

Compte tenu d'une potentielle hétérogénéité de la mortalité au sein d'un parc éolien, le protocole national préconise le suivi de :

- toutes les éoliennes pour les parcs de 8 éoliennes et moins ;
- d'au moins $8 + (n - 8)/2$ pour les parcs de plus de 8 éoliennes contenant n éoliennes.

Ainsi, les quatre éoliennes ont été prospectées lors de ce suivi.

2.3.2.3 Surface et méthode d'échantillonnage

La surface échantillon à prospecter correspond à un carré de 100 m de côté (ou deux fois la longueur des pales pour les éoliennes présentant des pales de longueur supérieure à 50 m) ou un cercle de rayon égal à la longueur des pales avec un minimum de 50 m.

Dans le cadre de ce suivi, pour chaque éolienne, un carré de 100 mètres de côté a ainsi été défini comme surface échantillon. La surface théorique d'échantillonnage couvre ainsi une surface de 10 000 m² par éolienne suivie.

Par la suite, le chercheur détermine un parcours à suivre et l'utilise invariablement lors de chaque prospection. L'espacement entre les transects ne doit pas dépasser 10 mètres, correspondant à une distance maximale de perception des cadavres par un observateur.

Le schéma suivant illustre la méthode théorique mise en place dans le cadre d'un suivi de la mortalité au pied d'une éolienne.

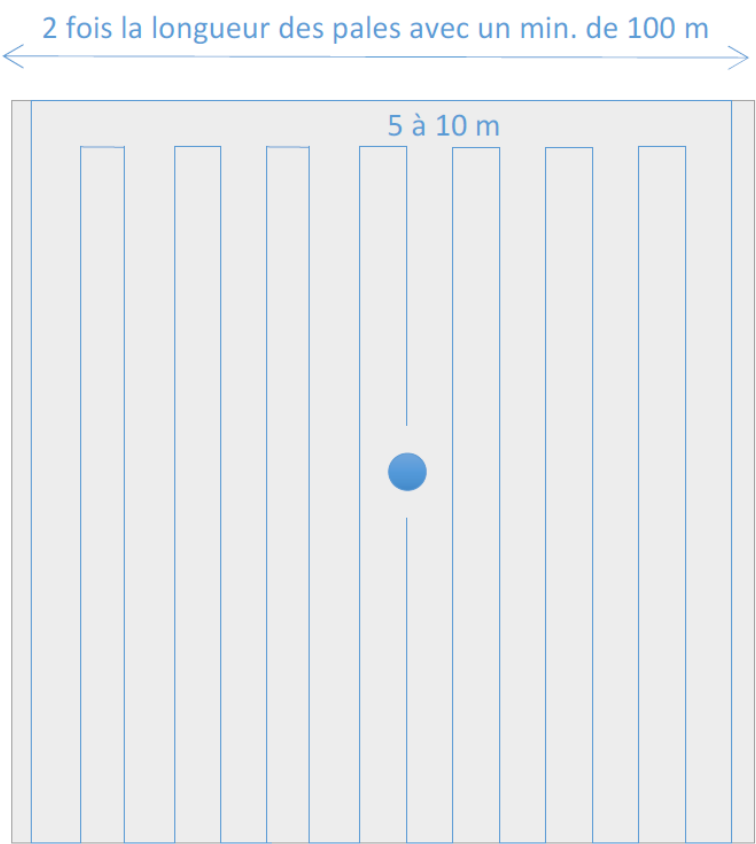


Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne

Au cours de chaque prospection du suivi mortalité une fiche de données est complétée par le chercheur (cf. Annexe 1 : Formulaire général (suivi mortalité)).

2.3.2.4 Découverte de cadavres

Dans le cadre du suivi de la mortalité, la découverte d'un cadavre d'oiseau ou de chauve-souris par l'exploitant ou par l'un de ses sous-contractants doit systématiquement faire l'objet d'une fiche détaillée. Cela permet ainsi le recensement standardisé des caractéristiques de l'espèce et des conditions de mortalité constatée.

Chaque cadavre découvert est localisé par GPS, photographié, déterminé (lorsque l'état du cadavre le permet), puis fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (cf. Annexe 3 : Fiche de saisie standardisée de la mortalité). Seules des mesures simples et nécessaires à l'identification des espèces (principalement chiroptères) sont réalisées sur le terrain. Les spécimens sont laissés en l'état à l'endroit de la découverte sans qu'aucun enlèvement, destruction ou perturbation ne soit réalisé (opérations nécessitant une demande de dérogation spécifique).

2.3.3 Déclaration d'incident faune volante

Cadre réglementaire : Article R.512-69 du Code de l'environnement :

« L'exploitant d'une installation soumise à autorisation, à enregistrement ou à déclaration est tenu de déclarer, dans les meilleurs délais, à l'inspection des installations classées les accidents ou incidents survenus du fait du fonctionnement de cette installation qui sont de nature à porter atteinte aux intérêts mentionnés à l'article L. 511-1.

Un rapport d'accident ou, sur demande de l'inspection des installations classées, un rapport d'incident est transmis par l'exploitant au préfet et à l'inspection des installations classées. Il précise, notamment, les circonstances et les causes de l'accident ou de l'incident, les substances dangereuses en cause, s'il y a lieu, les effets sur les personnes et l'environnement, les mesures d'urgence prises, les mesures prises ou envisagées pour éviter un accident ou un incident similaire et pour en pallier les effets à moyen ou à long terme. Si une enquête plus approfondie révèle des éléments nouveaux modifiant ou complétant ces informations ou les conclusions qui en ont été tirées, l'exploitant est tenu de mettre à jour les informations fournies et de transmettre ces mises à jour au préfet ainsi qu'à l'inspection des installations classées. »

Ainsi, en cas de découverte d'un individu appartenant à une espèce menacée (catégorie UICN « VU », « EN », « CR » ou « RE »), ou en cas de découverte d'une mortalité massive, une **fiche de déclaration d'incident faune volante** est réalisée (version juillet 2022, FEE-DGPR-BARPI). Les informations relatives à la découverte du cadavre et les premiers éléments disponibles sont renseignés (contexte, mesure corrective, etc.). La fiche est ensuite transmise à l'exploitant, qui la complète (éléments techniques spécifiques au parc éolien notamment) et la transmet à l'administration (DREAL, DRIEAT et DEAL).

2.3.4 Détermination du statut biologique

Le statut biologique des individus est déterminé en fonction de plusieurs paramètres : date de découverte, critères morphologiques, phénologie de l'espèce, présence avérée en nidification, etc. En effet, il existe par exemple des périodes pendant lesquelles certaines espèces sont en phase de migration alors que d'autres sont en phase de reproduction. Ce phénomène existe également entre des individus au sein de la même espèce. Si la caractérisation précise de la phase biologique n'est pas possible, c'est la phase présentant l'enjeu le plus important qui est retenue.

2.3.5 Méthodes d'estimation de la mortalité

L'estimation de la mortalité peut être réalisée par l'intermédiaire de plusieurs formules mathématiques considérées comme valides, issues de différents protocoles (Winkelman, 1989 ; Erikson, 2000 ; Jones, 2009 ; Huso, 2010 ; Korner, 2011 ; Etterson, 2013).

Ces formules prennent en compte un certain nombre de paramètres. Ceux-ci permettent d'intégrer certains biais liés aux divers facteurs aléatoires, induisant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité.

Ainsi, d'une manière générale, outre le nombre de cadavres trouvés (mortalité brute), plusieurs variables sont à évaluer afin d'être utilisées comme paramètres correcteurs :

- **l'efficacité du chercheur** (efficacité du chercheur à détecter les cadavres au sol) ;
- **la persistance des cadavres** (durée moyenne de présence ou taux de persistance des cadavres avant prélèvement, notamment par des animaux charognards) ;
- **l'intervalle des prospections sur site** ;
- **les surfaces non-prospectables** (surfaces qui ne peuvent être prospectées en raison des contraintes liées au couvert végétal, au dénivelé, à la maîtrise foncière, etc.).

Deux tests ont été réalisés pour mesurer l'efficacité de l'observateur et quantifier la persistance des cadavres sur le site.

Les paramètres des deux tests effectués sur l'année de suivi sont synthétisés dans le tableau suivant.

Test	Date	Nombre cadavres déposés		
		Petit (souris)	Moyen (poussins)	Total
Test 1	04/06/2024	12	3	15
Test 2	03/09/2024	12	8	20
Total		24	11	35

Tableau 5 : Paramètres des tests d'efficacité effectués pendant le suivi

2.3.5.1 Test d'efficacité

Ce test a pour but de déterminer l'efficacité du chercheur, à savoir le nombre de cadavres trouvés par rapport à un nombre de cadavres déposés sur la zone de prospection.

Ainsi, afin de simuler des cadavres d'oiseaux et de chiroptères, une tierce personne (testeur) dépose entre trois et cinq cadavres (au moins) de poussins et/ou de souris, de tailles variées de manière aléatoire, sous chacune des éoliennes du parc. Les cadavres sont tout de même placés de manière à couvrir différents types de végétation présents, hors zones non-prospectées, et sont localisés par GPS. Le chercheur effectue ensuite son parcours habituel. Le nombre de cadavres retrouvés est alors comptabilisé.

Le facteur de correction lié à l'efficacité des chercheurs (d) correspond à la proportion de cadavres trouvés par rapport au nombre de cadavres déposés, soit :

d = d_t / d_T

- Où :
- d_t : nombre de cadavres trouvés par le chercheur
 - d_T : nombre de cadavres déposés initialement

2.3.5.2 Test de persistance

Ce test a pour but d'évaluer la durée de persistance des cadavres, afin d'en tenir compte dans l'estimation de la mortalité. Cette durée de persistance est notamment influencée par les prélèvements des charognards.

À la suite du test d'efficacité les cadavres leurres sont laissés sur place. Plusieurs prospections ont lieu les jours suivant, à J+1, J+3, J+6, J+9, J+13 ou jusqu'à la disparition des cadavres. Cela permet d'estimer la durée de persistance des cadavres dans le milieu.

Selon la méthode d'estimation, ce prélèvement peut être mesuré de différentes manières :

- **La durée moyenne de persistance des cadavres (t)**, utilisée dans les méthodes d'Erickson, de Jones et d'Huso, qui est calculée comme suit :

$$t = \frac{\sum_{i=1}^{C_T} t_i}{C_T}$$

Où :
- t_i : durée de persistance du cadavre i
- C_T : nombre de cadavres utilisés pour le test

- **Les taux de persistance des cadavres (d) de Jones et d'Huso**, qui sont détaillés dans la partie traitant des méthodes d'estimation de la mortalité (Protocoles « Jones » et « Huso »).

2.3.5.3 Durée moyenne de l'intervalle (I)

La durée moyenne de l'intervalle (I) entre deux prospections doit être déterminée afin d'être prise en compte dans les calculs d'estimation de la mortalité. Elle est calculée comme suit :

$$I = \frac{\sum_i^S I_i}{r}$$

Où :
- I_i : durée de l'intervalle i
- r : nombre d'intervalles (entre chaque recherche)

2.3.5.4 Correction surfacique

La surface théorique de recherche sous l'éolienne n'est pas nécessairement prospectable dans son intégralité. En effet, la végétation présente peut rendre impossible le passage à pied (buissons, etc.) ou limiter la capacité d'observation du chercheur (cultures, prairies hautes, etc.). D'autres facteurs peuvent aussi être à l'origine d'une limitation de la prospection : autorisation d'accès sur les propriétés foncières, travaux à proximité de l'éolienne, etc.

Afin de pallier ce biais, le chercheur retranscrit sous SIG les surfaces prospectées lors de chaque visite. Un facteur de correction surfacique peut ensuite être appliqué lors des calculs d'estimation.

Le facteur de correction, calculé pour chaque prospection, est défini comme suit :

$$A = \frac{A_{Th}}{A_p}$$

Où :
- A_{Th} : surface théorique
- A_p : surface prospectée

2.3.5.5 Estimation de la mortalité

Une fois la campagne d'inventaires réalisée, les résultats sont analysés par l'intermédiaire des différentes méthodes d'estimation de la mortalité.

Le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (révision 2018) préconise la méthode suivante :

- Utiliser au moins trois formules de calcul des estimateurs standardisés à l'échelle internationale pour faciliter les comparaisons :

- o la formule d'Huso (2010) ;
 - o deux formules au choix parmi : Erickson, 2000 ; Jones, 2009 ; Korner-Nievergelt, 2015 ; Limpens *et al.*, 2013 ; Bastos *et al.*, 2013, Dalthorp *et al.*, 2017, etc.
- Préciser l'incertitude de l'estimation de la mortalité.

Les mortalités estimées sont calculées via le logiciel EolApp développé par le **Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive** de Montpellier (UMR 5175, www.cefe.cnrs.fr). Ce logiciel permet de calculer la mortalité estimée selon les formules d'Huso, d'Erickson, de Winkelman et de Jones, **assorties de leurs intervalles de confiance** à 90 % et 95 %. En accord avec les préconisations du protocole 2018, les résultats de la formule d'Huso sont utilisés, ainsi que ceux des formules d'Erickson et de Jones. Les résultats issus de la formule de Winkelman ne sont pas retenus, cette formule étant jugée obsolète, notamment par la SFEPM qui préconise l'utilisation d'au moins trois des estimateurs suivants : Huso, Jones, Erickson, Korner-Nievergelt, Limpens, Bastos.

2.3.5.5.1 Protocole « Erickson »

En 2000, Erikson propose une formule intégrant la durée moyenne de persistance des cadavres, ainsi que la durée moyenne de l'intervalle entre les prospections. Par ailleurs, cette formule est utilisable même lorsque le taux de persistance des cadavres est nul. Dans ce cas, les résultats concernant la mortalité seraient, toutefois, sous-estimés.

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

Où :
- N : mortalité estimée
- I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
- C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
- t : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres
- d : efficacité du chercheur
- A : coefficient de correction surfacique

2.3.5.5.2 Protocoles « Jones » et « Huso »

Ces deux protocoles sont très semblables et intègrent deux nouvelles variables :

- Le taux de persistance selon Jones (dont le calcul diffère d'un protocole à l'autre) ;
- Le coefficient correcteur de l'intervalle.

$$N = \left(\frac{C}{d * p * \hat{e}} \right) * A$$

Où :
- N : mortalité estimée
- C : nombre de cadavres trouvés durant le suivi
- d : efficacité du chercheur
- p : taux de persistance (voir calcul ci-dessous « Jones » ou « Huso »)
- $\hat{e}$: coefficient correcteur de l'intervalle (voir ci-dessous)
- A : coefficient de correction surfacique

Le coefficient correcteur de l'intervalle est défini comme suit :

$$\hat{e} = \frac{Min(I:\hat{I})}{I}$$

- Où :
- *I* : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
 - *Î* : intervalle effectif, soit : - log (0,01) * *t*
 - *t* : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres

« Jones »

En 2009, Jones *et al.*, proposent une méthode intégrant un taux de persistance et un coefficient correcteur de l'intervalle. Cette méthode repose sur les postulats suivants :

- Le taux de mortalité est constant sur l'intervalle défini ;
- La durée de persistance d'un cadavre suit une variable exponentielle négative (impliquant que la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle corresponde à la probabilité de disparition d'un cadavre à la moitié de l'intervalle).

Ainsi, Jones définit le taux de persistance comme suit :

$$p = e^{\left(\frac{-0,5 * I}{t}\right)}$$

- Où :
- *I* : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
 - *t* : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres

Ainsi :

$$N = \frac{C}{d * e^{\left(\frac{-0,5 * I}{t}\right) * \hat{e}}} * A$$

« Huso »

En 2010, Huso propose une nouvelle évaluation du taux de persistance. En se basant sur la formule de Jones, elle considère que la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle (second postulat de Jones) n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre.

Ainsi, Huso définit le taux de persistance comme suit :

$$p = \frac{\left(t * \left(1 - e^{\left(\frac{-I}{t}\right)}\right)\right)}{I}$$

- Où :
- *I* : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
 - *t* : durée moyenne (en jours) de persistance des cadavres

Ainsi :

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

2.3.5.6 Postulat de chaque méthode d'estimation

Méthodes	Zone recherchée	Intervalle de recherche	Persistance	Efficacité
Erickson (2000)	Pris en compte (basé sur la proportion d'éoliennes inspectées)	Pas d'exigence	Pris en compte (test de persistance) Considère les observations censurées à droite Suppose que la prédation suit une loi exponentielle	Pris en compte (test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes
Jones (2009)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (test de persistance) Suppose que la prédation est constante dans l'intervalle entre deux recherches	Pris en compte (test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes
Huso (2010)	Pris en compte (basé sur la proportion d'animaux morts hors de la zone de recherche et la probabilité d'inclure cette zone dans l'échantillon)	Intervalle basé sur « i » (temps au-delà duquel la probabilité de persistance est inférieure à ≤ 1%)	Pris en compte (test de persistance) Considère les observations censurées à droite Suppose que la prédation suit une loi exponentielle	Pris en compte (test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche ne peut l'être aux suivantes

Tableau 6 : Postulats de chaque méthode d'estimation (Erickson et Huso : d'après Bernardino et al., 2013)

2.4 Calendrier des inventaires

Inventaires et méthodes employées	Nb. sorties	Dates des campagnes	Horaires	Conditions météorologiques d'observation			Personne ayant réalisé les inventaires
				Couverture du ciel	Température	Vent	
Chiroptères							
Enregistrements automatiques en nacelle (BATmode 2S+)	233 nuits	Du 11 juin au 13 novembre 2024	Une heure avant le coucher à une après le lever du soleil	-	-	-	Clément MADEC Julien HERVÉ
		Du 25 mars au 12 juin 2025					
Suivi mortalité (cf. Annexe 4 : Calendrier du suivi mortalité (2024-2025))							

Tableau 7 : Dates et conditions météorologiques des inventaires du milieu naturel

2.5 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées

2.5.1 Limites des méthodes employées

Pour réaliser le suivi des milieux naturels, des relevés ont été réalisés. Ces nombreux diagnostics ont permis de réaliser un inventaire le plus complet possible. Toutefois, rappelons qu'un inventaire naturaliste ne peut être prétendu totalement exhaustif. Néanmoins, la précision apportée au diagnostic s'adapte au mieux aux exigences d'un suivi environnemental.

2.5.1.1 Limites des méthodes employées pour le suivi des chiroptères

Les inventaires réalisés *in situ* (acoustiques, prospections des gîtes) sont ponctuels dans l'espace et dans le temps. La quantification et la qualification du cortège et de l'activité chiroptérologique de la zone restent suffisantes au regard des enjeux et objectifs rattachés à cette étude.

Le travail de détection comporte une limite importante dans la détermination exacte des signaux enregistrés. En effet, malgré l'utilisation de matériels perfectionnés, le risque d'erreur existe concernant l'identification des espèces des genres *Pipistrellus* et *Myotis*. Dans ce cas, seul le genre est déterminé.

Les murins émettent des fréquences modulées abruptes de très faible portée, dont l'enregistrement est presque impossible à plus de 4 ou 5 mètres de l'animal. Malgré l'utilisation de matériels perfectionnés, la distance de détection de ces espèces est limitée par la faible portée de leurs signaux.

Les émissions sonores des individus appartenant au genre *Rhinolophus* sont de faible intensité et sont indétectables à plus de 10 m de distance. Dans ce cas, seul le genre est déterminé.

Enfin, l'utilisation d'un matériel électronique peut induire des risques de problèmes techniques (pannes) temporaires.

2.5.1.2 Limites des méthodes employées pour le suivi de la mortalité

Les relevés effectués lors des prospections permettent d'obtenir des résultats bruts. Plusieurs variables sont ainsi prises en compte lors de l'estimation afin de limiter les biais :

- La capacité de détection est variable en fonction du chercheur. Ce biais est corrigé par l'utilisation d'un ou plusieurs tests d'efficacité et la prise en compte du taux d'efficacité dans les calculs d'estimation.

Toutefois, la variabilité de l'efficacité peut être liée à de multiples facteurs (luminosité extérieure, fatigue du chercheur, type de végétation sur la surface prospectée, etc.). Il est donc complexe de corriger ce biais avec précision.

- La durée de persistance des cadavres est estimée par la réalisation d'un ou plusieurs tests de persistance et la prise en compte du taux de persistance dans les calculs d'estimation. Toutefois, ce taux de persistance dépend de nombreux facteurs aléatoires et peut ainsi être variable temporellement et spatialement. De même, il est complexe de corriger ce biais avec précision.
- Les surfaces non-prospectées créent un biais d'échantillonnage qui est corrigé par le coefficient de correction surfacique, pris en compte dans les calculs d'estimation. Toutefois, cette correction repose sur l'hypothèse que les cadavres se répartissent de façon homogène sous l'éolienne, au sein de la surface prospectée.

D'autres facteurs peuvent éventuellement limiter la robustesse des résultats :

- La surface de prospection est un carré comprenant la totalité de la zone de survol des pales (coté au moins égal à deux fois la longueur d'une pale). Il est possible que des individus soient éjectés en dehors de cette zone ou soient blessés et meurent à une distance bien plus éloignée. Il s'agit du « crippling loss », un biais peu étudié et non pris en compte dans les différentes méthodes d'estimation.
- L'efficacité du chercheur peut être limitée par les conditions météorologiques. Toutefois, ce biais est réduit car les sorties sont réalisées autant que possible lorsque la météo est favorable.

2.5.2 Difficultés rencontrées

2.5.2.1 Suivi des chiroptères

Les difficultés qui peuvent être rencontrées pour le suivi des chiroptères sont principalement d'ordre technique.

Concernant le suivi sur nacelle via les BATmodes, des problèmes techniques peuvent occasionnellement survenir. Ils peuvent amener une perte d'information par arrêt temporaire des enregistrements de chauves-souris.

Lors de cette étude, deux dysfonctionnements ont eu lieu.

Le premier a entraîné une perte de donnée du 23/04/24 au 11/06/24 soit 49 nuits. Afin de palier à cette perte, le suivi a été prolongé au printemps 2025.

Un second dysfonctionnement a eu lieu du 18 au 22 avril 2025 soit quatre nuits.

Les solutions mises en place ont donc permis la perte de seulement quatre nuits d'écoute durant ce suivi.

Ce sont par conséquent 229 nuits qui ont été inventoriées sur l'ensemble du cycle actif des chiroptères.

Un autre problème possible est l'enregistrement par les dispositifs BATmode de sons qui ne proviennent pas de chiroptères. Ces sons « parasites » peuvent être dû à des bruits de l'environnement nocturnes et notamment des éoliennes. Peu de sons parasites ont été enregistrés au cours de cet inventaire.

Ces difficultés ne modifient pas les conclusions globales des analyses sur le comportement, la diversité et la quantité des chiroptères présents en vol à hauteur de nacelle sur le site de Saint-Gildas.

2.5.2.2 Suivi de la mortalité

L'absence d'entretien des plateformes a entraîné le développement d'une végétation dense qui a gêné la prospection et réduit les probabilités de détecter les cadavres. Ces surfaces non prospectées sont recensées à chaque sortie et prises en compte dans l'analyse des résultats.

3 Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères

3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

D'après les résultats présentés dans l'étude d'impact de la ferme éolienne de Kerdrouallan, seule une session de capture avait été réalisée lors de l'étude d'impact, le 01/08/2007.

Ce protocole avait permis d'identifier deux espèces de manière certaine sur le site : le Murin à moustaches et la Pipistrelle commune.

Aucune écoute n'avait été réalisée, la diversité spécifique était de ce fait sous-estimée et l'activité non évaluée.

Le suivi comportement de la présente étude cible précisément l'activité des chiroptères au niveau des rotors. Cela devrait permettre d'étoffer les résultats de l'étude d'impact, en particulier sur le groupe des espèces de haut vol, comme les noctules.

Les conclusions de l'étude d'impact réalisée par le P&T technologie SAS en 2009 sont présentées dans la figure suivante.

1.2.5 Les chiroptères

Source : SEPNEB, Bretagne Vivante

La sensibilité du site est évaluée en fonction des habitats observés sur place et précisée à l'aide des données collectées antérieurement.

On considère que le site a une sensibilité élevée pour les chauves-souris si un des trois niveaux suivants est atteint :

1. Présence d'habitats particulièrement favorables à la grande majorité des espèces et couvrant une surface importante dans l'aire étudiée ;
2. Présence d'un nombre important d'espèces à l'échelle du département, soit la moitié des espèces qui y sont répertoriées ;
3. Présence d'espèce(s) vulnérable(s) et affectées par les éoliennes telles que le Grand Murin, la Noctule de Leisler et la Noctule commune.

Dans l'ensemble, la zone, en raison des vastes surfaces agricoles et de la très faible présence d'éléments boisés, semble peu attractive pour les chiroptères. Seuls les boisements et les corridors créés par les haies discontinues présentent des milieux favorables aux chauves-souris, en terme de territoire de chasse essentiellement.

A 8 kilomètres, se trouvent une petite colonie de mise-bas de Petit rhinolophe. Cette espèce figure à l'annexe 2 de la Directive Habitat Faune et Flore

Cependant, il paraît peu probable que la zone étudiée joue le moindre rôle dans le cycle biologique de cette espèce, aucun habitat favorable ne lui étant disponible.

Sur le site, l'inventaire réalisé par la SEPNEB sur la durée d'un cycle annuel (2007), a permis d'identifier seulement deux espèces sur les 18 espèces recensées sur le département. Les espèces observées sont le Murin à moustache (*Myotis mystacinus*) et la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), toutes deux protégées à l'échelle nationale. Seule le Murin à moustache est protégé à l'échelle communautaire au titre de l'annexe II de la Convention de Berne.

A l'issue de ces observations, on peut considérer que le site ne présente pas de réelle sensibilité vis-à-vis des chiroptères. Une attention sera tout de même portée en proximité des boisements et des haies de chênes matures présentes en bordure de chemin d'exploitation.

Figure 13 : Enjeux identifiés sur les chiroptères lors de l'étude d'impact en 2009

Au vu des observations réalisées en Europe et récemment en Bretagne, toutes proportions gardées, l'impact d'un parc éolien sur les populations de certaines espèces de chauves-souris n'est probablement jamais nul. Cependant, dans l'aire étudiée le préjudice seulement deux espèces ont été identifiées : le Murin à moustaches et la Pipistrelle commune. Afin de limiter les risques de collisions, les éoliennes sont implantées à distance des boisements et haies de bonne qualité. Seule l'éolienne 1 est plus proche des boisements et de haies.

Le site étudié n'atteint aucun des trois niveaux de sensibilité définis pour les Chauves-souris. L'enjeu du projet éolien sur les populations de chiroptères peut donc être estimé comme globalement faible.

Figure 14 : Impacts identifiés sur les chiroptères lors de l'étude d'impact en 2009

Lors de l'étude d'impact de 2009, les impacts en phase d'exploitation du parc éolien de Saint-Gildas sur les chiroptères ont été évalués comme faibles. Le présent suivi environnemental doit permettre d'affiner ces résultats, une corrélation entre les écoutes en nacelle et le suivi de la mortalité au sol est notamment réalisé.

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères en 2024/2025

3.2.1 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle

Les résultats présentés dans cette partie correspondent aux inventaires réalisés à l'aide d'un détecteur automatique d'ultrasons de type BATmode 2S+, installé au niveau des nacelles des éoliennes. Ces inventaires ont été fractionnés sur les années 2024 et 2025. L'ensemble permet d'inventorier un cycle actif complet des chiroptères.

La première session a ainsi couvert la période du 12 juin au 13 novembre 2024 et la seconde du 25 mars au 12 juin 2025. Le dispositif est par conséquent resté en place durant 233 nuits.

Un dysfonctionnement a toutefois eu lieu du 18 au 21 avril 2025 soit sur quatre nuits.

L'analyse porte donc sur 229 nuits d'écoutes durant le cycle actif des chiroptères (de mars à novembre).

3.2.1.1 Diversité et activité spécifique enregistrée

3.2.1.1.1 Résultats obtenus sur l'ensemble du cycle

Le tableau suivant présente les résultats issus des analyses du logiciel Sonochiro®. Ces données ont été vérifiées par un chiroptérologue afin d'obtenir une liste d'espèces dont la présence est certifiée. La plupart des contacts ont été vérifiés en raison d'un grand nombre de séquences comportant des parasites liés à l'éolienne. Par cette méthode, les résultats présentés dans le tableau suivant constituent une base de données jugée fiable.

Genre	Espèces	Recensement			Total estimé
		Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	
<i>Eptesicus</i>	Sérotine commune	1	30	10	41
<i>Nyctalus</i>	Noctule de Leisler	0	10	21	31
<i>Pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	69	848	518	1 435
	Pipistrelle de Kuhl	118	274	163	555
	Pipistrelle de Nathusius	12	26	5	43
<i>Plecotus</i>	Oreillard gris	0	0	12	12
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce					
	Sérotine / Noctule sp.	0	20	1	21
Total	6 espèces	200	1 208	730	2 138

Tableau 8 : Répartition du nombre de contacts par espèce et par éolienne

La diversité spécifique inventoriée par le protocole d'écoute permanente sur nacelle d'éolienne est qualifiée de modérée pour un milieu en hauteur, avec la présence de six espèces identifiées de manière certaine.

En hauteur, on constate une cohérence avec la bibliographie disponible, au travers d'une plus forte proportion des espèces dites de haut-vol ou de lisière généralistes (Noctule de Leisler, Sérotine commune et

pipistrelles) qui totalisent presque toute l'activité, les espèces plus forestières comme l'Oreillard gris n'étant pas ou peu présentes.

Ce sont ainsi les pipistrelles qui dominent le cortège avec 67 % des contacts pour la Pipistrelle commune, 26 % pour la Pipistrelle de Kuhl et 2 % pour la Pipistrelle de Nathusius.

La Sérotine commune arrive ensuite (2 % des contacts) puis la Noctule de Leisler (1 %) et enfin, les sérotines et noctules non identifiées à l'espèce (1 %).

On notera donc la forte présence des pipistrelles et particulièrement de la Pipistrelle commune, en comparaison des autres espèces, les pipistrelles sont des espèces ubiquistes qui peuvent s'affranchir des lisières et chasser en hauteur. Elles sont également migratrices notamment la Pipistrelle de Nathusius.

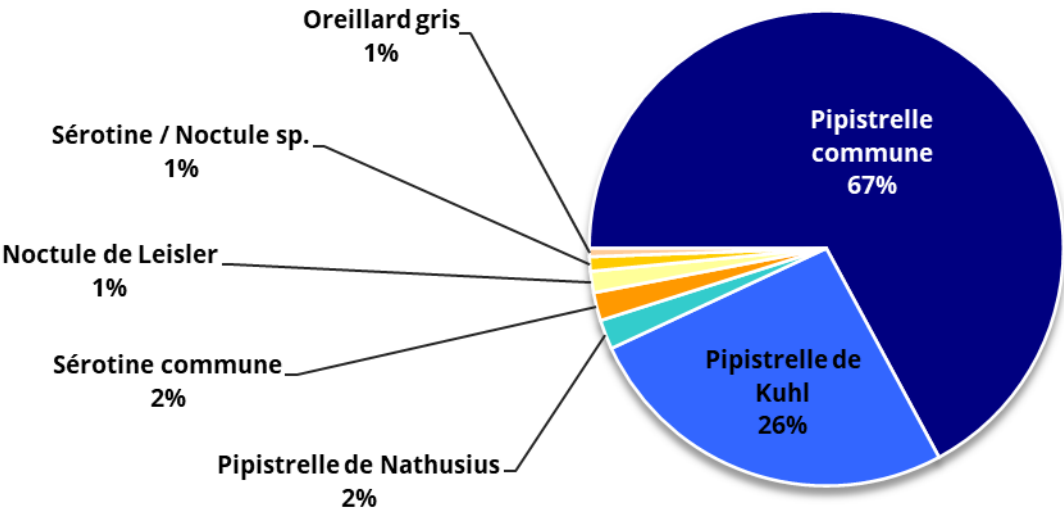


Figure 15 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

3.2.1.1.2 Résultats obtenus en fonction du cycle biologique des chiroptères

Le tableau suivant présente le nombre de contacts enregistrés pour chaque phase biologique. Ils ont également été ramenés au nombre de nuits présentant un contact chiroptérologique.

	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Nombre de contacts	200	1 208	730	2 138
Nombre de nuits d'enregistrements	68	76	89	233
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	11 %	59 %	30 %	100 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	3	16	9	10

Tableau 9 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques

On constate que la période de mise-bas et élevage des jeunes est la phase avec le plus d'activité, loin devant les autres. Elle concentre 59 % des contacts totaux, soit 16 contacts par nuit ce qui représente une activité modérée. La période des transits automnaux et swarming arrive ensuite avec 30 % des contacts suivi, soit 9 contacts par nuit ce qui correspond à une activité également modérée La phase des transits printaniers et gestation (11 % des contacts) enfin présente une activité faible avec 3 contacts par nuit.

Il est à noter que les différentes phases ne présentent pas le même nombre de nuits inventoriées. En ramenant cependant au nombre moyen de contacts par nuits d'enregistrement, on constate bien que c'est la période de mise-bas et d'élevage des jeunes qui prédomine.

3.2.1.1.3 Résultats obtenus en fonction du mois d'inventaire

En comparant les mois entre eux, on note une forte prédominance du groupe des pipistrelles et notamment de la Pipistrelle commune.

Les mois de mai à septembre sont ceux présentant le plus d'activité avec un maximum de 26 contacts par nuit (c/n) soit 35 % du total pour le mois de juin. Les mois d'août et octobre arrivent ensuite avec respectivement 16 et 17 % soit 12 et 13 c/n, le mois de juillet avec 14 % (soit 11 c/n) et enfin le mois de mai (8 % de l'activité soit 7 c/n).

Les autres mois apparaissent comme plus marginaux avec entre 0 et 5 contacts par nuit.

Les Pipistrelles de Nathusius sont principalement présentes au mois de mai, juin et juillet soit à la fin des transits printaniers et le début de la période de mise-bas. Quelques contacts sont également présents en septembre et octobre. L'espèce passe donc probablement sur le site lors de ses migrations entre gîte d'été et d'hiver.

Les sérotines et noctules sont quant à elles majoritairement présentes aux mois de juin, juillet, août septembre et octobre soit la période de mise-bas et élevage des jeunes et celle des transits automnaux et swarming. On peut donc supposer qu'il s'agit d'une population plus locale.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.
Nombre de contacts	0	11	189	767	322	357	54	389	49
Nombre de nuits d'enregistrements	7	26	31	30	31	31	30	31	12
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	0 %	1 %	8 %	35 %	14 %	16 %	2 %	17 %	6 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	0	1	7	26	11	12	2	13	5

Tableau 10 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires

3.2.1.1.4 Résultats obtenus en fonction de la nuit d'inventaire

Le graphique suivant illustre l'activité chiroptérologique par nuit d'inventaire. Ainsi, l'activité inter-journalière des chauves-souris est très irrégulière. Le nombre de contacts enregistrés par nuit varie de 0 à 256 contacts. Cette variabilité journalière reste particulièrement complexe à anticiper, dépendant de multiples facteurs à l'exemple des conditions météorologiques ou de la présence de ressource alimentaire, etc. Dans l'état des connaissances actuelles, il est très difficile de comprendre ces variations. En effet, des pics d'activités très forts et concentrés sur certaines nuits peuvent survenir brusquement.

Pour rappel, la période analysée dans la présente étude s'étend du 12 juin au 13 novembre 2024 et du 25 mars au 12 juin 2025. Les premiers contacts de chauves-souris ont été recensés le 5 avril.

Plusieurs nuits ont donc enregistré un nombre de contacts conséquent. En effet, alors que la plupart des nuits ne dépassent pas la centaine de contacts enregistrés, il y a eu 157 contacts le 30 mai, 156 et 244 les 17 et 18 juin, 126 le 26 août, 166 le 14 octobre et 110 le 19 octobre.

Tous ces contacts incluent surtout la Pipistrelle commune. La possibilité d'une population locale n'est pas à exclure pour cette espèce qui est très présente en juin, juillet, août et septembre.

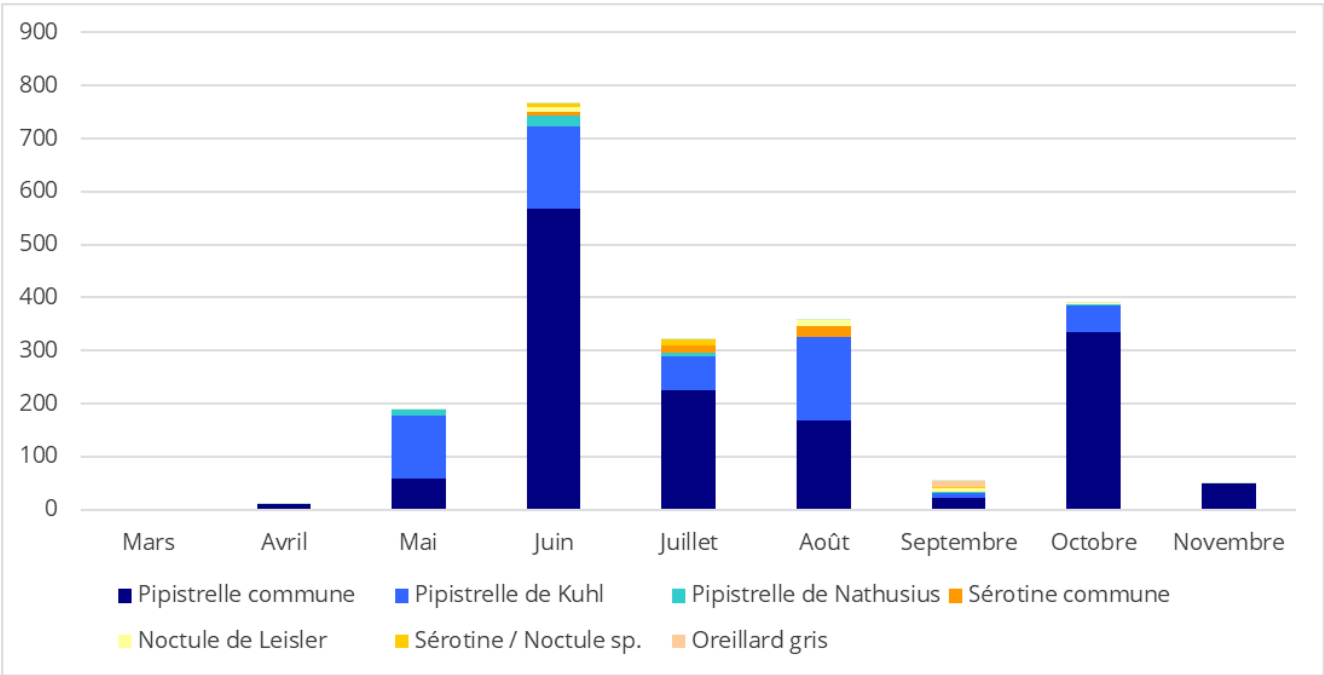


Figure 16 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement

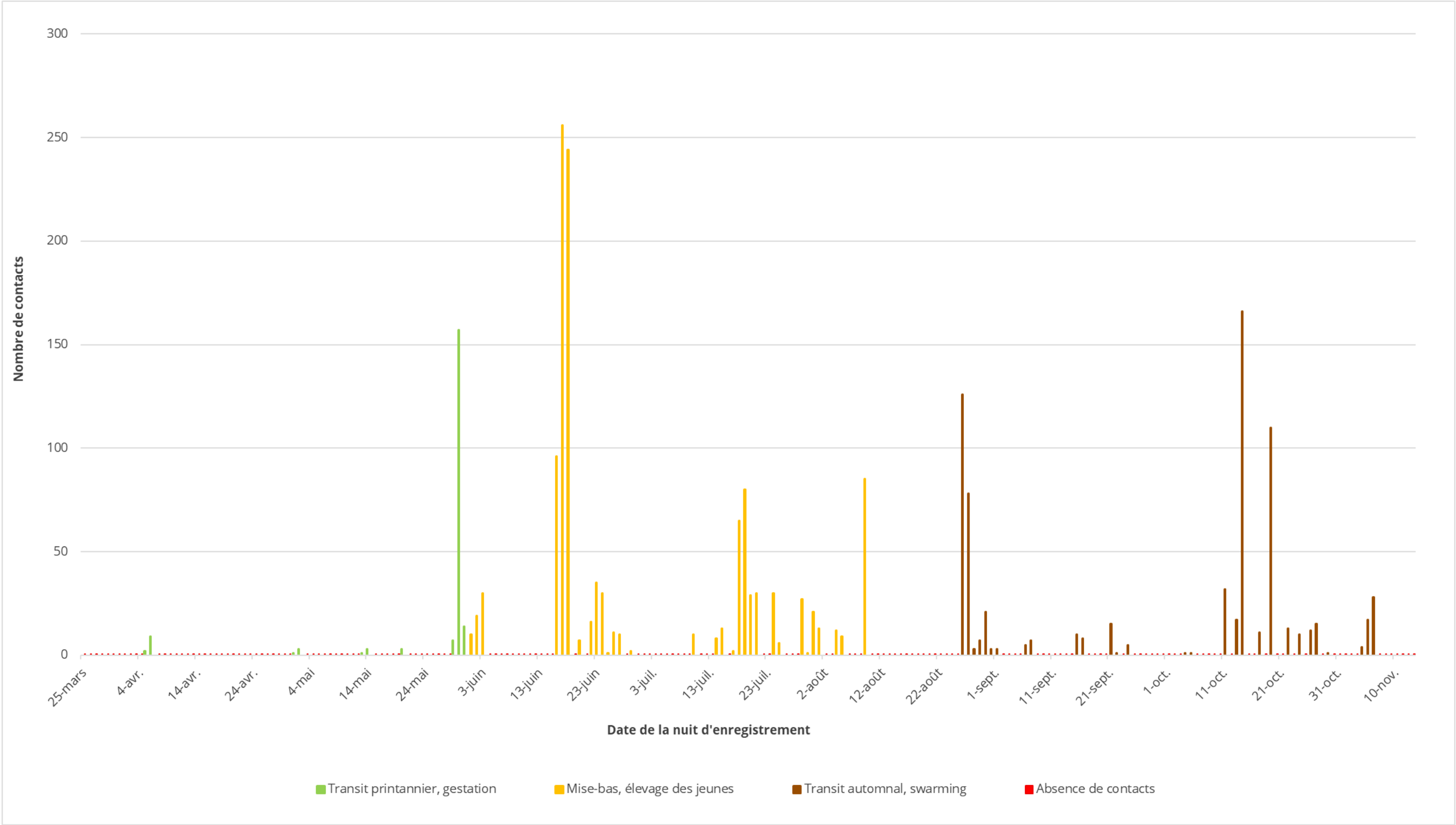


Figure 17 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire

3.2.1.2 Activité chiroptérologique en fonction des facteurs astronomiques et météorologiques

3.2.1.2.1 Activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

La répartition du nombre de contacts en fonction des heures de la nuit et de la période de l'année est représentée dans le graphique suivant. Ainsi, ce dernier est présenté sous la forme d'une carte de chaleur affichant la densité de contacts chiroptérologiques. Les aplats de couleurs représentent l'intensité de l'activité chiroptérologique, répartie entre les heures de la nuit en ordonnée (heure astronomique), et les jours de l'année en abscisse. L'absence d'aplat de couleur correspond à l'absence de contacts.

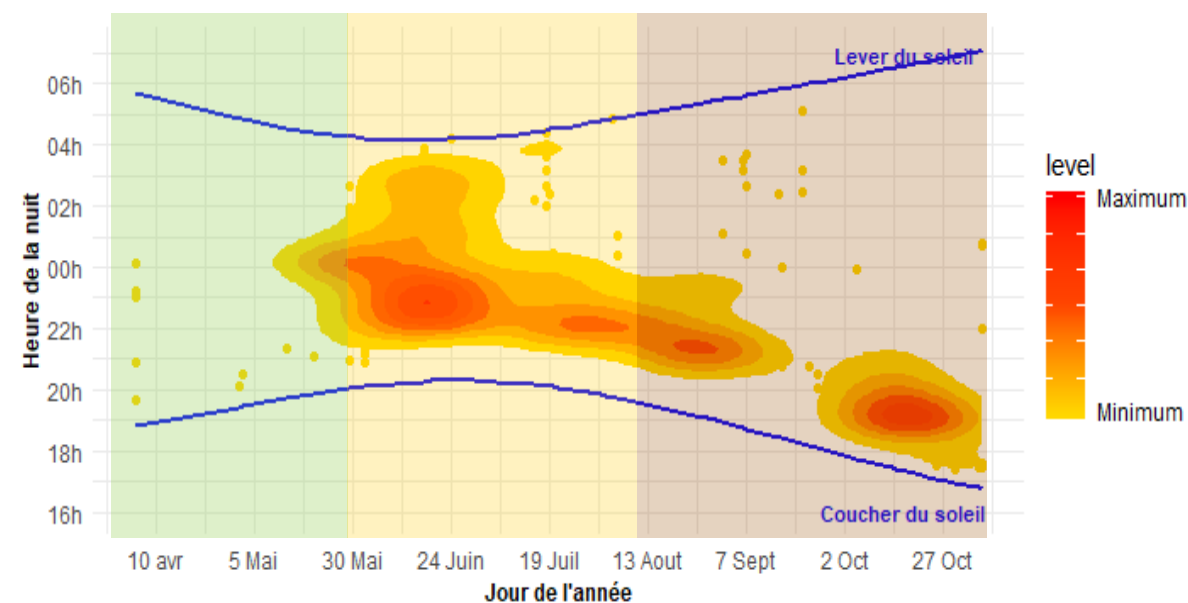


Figure 18 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

Selon les données bibliographiques, il existe une baisse progressive du niveau d'activité au cours de la nuit. Cette baisse peut être accentuée par des facteurs limitants, comme le début et la fin de la saison, ou encore des températures froides.

Sur la période analysée cette tendance n'est pas réellement observée. On constate en effet un maximum d'activité plutôt concentré en milieu de nuit en été et celui-ci s'étale même jusqu'à l'aube en juin.

C'est ainsi qu'en été, l'activité semble se concentrer entre 1h30 après le coucher du soleil et 4h après voire jusqu'à une demi-heure avant le lever du soleil en juin.

En octobre, l'activité semble se concentrer en début de nuit avec un maximum autour de 1h30 après le coucher du soleil.

Sur toute la période étudiée, des contacts isolés sont enregistrés aussi bien en début qu'en fin de nuit, cela correspond aux points jaunes épars.

3.2.1.2.2 Activité chiroptérologique en fonction de la température

La température semble jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre l'augmentation de la température et l'activité (Redell *et al.*, 2006 ; Arnett *et al.*, 2006, 2007

; Baerwald & Barclay 2011, etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant indépendamment sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.*, 2005). Arnett *et al.*, 2006 ont en outre observé qu'au-dessus de 44 m d'altitude, l'activité n'était en rien affectée par la température. Les opinions sur les autres paramètres météorologiques, sont d'autant plus mitigées. La pression atmosphérique (Cryan & Brown 2007 ; Cryan *et al.*, 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.*, 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr *et al.*, (2011), ou sur l'abondance d'insectes (Corten & Veldkamp 2001). Enfin, l'expérience montre qu'en fonction des saisons, l'importance de ce facteur sur l'activité chiroptérologique oscille fortement.

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences de températures nocturnes enregistrées par la nacelle de l'éolienne et le nombre de contacts de chiroptères en fonction de ces températures.

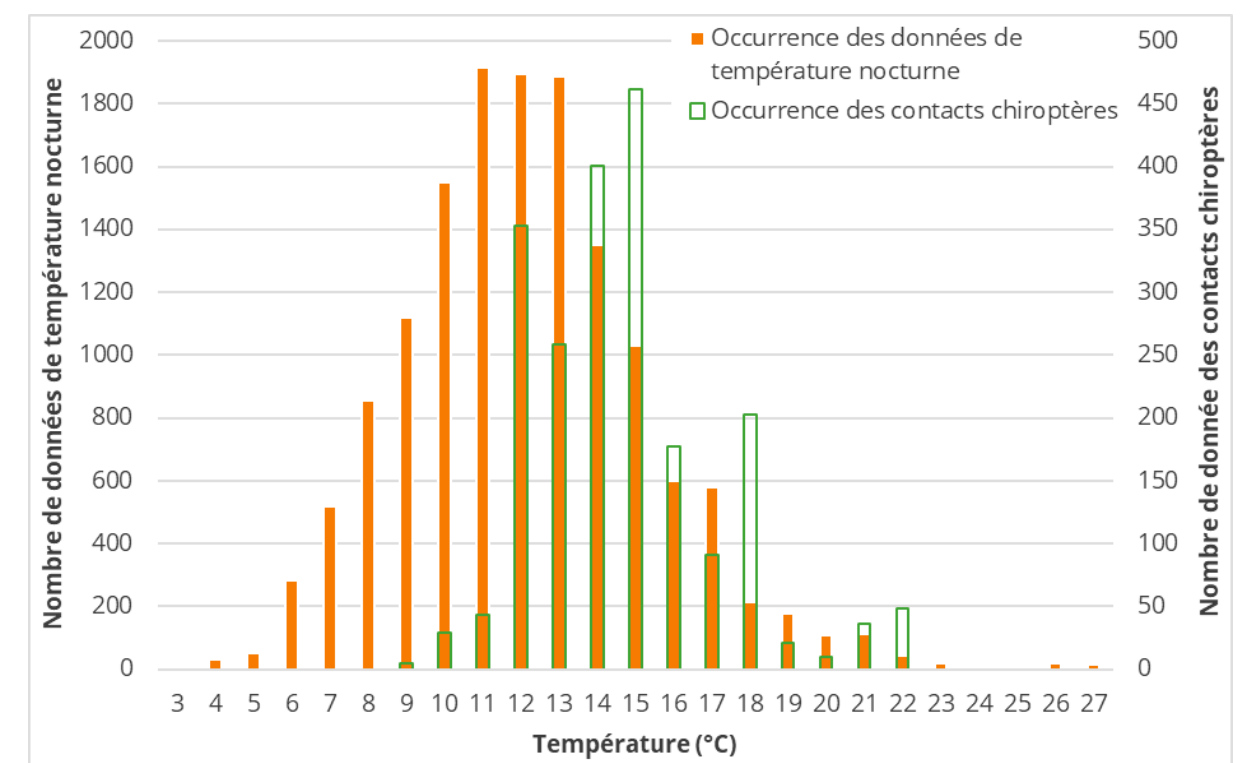


Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la température

Les inventaires réalisés sur le site montrent ainsi que les chiroptères semblent concentrer leur activité entre 9 et 22 °C, en décalage avec les températures nocturnes « disponibles » qui se concentrent entre 6 et 17 °C. **L'activité semble démarrer réellement à partir de 12 °C. À noter, 90 % de l'activité est enregistrée pour des températures supérieures à 12 °C et 95 % pour des températures supérieures à 12 °C également.**

Résultats obtenus par analyse mensuelle

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble de la période étudiée, à savoir qu'un maximum d'activité est mesuré à partir de 12 °C et jusqu'à plus de 18 °C de température. On voit clairement sur ce graphique la forte activité en juin avec un pic à 15 °C.

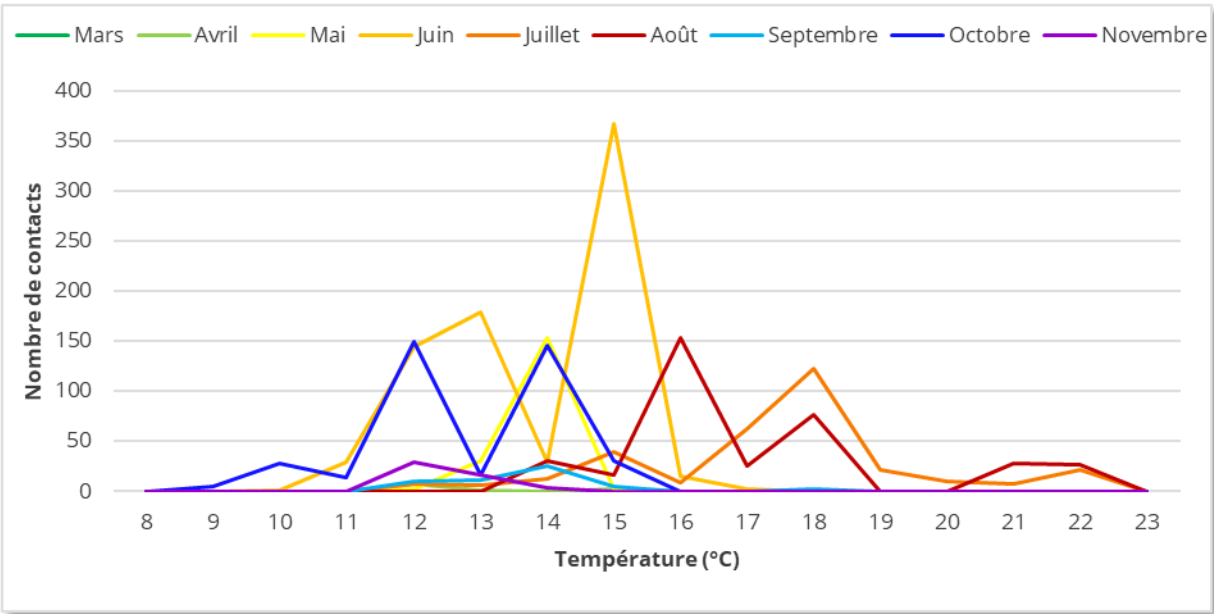


Figure 20 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température

3.2.1.2.3 Activité chiroptérologique en fonction de la vitesse du vent

Résultats obtenus sur l'ensemble de la période d'étude

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences de vitesses de vent enregistrées par la nacelle et le nombre de contacts enregistrés sous cette vitesse de vent.

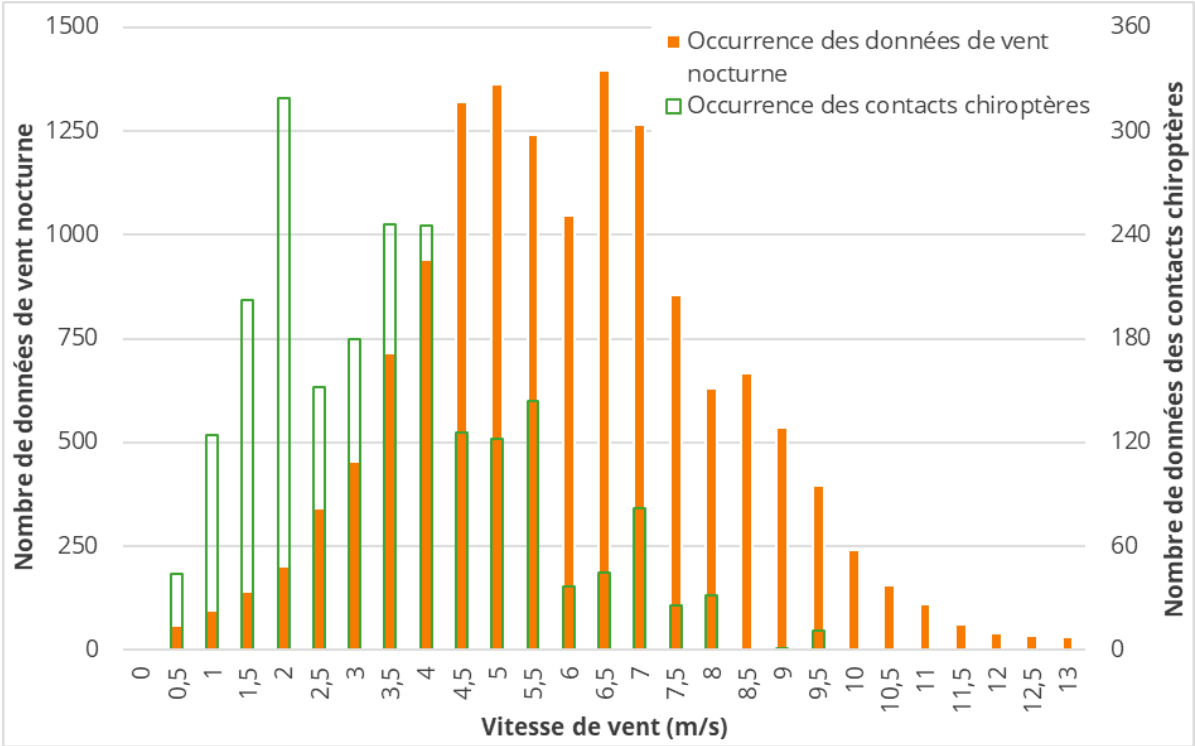


Figure 21 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

Globalement, ce graphique illustre un décalage de l'activité chiroptérologique sous des vitesses de vent les plus faibles de la répartition des occurrences de vent nocturnes. C'est ainsi que l'activité est concentrée entre 0,5 et 7 m/s, mais elle reste non négligeable jusqu'à 9,5 m/s. **On notera que 90 % de l'activité est contactée pour des vitesses de vent inférieures à 5,9 m/s et 95 % sous des vitesses de vent de 6,8 m/s.**

Résultats obtenus par analyse mensuelle

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble de la période étudiée, à savoir que l'activité semble s'étaler surtout entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 7 voire 8 m/s à hauteur de nacelle. On observe bien la chute à partir de ce seuil mais l'on note que l'activité ne devient pas pour autant négligeable, notamment à 9,5 m/s en octobre.

Ce dernier mois présente les plus fortes valeurs avec notamment cette activité à 9,5 m/s, l'espèce responsable de vols à ces vitesses de vent est la Pipistrelle commune.

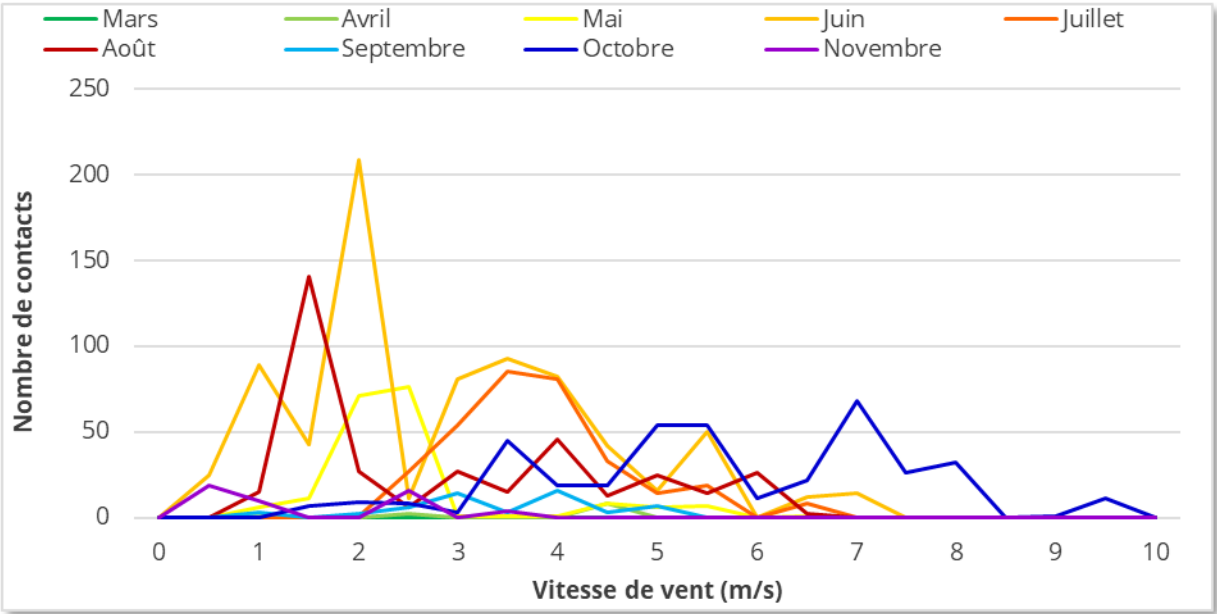


Figure 22 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent

3.2.2 Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle

Au regard des analyses effectuées à partir des enregistrements sur nacelle d'éolienne, les principaux éléments suivants apparaissent :

La diversité spécifique est de six espèces confirmées, avec la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la pipistrelle de Nathusius, la Noctule de Leisler, la Sérotine commune et l'Oreillard gris.

On retrouve au sein des espèces inventoriées, principalement des espèces pouvant évoluer en hauteur, en cohérence avec les connaissances bibliographiques. À noter les plus fortes proportions de Pipistrelles communes et de Pipistrelles de Kuhl, comparativement aux autres espèces présentes.

L'activité chiroptérologique est plus importante de fin mai à septembre. Ces deux périodes correspondent à la mise-bas et élevage des jeunes à la phase des transits des gîtes estivaux vers les gîtes hivernaux. La potentialité d'une population locale notamment de pipistrelles est donc plausible.

L'activité chiroptérologique en hauteur est éparse et présente un maximum d'activité plutôt concentré en milieu de nuit en été et celui-ci s'étale même jusqu'à l'aube en juin. C'est ainsi qu'en été, l'activité semble se concentrer entre 1h30 après le coucher du soleil et 4h après voire jusqu'à une demi-heure avant le lever du soleil en juin. En octobre, l'activité semble se concentrer en début de nuit avec un maximum autour de 1h30 après le coucher du soleil.

L'activité chiroptérologique en hauteur est marquée surtout à partir de 12 °C. À noter, 90 % de l'activité est enregistrée pour des températures supérieures à 12 °C et 95 % pour des températures supérieures à 12 °C également.

L'activité chiroptérologique en hauteur est principalement concentrée entre des vitesses de vent de 0,5 et 7 m/s. On notera que 90 % de l'activité est contactée pour des vitesses de vent inférieures à 5,9 m/s et 95 % sous des vitesses de vent de 6,8 m/s.

L'enjeu principal sur le site semble concerner principalement la période de mise-bas et élevage des jeunes, traduisant potentiellement la présence d'une population locale notamment pour la Pipistrelle commune.

3.3 Bilan et comparaison avec l'étude d'impact et les suivis environnementaux précédents

3.3.1 Diversité spécifique

Huit espèces de chauves-souris ont été recensées de manière certaine au travers des différentes études (tableau suivant).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Présence selon les études			
		Étude d'impact (2007 ¹)	Suivi (2016)	Suivi (2023)	Suivi (2024/2025)
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	X			
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>			X	X
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>				X
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>			X	
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>		X	X	X
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>			X	X
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>			X	X
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce					
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>			X	
Sérotine/Noctule sp.	<i>Eptesicus/Nyctalus sp.</i>			X	X
Pipistrelle sp.	<i>Pipistrellus sp.</i>			X	
Total des espèces	13	2		6	6
Espèce présente durant les trois périodes d'études					

Tableau 11 : Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le

L'étude d'impact de 2009, incluant les résultats des inventaires chiroptérologiques réalisés en 2007, a permis de recenser deux espèces certaines, contre deux pour les inventaires de 2016, six pour ceux de 2023 et six en 2024/2025.

À noter que les protocoles menés entre les différentes études ont été différents :

En 2007 : le cortège chiroptérologique plus faible inventorié est lié au protocole utilisé. Il s'agissait en effet d'une session de capture réalisée sur une seule soirée.

En 2016 : le protocole a permis un inventaire des chiroptères uniquement par les découvertes de mortalité aux pieds des éoliennes.

En 2023 et 2024/2025, les inventaires sur nacelle permettent de détecter seulement les espèces de chauves-souris capables d'évoluer en hauteur, à de plus rares exceptions.

On ne peut donc que difficilement qualifier la diversité spécifique du site si ce n'est en hauteur où elle est qualifiée de modérée avec sept espèces identifiées de manière certaine.

Une seule espèce est retrouvée lors des trois périodes d'inventaire mais si l'on compare les protocoles identiques, ce sont cinq espèces qui sont retrouvées ce qui atteste de leur occupation régulière du site. Ces espèces sont parmi les plus communes en Europe notamment pour la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Sérotine commune. Ce sont des espèces généralistes et qui sont capables de voler en hauteur.

Parmi les espèces présentes, trois plus forestières ont été trouvées avec le Murin à moustaches en 2007, l'Oreillard roux en 2023 et l'Oreillard gris en 2024/2025

En comparant les inventaires avec les mêmes protocoles, il y a une forte cohérence des espèces présentes. En effet, les espèces généralistes et/ou de haut-vol (pipistrelles/sérotines et noctules) sont contactées lors des deux années d'inventaire. La Pipistrelle de Nathusius, plus rare, est cependant également retrouvée en 2023 et 2024/2025. Les oreillards, qui ne sont pas des espèces de haut-vol, sont contactés pour l'un en 2023 et l'autre 2024/2025 uniquement.

3.3.2 Cumul des deux années de suivis environnementaux

3.3.2.1 Répartition par cortège

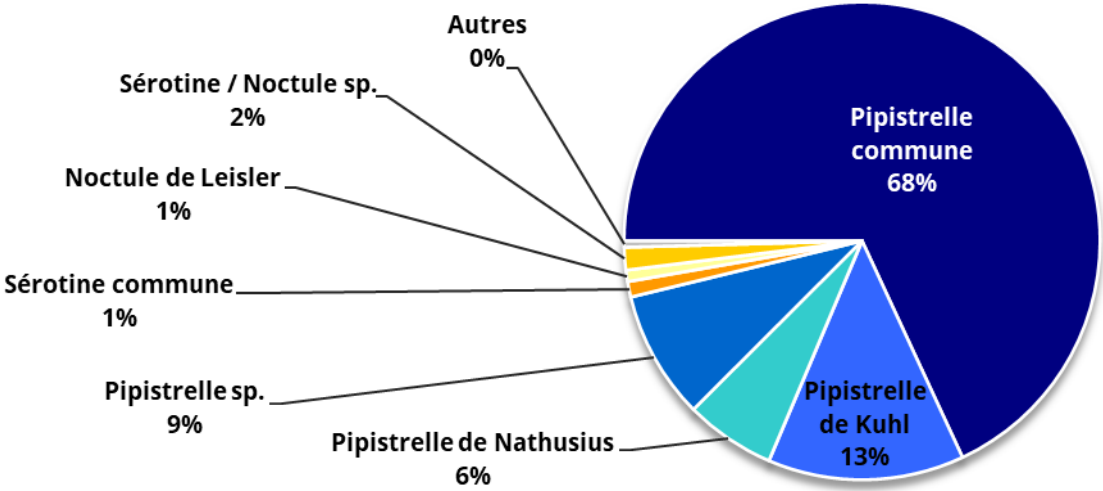


Figure 23 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les deux années d'études

Sur deux années de suivi le cortège qui domine est le groupe des pipistrelles devant le groupe des sérotines et noctules, On note bien que l'espèce la plus présente sur les deux années est la Pipistrelle commune.

¹ Biotope, 2010

3.3.2.2 Activité par nuit

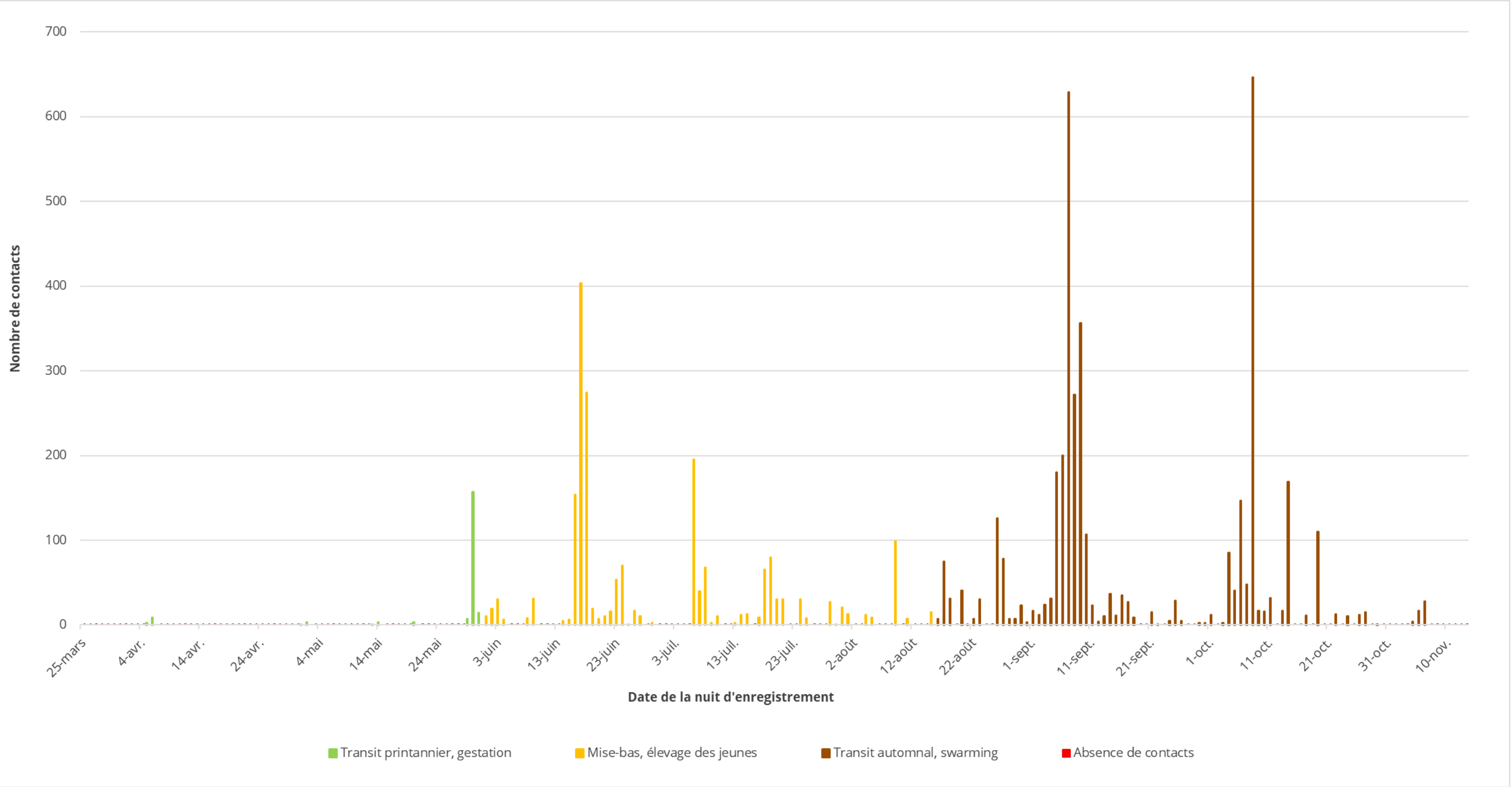


Figure 24 : Répartition du nombre de contacts par jours sur les deux périodes d'études

L'activité par nuit reste très irrégulière sur les deux années de suivi. On constate cependant que les « pics » les plus importants se concentrent sur les mois de juin, septembre et octobre. C'est donc sur ces périodes que peuvent survenir des nuits à très forte activité.

3.3.2.3 Activité par mois

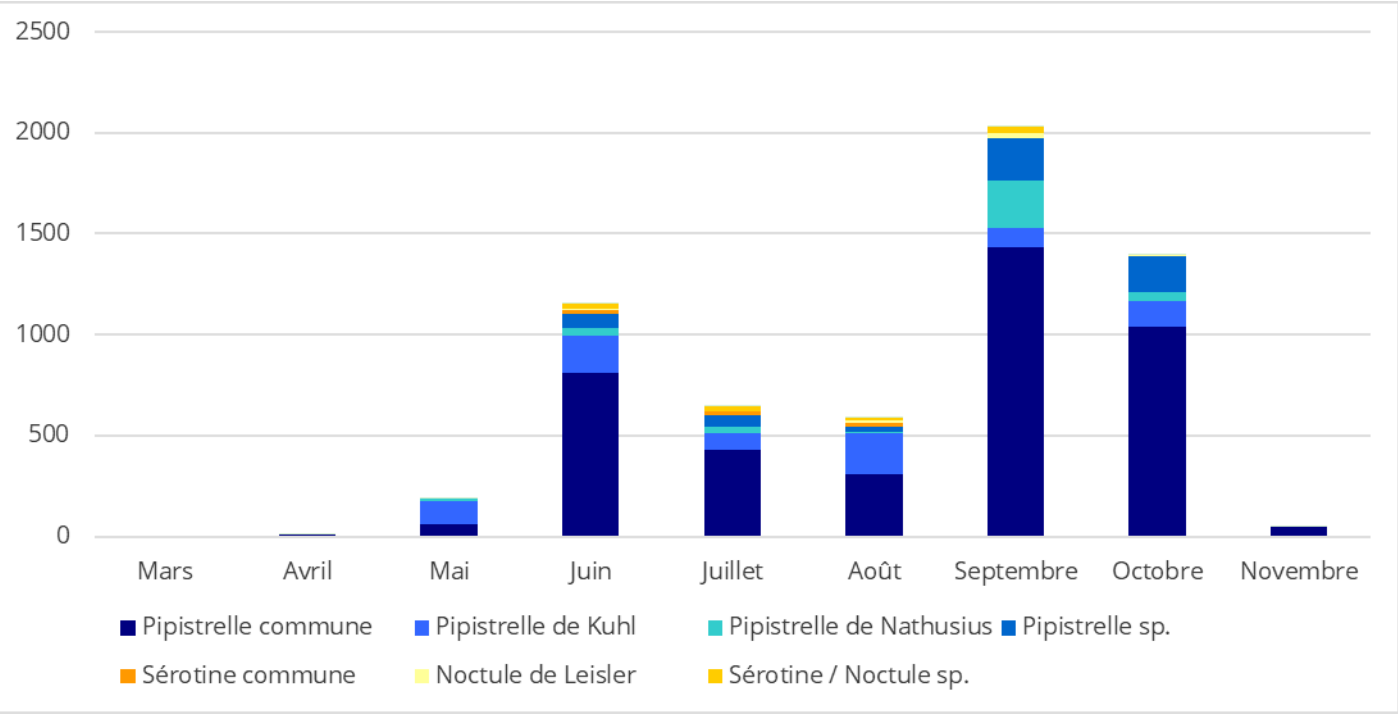


Figure 25 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les deux périodes d'études

Les mois qui concentrent le plus d'activité et d'enjeu sont juin, septembre et octobre sur les deux années de suivi. Il ne faut pas négliger l'activité sur les autres mois cependant, en particulier en juillet et août.

3.3.2.4 Activité circadienne

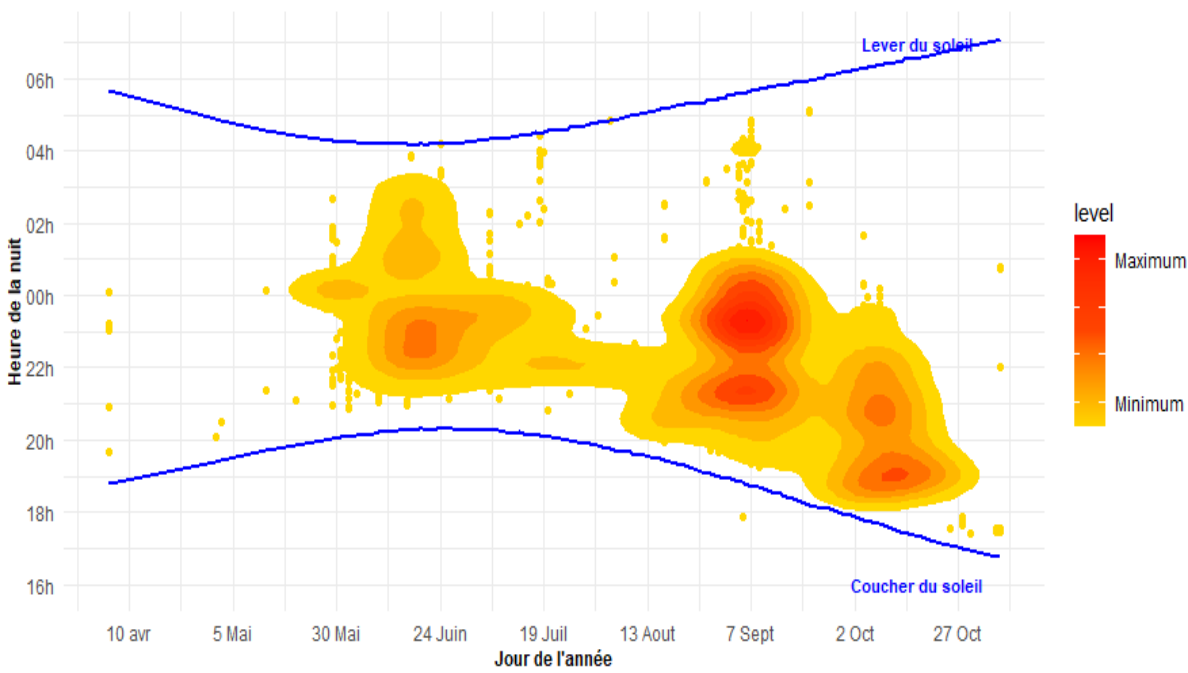


Figure 26 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

L'activité en fonction des heures de la nuit est plus forte de fin mai à fin octobre sur les deux années de suivi. Il faut retenir que sur cette période, les chiroptères présentent un maximum d'activité autour de 1h30 à 5h après le coucher du soleil en moyenne. Celle-ci peut cependant s'étaler jusqu'à une heure avant le lever du soleil.

3.3.2.5 Activité en fonction de la température

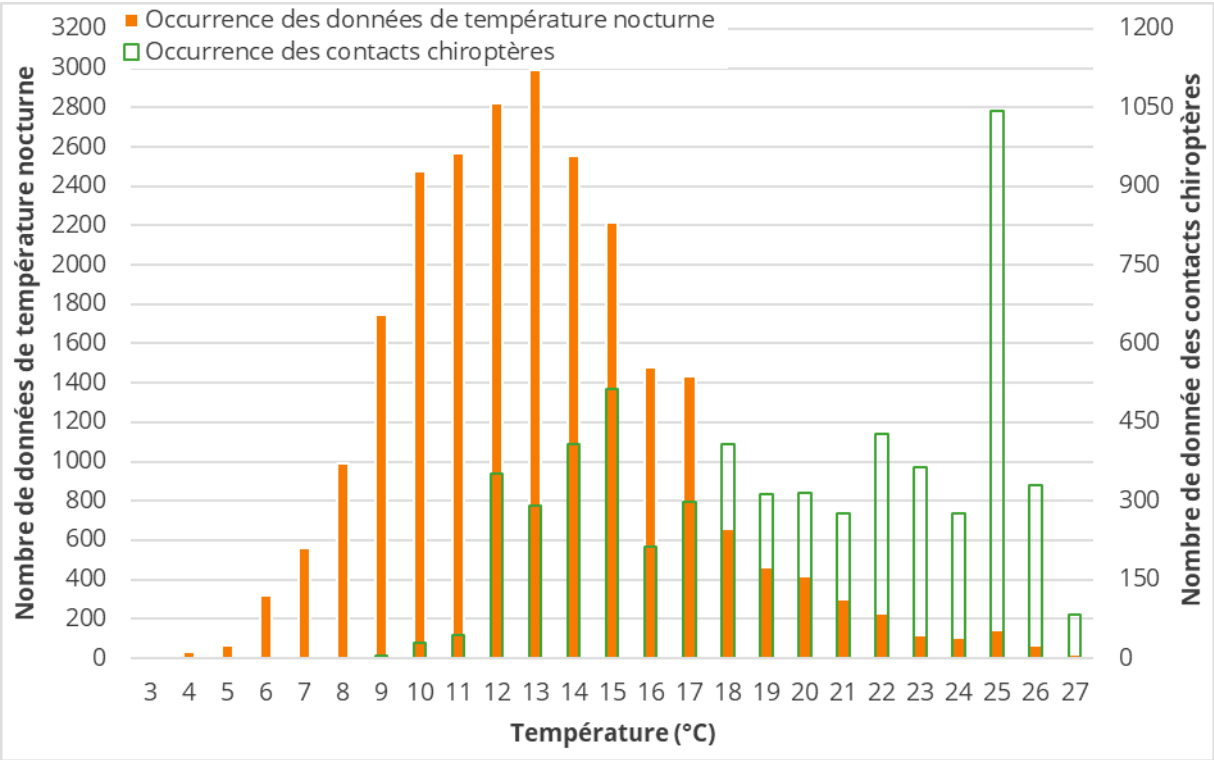


Figure 27 : Activité des chiroptères en fonction de la température

3.3.2.6 Activité en fonction du vent

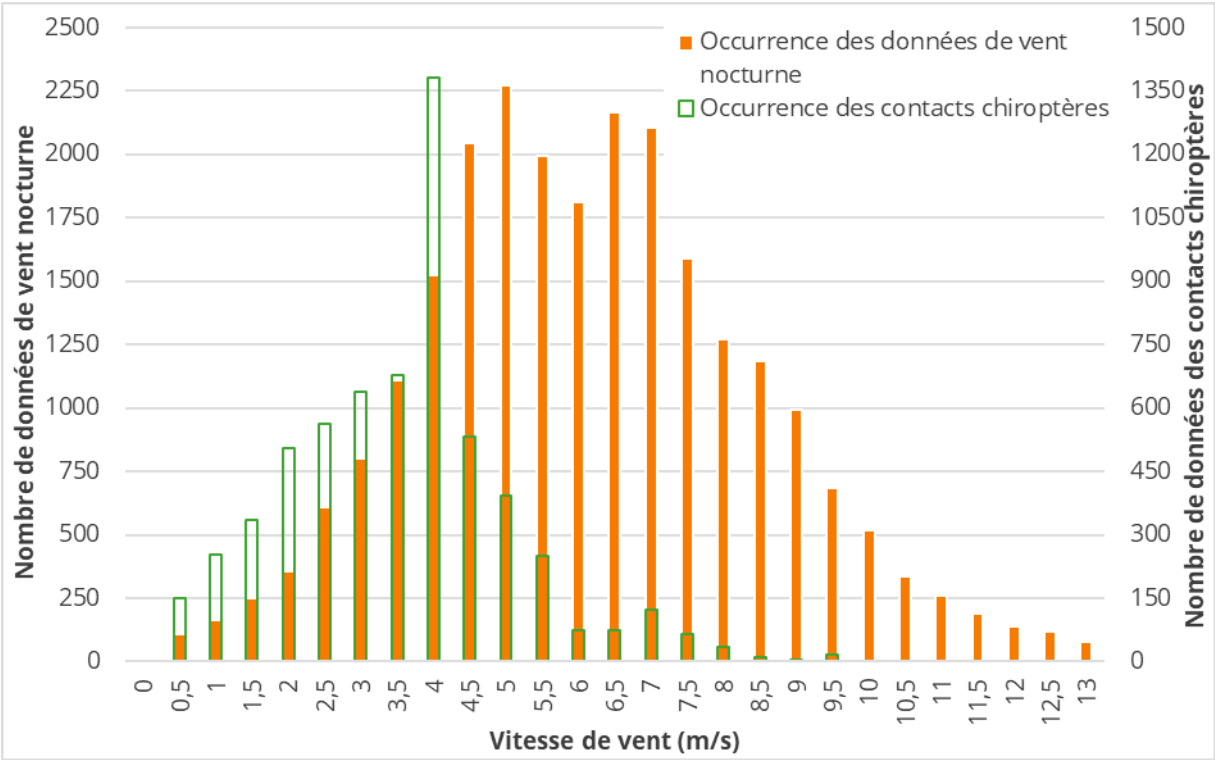


Figure 28 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

Sur les deux années de suivi, les seuils à retenir sont un démarrage possible de l'activité des chiroptères dès 9 °C pour les saisons plus froides, et une activité qui devient non négligeable à partir de 12 °C pour le reste de la période.

L'essentiel de l'activité des chiroptères sur les deux années de suivi s'étale de 0,5 m/s jusqu'à 6 m/s (95 % des contacts). Il ne faut pas négliger les contacts au-delà de ce seuil cependant, notamment à 7 m/s.

3.4 Principaux éléments à retenir du suivi environnemental

La conclusion après la précédente année de suivi était la suivante : « le parc éolien de Kerdrouallan/Saint-Gildas (22) présente une activité chiroptérologique modérée qui est plutôt concentrée en automne. Le plan de bridage préventif adopté en cours d'année 2023 (à la suite d'une mortalité jugée significative) en concertation avec l'exploitant reste nécessaire, il sera adapté avec les résultats de l'année complète. »

« Afin de pouvoir conclure sur des résultats fiables une année supplémentaire d'écoute sur nacelle d'éolienne est nécessaire ».

L'année 2024/2025 vient confirmer la répartition par cortège et la fréquentation du site : forte présence de Pipistrelle commune, groupe d'espèces essentiellement de haut-vol (sensibles à l'éolien), et activité globale modérée (2 138 contacts en 2024/2025).

L'activité est plus forte en été, particulièrement au mois de juin, elle est non négligeable en automne (surtout au mois de septembre) et reste présente mais plus faiblement au printemps. La possibilité d'une population locale peut donc être émise.

Si l'on se concentre sur le cumul des deux années de suivi en nacelle on note que l'activité était plus importante en 2023 avec 3 948 contacts malgré le fait que seuls l'été et l'automne y aient été inventoriés. Il faut cependant relativiser : d'une année sur l'autre en fonction des conditions météorologiques et d'un panel d'autres facteurs non mesurables (proies, migrations, naissances...) le comportement des chiroptères peut être très différent. Il est néanmoins à retenir que le site est bien utilisé par les espèces du genre Pipistrellus, sensibles à l'éolien. Par ailleurs, l'activité des chiroptères peut atteindre les 6 m/s la nuit ce qui est une donnée importante pour les mesures de réductions en place.

En conclusion : le site de Saint-Gildas (22) présente une activité chiroptérologique non négligeable, qui est plutôt concentrée en été et automne. Le plan de bridage préventif adopté en 2023 en concertation avec l'exploitant reste nécessaire, il sera adapté avec les résultats 2024/2025.

4 Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères

4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation

4.1.1 Durée moyenne de l'intervalle

La durée moyenne de l'intervalle (I) entre deux prospections est déterminée afin d'être prise en compte dans les calculs d'estimation de la mortalité. Le suivi de la mortalité présente une période renforcée (deux sorties par semaine en septembre 2024). Pour limiter le biais lié à ce déséquilibre, l'intervalle moyen a été calculé pour chaque période où le nombre de passage par semaine est homogène.

L'intervalle moyen de la période 1 (mi-mai à août 2024, octobre 2024, avril à mi-mai 2025, un passage par semaine) **est : I1 = 6,91 jours ;**
L'intervalle moyen de la période 2 (septembre, deux passages par semaine) **est : I2 = 3,38 jours.**

4.1.2 Efficacité du chercheur

Le test d'efficacité a pour but de déterminer l'efficacité du chercheur afin d'inclure ce paramètre dans l'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Test	Chercheur	Date	Nombre de cadavres déposés	Nombre de cadavres trouvés
T1	Hugo PONTY	04/06/2024	15	9
T2	Hugo PONTY	03/09/2024	20	13
Total			35	22

Tableau 12 : Résultats des tests d'efficacité

Le coefficient d'efficacité du chercheur est : d = 0,63.

4.1.3 Persistance des cadavres

Le test de persistance a pour but de déterminer la durée moyenne de persistance des cadavres. Ce paramètre est ensuite inclus dans les méthodes d'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Test	Date	Nombre de cadavres déposés	Nombre de cadavres restant					À la fin du test
			J+1	J+3	J+6	J+9	J+13	
T1	04/06/2024	15	3	2	0	0	0	0
T2	03/09/2024	20	13	4	0	0	0	0
Total		35	16	6	0	0	0	0

Tableau 13 : Résultats des tests de persistance

La durée moyenne de persistance des cadavres est : t = 1,61 jours.

4.1.4 Surfaces prospectées et correction surfacique

La correction surfacique appliquée à l'estimation de la mortalité est calculée d'après les surfaces prospectées sur le terrain, synthétisées dans le tableau suivant (cf. tableau complet en Annexe 9 : Surfaces prospectées par éolienne et par sortie lors du suivi de la mortalité). Celle-ci varie au cours du suivi, notamment en fonction de l'occupation des sols et de leur gestion. Pour rappel, la surface théorique de prospection est de 10 000 m² par éolienne soit 40 000 m² par prospection pour l'ensemble du parc.

Surface prospectée / éolienne (m²)					
Éolienne	1	2	3	4	Total
Moyenne sur l'ensemble du suivi	6 762	5 439	6 010	5 621	23 831
Proportion (%)	67,62	54,39	60,10	56,21	59,58

Tableau 14 : Synthèse des surfaces prospectées

La proportion moyenne de surface prospectée sur l'ensemble du suivi est d'environ 0,60 (soit 60 %).
Le coefficient de correction surfacique moyen sur l'ensemble du parc et des prospections est de : A = 1,68.

4.2 Mortalité de l’avifaune

4.2.1 Bilans national et européen de la mortalité de l’avifaune

Le bilan national suivant s’appuie sur le rapport « le parc éolien français et ses impacts sur l’avifaune, LPO, 2017 ».

En France, 5 156 éoliennes étaient déjà construites et en fonctionnement en avril 2016, et 1 017 autres ont obtenu un permis de construire et d’exploitation. Les parcs en France avaient en moyenne 7,7 machines d’une hauteur moyenne de 139 mètres en bout de pale. Sur l’ensemble des éoliennes du parc français, seulement 645 avaient fait l’objet d’un suivi de la mortalité, soit 12,5 %.

Parmi les suivis réalisés, seuls 80 % avaient été effectués sur une surface d’au moins un ha. Le nombre de prospections était variable, allant d’un passage à l’année à plusieurs passages par semaine tout au long de l’année. Au total 37 839 prospections avaient été réalisées, le plus souvent au printemps, en été et en automne.

Au total, 31 parcs possédaient un suivi acceptable (au moins 26 semaines de suivi avec un passage par semaine). Lors de ces suivis, 485 cadavres avaient été notés sur 189 éoliennes soit environ 1,24 oiseau/éolienne/an.

Si l’on se concentre sur les neuf parcs ayant fait l’objet d’un suivi plus robuste (au moins une sortie par semaine pendant 48 semaines lors d’une année sur une surface d’au moins 50 mètres autour de l’éolienne), on dénombre 293 cadavres d’oiseaux pour 49 éoliennes, soit un ratio de 2,15 oiseaux/éolienne/an. Pour remarque : « [...] les neuf parcs évoqués ci-dessus se trouvent soit en ZPS (pour 5 d’entre eux), soit à proximité immédiate (476 m, 574 m, 1 027 m et 1 874 m de la ZPS la plus proche) [...] ». Ainsi en fonction des parcs et des suivis, la mortalité brute variait entre 1,24 à 2,15 oiseaux/éolienne/an.

Pour finir, huit parcs avaient fait l’objet d’estimation selon les quatre méthodes préconisées soit 1,38 % des éoliennes françaises. Ces parcs possédaient tous une sensibilité particulière : proximité d’une ZPS, de forêts de feuillus ou présence d’une mosaïque de milieux. Les estimations étaient comprises entre 0,3 et 26,8 oiseaux/éolienne/an. Toutefois, une fois exclu des calculs un parc comprenant une forte mortalité de pigeons (présence d’un silo à grain à proximité), la mortalité estimée était de 0,3 à 7,6 oiseaux/éolienne/an, soit une moyenne de 4,2 et une médiane de 3,6.

D’un point de vue qualitatif (figure suivante et Annexe 5 : Cas de collision avec l’avifaune recensés en France et en Europe au 9 août 2023 (d’après Dürr, 2023)), les groupes d’espèces les plus impactés en Europe sont, par ordre décroissant, les Passeriformes, les Accipitriformes, les Charadriiformes puis les Falconiformes (d’après Dürr, 2023).

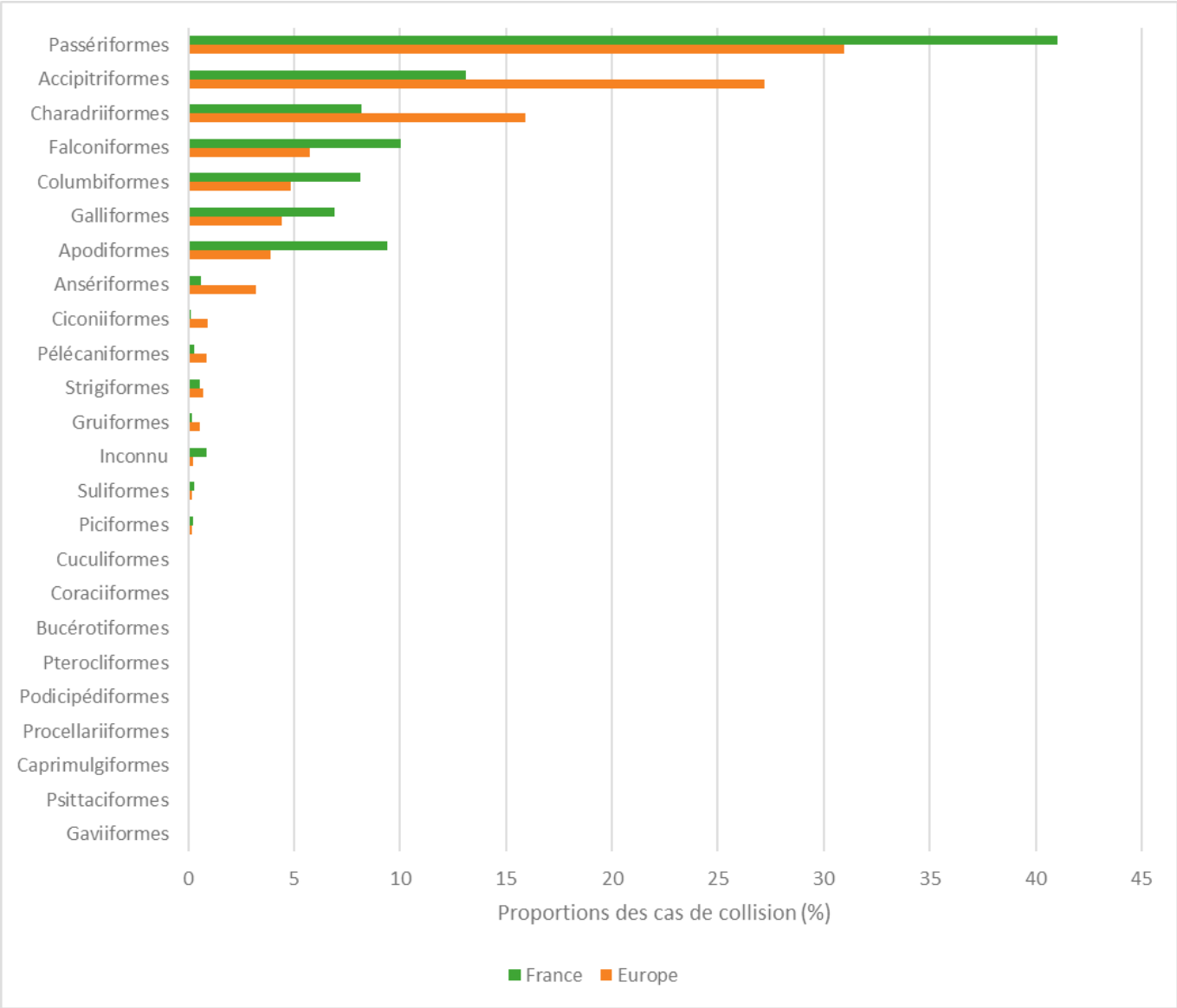


Figure 29 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d’après Dürr, 2023)

4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'état initial, réalisé en 2009 par le bureau d'étude AEPE-Gingko, a révélé la présence de 44 espèces mais considère que les risques de collisions sont très faibles et que les impacts sur l'avifaune sont négligeables. Par ailleurs, le suivi environnemental réalisé en 2016 par AEPE-Gingko indique que des inventaires ornithologiques ont été réalisés dans le cadre de l'étude d'impact par le GEOCA. Sur la base de ces données d'état initial, l'étude d'impact a défini une liste d'espèces à enjeu et sensibles au risque de collision dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité :

- la Busard Saint-Martin ;
- le Faucon crécerelle ;
- le Vanneau huppé ;
- l'Alouette des champs ;
- le Tarier pâtre.

4.2.3 Mortalité brute de l'avifaune en 2024-2025

4.2.3.1 Résultats globaux

Quatre cas de mortalité d'oiseaux d'espèces différentes ont été retrouvés durant la période de suivi (cf. tableau suivant). Les espèces concernées sont : l'Alouette des champs, l'Étourneau sansonnet, la Linotte mélodieuse et la Sterne pierregarin. Cette dernière espèce appartient à l'ordre des Charadriiformes tandis que les trois autres appartiennent à l'ordre des Passeriformes. Ces ordres font effectivement partie des groupes les plus retrouvés en France et en Europe (cf. chapitre Bilans national et européen de la mortalité de l'avifaune).

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques de chaque cadavre recensé durant le suivi.

Date de découverte	Espèce	Éolienne	Statut biologique	Sexe	Âge	Source
01/07/2024	Étourneau sansonnet	E2	Reproducteur	Indéterminé	Indéterminé	Protocole
09/04/2025	Linotte mélodieuse	E1	Reproducteur	Mâle	Adulte	
09/04/2025	Sterne pierregarin	E3	Migrateur prénuptial	Indéterminé	Adulte	
16/04/2025	Alouette des champs	E4	Reproducteur	Indéterminé	Adulte	

Tableau 15 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité

4.2.3.2 Résultats saisonniers

Au cours de ce suivi, les cadavres d'oiseaux ont été retrouvés durant les mois de juillet 2024 et avril 2025 (cf. figure suivante).

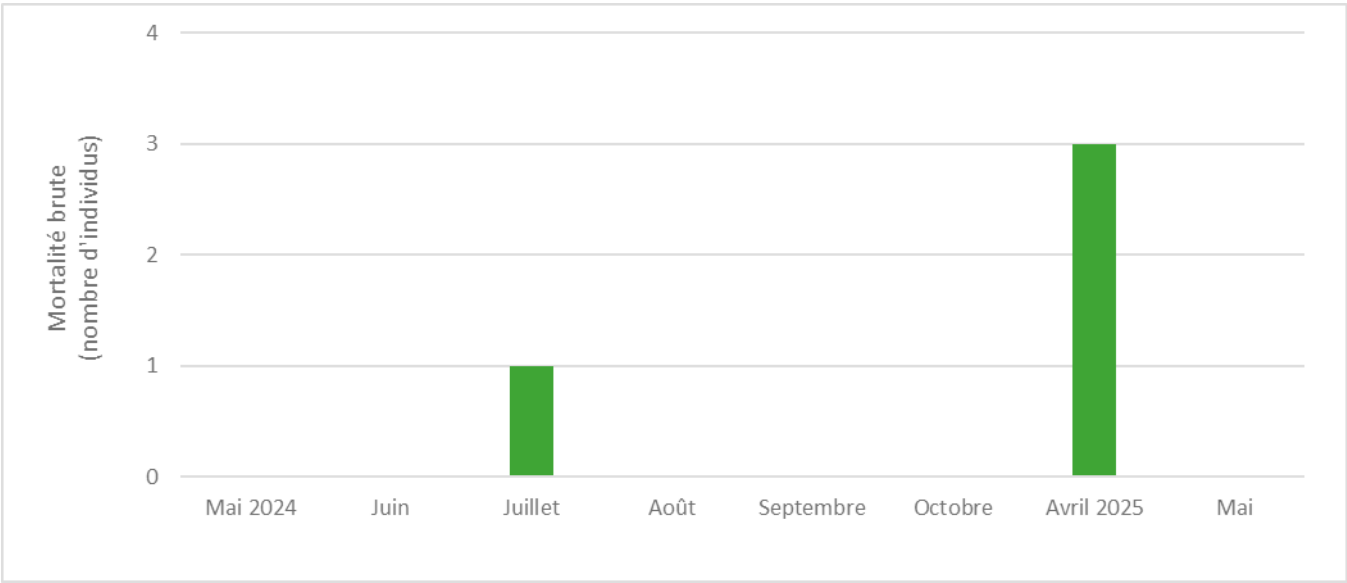


Figure 30 : Mortalité brute de l'avifaune observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

La mortalité observée est la plus élevée au mois d'avril 2025 avec trois individus recensés, suivie du mois de juillet avec un individu. D'après les espèces retrouvées et la phénologie de leurs phases biologiques, les cas de mortalité sont attribués en majorité à des nicheurs (Étourneau sansonnet, Linotte mélodieuse et Alouette des champs). La Sterne pierregarin a quant à elle été considérée comme un migrateur prénuptial.

Ainsi, la tendance serait à une mortalité plus importante pour les nicheurs, sans pour autant pouvoir le confirmer. Par exemple, les périodes de migration prénuptiale et postnuptiale n'ont pas été intégralement couvertes par le suivi, celui-ci ayant débuté en avril et s'étant terminé en octobre. Or, de façon générale, la période de migration prénuptiale débute en février, et celle de la migration postnuptiale se termine en novembre. Il est donc possible que des cas de mortalité de migrants n'aient pas pu être recensés. La période hivernale n'a quant à elle pas été concernée par ce suivi.

La mortalité brute (échantillon observé) de l'avifaune sur le parc de Kerdrouallan est de quatre individus de quatre espèces différentes sur la période de suivi s'étalant de mi-mai à octobre 2024 et avril à mi-mai 2025.

La mortalité observée est la plus élevée au moins d'avril 2025 avec trois individus recensés, suivie du mois de juillet avec un individu. Elle concerne en majorité des nicheurs.

4.2.3.3 Résultats par éolienne

Durant ce suivi, toutes les éoliennes ont été concernées par un cas de mortalité (cf. carte suivante). Ainsi, la mortalité semble répartie de façon homogène sur le parc.



Carte 4 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne

Toutes les éoliennes ont été concernées par un cas de mortalité durant le suivi 2024-2025.

4.2.4 Estimation de la mortalité réelle de l'avifaune en 2024-2025

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi, selon les différentes méthodes retenues (estimations calculées via le logiciel EolApp du CEFÉ Montpellier, <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp>). L'intervalle de confiance à 95 % est également mentionné.

Méthodes	Mortalité estimée (individus / période)		
	Période 1	Période 2	Globale
	Mi-mai à août 2024, octobre 2024 et avril à mi-mai 2025 (1 sortie/sem.)	Septembre (2 sortie/sem.)	Mi-mai à octobre 2024, avril à mi-mai 2025
Erickson	55,03 (33,02 - 90,92)	0	55,03 (33,02 - 90,92)
Huso	55,85 (33,56 - 92,15)	0	55,85 (33,56 - 92,15)
Jones	110,63 (64,64 - 187,00)	0	110,63 (64,64 - 187,00)

Entre parenthèses : intervalles de confiance à 95 %.
* Lorsque la borne inférieure de l'intervalle de confiance est inférieure à la mortalité brute, cette dernière est remplacée par la valeur de mortalité brute.

Tableau 16 : Mortalité estimée de l'avifaune sur l'ensemble de la période de suivi

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 56 à 111 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 34 et 187 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Les paramètres correcteurs peuvent exercer une influence forte sur les estimations et les intervalles de confiance. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives comme la persistance des cadavres qui reflète une disparition rapide sur le parc ($t = 1,61$ jours), tandis que l'intervalle moyen entre les sorties est de 6,09 jours. De plus, le taux de détectabilité des cadavres (63 %) n'assure pas une détection certaine de tous les cadavres. En outre, la correction surfacique est assez élevée ($A = 1,68$), étant donné le grand nombre de zones n'ayant pu être prospectées, dû notamment à la présence de cultures, de travaux agricoles et de maintenances (60 % de la surface prospectée en moyenne).

4.2.5 Causes potentielles de la mortalité de l'avifaune

Il existe de nombreux facteurs pouvant engendrer ou accroître les risques de collision des oiseaux avec les turbines :

- le **comportement** (d'une espèce en général ou d'individus en particulier),
- la **période** (les comportements et l'abondance des individus peuvent être modifiés en fonction des différentes phases biologiques),
- la **localisation du parc** (présence de relief, de couloir de migration, de zones d'intérêt pour l'alimentation ou le repos, etc.) ;
- les **caractéristiques des éoliennes** (nombre d'éolienne, agencement, taille et hauteur du rotor, etc.) ;
- les **conditions météorologiques** (brouillard, vent, etc.).

D’après les caractéristiques des individus retrouvés, et les analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, plusieurs causes récurrentes peuvent être à l’origine de la mortalité sur le parc de Kerdrouallan :

La distribution saisonnière des cas de mortalité révèle une mortalité brute plus forte lors de la saison de reproduction. En outre, et étant donnée leur phénologie, les individus retrouvés durant cette période semblent effectivement avoir été tués lors de leur nidification. Compte tenu de ces éléments, le parc éolien de Kerdrouallan pourrait impacter particulièrement les oiseaux en reproduction.

L’Alouette des champs, espèce de paysages agricoles ouverts, construit son nid en le dissimulant la plupart du temps dans une touffe d’herbe qu’elle trouve dans les champs. Par ailleurs, le développement important du milieu herbacé sur les plateformes des éoliennes peut favoriser l’installation d’un nid sur les plateformes et donc la mortalité des individus. Le parc de Kerdrouallan semble ainsi présenter un risque sur les passereaux nichant au sol. Toutefois, la mortalité engendrée sur cette espèce reste relativement faible.

Le parc est implanté dans un paysage bocager relativement ouvert (entrecoupé de quelques haies et d’un boisement à proximité des éoliennes), qui correspond aux habitats fréquentés par la plupart des espèces découvertes (Alouette des champs, Linotte mélodieuse et Étourneau sansonnet).

Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à :

- la période de reproduction qui semble être une période davantage à risque au vu de la mortalité brute observée sur le parc ;
- l’implantation du parc dans un milieu bocager relativement ouvert, constituant un habitat fréquenté par les espèces des cortèges bocagers et agricoles, ainsi que l’habitat préférentiel pour la reproduction de l’Alouette des champs ;
- l’attractivité des plateformes par le développement d’un milieu herbacé, pouvant engendrer un risque accru sur les passereaux nichant au sol.

4.2.6 Incidences spécifiques du parc éolien sur l’avifaune

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation des espèces ayant été recensées, ainsi que leur sensibilité face au risque de collision avec les éoliennes.

Espèce	Statut de protection		Statut de conservation national (UICN)						Déterminant ZNIEFF	Sensibilité (collision)	Effectifs
	Directive Oiseaux	Oiseaux protégés (France)	Europe	France			Bretagne				
				R	H	M	R	M			
Alouette des champs	Annexe II/2	Chassable	LC	NT	LC	NA	VU	DD	Non	0	1
Étourneau sansonnet	Annexe II/2	Chassable	LC	LC	LC	NA	LC	LC	Non	1	1
Linotte mélodieuse	-	Article 3	LC	VU	NA	NA	LC	DD	Non	0	1
Sterne pierregarin	Annexe I	Article 3	LC	LC	NA	LC	LC	DD	Non	2	1

LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi-menacée / VU : Vulnérable / EN : En danger / CR : En danger critique / DD : Données insuffisantes / NA : Non applicable. R : Reproduction / H : Hivernage / M : Migration. 1 : déterminant seulement sur les sites naturels.

: Éléments de patrimonialité.

Tableau 17 : Statuts des différentes espèces impactées et effectifs associés

4.2.6.1 Espèces patrimoniales

Parmi les quatre espèces concernées par des cas de mortalité, trois espèces sont considérées comme patrimoniales et décrites ci-après. Les références utilisées pour étayer les tendances et évolutions des populations des espèces patrimoniales sont les suivantes :

- https://pecbms.info/trends-and-indicators/species-trends (consulté en juillet 2025) ;
- www.iucnredlist.org (consulté en juillet 2025) ;
- www.vigienature.fr (consulté en juillet 2025) ;
- Issa, N. & Muller, Y. coord., 2015. Atlas des oiseaux de France métropolitaine. Nidification et présence hivernale. LPO / SEOF. MNHN. Delachaux et Niestlé, Paris, 1 408 p. ;
- GOB (coord.), 2012. Atlas des oiseaux nicheurs de Bretagne. Groupe ornithologique breton, Bretagne Vivante-SEPNB, LPO 44, Groupe d’études ornithologiques des Côtes-d’Armor. Delachaux et Niestlé, 512 p.

L’Alouette des champs (*Alauda arvensis*) affectionne les milieux ouverts, tels que les plaines agricoles, les landes, les marais, les prairies et les pâturages.

En Europe, la population accuse un déclin modéré (- 56 % entre 1980 et 2023), tendance que l’on retrouve au niveau national (- 25 % entre 2001 et 2018). En région Bretagne, cette diminution est également effective bien que non chiffrée.

L’Alouette des champs est classée « Quasi menacée » en période de reproduction aux niveaux national et est classée « Vulnérable » en Bretagne. Un cas de mortalité a été recensé lors du suivi. Une fiche de déclaration d’incident faune volante a été transmise à l’exploitant en raison du statut menacé de l’espèce. L’Alouette des champs a été qualifiée comme un passereau à enjeu au moment de l’étude d’impact.

Plusieurs mâles chanteurs ont été entendus lors du suivi, dont certains observés au sein des quadrats de prospection. Cette proximité engendre un risque de collision lors des vols de parade, durant lesquels les oiseaux s’élèvent à hauteur de pales. Cette proximité peut être favorisée par la végétation présente sur les plateformes qui peut abriter des nids d’Alouette des champs, comme observé en 2023 sous l’éolienne E3.

Ainsi, l’impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif pour le suivi 2024-2025. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d’éventuels nouveaux cas surviennent, afin de rechercher comment en limiter les causes.

La Linotte mélodieuse (*Linaria cannabina*) est adepte des milieux ouverts à couvert herbacé ras ou absent et à végétation basse et clairsemée (haies, buissons, jeunes arbres épars).

En Europe, la population accuse un déclin modéré (-57 % entre 1980 et 2023). La population décline également en France (- 14 % entre 2001 et 2018). La tendance est inconnue en région Bretagne.

La Linotte mélodieuse est classée « Vulnérable » en période de reproduction aux niveaux national et est classée « Préoccupation mineure » en Bretagne. Un cas de mortalité a été recensé lors du suivi. Une fiche de déclaration d’incident faune volante a été transmise à l’exploitant en raison du statut menacé de l’espèce. La Linotte mélodieuse n’était pas qualifiée comme une espèce à enjeu lors de l’étude d’impact.

L’impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif pour le suivi 2024-2025. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d’éventuels nouveaux cas surviennent, afin de rechercher comment en limiter les causes.

La Sterne pierregarin (*Sterna hirundo*) fréquente principalement les marais, les plans d'eau et les grandes rivières poissonneuses.

En Europe, la population serait en augmentation. La population est stable en France (- 1 % entre 2001 et 2018).

La Sterne pierregarin est classée « Préoccupation mineure » en période de reproduction et de migration au niveau national. Elle est également classée « Préoccupation mineure » en période de reproduction en Bretagne. Un cas de mortalité d'un individu migrateur a été recensé lors du suivi. La Sterne pierregarin n'était pas qualifiée comme une espèce à enjeu lors de l'étude d'impact.

L'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif pour le suivi 2024-2025. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent, afin de rechercher comment en limiter les causes.

4.2.6.2 Autres espèces

L'autre espèce concernée par un cas de mortalité est l'Étourneau sansonnet. Compte tenu du faible nombre de cas de mortalité observé (mortalité brute) et de l'absence de statut de conservation défavorable, l'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif sur les populations de cette espèce pour le suivi 2024-2025. À noter cependant que les estimations de la mortalité réelle sont élevées.

4.2.7 Comparaisons des suivis 2024-2025, 2023 et 2016-2017

4.2.7.1 Mortalité brute

4.2.7.1.1 Résultats globaux

La comparaison de la mortalité sur le parc de Kerdrouallan est basée sur les sorties effectuées en 2016-2017 (AEPE-Gingko), 2023 et 2024-2025 (ENCIS Environnement ; cf. tableau suivant).

Année	Nombre d'éoliennes suivies	Période suivie	Protocole	Surface prospectée moyenne	Persistance moyenne	Efficacité du chercheur	Intervalle moyen	Nombre de sorties
2016-2017	Toutes	Mars à octobre	Standardisé (2015)	0,64	4,27	0,88	7	32
2023	Toutes	Mai à octobre	Standardisé (2018)	0,38	2,96	0,80	7	24
2024/2025	Toutes	Avril à octobre	Standardisé (2018)	0,6	1,61	0,63	6	35

Tableau 18 : Paramètres des suivis réalisés

La variation des valeurs des paramètres chaque année rend difficile la comparaison de la mortalité brute. On observe toutefois que trois oiseaux ont été retrouvés en 2016-2017, huit en 2023 (+ un individu en hors protocole) et quatre en 2024, soit 16 individus au total si l'on prend en compte l'individu trouvé hors protocole (cf. tableau suivant). La mortalité observée en 2023 est deux fois supérieure à celles de 2016-2017 et 2024-2025 malgré un protocole plus restreint (périodes suivies, nombre de sortie) et une diminution de la valeur des paramètres (surface prospectée, persistance des cadavres). La mortalité brute recensée en 2016-2017 est similaire à celle de 2024-2025.

Au moins 11 espèces ont été impactées par les éoliennes dont cinq espèces patrimoniales et/ou à enjeu : l'Alouette des champs (deux individus), le Faucon crécerelle, la Linotte mélodieuse, le Martinet noir et la Sterne pierregarin (un individu chacun). Les espèces les plus retrouvées sont l'Alouette des champs et le Pinson des arbres (deux individus chacun). Seule l'Alouette des champs a été recensée sur plusieurs années.

Espèce	Année			Total
	2016-2017	2023	2024-2025	
Alouette des champs	0	1	1	2
Corneille noire / Choucas des tours	0	1 (+1 HP)	0	1 (+1 HP)
Étourneau sansonnet	0	0	1	1
Faisan de Colchide	0	1	0	1
Faucon crécerelle	1	0	0	1
Linotte mélodieuse	0	0	1	1
Martinet noir	1	0	0	1
Mésange à longue queue	1	0	0	1
Pigeon ramier	0	1	0	1
Pinson des arbres	0	2	0	2

Parmi les espèces à enjeu ciblées lors de l'étude d'impact, un cas de mortalité a été avéré lors du suivi 2024-2025 pour l'Alouette des champs. Deux autres cas de mortalité d'espèce patrimoniale ont également été recensés : une Linotte mélodieuse et une Sterne pierregarin.

À partir des cas de mortalité avérés (mortalité brute), des statuts de conservation et des dynamiques de populations des espèces concernées, le parc de Kerdrouallan ne représente pas d'impact significatif sur une espèce particulière en 2024-2025. Cependant, la mortalité réelle est estimée à au moins 34 individus sur la période de suivi et pourrait atteindre 187 individus. Elle est en outre susceptible de concerner des espèces patrimoniales et/ou menacées telles que l'Alouette des champs, la Linotte mélodieuse et la Sterne pierregarin dont des cas de mortalité ont été avérés. En conséquence, il est préconisé de réaliser un nouveau suivi de la mortalité en 2026 afin de surveiller d'éventuels nouveaux cas de mortalité pour ces espèces menacées.

Espèce	Année			Total
	2016-2017	2023	2024-2025	
Sterne pierregarin	0	0	1	1
Oiseau indéterminé	0	2	0	2
Total	3	7 (+1 HP)	4	15 (+1 HP)

Tableau 19 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Un total de 16 cas de mortalité d'au moins 11 espèces différentes (en considérant l'individu trouvé en dehors du protocole en 2023) a été recensé pour les trois années de suivi. Parmi ces individus, cinq espèces sont patrimoniales et/ou à enjeu : l'Alouette des champs, le Faucon crécerelle, la Linotte mélodieuse, le Martinet noir et la Sterne pierregarin. Les espèces les plus retrouvées sont l'Alouette des champs et le Pinson des arbres (deux individus chacun).

La mortalité recensée en 2023 est deux fois supérieure à celles de 2016-2017 et 2024-2025 alors que le nombre de sorties et la surface prospectée moyenne étaient inférieurs. La mortalité brute recensée en 2016-2017 (trois individus) est similaire à celle de 2024-2025 (quatre individus).

4.2.7.1.2 Résultats saisonniers

En 2016-2017, les phases biologiques de reproduction et de migration postnuptiale avaient été concernées par des cas de mortalité (cf. tableau suivant). En 2023, la mortalité brute a plus que doublé avec davantage de reproducteurs retrouvés (les deux plumées non identifiées ont été découvertes en période théorique de reproduction). Aucun cas n'a été recensé lors de la migration prénuptiale et postnuptiale en 2016-2017. À noter que seule la fin de la période de migration prénuptiale avait été suivie. En 2024-2025, un migrateur prénuptial et des nicheurs ont été recensés.

Au total, la mortalité brute recensée en période de reproduction est nettement supérieure aux autres périodes biologiques suivies. Le seul migrateur prénuptial a été recensé lors du suivi 2024-2025 et les deux migrateurs postnuptiaux ont été recensés en 2016-2017.

La période hivernale n'a pas été suivie.

Année	Migrateurs prénuptiaux	Reproducteurs	Migrateurs postnuptiaux
2016-2017	0	1	2
2023	0	8	0
2024-2025	1	3	0
Total	1	12	2

Tableau 20 : Mortalité brute de l'avifaune sur l'ensemble du parc en fonction de la phase biologique en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Compte tenu des résultats obtenus sur les trois années, il est possible que la période de reproduction soit la plus impactante pour l'avifaune. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des faibles valeurs de surface prospectée et de persistance des cadavres, ainsi que de la couverture incomplète des périodes de migration.

1.1.1.1.1 Résultats spatialisés

Des cadavres d'oiseaux ont été retrouvés sous deux éoliennes en 2016-2017 (E3 et E4) et sous toutes les éoliennes en 2023 et 2024-2025 (cf. tableau suivant). Au total, la mortalité brute recensée est plus importante pour l'éolienne E3 (sept individus dont un hors protocole), suivie par l'éolienne E4 (cinq individus). La mortalité brute pour les éoliennes E1 et E2 est quant à elle similaire (deux individus chacune).

Année	E1	E2	E3	E4
2016-2017	0	0	1	2
2023	1	1	4 (+1 HP)	2
2024-2025	1	1	1	1
Total	2	2	6 (+1 HP)	5

Tableau 21 : Mortalité brute de l'avifaune par éolienne en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

La mortalité brute recensée est plus importante pour l'éolienne E3 (sept individus dont un hors protocole), suivie par l'éolienne E4 (cinq individus), E1 et E2 (deux individus chacune). Des cas de mortalité ont été recensés sous toutes les éoliennes en 2023 et 2024-2025.

4.2.7.2 Mortalité estimée

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur les périodes de suivi des années 2016-2017, 2023, 2024-2025 selon les différentes méthodes retenues. En raison du plan d'échantillonnage qui diffère entre les années (par exemple la non-couverture du mois d'avril et début mai en 2023), la comparaison de ces estimations est à interpréter avec précaution. La comparaison avec le suivi 2016-2017 n'est quant à elle pas possible en raison de l'absence des intervalles de confiance et de l'estimateur Jones.

Méthodes	Mortalité estimée		
	2016-2017	2023	2024-2025
Erickson	10,3	60,29 (19,34 - 117,97)	55,03 (33,02 - 90,92)
Huso	12,7	66,72 (21,92 - 128,83)	55,85 (33,56 - 92,15)
Jones	Non utilisé	83,30 (26,77 - 165,37)	110,63 (64,64 - 187,00)
Entre parenthèses : intervalles de confiance à 95 %.			

Tableau 22 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Résultats 2016-2017 : la mortalité estimée varie de 11 à 13 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi. A noter l'absence des intervalles de confiance et de l'estimateur Jones rendant impossible les comparaisons avec les années suivantes.

Résultats 2023 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 61 à 84 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 20 et 166 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Résultats 2024-2025 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 56 à 111 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 34 et 187 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Les résultats d'estimations ne permettent pas d'apprécier l'évolution de la mortalité réelle entre 2023 et 2024-2025 (absence de différence significative en raison du recoupement des intervalles de confiance). Le nombre minimal de cadavres estimé est néanmoins supérieur en 2024-2025. Les résultats de 2016-2017 ne sont pas comparables en raison de l'absence des intervalles de confiance et de l'estimateur Jones.

4.2.8 Synthèse

- Résultats du suivi 2024-2025 :**
- *Quatre cas de mortalité d'oiseaux appartenant à quatre espèces différentes ont été retrouvés sur le parc éolien de Kerdrouallan lors du suivi s'étalant de mi-mai à octobre 2024 et avril à mi-mai 2025. Parmi ces espèces, l'Alouette des champs, la Linotte mélodieuse et la Sterne pierregarin sont patrimoniales.*
 - *La mortalité estimée varie selon les estimateurs de 56 à 111 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 34 et 187 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).*
 - *La mortalité observée est la plus importante au mois d'avril 2025 (trois individus) suivie du mois de juillet (un individu). La mortalité observée concerne en majorité des nicheurs (trois cas) ainsi qu'un migrateur prénuptial. La comparaison entre les périodes phénologiques doit être faite avec prudence en raison de la couverture partielle des périodes de migration prénuptiale et postnuptiale, de l'absence de suivi en période hivernale, et de la fréquence des passages qui diffère selon les périodes.*
 - *Toutes les éoliennes ont été concernées par des cas de mortalité.*
 - *Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à (1) la période de reproduction qui semble être une période davantage à risque au vu de la mortalité brute observée sur le parc ; (2) l'implantation du parc dans un milieu bocager relativement ouvert, constituant un habitat fréquenté par les espèces des cortèges bocagers et agricoles, ainsi que l'habitat préférentiel pour la reproduction de l'Alouette des champs ; (3) l'attractivité des plateformes par le développement d'un milieu herbacé, pouvant engendrer un risque accru sur les passereaux nichant au sol.*

- Résultats des trois années de suivi (2016-2017, 2023 et 2024-2025) :**
- *La variation des valeurs des paramètres chaque année rend difficile la comparaison de la mortalité brute. On observe toutefois que la mortalité totale recensée à l'issue des trois années de suivi est de 16 individus d'au moins 11 espèces différentes (en considérant l'individu trouvé en dehors du protocole en 2023) dont cinq sont patrimoniales et/ou à enjeu si l'on considère leur statut biologique au moment de leur découverte : l'Alouette des champs, le Faucon crécerelle, la*

- Linotte mélodieuse, le Martinet noir et la Sterne pierregarin. Les espèces les plus observées sur les trois années de suivi sont l'Alouette des champs et le Pinson des arbres (deux individus chacun). Seule l'Alouette des champs a été retrouvée sur plusieurs années en mortalité. La mortalité recensée en 2023 est deux fois supérieure à celles de 2016-2017 et 2024-2025 alors que le nombre de sorties et la surface prospectée moyenne étaient inférieurs. La mortalité brute recensée en 2016-2017 (trois individus) est similaire à celle de 2024-2025 (quatre individus).*
- *Il est possible que la période de reproduction soit la plus impactante pour l'avifaune avec un total de 12 cas pour les nicheurs, suivis par 2 cas pour les migrateurs postnuptiaux et un cas d'un migrateur prénuptial. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des faibles valeurs de surface prospectée et de persistance des cadavres, ainsi que de la couverture incomplète des périodes de migration ;*
 - *À la fin des trois années de suivi, l'éolienne E3 comptabilise le plus de cas de mortalité observés avec sept individus dont un hors protocole, suivie par l'éolienne E4 (cinq individus), E1 et E2 (deux individus chacune). Des cas de mortalité ont été recensés sous toutes les éoliennes en 2023 et 2024-2025 ;*
 - *Les résultats d'estimations ne permettent pas d'apprécier l'évolution de la mortalité réelle entre 2023 et 2024-2025 (absence de différence significative en raison du recoupement des intervalles de confiance). Le nombre minimal de cadavres estimé est néanmoins supérieur en 2024-2025. Les résultats de 2016-2017 ne sont pas comparables en raison de l'absence des intervalles de confiance et de l'estimateur Jones.*

Conclusion sur l'impact du parc sur l'avifaune :

Les résultats du suivi 2024-2025 ne mettent pas en évidence un impact significatif sur une espèce particulière. Il existe cependant une incertitude élevée concernant la mortalité réelle, qui correspond à l'impact effectif du parc sur l'avifaune. Cette incertitude est notamment liée aux paramètres inhérents à l'environnement du parc, tels que la surface prospectée et la persistance des cadavres, dont les valeurs sont faibles. La mortalité réelle est estimée à au moins 34 individus et pourrait atteindre 187 individus. Elle est en outre susceptible de concerner des espèces patrimoniales et/ou menacées telles que l'Alouette des champs, la Linotte mélodieuse, la Sterne pierregarin et le Faucon crécerelle dont des cas de mortalité ont été avérés à l'issue des trois années de suivi. Pour ces raisons, l'impact du parc éolien de Kerdrouallan pourrait s'avérer significatif sur certaines espèces. Par conséquent, un nouveau suivi de la mortalité est préconisé et est décrit dans le chapitre « Suivi de la mortalité », afin d'acquérir des connaissances supplémentaires sur la mortalité générée par le parc et déterminer s'il exerce ou non un impact significatif sur l'avifaune.

4.3 Mortalité des chiroptères

4.3.1 Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères

4 594 cas de collision avec les éoliennes ont été recensés en France au 9 août 2023 (Dürr, 2023). L'espèce la plus fortement impactée (environ 42 %) est de loin la Pipistrelle commune (cf. Annexe 7 : Cas de collision avec des chiroptères recensés en France et en Europe au 9 août 2023 (d'après Dürr, 2023) et figure suivante). La Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle de Kuhl et les Pipistrelles indéterminées sont retrouvées dans de plus faibles proportions (environ 9 % respectivement). Enfin, dans des proportions encore plus faibles, la Noctule commune (environ 6 %), la Noctule de Leisler (environ 5 %), et la Pipistrelle pygmée (environ 4 %) sont identifiées. Il est précisé qu'environ 10 % des chiroptères retrouvés restent indéterminés.

Au niveau européen, la Pipistrelle commune est aussi l'espèce la plus impactée, suivie par la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune et les Pipistrelles indéterminées.

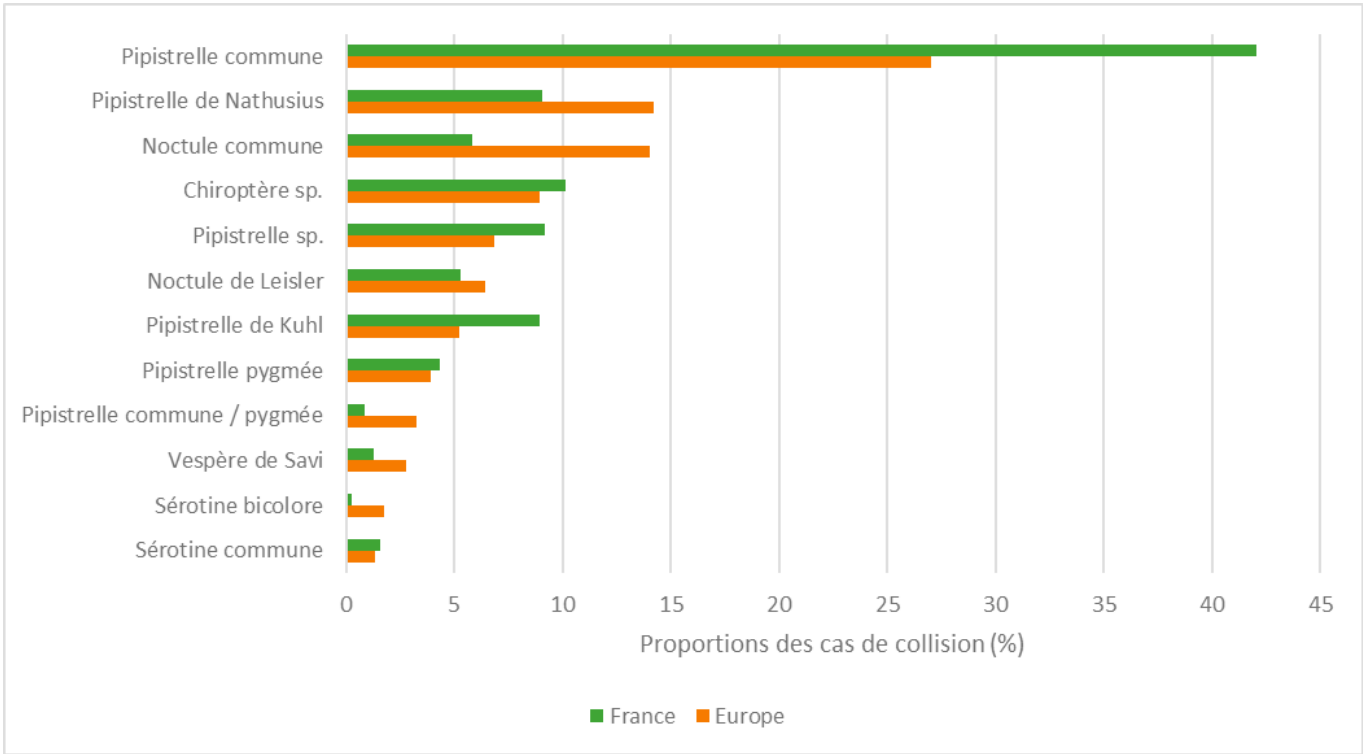


Figure 31 : Proportions des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe (espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2023)

4.3.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact et du suivi 2023

L'inventaire réalisé par la SEPNEB sur la durée d'un cycle annuel (2007), a permis d'identifier seulement deux espèces : le Murin à moustaches et la Pipistrelle commune. Cependant, au regard de la faible pression d'inventaire établie lors de l'état initial et de l'absence d'écoute à hauteur de nacelle, il est très probable que d'autres espèces, dont des espèces de haut-vol, soient présentes sur le site. Cela a été confirmé par les écoutes en nacelle lors du suivi 2023 (ENCIS Environnement) avec la présence d'au moins sept espèces : la Sérotine commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, l'Oreillard roux et un Murin sp. Parmi ces espèces, toutes exceptée la Pipistrelle de Kuhl, sont des chiroptères patrimoniaux et/ou à enjeu.

4.3.3 Mortalité brute des chiroptères en 2024-2025

4.3.3.1 Résultats globaux

Un cadavre de Pipistrelle commune a été retrouvé durant la période de suivi (cf. tableau suivant). Cette espèce est la plus recensée en mortalité en France et en Europe (cf. chapitre Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères).

Le tableau suivant synthétise les caractéristiques du cadavre recensé durant le suivi.

Date	Espèce	Éolienne	Statut biologique	Sexe	Âge	Source
16/10/2024	Pipistrelle commune	E4	Transits automnaux et swarming	Mâle	Adulte	Protocole

Tableau 23 : Chiroptères découverts lors du suivi mortalité

Une Pipistrelle commune a été recensée en suivi mortalité pendant la période d'inventaire s'étalant de mi-mai à octobre 2024 et avril à mi-mai 2025.

4.3.3.2 Résultats saisonniers

Au cours de ce suivi, le cadavre de chiroptères a été retrouvé en octobre 2024 pendant la période de transit automnal et de swarming (cf. figure suivante).

Il est important de noter que d'autres cas de mortalité aient pu avoir eu lieu sans avoir été détecté en raison des paramètres cités précédemment (surface prospectée, taux de détection et vitesse de disparition des cadavres, etc.). La période de transit printanier, qui débute de manière générale en mars, n'a également pas été entièrement couverte par le suivi, celui-ci ayant démarré en avril.

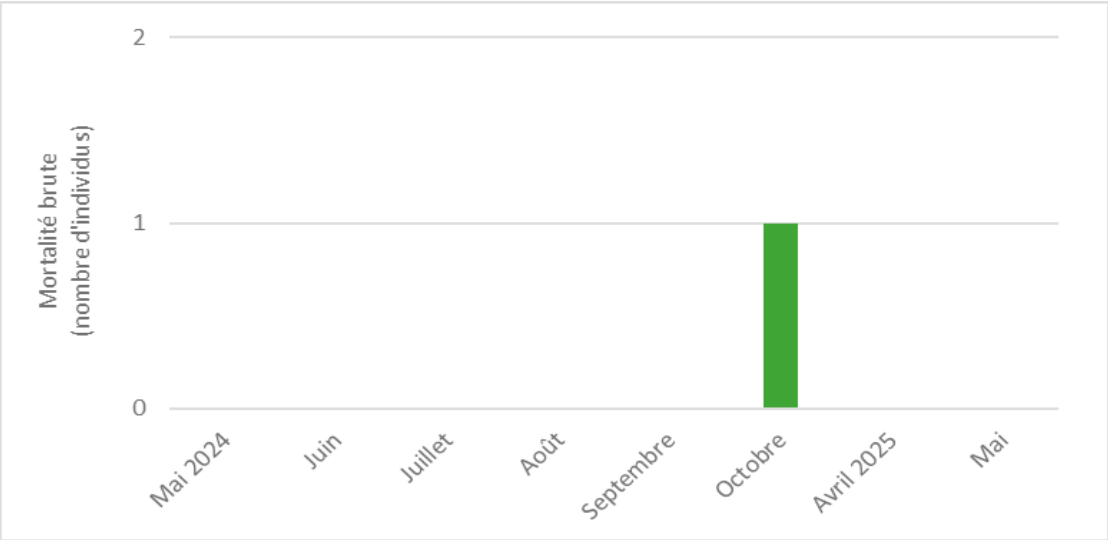


Figure 32 : Mortalité brute des chiroptères observée par mois sur le parc pendant la période de suivi

L'unique cas de mortalité de chiroptère a été recensé en octobre 2024 pendant la période de transit automnal et de swarming.

4.3.3.3 Résultats par éolienne

Durant ce suivi, le chiroptère a été retrouvé sous l'éolienne E4 (cf. carte suivante). Étant donnés les facteurs tels que la prédation, la surface prospectée, etc., il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.



Carte 5 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne

Seule l'éolienne E4 a été concernée par un cas de mortalité durant le suivi 2024-2025.

4.3.4 Estimation de la mortalité réelle des chiroptères en 2024-2025

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi, selon les différentes méthodes retenues (estimations calculées via le logiciel EolApp du CEFE Montpellier, <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp>). L'intervalle de confiance à 95 % est également mentionné.

Méthodes	Mortalité estimée (individus / période)		
	Période 1	Période 2	Globale
	Mi-mai à août 2024, octobre 2024 et avril à mi-mai 2025, 1 sortie/sem.	Septembre, 2 sortie/sem.	Mi-mai à octobre 2024, avril à mi-mai 2025
Erickson	13,5 (2,06 - 100,03)	0	13,5 (2,06 - 100,03)
Huso	13,69 (2,09 - 102,11)	0	13,69 (2,09 - 102,11)
Jones	27,25 (4,11 - 202,89)	0	27,25 (4,11 - 202,89)
Entre parenthèses : intervalles de confiance à 95 %. * Lorsque la borne inférieure de l'intervalle de confiance est inférieure à la mortalité brute, cette dernière est remplacée par la valeur de mortalité brute.			

Tableau 24 : Mortalité estimée des chiroptères sur l'ensemble de la période de suivi

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 14 à 28 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 203 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Les paramètres correcteurs peuvent exercer une influence forte sur les estimations et les intervalles de confiance. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives comme la persistance des cadavres qui reflète une disparition rapide sur le parc (t = 1,61 jours), tandis que l'intervalle moyen entre les sorties est de 6,09 jours. De plus, le taux de détectabilité des cadavres (63 %) n'assure pas une détection certaine de tous les cadavres. En outre, la correction surfacique est assez élevée (A = 1,68), étant donné le grand nombre de zones n'ayant pu être prospectées, dû notamment à la présence de cultures, de travaux agricoles et de maintenances (60 % de la surface prospectée en moyenne).

4.3.5 Causes potentielles de la mortalité des chiroptères

Il existe de nombreux facteurs pouvant engendrer ou accroître les risques de collision des chiroptères avec les turbines :

- le **comportement** (d'une espèce en général ou d'individus en particulier),
- la **période** (les comportements et l'abondance des individus peuvent être modifiés en fonction des différentes phases biologiques),
- la **localisation du parc** (présence de boisements, de haies, de couloirs de transits, etc.) ;
- les **caractéristiques des éoliennes** (nombre d'éolienne, agencement, taille et hauteur du rotor, etc.) ;
- les **conditions météorologiques** (températures et vents favorables à l'activité, absence de précipitations, etc.).

D'après les caractéristiques des individus retrouvés, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, plusieurs causes récurrentes peuvent être à l'origine de la mortalité sur le parc de Kerdrouallan :

- La date de découverte du cas de mortalité observé, associée à la phénologie de l'espèce concernée (Pipistrelle commune), suggère une mortalité plus forte en période de transit automnal et de swarming. Cela peut s'expliquer par une activité relativement importante des chiroptères à cette période à proximité des éoliennes (cf. chapitre « Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères »). Un site de regroupement automnal pour la Pipistrelle commune est situé à Quintin à moins de 10 km de Saint-Gildas. Compte tenu de ces éléments, le parc éolien de Kerdrouallan pourrait effectivement représenter un risque pour les chiroptères en migration postnuptiale.
- La localisation du parc à proximité de boisements et de haies sont des facteurs favorisant la présence des chiroptères. Les pipistrelles évoluent par exemple le long de linéaires arbustifs ou arborés. Toutes les éoliennes se situent à proximité (moins de 200 m) d'un petit boisement ou de haies arborées ou arbustives.

Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à :

- **une activité relativement importante à proximité des éoliennes en période de swarming/transit automnal ;**
- **la proximité d'un site de regroupement automnal pour la Pipistrelle commune à moins de 10 km de Saint-Gildas ;**
- **la localisation du parc à proximité de milieux boisés et d'alignements arborés et arbustifs qui sont généralement riches et densément fréquentés par les chiroptères.**

4.3.6 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation des espèces ayant été recensées, ainsi que leur note de risque éolien.

Espèce	Statut de protection		Statut de conservation (UICN)			Déterminant ZNIEFF	Note de risque éolien	Effectifs
	Directive Habitat-Faune-Flore	Mammifères protégés France	Europe	France	Bretagne			
Pipistrelle commune	Annexe IV	Article 2	LC	NT	LC	Non	3,5	1
LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi menacée / VU : Vulnérable / EN : en danger / DD : Données insuffisantes / NA : Non applicable / NE : Non évalué ; : Éléments de patrimonialité.								

Tableau 25 : Statut du chiroptère impactée et nombre de collision observée

La **Pipistrelle commune** peut évoluer à plus de 20 mètres de haut en forêt ou à proximité d’une lisière ou haie (Arthur et Lemaire, 2015, p. 400). Elle est plus généralement très opportuniste et peut adapter son mode de chasse selon l’environnement. Malgré un mode de chasse généralement proche du feuillage, elle fait partie des espèces présentant les plus forts taux de mortalité face aux éoliennes. De plus, même s’il s’agit de l’espèce la plus commune, les suivis montrent un lent effritement des populations et elle pourrait perdre sur le long terme sa place d’espèce la plus abondante en Europe (Arthur et Lemaire, 2015, p. 403). Lors du dernier Plan National d’Actions chiroptère 2009-2013, cette tendance d’évolution des populations à la baisse a été constatée (PNA Chiroptères – Bilan technique final, 2014). Au niveau national, un déclin est constaté, avec une perte estimée en France métropolitaine de 9 % de la population entre 2006 et 2019 (Bas *et al.*, 2020). Sa note de risque à l’éolien est de 3,5.

Sur le site, c’est l’espèce la plus contactée en nacelle avec 1 435 contacts sur la période inventoriée. Elle est présente toute la saison (cf. chapitre « Résultats et analyse du suivi d’activité des chiroptères »). Par ailleurs, un gîte de regroupement automnal est situé à Quintin à moins de dix kilomètres du parc.

Un cas de mortalité a été recensé en 2024-2025. Compte-tenu des éléments décrits précédemment (statuts de conservation et dynamique de population), **l’impact du parc sur la Pipistrelle commune est jugé faible et non significatif en 2024-2025**. Une attention particulière devra cependant être portée à cette espèce lors des prochains suivis. Un ajustement de la mesure de programmation préventive est également proposé afin de réduire la mortalité des chiroptères et de l’avifaune.

Parmi les espèces à enjeu et/ou présentant un risque élevé, ciblées lors de l’étude d’impact, la **Pipistrelle commune a été recensée durant ce suivi**.
À partir du cas de mortalité avéré (mortalité brute), des statuts de conservation et de la dynamique des populations de l’espèce concernée, le parc de Kerdrouallan ne présente pas d’impact significatif sur la **Pipistrelle commune en 2024-2025**. Cependant, la mortalité réelle pourrait atteindre 203 individus sur la période de suivi. Elle est en outre susceptible de concerner des espèces patrimoniales et/ou menacées telles que la **Pipistrelle commune** dont des cas de mortalité ont été avérés cette année.

En conséquence, il est préconisé d’ajuster la programmation préventive et de vérifier son efficacité sur les chiroptères avec un nouveau suivi de la mortalité en 2026.

4.3.7 Comparaisons des suivis 2024-2025, 2023 et 2016-2017

4.3.7.1 Mortalité brute

4.3.7.1.1 Résultats globaux

La comparaison de la mortalité sur le parc de Kerdrouallan est basée sur les sorties effectuées en 2016-2017 (AEPE-Gingko), 2023 et 2024-2025 (ENCIS Environnement ; cf. tableau suivant).

Année	Nombre d’éoliennes suivies	Période suivie	Protocole	Surface prospectée moyenne	Persistance moyenne	Efficacité du chercheur	Intervalle moyen	Nombre de sorties
2016-2017	Toutes	Mars à octobre	Standardisé (2015)	0,64	4,27	0,88	7	32
2023	Toutes	Mai à octobre	Standardisé (2018)	0,38	2,96	0,80	7	24
2024/2025	Toutes	Avril à octobre	Standardisé (2018)	0,6	1,61	0,63	6	35

Tableau 26 : Paramètres des suivis réalisés

La variation des valeurs des paramètres chaque année rend difficile la comparaison de la mortalité brute. On observe toutefois que 15 chiroptères ont été retrouvés en 2016-2017, 13 en 2023 et un en 2024-2025, soit 29 individus au total (cf. tableau suivant). La mortalité brute a fortement diminué en 2024-2025 comparée à celle des suivis 2016-2017 (baisse de 93 %) et 2023. À noter qu’un bridage a été mis en place à l’issu du suivi 2023.

L’espèce la plus impactée sur les trois années de suivi est la **Pipistrelle commune** (14 individus). Elle est suivie par la **Pipistrelle de Kuhl** (neuf individus) et la **Pipistrelle de Nathusius** (un individu). Cinq pipistrelles indéterminées ont également été recensées. Il est à noter que ces pipistrelles non identifiées pourraient modifier ces tendances et/ou révéler un impact plus important sur une autre espèce, comme la **Pipistrelle de Nathusius** par exemple.

Seule la **Pipistrelle commune** a été retrouvée à chaque suivi.

Espèce	Année			Total
	2016-2017	2023	2024-2025	
Pipistrelle commune	1	12	1	14
Pipistrelle de Kuhl	9	0	0	9
Pipistrelle de Nathusius	0	1	0	1
Pipistrelle indéterminée	5	0	0	5
Total	15	13	1	29

Tableau 27 : Mortalité brute observée par espèce de chiroptère sur le parc en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Un total de 29 individus appartenant à au moins trois espèces différentes a été recensé à l'issue des trois années de suivi : 14 Pipistrelles communes, neuf Pipistrelle de Kuhl, une Pipistrelle de Nathusius et cinq pipistrelles indéterminées. Seule la Pipistrelle commune a été retrouvée chaque année. La mortalité brute a fortement diminué en 2024-2025 comparée à celle des suivis 2016-2017 (baisse de 93 %) et 2023.

4.3.7.1.2 Résultats saisonniers

Des cas de mortalité ont été recensés durant la période de mise-bas/élevage des jeunes et celle du transit automnal/swarming (cf. tableau suivant). Aucun cas n’a été recensé lors du transit printanier. La période hivernale n’a quant à elle pas été couverte.

La période concentrant le plus de mortalité est celle du transit automnal avec un total de 24 individus à l’issu des trois années de suivi. La période de mise-bas concentre quant à elle un total de cinq individus.

Il est néanmoins nécessaire de rester prudent dans les comparaisons entre périodes car le transit printanier n’a été que partiellement couvert en 2023 et 2024-2025. La probabilité de trouver un cadavre pendant cette période est donc diminuée.

Année	Transit printanier	Mise-bas et élevage des jeunes	Transit automnal et swarming
2016-2017	0	5	10
2023	0	0	13
2024-2025	0	0	1
Total	0	5	24

Tableau 28 : Mortalité brute des chiroptères sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Compte tenu des résultats obtenus sur les trois années, il est possible que la période de transit automnal et de swarming soit la plus impactante pour les chiroptères avec un total de 24 individus recensés. Aucun cas de mortalité n'a été observé lors du transit printanier. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des faibles valeurs de surface prospectée et de persistance des cadavres, ainsi que de la couverture incomplète de la période de transit printanier en 2023 et 2024-2025.

4.3.7.1.3 Résultats spatialisés

Des cadavres de chiroptères ont été retrouvés sous toutes les éoliennes en 2016-2017 et 2023. Seule l'éolienne E4 en a recensé en 2024-2025 (cf. tableau suivant). À l’issue des trois années de suivi, l’éolienne qui comptabilise le plus de cas de mortalité est E3 (13 individus), suivie par E1 (neuf individus), E4 (quatre individus) et E2 (trois individus).

Année	E1	E2	E3	E4
2016-2017	5	1	7	2
2023	4	2	6	1
2024-2025	0	0	0	1
Total	9	3	13	4

Tableau 29 : Mortalité brute des chiroptères par éolienne en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Au total, à l'issue des trois années de suivi, la mortalité brute est la plus importante sous l'éolienne E3 (13 individus), suivie par E1 (neuf individus), E4 (quatre individus) et E2 (trois individus). Des cas de mortalité ont été recensés sous toutes les éoliennes chaque année, sauf en 2024-2025 où seule E4 a été concernée.

4.3.7.1.4 Mortalité estimée

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l’ensemble du parc éolien sur les périodes de suivi des années 2016-2017, 2023, 2024-2025 selon les différentes méthodes retenues. En raison du plan d’échantillonnage qui diffère entre les années (par exemple la non-couverture du mois d’avril et début mai en 2023), la comparaison de ces estimations est à interpréter avec précaution.

Méthodes	Mortalité estimée		
	2016-2017	2023	2024-2025
Erickson	46,1	80,35 (13 - 199,44)	13,5 (2,06 - 100,03)
Huso	58	89,97 (13 - 219,97)	13,69 (2,09 - 102,11)
Jones	Non utilisé	111,19 (13 - 279,21)	27,25 (4,11 - 202,89)
Entre parenthèses : intervalles de confiance à 95 %. Lorsque la borne inférieure de l'intervalle de confiance indique 0, cette dernière est remplacée par la valeur de mortalité brute.			

Tableau 30 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2016-2017, 2023 et 2024-2025

Résultats 2016-2017 : la mortalité estimée varie de 47 à 58 individus pour l’ensemble du parc sur la période de suivi. A noter l’absence des intervalles de confiance et de l’estimateur Jones rendant impossible les comparaisons avec les années suivantes.

Résultats 2023 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 81 à 112 individus pour l’ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 13 et 280 individus, avec un risque d’erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Résultats 2024-2025 : Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 14 à 28 individus pour l’ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 203 individus, avec un risque d’erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Les estimations pour le suivi 2024-2025 suggèrent une diminution de la mortalité (réduction des médianes et des valeurs minimales et maximales des intervalles de confiance). Ces résultats pourraient s'expliquer par la programmation préventive qui a permis de couvrir 85 % de l'activité chiroptérologique globale sur l'ensemble des périodes analysées (2023 et 2024-2025) et 69 % de la période 2024-2025 seule. Néanmoins, cette diminution n'étant pas significative (recoupement des intervalles de confiance entre les suivis 2023 et 2024-2025), un nouveau suivi adapté est préconisé et est décrit dans le chapitre « Mesures correctrices ». Les résultats de 2016-2017 ne sont pas comparables en raison de l'absence des intervalles de confiance et de l'estimateur Jones.

4.3.8 Synthèse

Résultats du suivi 2024-2025 :

- Une Pipistrelle commune a été recensée en mortalité pendant la période de suivi s'étalant de mi-mai à octobre 2024 et avril à mi-mai 2025. Cette espèce est patrimoniale ;
- La mortalité estimée varie selon les estimateurs de 14 à 28 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 203 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur) ;
- L'unique cas de mortalité de chiroptère a été recensé en octobre 2024 pendant la période de transit automnal et de swarming. La comparaison entre les périodes phénologiques doit être faite avec prudence en raison notamment de la couverture partielle de la période de transit printanier ;
- Seule l'éolienne E4 a été concernée par un cas de mortalité durant le suivi 2024-2025 ;
- Les causes principales de la mortalité sur le parc semblent être liées à (1) une activité relativement importante à proximité des éoliennes en période de swarming/transit automnal ; (2) la proximité d'un site de regroupement automnal pour la Pipistrelle commune à moins de 10 km de Saint-Gildas ; (3) la localisation du parc à proximité de milieux boisés et d'alignements arborés et arbustifs qui sont généralement riches et densément fréquentés par les chiroptères.

Résultats des trois années de suivi (2016-2017, 2023 et 2024-2025) :

- La mortalité totale observée à l'issue des trois années de suivi est de 29 individus appartenant à au moins trois espèces différentes : 14 Pipistrelles communes, neuf Pipistrelle de Kuhl, une Pipistrelle de Nathusius et cinq pipistrelles indéterminées. Seule la Pipistrelle commune a été retrouvée chaque année. La mortalité brute a fortement diminué en 2024-2025 comparée à celle des suivis 2016-2017 (baisse de 93 %) et 2023.
- Il est possible que la période de transit automnal et de swarming soit la plus impactante pour les chiroptères avec un total de 24 individus recensés. Aucun cas de mortalité n'a été observé lors du transit printanier. Ces résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des faibles valeurs de surface prospectée et de persistance des cadavres, ainsi que de la couverture incomplète de la période de transit printanier en 2023 et 2024-2025 ;
- À l'issue des trois années de suivi, la mortalité brute est la plus importante sous l'éolienne E3 (13 individus), suivie par E1 (neuf individus), E4 (quatre individus) et E2 (trois individus). Des cas de

mortalité ont été recensés sous toutes les éoliennes chaque année, sauf en 2024-2025 où seule E4 a été concernée ;

- *Les estimations pour le suivi 2024-2025 suggèrent une diminution de la mortalité (réduction des médianes et des valeurs minimales et maximales des intervalles de confiance). Ces résultats pourraient s'expliquer par la programmation préventive qui a permis de couvrir 85 % de l'activité chiroptérologique globale sur l'ensemble des périodes analysées (2023 et 2024/2025) et 69 % de la période 2024/2025 seule. Néanmoins, cette diminution n'étant pas significative (recoupement des intervalles de confiance entre les suivis 2023 et 2024-2025), un nouveau suivi adapté est préconisé et est décrit dans le chapitre « Mesures correctrices ». Les résultats de 2016-2017 ne sont pas comparables en raison de l'absence des intervalles de confiance et de l'estimateur Jones.*

Conclusion sur l'impact du parc sur les chiroptères :

Les résultats du suivi 2024-2025 ne mettent pas en évidence un impact significatif sur une espèce particulière. Il existe cependant une incertitude élevée concernant la mortalité réelle, qui correspond à l'impact effectif du parc sur les chiroptères. Cette incertitude est notamment liée aux paramètres inhérents à l'environnement du parc, tels que la surface prospectée et la persistance des cadavres, dont les valeurs sont faibles. La mortalité réelle pourrait atteindre 203 individus. Elle est en outre susceptible de concerner des espèces patrimoniales et/ou menacées telles que la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius dont des cas de mortalité ont été avérés à l'issue des trois années de suivi. Pour ces raisons, l'impact du parc éolien de Kerdrouallan pourrait s'avérer significatif sur certaines espèces. Par conséquent, il est préconisé d'ajuster la mesure de programmation préventive et de vérifier son efficacité sur les chiroptères en réalisant un nouveau suivi de la mortalité en 2026 (cf. chapitre « Mesures correctrices »). Ce suivi apportera des connaissances supplémentaires sur la mortalité générée par le parc et pourrait améliorer la précision des estimations afin de déterminer s'il exerce ou non un impact significatif sur les chiroptères.

5 Mesures correctrices

5.1 Mesures correctrices préconisées pour réduire l'incidence sur les chiroptères

Les résultats du suivi d'année 10 (2023) avaient mis en avant un impact significatif sur les populations aviaires ou chiroptérologiques. Une programmation préventive d'arrêt machine avait donc été proposée pour l'ensemble du parc.

Les estimations pour le suivi 2024-2025 suggèrent une possible diminution de la mortalité. Ces résultats pourraient s'expliquer par la programmation préventive mise en place. Une nouvelle programmation, ajustée avec les données du suivi chiroptérologique de 2024/2025 est toutefois préconisée.

5.1.1 Programmation préventive

5.1.1.1 Historique des programmations préventives

La onzième année de fonctionnement, sur la période allant du 1^{er} juin au 31 octobre 2025, en lien avec les analyses des résultats des suivis des populations de chauves-souris, l'ensemble du parc a été arrêté selon les conditions cumulatives suivantes :

Historique : programmation proposée à l'issue du suivi 2023 pour l'année 2024								
Périodes		Mois	Contacts par mois	Activité couverte (%)	Modalités d'arrêt (horaires et vitesse de vent à hauteur de moyeu)			
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	0	0 %				
		Avril	11	0 %				
		Mai	189	0 %				
	Phase estivale	Juin	1 151	89 %	Les 7h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s	Absence de pluie	Température de l'air supérieur à 10 °C
		Juillet	643	83 %				Température de l'air supérieur à 12 °C
		Août	591	89 %	Les 8h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air supérieur à 12 °C
	Phase automnale	Septembre	2 043	94 %	Du coucher au lever du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s		Température de l'air supérieur à 12 °C
		Octobre	1 404	83 %			Température de l'air supérieur à 10 °C	
		Novembre	49	0 %				
Total sur la période inventoriée durant les deux sessions de suivi (2023 et 2024/2025)			6 081	85 %				

Tableau 31 : Modalités d'arrêt préventif proposées à l'issue du suivi 2023 pour l'année 2024

Les paramètres cumulés sur la période de programmation prévue ont permis de couvrir 85 % de l'activité chiroptérologique globale sur l'ensemble des périodes analysées (2023 et 2024/2025) et 69 % de la période 2024/2025 seule.

Ainsi, les seuils de déclenchement et d'arrêt de l'ensemble des éoliennes ne permettent pas de couvrir plus de 90 % de l'activité mesurée sur la seule année complète de 2024/2025. Il est proposé d'ajuster cette programmation préventive afin de couvrir un maximum d'activité.

5.1.1.2 Proposition d'adaptation de la programmation préventive des éoliennes en fonction de l'activité chiroptérologique

Cette partie détaille les paramètres de la proposition d'adaptation de la mesure de programmation préventive, en relation avec les résultats du suivi de l'année 11 d'exploitation (2024/2025).

Programmation préventive du fonctionnement de toutes les éoliennes en phase estivale et automnale :

- Type de mesure : Mesure de réduction.
- Impact brut : Risque de collision par les chiroptères.
- Objectif : Diminuer la mortalité directe sur les chiroptères.
- Description de la mesure : Un protocole d'arrêt de toutes les éoliennes du parc sous certaines conditions (humidité, température, vitesse du vent, et saison), sera mis en place sur l'ensemble du cycle actif des chiroptères. Cet arrêt des pales, lorsque les conditions sont les plus favorables à l'activité des chiroptères, peut permettre de diminuer très fortement la probabilité de collision avec un impact minimal sur le rendement (Arnett *et al.*, 2009).

5.1.1.2.1 Présentation de l'ajustement de la mesure pour toutes les éoliennes

La définition de ces critères est fondée sur les inventaires réalisés en nacelle, qui viennent corroborer pour la plupart l'analyse bibliographique. On notera que les périodes les plus restrictives pour la rotation des pales correspondent de mise -bas et élevage des jeunes et de transits automnaux. Les inventaires ont effectivement montré une présence plus marquée des chiroptères lors de ces phases biologiques.

Cet ajustement tient compte de l'ensemble du cycle biologique complet des chiroptères puisque la période hivernale a également été inventoriée.

Les critères retenus sont présentés dans le tableau suivant. Notons que dans le tableau est affiché le pourcentage de l'activité chiroptérologique couvert par la mesure pour chaque mois d'inventaire et finalement pour l'ensemble de la période étudiée (25 mars au 13 novembre). Rappelons que l'arrêt est effectif lorsque les paramètres ci-après sont concomitants. La mesure est valable du 1^{er} mai au 31 octobre inclus d'une année calendaire.

Nouvelle programmation préventive proposée à l'issue du suivi 2024/2025 pour l'année 2026							
Périodes		Mois	Contacts par mois	Activité couverte (%)	Modalités d'arrêt		
					Horaires	Vitesse du vent à hauteur de moyeu	Température de l'air à hauteur de moyeu
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	0	0 %			
		Avril	11	0 %			
		Mai	189	90 %	Les 5h30 après le coucher du soleil	Inférieure à 5 m/s	Supérieure ou égale à 10 °C
	Phase estivale	Juin	77	89 %	Les 7h après le coucher du soleil		
		Juillet	322	90 %	Les 8h après le coucher du soleil	Inférieure à 5,5 m/s	Supérieure ou égale à 12 °C
		Août	357	90 %			
	Phase automnale	Septembre	54	100 %	Du coucher au lever du soleil	Inférieure à 5 m/s	Supérieure ou égale à 10 °C
		Octobre	389	82 %			
		Novembre	49	0 %			
Total sur la période inventoriée durant la session de suivi 2024/2025			2 138	86 %			

Tableau 32 : Modalités d'arrêt préventif proposées pour 2026 en fonction des résultats de la session de suivi de 2024/2025

Nouvelle programmation préventive proposée à l'issue du suivi 2024/2025 pour l'année 2026							
Périodes		Mois	Contacts par mois	Activité couverte (%)	Modalités d'arrêt		
					Horaires	Vitesse du vent à hauteur de moyeu	Température de l'air à hauteur de moyeu
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	0	0 %			
		Avril	11	0 %			
		Mai	189	90 %	Les 5h30 après le coucher du soleil	Inférieure à 5 m/s	Supérieure ou égale à 10 °C
	Phase estivale	Juin	1 151	89 %	Les 7h après le coucher du soleil		
		Juillet	643	89 %	Les 8h après le coucher du soleil	Inférieure à 5,5 m/s	Supérieure ou égale à 12 °C
		Août	591	89 %			
	Phase automnale	Septembre	2 043	94 %	Du coucher au lever du soleil	Inférieure à 5 m/s	Supérieure ou égale à 10 °C
		Octobre	1 404	95 %		Inférieure à 7 m/s	
		Novembre	49	0 %			
Total sur la période inventoriée durant les deux sessions de suivi (2023 et 2024/2025)			6 081	91 %			

Tableau 33 : Modalités d'arrêt préventif proposées pour 2026 en fonction des deux sessions de suivi (2023 et 2024/2025)

Cette programmation préventive permet donc de couvrir 91 % de l'activité globale des deux années de suivi, 94 % de l'activité globale de 2023 et 86 % de l'activité globale de 2024/2025.

Modalités de suivi de la mesure : Suivi de mortalité et de comportement acoustique en nacelle.
Responsable : Maître d'ouvrage / Écologue.

5.2 Mesures correctrices préconisées pour réduire l'incidence sur avifaune

Lors du suivi de la mortalité sur le parc de Kerdrouallan, il a été noté un couvert végétal important sur les plateformes des éoliennes. **Cette végétation peut engendrer plusieurs problèmes**, dont notamment gêner la prospection et **réduire ainsi le taux de détection des cas de mortalité**. Cette végétation peut également attirer les insectes et donc les chiroptères, ainsi que les oiseaux pour la chasse et la reproduction, **augmentant alors le risque de collision** avec les éoliennes. Pour réduire ce risque, une mesure de renouvellement du revêtement des plateformes afin de les rendre inerte et de limiter ainsi la pousse de la végétation, et/ou un entretien de la végétation par gyrobroyage est proposé.

Réduire l'attractivité des plateformes des éoliennes pour les rapaces et les passereaux

Type de mesure : Mesure de réduction.
Nomenclature : R2.1i - Dispositif permettant d'éloigner les espèces à enjeux et/ou limitant leur installation.
Impact potentiel identifié : Risque de collision des oiseaux.
Objectif de la mesure : Diminuer la mortalité directe des individus nicheurs, hivernants et migrateurs pendant leur période de présence en évitant de les attirer sous les éoliennes.
Description de la mesure : Certains oiseaux, comme le Faucon crécerelle et l'Alouette des champs, recensés en mortalité sur le site à l'issue des trois années de suivi, s'accoutument facilement à la présence d'éoliennes et peuvent être attirés pour la chasse et la reproduction par la végétation se développant sur les plateformes des éoliennes. Cela a d'ailleurs été confirmé par l'observation d'un nid occupé par une Alouette des champs en 2023 sur la plateforme de l'éolienne E3. Cette absence de comportement d'évitement les conduit à s'exposer régulièrement aux risques de collision avec les pales.

Dans le but d'éviter d'attirer ces oiseaux à portée des pales des éoliennes, il est proposé dans un premier temps de **renouveler le revêtement des plateformes** afin de les rendre inertes et inaptes à la pousse de la végétation. Les travaux devront avoir lieu pendant la période la moins sensible pour la faune, c'est-à-dire entre octobre et février. Un broyage de la végétation sera également nécessaire et devra respecter les consignes suivantes :

- pas d'intervention durant la période de nidification des oiseaux (du 1er mars au 31 août) ;
- broyage de la végétation au minimum 2 fois par an (à la fin de l'été et à la fin de l'hiver) ;
- exporter la végétation coupée ;
- pas d'utilisation de produits phytosanitaires.

Dans le cas où le renouvellement du revêtement inerte des plateformes ne serait pas possible, le broyage de la végétation devra respecter les consignes suivantes :

- broyage de la végétation **au minimum** 2 fois par an (à la fin de l'été et à la fin de l'hiver) ;
- pas d'intervention durant la période de nidification des oiseaux (du 1er mars au 31 août). Néanmoins, **selon la rapidité de pousse de la végétation, des passages supplémentaires pourront être préconisés par un écologue après vérification sur place, par exemple lors d'un suivi de la mortalité ;**
- exporter la végétation coupée ;

- pas d'utilisation de produits phytosanitaires.

Calendrier : Pendant toute la durée de l'exploitation
Coût prévisionnel : Intégré aux coûts d'exploitation
Responsable : Maître d'ouvrage

5.3 Modalités de suivi préconisées

5.3.1 Suivi de la mortalité

Compte tenu des cas de mortalité recensés lors du suivi environnemental de 2024-2025, et afin de suivre l'efficacité des mesures correctrices proposées, un nouveau suivi de la mortalité est préconisé, selon le protocole publié en mars 2018 (« Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres – Révision 2018 », DGPR, DGALN, MNHN, LPO, SFEPM et FEE).

Les estimations de la mortalité réalisées en 2024-2025 sont caractérisées par une forte incertitude en lien avec les paramètres inhérents au parc (surface prospectée, persistance moyenne, etc.). Afin de réduire l'incertitude des estimations de mortalité, en particulier lorsque la persistance est faible, il est recommandé d'augmenter la fréquence des recherches à deux passages par semaine (dans l'idéal tous les 3 jours, Ravache *et al.*, 2024). Ainsi, un suivi de la mortalité avec une fréquence de deux passages par semaine est préconisé entre les semaines 12 et 46, soit de mi-mars à mi-novembre 2026, afin de mieux couvrir la période de migration prénuptiale, la nidification et la migration postnuptiale pour les oiseaux, et la période de transit printanier, la mise-bas et l'élevage des jeunes ainsi que le transit automnal pour les chiroptères (cf. tableau suivant).

Nous recommandons également l'utilisation de l'estimateur GenEst (Generalized Estimator, (Dalthorp *et al.*, 2018), qui permet de réaliser des estimations de la mortalité réelle. Cet estimateur ne figure pas parmi ceux décrits dans le protocole national 2018 (DGPR *et al.*, 2018), car son développement est postérieur à cette date. Il bénéficie toutefois d'une reconnaissance internationale, avec des résultats reconnus plus précis et moins biaisés par rapport à d'autres estimateurs fréquemment utilisés (Rabie *et al.*, 2021; Ravache *et al.*, 2024).

Période (n° de semaine)	Janvier à février (n° 1 à 11)	Mi-mars à mi-novembre (n° 12 à 46)	Mi-novembre à décembre (n° 47 à 53)
Fréquence des sorties	0	2 par semaine	0
Nombre de sorties sur la période	0	70	0

Le suivi de la mortalité des oiseaux et des chiroptères est mutualisé. Ainsi, tout suivi de mortalité devra conduire à rechercher à la fois les oiseaux et les chiroptères (y compris par exemple en cas de suivi étendu motivé par des enjeux avifaunistiques ou chiroptérologique).

Tables des illustrations

Figures

Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001) 10

Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas et al., 2020) 12

Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach & Rahmel 2004). 13

Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer et al., 2017). 14

Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne 14

Figure 6 : Effet de différents paramètres sur l'activité des chiroptères mesurée en nacelle d'éolienne (sur 69 éoliennes dans 35 sites dans 5 différentes régions naturelles en Allemagne en 2008) (Behr et al., 2017)..... 16

Figure 7 : Modèles d'activité nocturne de plusieurs espèces de chiroptères tout au long de la saison par rapport au coucher du soleil (Newson et al., 2015) 16

Figure 8 : Nombre de mortalités de chauves-souris par éolienne et par an en fonction de la garde au sol et du diamètre de rotor (Traduit de Dürr 2019, SFEPM 2020) 17

Figure 9 : Contours isolignes des déclins de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles (Ni) et de taux de croissance de population (λ) (Frick et al., 2017) 18

Figure 10 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.)..... 22

Figure 11 : Indices de confiance établis par Sonochiro® et risques d'erreurs associés 23

Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne 25

Figure 13 : Enjeux identifiés sur les chiroptères lors de l'étude d'impact en 2009 32

Figure 14 : Impacts identifiés sur les chiroptères lors de l'étude d'impact en 2009 32

Figure 15 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude 33

Figure 16 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement 34

Figure 17 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire 35

Figure 18 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien 36

Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la température 36

Figure 20 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température 37

Figure 21 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent..... 37

Figure 22 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent 38

Figure 23 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les deux années d'études 39

Figure 24 : Répartition du nombre de contacts par jours sur les deux périodes d'études..... 40

Figure 25 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les deux périodes d'études 41

Figure 26 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien 41

Figure 27 : Activité des chiroptères en fonction de la température 42

Figure 28 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent 42

Figure 29 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2023)..... 46

Figure 30 : Mortalité brute de l'avifaune observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi 47

Figure 31 : Proportions des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe (espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2023) 53

Figure 32 : Mortalité brute des chiroptères observée par mois sur le parc pendant la période de suivi 54

Tableaux

Tableau 1 : modalités de suivi des parcs autorisés avant l'entrée en vigueur du protocole national8

Tableau 2 : Paramètres de calibration des microphones BATmode 22

Tableau 3 : Habitat et type de milieu inventorié 23

Tableau 4 : modalités de suivi de la mortalité selon le protocole national (2018) 24

Tableau 5 : Paramètres des tests d'efficacité effectués pendant le suivi..... 26

Tableau 6 : Postulats de chaque méthode d'estimation (Erickson et Huso : d'après Bernardino et al., 2013)..... 28

Tableau 7 : Dates et conditions météorologiques des inventaires du milieu naturel..... 29

Tableau 8 : Répartition du nombre de contacts par espèce et par éolienne 33

Tableau 9 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques 33

Tableau 10 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires 34

Tableau 11 : Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le 39

Tableau 12 : Résultats des tests d'efficacité 45

Tableau 13 : Résultats des tests de persistance 45

Tableau 14 : Synthèse des surfaces prospectées..... 45

Tableau 15 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité 47

Tableau 16 : Mortalité estimée de l'avifaune sur l'ensemble de la période de suivi 48

Tableau 17 : Statuts des différentes espèces impactées et effectifs associés 49

Tableau 18 : Paramètres des suivis réalisés 50

Tableau 19 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 51

Tableau 20 : Mortalité brute de l'avifaune sur l'ensemble du parc en fonction de la phase biologique en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 51

Tableau 21 : Mortalité brute de l'avifaune par éolienne en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 51

Tableau 22 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 51

Tableau 23 : Chiroptères découverts lors du suivi mortalité..... 53

Tableau 24 : Mortalité estimée des chiroptères sur l'ensemble de la période de suivi 55

Tableau 25 : Statut du chiroptère impactée et nombre de collision observée 56

Tableau 26 : Paramètres des suivis réalisés 56

Tableau 27 : Mortalité brute observée par espèce de chiroptère sur le parc en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 .. 56

Tableau 28 : Mortalité brute des chiroptères sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2016-2017, 2023 et 2024-2025..... 57

Tableau 29 : Mortalité brute des chiroptères par éolienne en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 57

Tableau 30 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2016-2017, 2023 et 2024-2025 57

Tableau 31 : Modalités d'arrêt préventif proposées à l'issue du suivi 2023 pour l'année 2024 60

Tableau 32 : Modalités d'arrêt préventif proposées pour 2026 en fonction des résultats de la session de suivi de 2024/2025 61

Tableau 33 : Modalités d'arrêt préventif proposées pour 2026 en fonction des deux sessions de suivi (2023 et 2024/2025) 61

Cartes

Carte 1 : Localisation du parc éolien de Kerdrouallan 5

Carte 2 : Localisation du parc éolien de Kerdrouallan sur photographie aérienne 6

Carte 3 : Localisation du dispositif BATmode 2S+ 24

Carte 4 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne 48

Carte 5 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne 54

Photographie

Photo 1 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales - ©Encis
Environnement..... 11

Bibliographie

- Actes du séminaire citoyen Lucéole (2012). Coexistence Milan royal et parc éolien – pour une compréhension ouverte d'un problème complexe.
- Albouy S., Dubois Y., Picq H., (2001). Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude) - Abies / LPO Aude.
- Albouy S., (2005). Suivi ornithologique 2005 du parc éolien de Grande Garrigue, commune de Névian (11), évaluation des impacts sur l'avifaune nicheuse. Abies pour la Compagnie du Vent.
- Alcalde, J.T. (2003): Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. *Barbastella* 2: 3-6.
- Ahlén, I. (1997): Migratory behaviour of bats at south Swedish coasts. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62: 375-380.
- Ahlén, I. (2002): Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk. *Fauna och Flora* 97 (3): 14-22.
- Alhen I Bach L. Baagoe H.J. & Pettersson J. 2007. Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. The Swedish Environmental Protection Agency, Report 5571.
- Amorim F. Rebelo H. Rodrigues L. 2012. Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2): 439-457.
- André, Y. (2005): Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. LPO, Rochefort, 21 pages.
- Arnett, E.B., technical editor (2005): Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: an Assessment of Fatality Search Protocols, Pattern of Fatality, and Behavioral Interactions with Wind Turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 187 pp.
- Arnett E.B. Barclay R.M.R & Hein C.D. 2013a. Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 171–171. doi:10.1890/15409295-11.4.171 & 2013a.
- Arnett E.B. Huso M.M.P. Reynolds D.S. & Schirmacher M. 2007. Patterns of preconstruction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 35 p.
- Arnett, E.B., M.M.P. Huso, J.P. Hayes & M. Schirmacher (2010): Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- Arnett E.B. Huso M.M.P. Schirmacher M. & Hayes J.P. 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Front Ecol. Environ.* 2011, 9(4): 209– 214.
- Arnett, E.B., G.D. Johnson, W.P. Erickson & C.D. Hein (2013c): A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Arnett, E.B., C.D. Hein, M.R. Schirmacher, M.M.P. Huso & J.M. Szewczak (2013b): Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. *PLoS ONE* 8(6): e65794.
- Arnett E.B. Brown W.K. Erickson W.P. Fiedler J. Hamilton B.L. Henry T.H. Jain A. Johnson G.D. Kerns J. Koford R.R. Nicholson C.P. O'Connell T. Piorkowski M. & Ta, kersley R. 2008. Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72: in press.
- Arnett, E.B., Baerwald, E.F., Mathews, F., Rodrigues, L., Rodriguez-Durán, A., Rydell, J., Villegas-Patraca, R. & Voigt, C. (2016) Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. Voigt and T. Kingston, eds.) pp. 295–323. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Arthur L. & Lemaire M. 2015. Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- Atienza, J.C., Fierro, I.M., Infante, O., Valls, J., Domínguez, J., 2011. Directrices para la evaluación del impacto de los parques eólicos en aves y murciélagos (versión 3.0). SEO/BirdLife, Madrid, (translated into English as Guidelines for Assessing Impact of Wind Farms on Birds and Bats (Version 4.0).
- Aulagnier S. 2005. France. in : R. Hutterer, T. Ivanova, C. Meyer-Cords & L. Rodrigues : Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Natursch. Biol. Vielf.*, 28 : 41-43.
- AVES environnement & GCP. 2010. Etude de la mortalité des Chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, commune de Saint-Martin-de-Crau (13), 17/03-27/11 2009. 38 p.
- Bach, L. (2002): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzungen von Fledermäusen am Beispiel des Windparks „Hohe Geest“, Midlum - Endbericht. – unpubl. report for Instituts für angewandte Biologie, Freiburg/Niederelbe: 46 pp.
- Bach L. & Niermann I. 2011 & 2013. Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Langwedel – Bericht 2012 – Überprüfung des Abschalt algorithmus. Unpubl. report to PNE Wind AG, 28 pages.
- Bach, P., L. Bach, K. Eckschmitt, K. Frey & U. Gerhardt (2013b): Bat fatalities at different wind facilities in northwest Germany. Poster at CWE2013, Stockholm, 5-7 February 2013 (Naturvardsverket rapport 6546:117) and 3rd International Bat Meeting, Berlin, 1-3 March 2013.
- Baerwald E.F. Barclay R.M.R. 2011. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Baerwald, E.F., G.H. D'Amours, B.J. Klug & R.M.R. Barclay (2008): Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology* 18 (16): pR 695696.
- Barataud M. & Giosa S. 2012. Biodiversité des chiroptères et gestions forestières en Limousin : rapport. Groupe Mamm. Herpéto. Limousin, Limoges, 32 p.
- Barclay R.M.R. 1991. Population Structure of Temperate Zone Insectivorous Bats in Relation to Foraging Behaviour and Energy Demand. *Journal of Animal Ecology* 60 (1): 165-178.
- Barclay RMR, Baerwald EF, Gruver JC (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities : assessing the effects of rotor size and tower height.
- Barre, K., L., Le Viol, I., Bas, Y., Julliard, R. & Kerbiriou, C. (2018) Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats: implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 226, 205–214.
- Barrios L *et al.*, (2004). Behavioural and environmental correlates of soaring-bird mortality at on-shore wind turbines.
- Bas, Y., A. Haquart, J. Tranchard & H. Lagrange (2014) : Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mâts de mesure: évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien. *Symbioses, Actes des 14èmes Rencontres Nationales Chauves-souris de la SFEPM*, Bourges mars 2012, 32: 83-87.
- Bas Y, Kerbiriou C, Roemer C & Julien JF (2020, June). Bat population trends. Muséum national d'Histoire naturelle. Retrieved from <https://croemer3.wixsite.com/teamchiro/population-trends>.

- Bastos, R., M. Santos & J.A. Cabral (2013): A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. *Ecological Indicators*, 34: 428–440.
- Bauer K. 1960. Die Säugetiere des Neusiedlersee-Gebietes (Österreich), Bonn. Zool. Beitr. 11(2-4): 141-344.
- Becciu, P., Panuccio, M., Dell’Omo, G., Sapir, N., 2021. Groping in the Fog: Soaring Migrants Exhibit Wider Scatter in Flight Directions and Respond Differently to Wind Under Low Visibility Conditions. *Front. Ecol. Evol.* 9, 745002. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.745002>
- Behr, O. & O. von Helversen (2005): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen. Wirkungskontrolle zum Windpark "Roßkopf" (Freiburg i. Br.). - Unpubl. report: 37 pp + maps.
- Behr, O. & O. von Helversen (2006): Gutachten zur Beeinträchtigung im freien Luftraum jagender und ziehender Fledermäuse durch bestehende Windkraftanlagen – Wirkungskontrolle zum Windpark „Roßkopf“ (Freiburg i. Br.) im Jahre 2005. Unpubl. report for 2005 on behalf of Regiowind GmbH & Co. KG Freiburg, 32 pages + maps.
- Behr O. Brinkmann R. Niermann I. & Korner-Nievergelt F. 2011. Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & M. Reich, (Hrsg.): Entwicklung
- Bernardino, J., Bispo, R., Costa, H., Mascarenhas, M., 2013. Estimating bird and bat fatality at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology* 40, 63–74.
- Bernardino, J., R. Bispo, R. Rebelo, M. Mascarenhas & H. Costa (2011): Enhancing carcass removal trials at three wind energy facilities in Portugal. *Wildl. Biol. Pract.* 7(2): 1-14.
- Beucher, Y., V. Kelm, F. Albespy, M. Geyelin, L. Nazon & D. Pick (2013): Parc éolien de Castelnau-Pegayrols (12): Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d’exploitation (2009-2001), 111 pages
- BirdLife International (2021). European Red List of Birds. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Bispo, R., G. Palminha, J. Bernardino, T. Marques, & D. Pestana (2010): A new statistical method and a web-based application for the evaluation of the scavenging removal correction factor. *Proceedings of the VIII Wind Wildlife Research Meeting*, Denver, USA.
- Blary, C., Bonadonna, F., Dussauze, E., Potier, S., Besnard, A., Duriez, O., 2023. Detection of wind turbines rotary motion by birds: A matter of speed and contrast. *Conservat Sci and Prac* e13022. <https://doi.org/10.1111/csp2.13022>
- Bright, J.A., Langston, R.H.W., Bullman, R., Evans, R.J., Gardner, S., Pearce-Higgins, J., Wilson, E., 2006. Bird sensitivity map to provide locational guidance for onshore wind farms in Scotland. *RSPB*, Sandy.
- Brinkmann, R., H. Schauer-Weissahn & F. Bontadina (2006): Survey of possible operational impacts on bats by wind facilities in Southern Germany. Final report submitted by the Administrative District of Freiburg, Department of Conservation and Landscape management and supported by the foundation Naturschutzfonds
- Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (ed.) (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4, 457 pages
- Bruderer, B., Peter, D., Korner-Nievergelt, F., 2018. Vertical distribution of bird migration between the Baltic Sea and the Sahara. *J. Ornithol.* 159, 315–336. <https://doi.org/10.1007/s10336-017-1506-z>
- Camina, A. (2012): Bat fatalities at wind farms in northern Spain – lessons to be learned. *Acta Chiropterologica* 14(1): 205-212
- Carrete, M., Sánchez-Zapata, J.A., Benítez, J.R., Lobón, M., Donázar, J.A., 2009. Large scale risk-assessment of wind farms on population viability of a globally endangered long-lived raptor. *Biol. Conserv.* 142, 2954–2961. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.07.027>
- Collins J. & Jones G. 2009. Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. *Acta Chiropterol.*, 11(2): 343-350.
- Cornelis N, Strehler-Perrin C, Balsiger L *et al.*, (2016). Évaluation des impacts résiduels cumulés des éoliennes du Jura vaudois et des régions limitrophes sur la faune ailée.
- Cornut, J. & S. Vincent (2010a): Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. GCRA & LPO Drôme, 42 pages
- Cornut, J. & S. Vincent (2010b): Suivi de la mortalité de chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. *Le Bièvre* 24: 51-57. Disponible sur : <http://coraregion.free.fr/images/bievre/bievre24.pdf>
- Cryan P.M. Gorrensens P.M. Hein C.D. Schirmacher M.R. Diehl R.H.Huso M.M. Hayman D.T.S. Fricker P.D. Bonaccorso F.J. Johnson D.H. Hesit. H. & Dalton D.C. 2014. Behavior of bats at wind turbines. *PNAS*. doi: 10.1073/pnas.1406672111
- Dalthorp, D., Madsen, L., Huso, M., Rabie, P., Wolpert, R., Studyvin, J., Simonis, J., Mintz, J., 2018. GenEst statistical models - A generalized estimator of mortality: U.S. Geological Survey Techniques and Methods (No. book 7, chap. A2).
- De Lucas M *et al.*, (2008). Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance.
- Dechmann, D.K.N., Wikelski, M., Ellis-Soto, D., Safi, K. & O'Mara, M.T. (2017) Determinants of spring migration departure decision in a bat. *Biology letters*, 13, 20170395.
- Devereux, C, Denny M. & Whittingham M. J. (2008), Minimal effects of wind turbines on the distribution of wintering farmland birds. *Journal of Applied Ecology*, 45: 1689–1694.
- DGPR, DGALN, MTES, MNHN, LPO, SFEPM, SER, FEE. Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, révision 2018.
- Dietz C. Von Helversen O. & Nill D. 2009. L’encyclopédie des chauves-souris d’Europe et d’Afrique du Nord : Biologie, caractéristiques, protection. Delachaux et Niestlé, Paris, France. 400 p.
- Drewitt, A.L., Langston, R.H.W., 2008. Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134, 233–266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>.
- Drewitt, A.L., Langston, R.H.W., 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148, 29–42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>.
- Dubourg-Savage M.-J., Bach L. & Rodrigues L., 2009, Bat mortality in wind farms in Europe. 1st International Symposium on Bat Migration, Berlin, pp.16-18
- Dubourg-Savage, M.J., L. Rodrigues, H. Santos, P. Georgiakis, E. Papadatou, L. Bach & J. Rydell (2011): Pattern of bat fatalities at wind turbines in Europe: comparing north and south. Conference on Wind energy and Wildlife impacts, 2-5 May 2011, Trondheim, Norway, NINA Report 693. Proceedings, poster abstract: 124
- Dulac P., (2008) - Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon - Nantes, 106 p.

- Duriez, O., Pilard, P., Saulnier, N., Bouzin, M., Besnard, A., 2017. Actes du Séminaire Eolien et Biodiversité-Artigues-près-Bordeaux. 21 et 22 novembre 2017. Page 49. Impact des mortalités additionnelles induites par les collisions avec les éoliennes pour la viabilité des populations de Faucons crécerellette.
- Duriez, O., Pilard, P., Saulnier, N., Patrick, B., Besnard, A., 2022. Windfarm collisions in medium-sized raptors: even increasing populations can suffer strong demographic impacts. *Animal Conservation* 26. <https://doi.org/10.1111/acv.12818>
- Dürr, T. (2001): Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen. – Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 10: 182.
- Dürr, T. 2007. Möglichkeiten zur Reduzierung von Fledermausverlusten an Windenergieanlagen in Brandenburg. *Nyctalus* (N.F.) 12 (2-3): 238-252
- Dürr, T. & L. Bach (2004): Fledermäuse als Schlagopfer von Windenergieanlagen - Stand der Erfahrungen mit Einblick in die bundesweite Fundkartei. *Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz Band 7*: 253-264
- Drewitt, A.L., Langston, R.H.W., 2008. Collision Effects of Wind-power Generators and Other Obstacles on Birds. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134, 233–266. <https://doi.org/10.1196/annals.1439.015>
- Drewitt, A.L., Langston, R.H.W., 2006. Assessing the impacts of wind farms on birds. *Ibis* 148, 29–42. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00516.x>
- Écosphère, (2016). Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions » (Écosphère, 2016, complété en 2017).
- Écosphère, Roue S, Thauront M, Jung, 2013. Suivis de mortalité : Protocoles, abaques, optimisation des fréquences de passage et collecte nationale de données.
- Endl, P., U. Engelhart, K. Seiche, S. Teufert & H. Trapp (2005): Untersuchungen zum Verhalten von Fledermäusen und Vögeln an ausgewählten Windkraftanlagen im Landkreis Bautzen, Kamenz, Löbau-Zittau, Niederschlesischer Oberlausitzkreis, Stadt Görlitz Freistaat Sachsen. Unpubl. report for Staatliches Umweltfachamt Bautzen: 135 pp.
- Erickson, W. P. *et al.*, 2004. Stateline wind project wildlife monitoring final report, July 2001 — December 2003. — Tech. Rep. peer-reviewed by and submitted to FPL Energy, the Oregon Energy Facility Siting Council, and the Stateline Technical Advisory Committee.
- Erickson *et al.*, 2011. Avian and bat mortality associated with the Vansycle Wind Project, Umatilla County, Oregon: 1999 study year. WEST, Inc. for Umatilla County Department of Resource Services and Development, Pendleton, Oregon. 21 p.
- Erickson WP, Johnson GD, Strickland DM, Young DP Jr., Sernka KJ, Good RE (2001). Avian Collisions with Wind Turbines: A Summary of Existing Studies and Comparisons to Other Sources of Avian Collision Mortality in the United States.
- Erickson WP, Johnson GD, Young DP Jr. (2005). A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions.
- Erkert H.G. 1982. Ecological aspects of bat activity rhythms, p. 201-242. In: T.H. Kunz (Ed.). *Ecology of bats*. New York, Plenum Press, XVIII+425p.
- European Commission, 2010. EU Guidance on wind energy development in accordance with the EU nature legislation.
- Faggio G., Jolin C., Groupe Ornithologique de Corse (2003). Suivi ornithologique du parc éolien d'Ersa-Rogliano (Haute-Corse). Rapport final. (p. 101, fr)
- Farfán, M.A., Vargas, J.M., Duarte, J., Real, R., 2009. What is the impact of wind farms on birds? A case study in southern Spain. *Biodivers Conserv* 18, 3743–3758. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9677-4>
- Fernández-Bellon, D., Wilson, M.W., Irwin, S., O'Halloran, J., 2019. Effects of development of wind energy and associated changes in land use on bird densities in upland areas. *Conservation Biology* 33, 413–422. <https://doi.org/10.1111/cobi.13239>
- Fielding AH *et al.*, (2006). Spatial association as an indicator of the potential for future interactions between wind energy developments and golden eagles *Aquila chrysaetos* in Scotland.
- Frick, W.F., Baerwald, E.F., Pollock, J.F., Barclay, R.M.R., Szymanski, J.A., Weller, T.J., Russell, A.L., Loeb, S.C., Medellin, R.A. & McGuire, L.P. (2017) Fatalities at wind turbines may threaten population viability of a migratory bat. *Biological Conservation*, 209, 172–177.
- Fure, A. (2006): Bats and lighting. *The London Naturalist* 85: 1-20.
- Garcia DA, Canavero G, Ardenghi F, Zambon M (2015). Analysis of wind farm effects on the surrounding environment : Assessing population trends of breeding passerines.
- Gaultier S.P., Marx G., & Roux D., (2019). Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO. 120 p.
- Gelman, A., Pardoe, I., 2006. Bayesian measures of explained variance and pooling in multilevel (hierarchical) models. — *Techno metrics* 48: 241–251.
- Georgiakakis, P. Kret E. Cárcamo B. Doutau B. Kafkaletou-Diez A. Vasilakis D. & Papadatou E. 2012. Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece. *Acta Chiropterologica* 14 (2): 459-468.
- Gerell-Lundberg K. & Gerell R. 1994. The mating behaviour of the pipistrelle and the Nathusius' pipistrelle (Chiroptera) - A comparison. *Folia Zoologica* 43 (4): 315-324.
- Grindal, S.D. & R.M. Brigham (1998): Short-term effects of small-scale habitat disturbance on activity by insectivorous bats. *J. Wildl. Manage* 62 (3): 996–1003.
- Grodsky, S.M., M.J. Behr, A. Gendler, D. Drake, B.D. Dieterle, R.J. Rudd & N.L. Walrath (2011): Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 92(5): 917–925.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016. – Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 17 pages.
- Grünkorn, T., A. Diederichs, B. Stahl, D. Dörte & G. Nehls (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergie-anlagen. Unpubl. report for Landesamtes für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein: 92 pp.
- Grünkorn T, von Rönn J, Blew J, Nehls G, Weitekamp S, Timmermann H, Reichenbach M, Coppack T (2016). Détermination des taux de collision des oiseaux (y compris rapaces) et principes fondamentaux pour prévoir et évaluer le risque de collision dans la conception des projets éoliens (projet de recherche PROGRESS). (p27).
- Hayes, M.A. (2013): Bats Killed in Large Numbers at United States Wind Energy Facilities. *BioScience* 63(12): 975-979.
- Hayes, M. A., L. A. Hooton, K. L. Gilland, C. Grandgent, R. L. Smith, S. R. Lindsay, J. D. Collins, S. M. Schumacher, P. A. Rabie, J. C. Gruver, and J. Goodrich-Mahoney. (2019) A smart curtailment approach for reducing bat fatalities and curtailment time at wind energy facilities. *Ecological Applications* 00(00):e01881.
- Hedenström A. 2009. Optimal migration strategies in bats. *Journal of Mammalogy*, 90(6):1298–1309, 2009

- Heim, O., Schröder, A., Eccard, J., Jung, K. & Voigt, C.C. (2016) Seasonal activity patterns of European bats above intensively used farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 130–139.
- Hensen, von F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus* (N.F.) 9 (5): 427-435.
- Hodos W (2003). Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. (p43).
- Horn J.W. Arnett E.B. & Kunz T.H. 2008. Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management* 72(1): 123-132
- Holzhaider J. & Zahn A. 2001. Bats in the Bavarian Alps : species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Z. Säugetierk.*, 66(2) : 144-154.
- Hötter H., Tomsen KM. & 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, 65 p.
- Hötter, H. (2017). Birds of Prey and Wind Farms : Analysis of Problems and Possible Solutions.
- Hull C.L. & Cawthen L. 2013. Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia: Bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *New Zealand Journal of Zoology* 40(1): 5–15.
- Huso, M.M.P. (2010): An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*: doi: 10.1002/env.
- Huso, M. *et al.*, 2012. Fatality estimator users guide. — US Geological Survey Data Series 729.
- Hutterer R. Ivanova T. Meyer-Cords C. & Rodrigues L. 2005. Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature. *Natursch. Biol. Vielf.*, 28 : 3-162 + app.
- Jain, A. *et al.*, 2007. Annual report for the Maple Ridge wind power project: post-construction bird and bat fatality study 2006. Final report. — L. Curry & Kerlinger. Syracuse, NY, Curry & Kerlinger, LLC: 53.
- Johnson G.D. Erickson W.P. Strickland M.D. Shepherd M.F. & Shepherd D.A. 2003. Mortality of bats at a Large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. – *Am. Midl. Nat.* 150: 332-342.
- Jones *et al.*, (2009). Altamont Pass Wind Resource Area 48-Hour Search Interval Bird Fatality Study. (p22).
- Kaňuch P. and Krištín A. 2007. Factors influencing bat assemblages in forest parks. *Ekológia* (Bratislava) 24:45–56.
- Kapfer G. & Aron S. 2007. Temporal variation in flight activity, foraging activity and social interactions by bats around a suburban pond. *Lutra*, 50(1) : 9-18.
- Kerns J. Erickson W.P. & Arnett E.B. 2005. Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia in Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia: an assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines, Pour Bat and Wind Energy Cooperative. E.B Arnett, ed. pp. 24-95.
- Körner-Nievergelt, F., Brinkmann R., I. Niermann & O. Behr (2013): Estimating Bat and Bird Mortality Occurring at Wind Energy Turbines from Covariates and Carcass Searches Using Mixture Models. *PLoS ONE* 8 (7): e67997. doi: 10.1371/journal.pone.0067997
- Korner-Nievergelt, F., P. Korner-Nievergelt, O. Behr, I. Niermann, R. Brinkmann & B. Hellriegel (2011): A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildl. Biology* 17 (4): 350-363
- Kronwitter F. 1988. Population structure, habitat use and activity patterns of the Noctule bat, *Nyctalus noctula* Schreb., 1774 (Chiroptera: Vespertilionidae) revealed by radio-tracking. *Myotis*, 26: 23 -85.
- Krijgsveld KL *et al.*, (2009). Collision risk of birds with modern large wind turbines. (p10).
- Krüger T, Garthe S (2001). Flight altitudes of coastal birds in relation to wind direction and speed. (p14).
- Kunz, T.H., Arnett E.B., Erickson W.P., Hoar A.R., Johnson G.D., Larkin R.P., Strickland M.D., R.W. Thresher & M.D. Tuttle (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs and hypotheses. *Frontiers in Ecology* 5: 315–324.
- Lagrange, H., E. Roussel, A.-L. Ughetto, F. Melki, G. Steinmetz & C. Kerbirou (2011): Chirotech, A Multi-Factorial Mitigation process to reduce Bat fatalities at wind energy facilities. In: Hutson A.M., P.H.C. Lina (eds.): XII European Bat Research Symposium - Programme, abstract, list of participants: 33.
- Lagrange, H., P. Rico, Y. Bas, A.-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbirou (2013): Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of CHIROTECH®. Presentation at the CWE in Stockholm 5-7 February 2013 and at the 16th International Bat Research Conference, Costa Rica.
- Le Campion T. & Dubos T. 2017. Etude la migration des chauves-souris en Bretagne 2013-2016 : rapport final mai 2017. G.M.B., 52 p.
- Lebreton, J.-D. *et al.*, 1992. Modelling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. — *Ecol. Monogr.* 62: 67–118.
- Lehnert, L.S., Kramer-Schadt, S., Schönborn, S., Lindecke, O., Niermann, I. & Voigt, C.C. (2014) Wind farm facilities in Germany kill noctule bats from near and far. *PLoS ONE*, 9, e103106.
- Limpens H.J.G.A. Boonman, M. Korner-Nievergelt F. Jansen E.A. Van der Valk M. La Haye M.J.J. Dirksen S. & Vreugdenhil S.J. 2013. Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013. 12, Zoogdiervereeniging & Bureau Waardenburg.
- Long, C. V., J.A. Flint & P.A. Lepper (2011): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research* 57 (2), 323-331.
- Loss SR, Will T, Marra PP (2013). Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. (p9).
- Madders M, Whitfield DP (2006). Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. (p14).
- Martin, C.M., Arnett, E.B., Stevens, R.D. & Wallace, M.C. (2017) Reducing bat fatalities at wind facilities while improving the economic efficiency of operational mitigation. *Journal of Mammalogy*, 98, 378–385.
- Marques A.T., Santos C.D., Hanssen F., Muñoz A.R., Onrubia A., Wileski M., Moreira F., Palmeirim J.M., Silva J.P., (2020). Wind turbines cause functional habitat loss for migratory soaring birds. *J Anim Ecol.* 2020;89:93–103.
- 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. Juin 2017, actualisé en septembre 2017, 92 p.
- McAney C.M. & Fairley J.S. 1990. Observations at summer roosts of the lesser horseshoe bat in co clare. *Ir. Nat. J.* 23(1).
- McClure, C.J.W., Rolek, B.W., Dunn, L., McCabe, J.D., Martinson, L., Katzner, T., 2021. Eagle fatalities are reduced by automated curtailment of wind turbines. *Journal of Applied Ecology* 58, 446–452. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13831>
- MRNF. 2008. Protocole de suivi des mortalités d'oiseaux de proie et de chiroptères dans le cadre de projets d'implantation d'éoliennes au Québec – 8 janvier 2008. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec. 18 pages.

- Natural England (2007): Disturbance and protected species: understanding and applying the law in England and Wales. Natural England, 24/8/07, 30 pages. Available: http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140605090108/http://www.naturalengland.org.uk/Images/esisgd_tcm6-3774.pdf
- Niermann, I., O. Behr & R. Brinkmann (2007): Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergiestandorten. *Nyctalus* (N.F.) 12 (2-3): 152-162.
- Niermann I. Brinkmann R. Korner-Nievergelt F. Behr O. 2011. Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (ed.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4: 40-115
- Norberg U.M. Rayner J.M.V. 1987. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 316: 335-427.
- Parsons S. & Jones G. 2000. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *J. exp. Biol.* 203: 2641±2656.
- Parsons, K.N., G. Jones, I. Davidson-Watts & F. Greenaway (2003): Swarming of bats at underground sites in Britain - implications for conservation. *Biol. Conservation* 111 (1): 63-70.
- Pearce-Higgins J., Stephen L., Langston R., Bainbridge I., & Bullman R., (2009). The distribution of breeding birds around upland wind farms. *J. Appl. Ecol.* 46(6): 1323- 1331. Doi: 10.1111/j.1365-2664.2009.01715.x.
- Pearce-Higgins, J., Stephen, L., Douse, A., Langston, R., (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. <https://doi.org/10.2307/41433362>
- Péron, G., J.E. Hines, J.D. Nichols, W.L. Kendall, K.A. Peters & D.S. Mizrahi (2013) Estimation of bird and bat mortality at wind-power farms with superpopulation models. *Journal of Applied Ecology* 50(4): 902-911.
- Pollock, R. 2007. Recommended formulas for adjusting fatality rates. California guidelines for reducing impacts to birds and bats from wind energy development. Final commission report. C. E. C. a. C. D. o. F. a. Game. — California Energy Commission, Renewables Committee, and Energy Facilities Siting Divisions, and California Dept of Fish and Game, Resources Management and Policy Division, pp. 117–118.
- Powlesland, R.G., 2009. Impacts of wind farms on birds: a review, Science for conservation. Pub. Team, Dept. of Conservation, Wellington, N.Z.
- Pratz J-L., (2010). Suivi ornithologique et chiroptérologique des parcs éoliens de Beauce - Premiers résultats 2006-2009. Loiret Nature Environnement, Eure-et-Loir Nature, Greet Ingénierie, ADEME, DIREN-centre, Conseil régional.
- Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015.
- Rabie, P.A., Riser-Espinoza, D., Studyvin, J., Dalthorp, D., Huso, M., 2021. AWWI Technical Report : Performance of the GenEst Mortality Estimator Compared to the Huso and Shoenfeld Estimators. Washington, DC. Available at www.awwi.org. © 2020 American Wind Wildlife Institute.
- Rachwald A. 1992. Habitat preference and activity of the noctule bat *Nyctalus noctula* in the Bialowieza Primeval Forest. *Acta Theriol.* 37, 413-422.
- Ravache, A., Barré, K., Normand, B., Goislot, C., Besnard, A., Kerbiriou, C., 2024. Monitoring carcass persistence in windfarms: Recommendations for estimating mortality. *Biol. Conserv.* 292, 110509. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110509>
- Redell D. Arnett E.B. Hayes J.P. & Huso M. 2006. Patterns of pre-construction bat activity at a proposed wind facility in south-central Wisconsin. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 52 p.
- Refoyo Román, P., Olmedo Salinas, C., Muñoz Araújo, B., 2020. Assessing the effect of wind farms in fauna with a mathematical model. *Sci Rep* 10, 14785. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-71758-5>
- Rico, P. & H. Lagrange (2011): Chirotech, Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint-Martin-de-Crau, 13) 2011. Rapport Biotope, contrat n°8 pour l'ADEME, 51 pages.
- Rodrigues L. Bach L. Dubourg-Savage M.-J. Goodwin J. & Harbush C. 2008. Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. EUROBATS Publication Series No. 3 (version française). PNUE/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Germany
- Rodrigues, L. Bach, M.-J. Dubourg-Savage, B. Karapandza, D. Kovac, T. Kervyn, J. Dekker, A. Kepel, P. Bach, J. Collins, C. Harbusch, K. Park, B. Micevski, J. Minderman (2015) Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens – Actualisation 2015. EUROBATS Publication Serie N° 6 (Version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133p.
- Rollins, K.E., D. K. Meyerholz, G.D. Johnson, A.P. Capparella & S.S. Loew (2012): A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? *Veterinary Pathology* 49 (2): 362-371
- Roux D., Tran M., & Gay N., (2013). Suivi des oiseaux et des chiroptères sur un parc éolien. Comportement et mortalité à Bollène (84) entre 2009 et 2012. *Faune sauvage* 298: 10-16.
- Russ J.M. 1999a. The bats of Britain and Ireland. Echolocation calls, sound analysis and species identification. Newtown: Alana Books. 102
- Russ J.M. 1999b. The Microchiroptera of Northern Ireland: community composition, habitat associations and ultrasound. Unpubl. PhD thesis, The Queen's University of Belfast
- 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
- 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? *Eur. J. Wildl. Res.*, 56(6) : 823-827.
- Rydell, J., Engström, H., Hedenström, A., Kyed Larsen, J., Pettersson, J., Green, M., 2012. The effect of wind power on birds and bats - A synthesis. Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket), Stockholm.
- Sané, F. (2012): Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Pao sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : Bilan de 3 années de suivi (2008-2009-2010). ALEPE, unpublished report for EDF EN, 111 pages.
- Sattler T. & Bontadina F. 2005. Bases pour l'évaluation écologique de deux secteurs d'installations éoliennes en France sur la base de la diversité et l'activité des chauvessouris. – Compte-rendu succinct, SWILD, Zürich par ordre de Megawatt Eole, Stuttgart, 23p.
- Schaub, A., J. Ostwald & B.M. Siemers (2008): Foraging bats avoid noise. *The Journal of Experimental Biology* 211: 3174-3180.
- Schaub, T., Klaassen, R.H.G., Bouten, W., Schlaich, A.E., Koks, B.J., 2020. Collision risk of Montagu's Harriers *Circus pygargus* with wind turbines derived from high-resolution GPS tracking. *Ibis* 162, 520–534. <https://doi.org/10.1111/ibi.12788>

- Schwemmer, P., Mercker, M., Haecker, K., Kruckenberg, H., Kämpfer, S., Bocher, P., Fort, J., Jiguet, F., Franks, S., Elts, J., Marja, R., Piha, M., Rousseau, P., Pederson, R., Düttmann, H., Fartmann, T., Garthe, S., 2023. Behavioral responses to offshore windfarms during migration of a declining shorebird species revealed by GPS-telemetry. *Journal of Environmental Management* 342, 118131. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118131>
- Seiche K. Endl P. & Lein M. 2007. Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen – Ergebnisse einer landesweiten Studie. *Nyctalus (N.F.)* 12 (2-3): 170-181.
- Serrano, D., Margalida, A., Pérez-García, J.M., Juste, J., Traba, J., Valera, F., Carrete, M., Aihartza, J., Real, J., Mañosa, S., Flaquer, C., Garin, I., Morales, M.B., Alcalde, J.T., Arroyo, B., Sánchez-Zapata, J.A., Blanco, G., Negro, J.J., Tella, J.L., Ibañez, C., Tellería, J.L., Hiraldo, F., Donazar, J.A., 2020. Renewables in Spain threaten biodiversity. *Science* 370, 1282–1283. <https://doi.org/10.1126/science.abf6509>
- Silva R. 2009. Effet des conditions météorologiques sur l'activité de chasse des Chiroptères. M.N.H.N., C.R.B.P.O., 36p.
- Smallwood, K. 2007. Estimating wind turbine – Caused bird mortality. — *Journal of wildlife management* 71(8) : 2781-2791.
- Soufflot, J., 2010. Synthèse de l'impact de l'éolien sur l'avifaune migratrice sur cinq parcs éoliens en Champagne-Ardenne. LPO.
- Stone, E.L., G. Jones & S. Harris (2009): Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology* 19(13): 1123-1127. Doi:10.1016/j.cub.2009.05.058.
- Swift S.M. 1980. Activity patterns of pipistrelle bats (*Pipistrellus pipistrellus*) in north-east Scotland. *Journal of Zoology, London*, 190, 285-295.
- Therkildsen OR, Elmeros M (2015). First year post-construction monitoring of bats and birds at wind turbine test Centre Østerild. (p128).
- Thonnerieux Y - Natur'ailes (2005). Éoliennes et Oiseaux : quelles conséquences ? (p6).
- Voigt, Ch.C., A.G. Popa-Lisseanu, I. Niermann & S. Kramer-Schadt (2012): The catchment area of wind farms for European bats: A plea for international regulations. *Biological Conservation* 153: 80-86
- Warren-Hicks, W., J. Newman, R. Wolpert, B. Karas & L. Tran (2013): Improving methods for estimating fatality of birds and bats at wind energy facilities. Public Interest Energy Research (PIER) Program. Final Project Report. California Energy Commission. February 2013.
- Welcker, J., Liesenjohann, M., Blew, J., Nehls, G., Grünkorn, T., 2017. Nocturnal migrants do not incur higher collision risk at wind turbines than diurnally active species. *Ibis* 159, 366–373. <https://doi.org/10.1111/ibi.12456>
- Werner, S., Aschwanden, J., Heynen, D., Schmid, H., 2018. Les oiseaux et l'énergie éolienne : Etude et évaluation de projets soumis à une EIE. Recommandations de la Station ornithologique suisse. Station ornithologique suisse, Sempach.
- Whitaker J.O.Jr. 1998. Life history and roost switching in six summer colonies of eastern pipistrelles in buildings. *Journal of Mammalogy* 79 (2): 651-659.
- Young Jr DP, Erickson WP, Strickland MD, Good RE, Sernka KJ (2003). Comparison of avian responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines. (p67).
- Zwart, M.C., Dunn, J.C., McGowan, P.J.K., Whittingham, M.J., 2016. Wind farm noise suppresses territorial defense behavior in a songbird. *BEHECO* 27, 101–108. <https://doi.org/10.1093/beheco/arv128>

Annexe 1 : Formulaire général (suivi mortalité)

Site :							Observateur :		
Date	Heure		T°C		Couverture nuageuse (%)	Pluie (absente, bruine, averses)	Vent (absent, faible, moyen à fort)	Surface prospectée (approx.)	Cadavre (n° + espèce)
	Début	Fin	Début	Fin					

Observateur		Parc	
-------------	--	------	--

Date	Eolienne	Type (O/C)	Espèce	Point GPS (Lambert 93)		Sexe / Etat sexuel	Age	Mesures			Etat cadavre	Blessure	Codes photos	Végétation
				X	Y			AB	D3	D5				
Remarque :														
Remarque :														
Remarque :														
Remarque :														
Remarque :														
Remarque :														

Age : Adulte (Ad) ; immature (Im) ; juvénile (juv)

Etat sex : Post-lactante (PL= tétines visibles) ; Epididymes et/ou gonades gonflées (EG/GG) ; Non reproductrice (NR) ; Epididymes/gonadess non gonflées (EN)

Etat cadavre : Frais (F) ; Avancé (Av) ; Décomposé (Déc) ; Sec (S)

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX			
Nom du parc éolien :			
Point n°	Date :	Heure :	Nom du découvreur :
Localisation : Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : Longitude : Numéro de l'éolienne la plus proche : Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) :			
N° de photos :			
Description et identification :			
Taille de l'oiseau (ailes déployées) : Particularités (couleur, forme quelconque) : Identification (famille, espèce si possible) :			
Etat de l'individu :			
☐ Vivant (blessé) ☐ Mort ☐ Fragment			
Etat du cadavre :			
☐ Frais ☐ Avancé ☐ Décomposé ☐ Sec			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) :			
COMMENTAIRES :			

Annexe 4 : Calendrier du suivi mortalité (2024-2025)

Date	H. début	H. fin	T. début (°C)	T. fin (°C)	CN (%)	Pluie	Vent
15/05/2024	08:24	10:00	11	12	80	averses	faible
24/05/2024	09:54	10:51	13	14	60	absente	moyen à fort
30/05/2024	08:11	9:25	12	13	90	absente	moyen à fort
04/06/2024	10:30	12:30	19	21	100	absente	faible
10/06/2024	07:30	9:00	12	13	90	absente	moyen à fort
21/06/2024	07:30	9:15	13	14	40	absente	faible
25/06/2024	08:44	10:30	18	20	30	absente	faible
01/07/2024	08:15	10:00	17	18	70	absente	moyen à fort
08/07/2024	08:45	11:30	15	16	60	absente	moyen à fort
17/07/2024	08:30	9:45	17	18	60	absente	moyen à fort
25/07/2024	08:45	10:45	14	16	100	bruine	moyen à fort
02/08/2024	12:13	13:15	23	24	20	absente	moyen à fort
06/08/2024	10:25	11:30	17	18	70	bruine	moyen à fort
14/08/2024	10:00	11:00	16	16	40	absente	faible
19/08/2024	12:00	13:30	17	17	50	absente	faible
29/08/2024	09:00	10:30	14	15	40	absente	faible
03/09/2024	10:00	12:15	19	20	30	absente	moyen à fort
06/09/2024	10:00	11:15	18	19	60	absente	moyen à fort
09/09/2024	09:30	10:30	20	20	70	absente	moyen à fort
12/09/2024	10:15	11:30	12	12	90	averses	moyen à fort
16/09/2024	10:15	11:00	14	16	70	absente	moyen à fort
19/09/2024	10:00	11:00	12	13	100	absente	moyen à fort
24/09/2024	09:30	11:15	13	14	90	absente	moyen à fort
27/09/2024	09:45	11:40	13	13	90	absente	moyen à fort
30/09/2024	09:30	10:30	15	15	100	bruine	moyen à fort
10/10/2024	10:15	12:30	14	16	100	bruine	moyen à fort
16/10/2024	09:05	11:50	17	17	100	bruine	moyen à fort
23/10/2024	09:10	12:10	8	10	95	absente	faible
29/10/2024	08:30	11:30	11	14	80	absente	faible
09/04/2025	10:45	13:45	10	13	0	absente	moyen à fort
16/04/2025	16:00	18:00	11	9	100	bruine	moyen à fort
25/04/2025	09:30	12:00	12	17	50	absente	faible
30/04/2025	09:00	10:30	14	18	0	absente	faible
09/05/2025	10:00	12:00	13	17	70	averses	moyen à fort
13/05/2025	09:55	12:00	13	14	100	absente	faible

H : heure ; T : température ; CN : couverture nuageuse.

Annexe 5 : Cas de collision avec l'avifaune recensés en France et en Europe au 9 août 2023 (d'après Dürr, 2023)

Ordre	France	Europe
Passériformes	1 900	6 098
Accipitriformes	607	5 360
Charadriiformes	378	3 131
Falconiformes	464	1 129
Columbiformes	376	950
Galliformes	321	869
Apodiformes	436	770
Ansériformes	27	628
Ciconiiformes	5	176
Pélécaniformes	14	168
Strigiformes	25	138
Gruiformes	7	104
Inconnu	39	50
Piciformes	10	32
Suliformes	13	32
Cuculiformes	0	16
Coraciiformes	4	15
Bucérotiformes	3	12
Ptérocliformes	0	6
Podicipédiformes	2	5
Caprimulgiformes	0	3
Procellariiformes	0	3
Gaviiformes	0	1
Psittaciformes	0	1

Annexe 6 : Niveaux de sensibilité au risque de collision pour l'avifaune

Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cas de mortalité recensés en Europe (Dürr, 09/08/2023)	Nombre d'individus nicheurs en Europe (BirdLife 2021, estimation la plus fiable)	Niveau de sensibilité (collision)
Vautour fauve	Gyps fulvus	1 960	75 700	4
Milan royal	Milvus milvus	864	70 300	4
Pygargue à queue blanche	Haliaeetus albicilla	490	24 500	4
Goéland argenté	Larus argentatus	1189	1 130 000	3
Buse variable	Buteo buteo	1189	2 070 000	3
Faucon crécerelle	Falco tinnunculus	867	991 000	3
Faucon crécerellette	Falco naumanni	143	73 400	3
Héron garde-bœufs	Bubulcus ibis	103	164 000	3
Busard cendré	Circus pygargus	87	174 000	3
Circaète Jean-le-Blanc	Circaetus gallicus	74	24 600	3
Balbuzard pêcheur	Pandion haliaetus	68	23 000	3
Faucon pèlerin	Falco peregrinus	46	41 300	3
Aigle botté	Hieraaetus pennatus	46	52 100	3
Grand-duc d'Europe	Bubo bubo	44	45 900	3
Vautour percnoptère	Neophron percnopterus	30	7 100	3
Aigle royal	Aquila chrysaetos	27	22 100	3
Vautour moine	Aegypius monachus	5	6 100	3
Aigle de Bonelli	Hieraaetus fasciatus	4	2 300	3
Aigle impérial	Aquila heliaca	4	4 800	3
Elanion blanc	Elanus caeruleus	3	3 800	3
Gypaète barbu	Gypaetus barbatus	2	1 500	3
Outarde houbara	Chlamydotis undulata	1	620	3
Mouette rieuse	Chroicocephalus ridibundus	777	3 380 000	2
Canard colvert	Anas platyrhynchos	405	3 200 000	2
Goéland brun	Larus fuscus	366	781 000	2
Lagopède des saules	Lagopus lagopus	214	3 230 000	2
Perdrix grise	Perdix perdix	203	2 820 000	2
Milan noir	Milvus migrans	187	433 000	2
Sterne pierregarin	Sterna hirundo	169	1 120 000	2
Cigogne blanche	Ciconia ciconia	166	530 000	2
Epervier d'Europe	Accipiter nisus	115	915 000	2
Goéland marin	Larus marinus	90	196 000	2
Busard des roseaux	Circus aeruginosus	84	380 000	2
Goéland pontique	Larus cachinnans	49	303 000	2
Faucon hobereau	Falco subbuteo	47	342 000	2
Héron cendré	Ardea cinerea	46	583 000	2
Bondrée apivore	Pernis apivorus	43	289 000	2
Cygne tuberculé	Cygnus olor	34	199 000	2
Grue cendrée	Grus grus	34	362 000	2
Effraie des clochers	Tyto alba	33	239 000	2
Busard Saint-Martin	Circus cyaneus	27	139 000	2
Sterne caugek	Thalasseus sandvicensis	27	258 000	2
Autour des palombes	Accipiter gentilis	18	291 000	2
Aigle pomarin	Clanga pomarina	15	39 700	2
Sterne naine	Sterna albifrons	15	81 600	2
Œdicnème criard	Burhinus oedicnemus	15	152 000	2
Martinet pâle	Apus pallidus	14	230 000	2
Buse pattue	Buteo lagopus	13	81 400	2
Tadorne de Belon	Tadorna tadorna	12	124 000	2

Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cas de mortalité recensés en Europe (Dürr, 09/08/2023)	Nombre d'individus nicheurs en Europe (BirdLife 2021, estimation la plus fiable)	Niveau de sensibilité (collision)
Mouette mélanocéphale	Ichthyaeetus melanocephalus	12	160 000	2
Cigogne noire	Ciconia nigra	10	25 400	2
Cygne chanteur	Cygnus cygnus	10	82 000	2
Avocette élégante	Recurvirostra avosetta	8	95 300	2
Ganga cata	Pterocles alchata	4	16 600	2
Outarde barbue	Otis tarda	4	38 300	2
Faucon émerillon	Falco columbarius	4	59 200	2
Pouillot à grands sourcils	Phylloscopus inornatus	3	49 000	2
Cygne de Bewick	Cygnus columbianus bewickii	2	14 600	2
Ganga unibande	Pterocles orientalis	2	24 300	2
Oie des neiges	Anser caerulescens	1	4 500	2
Sirli de Dupont	Cersophilus duponti	1	4 700	2
Martinet noir	Apus apus	728	41 700 000	1
Roitelet à triple bandeau	Regulus ignicapilla	492	12 100 000	1
Pigeon ramier	Columba palumbus	469	48 400 000	1
Bruant proyer	Emberiza calandra	383	27 500 000	1
Etourneau sansonnet	Sturnus vulgaris	365	69 900 000	1
Hirondelle de fenêtre	Delichon urbica	340	33 000 000	1
Roitelet huppé	Regulus regulus	241	37 400 000	1
Faisan de Colchide	Phasianus colchicus	203	6 410 000	1
Corneille noire	Corvus corone	192	20 800 000	1
Cochevis de Thékla	Galerida theklae	187	4 380 000	1
Perdrix rouge	Alectoris rufa	187	11 700 000	1
Alouette lulu	Lullula arborea	150	6 010 000	1
Gobemouche noir	Ficedula hypoleuca	107	19 600 000	1
Goéland cendré	Larus canus	91	2 250 000	1
Alouette calandre	Melanocorypha calandra	75	2 750 000	1
Tourterelle des bois	Streptopelia turtur	50	6 900 000	1
Pluvier doré	Pluvialis apricaria	47	1 960 000	1
Fauvette passerinette	Sylvia cantillans	44	8 490 000	1
Pigeon colombin	Columba oenas	41	1 700 000	1
Caille des blés	Coturnix coturnix	36	6 560 000	1
Oie cendrée	Anser anser	35	866 000	1
Foulque macroule	Fulica atra	34	2 590 000	1
Hibou moyen-duc	Asio otus	33	788 000	1
Grand Cormoran	Phalacrocorax carbo	31	926 000	1
Vanneau huppé	Vanellus vanellus	31	3 820 000	1
Grand Corbeau	Corvus corax	29	1 720 000	1
Huïtrier pie	Haematopus ostralegus	28	598 000	1
Martinet à ventre blanc	Tachymarptis melba	27	960 000	1
Pipit rousseline	Anthus campestris	24	2 980 000	1
Goéland leucophée	Larus michahellis	23	947 000	1
Eider à duvet	Somateria molissima	18	1 410 000	1
Fauvette pitchou	Sylvia undata	18	1 750 000	1
Gallinule poule-d'eau	Gallinula chloropus	18	2 150 000	1
Courlis cendré	Numenius arquata	14	470 000	1
Grand Tétrás	Tetrao urogallus	14	2 110 000	1
Chouette hulotte	Strix aluco	13	1 520 000	1
Sarcelle d'hiver	Anas crecca	12	1 240 000	1
Râle d'eau	Rallus aquaticus	10	438 000	1
Bernache nonnette	Branta leucopsis	9	939 000	1

Nom vernaculaire	Nom latin	Nombre de cas de mortalité recensés en Europe (Dürr, 09/08/2023)	Nombre d'individus nicheurs en Europe (BirdLife 2021, estimation la plus fiable)	Niveau de sensibilité (collision)
Pouillot ibérique	<i>Phylloscopus ibericus</i>	9	1 190 000	1
Pic vert	<i>Picus viridis</i>	9	1 560 000	1
Locustelle tachetée	<i>Locustella naevia</i>	9	1 660 000	1
Pipit maritime	<i>Anthus petrosus</i>	8	433 000	1
Oie des moissons	<i>Anser fabalis</i>	8	534 000	1
Chevalier gambette	<i>Tringa totanus</i>	8	596 000	1
Aigrette garzette	<i>Egretta garzetta</i>	7	146 000	1
Hibou des marais	<i>Asio flammea</i>	7	215 000	1
Hirondelle de rochers	<i>Ptyonoprogne rupestris</i>	7	562 000	1
Canard siffleur	<i>Mareca penelope</i>	7	574 000	1
Canard chipeau	<i>Anas strepera</i>	6	202 000	1
Coucou geai	<i>Clamator glandarius</i>	6	301 000	1
Butor étoilé	<i>Botaurus stellaris</i>	5	174 000	1
Pie-grièche grise	<i>Lanius excubitor</i>	5	175 000	1
Fauvette à lunettes	<i>Sylvia conspicillata</i>	5	535 000	1
Grèbe huppé	<i>Podiceps cristatus</i>	5	903 000	1
Barge à queue noire	<i>Limosa limosa</i>	4	300 000	1
Fauvette orphée	<i>Sylvia hortensis</i>	4	349 000	1
Tournepierre à collier	<i>Arenaria interpres</i>	3	61 400	1
Crave à bec rouge	<i>Pyrhhorax pyrrhonorax</i>	3	120 000	1
Canard souchet	<i>Anas clypeata</i>	3	339 000	1
Fuligule milouin	<i>Aythya ferina</i>	3	500 000	1
Mouette pygmée	<i>Larus minutus</i>	2	88 900	1
Monticole de roche	<i>Monticola saxatilis</i>	2	310 000	1
Glaréole à collier	<i>Glaresola pratincola</i>	1	23 800	1
Pélican blanc	<i>Pelecanus onocrotalus</i>	1	27 400	1
Fuligule nyroca	<i>Aythya nyroca</i>	1	28 600	1
Spatule blanche	<i>Platalea leucorodia</i>	1	29 000	1
Guignard d'Eurasie	<i>Charadrius morinellus</i>	1	31 300	1
Goéland d'Audouin	<i>Ichthyophaga audouinii</i>	1	36 300	1
Bernache du Canada	<i>Branta canadensis</i>	1	44 700	1
Gravelot à collier interrompu	<i>Charadrius alexandrinus</i>	1	46 600	1
Bécassine sourde	<i>Limnospiza minima</i>	1	51 100	1
Macreuse noire	<i>Melanitta nigra</i>	1	56 500	1
Nette rousse	<i>Nettion rufina</i>	1	82 000	1
Pluvier argenté	<i>Pluvialis squatarola</i>	1	95 100	1
Grande Aigrette	<i>Casmerodius albus</i>	1	102 000	1
Plongeon catmarin	<i>Gavia stellata</i>	1	115 000	1
Fuligule milouinan	<i>Aythya marila</i>	1	128 000	1
Bihoreau gris	<i>Nycticorax nycticorax</i>	1	137 000	1
Faucon kobez	<i>Falco vespertinus</i>	1	140 000	1
Echasse blanche	<i>Himantopus himantopus</i>	1	158 000	1
Harle huppé	<i>Mergus serrator</i>	1	198 000	1
Harle huppé	<i>Mergus serrator</i>	1	198 000	1

Annexe 7 : Cas de collision avec des chiroptères recensés en France et en Europe au 9 août 2023 (d'après Dürr, 2023)

Espèces	Europe	France
Pipistrelle commune	3 401	1 931
Pipistrelle de Nathusius	1 792	415
Noctule commune	1 765	269
Chiroptère sp.	1 123	465
Pipistrelle sp.	864	421
Noctule de Leisler	813	243
Pipistrelle de Kuhl	661	411
Pipistrelle pygmée	494	199
Pipistrelle commune / pygmée	412	40
Vespère de Savi	346	59
Sérotine bicolore	218	11
Sérotine commune	165	72
Sérotine Isabelline	120	0
Sérotine commune / Isabelline	115	0
Molosse de Cestoni	85	3
Sérotine de Nilsson	45	0
Grande Noctule	41	10
Noctule sp.	26	5
Minioptère de Schreibers	14	8
Murin de Daubenton	12	2
Oreillard gris	11	2
Murin sp.	10	1
Grand Murin	9	5
Oreillard roux	9	1
Murin à moustaches	8	4
Barbastelle d'Europe	8	6
Petit Murin	7	1
Murin de Natterer	6	3
Murin à oreilles échancrées	5	3
Murin des marais	3	0
Murin de Bechstein	2	2
Murin de Brandt	2	0
Grand Rhinolophe	2	1
Oreillard sp.	1	1
Rhinolophe de Mehely	1	0
Rhinolophe sp.	1	0

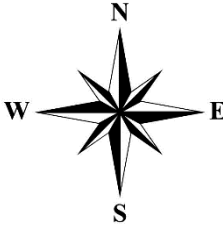
Annexe 8 : Notes de risque chiroptères

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Statuts de protection	Statuts Listes rouges (UICN)			Note de risque
		Directive Habitats	Monde	Europe	France	
Rhinolophe de Mehely**	<i>Rhinolophus mehelyi</i>	Annexe II & IV	VU	VU	CR = 5	3*
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Annexe II & IV	NT	NT	VU = 4	3*
Murin de Capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Annexe II & IV	VU	VU	NT = 3	1,5
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2	1
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2	1,5*
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Annexe II & IV	NT	VU	NT = 3	2*
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	Annexe II & IV	LC	NT	NT = 3	2*
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3	3,5
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	LC	LC	VU = 4	4
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3	3,5
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2	1
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3	3
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2	1,5*
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1	1,5
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3	3
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	2,5
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Annexe IV	DD	DD	LC = 2	1
Murin de Brandt	<i>Myotis brandtii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	1,5
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	2
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Annexe II & IV	LC	LC	LC = 2	1,5*
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	Annexe II & IV	LC	LC	LC = 2	1,5*
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	1,5
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	1,5
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	3
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3	3,5
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	2,5
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	1,5
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2	2
Murin d'Escalera	Myotis escaleraei	NE	NE	/	VU = 4	2*
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Annexe IV	NT	DD	VU = 4	3*
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrobullaris</i>	Annexe IV	LC	NT	VU = 4	2
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1	2
Murin des marais**	<i>Myotis dasycneme</i>	Annexe II & IV	NT	NT	EN=5	3*
DD : Données insuffisantes ; LC : Préoccupation mineure ; NT : Quasi menacée ; VU : Vulnérable ; EN : En danger ; CR : En danger critique d'extinction ; NA : Non applicable						Note calculée par ENCIS sur la base de la SFPEM 2015 avec la mise à jour de la mortalité de DURR : mise à jour le 30/08/2023
* Arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection						
** Espèce faisant partie de la liste des vertébrés protégés menacés d'extinction et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département (Arrêté di 9 juillet 1999)						
						* : surclassement possible localement pour les espèces forestières si implantation en forêt, et les espèces fortement grégaires (proximité d'importantes nurseries ou de sites d'hibernation majeurs)

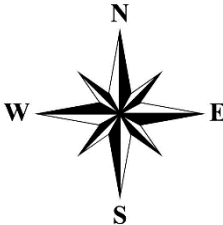
Annexe 9 : Surfaces prospectées par éolienne et par sortie lors du suivi de la mortalité

Sortie	Date	Surface prospectée par éolienne (m²)				
		1	2	3	4	Total
1	15/05/2024	8 709	6 855	8 998	9 023	33 585
2	24/05/2024	1 203	2 356	1 125	1 372	6 056
3	30/05/2024	1 203	2 356	1 125	1 372	6 056
4	04/06/2024	1 203	2 356	1 125	1 372	6 056
5	10/06/2024	1 203	2 356	1 125	1 372	6 056
6	21/06/2024	1 203	2 356	1 125	1 372	6 056
7	25/06/2024	8 915	9 851	7 101	6 363	32 230
8	01/07/2024	8 915	9 851	7 101	6 363	32 230
9	08/07/2024	1 409	9 851	7 101	6 363	24 724
10	17/07/2024	1 409	9 851	7 101	6 363	24 724
11	25/07/2024	9 103	1 844	1 532	1 079	13 558
12	02/08/2024	9 176	6 081	1 532	1 079	17 868
13	06/08/2024	9 176	6 081	1 532	1 079	17 868
14	14/08/2024	9 176	6 081	1 532	1 079	17 868
15	19/08/2024	9 176	6 081	1 532	1 079	17 868
16	29/08/2024	9 176	6 081	1 532	1 079	17 868
17	03/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
18	06/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
19	09/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
20	12/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
21	16/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
22	19/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
23	24/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
24	27/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
25	30/09/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
26	10/10/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
27	16/10/2024	9 204	6 760	9 564	9 115	34 643
28	23/10/2024	9 204	7 098	9 564	9 115	34 981
29	29/10/2024	9 204	7 098	9 564	9 115	34 981
30	09/04/2025	1 763	2 117	9 564	9 115	22 559
31	16/04/2025	1 763	2 117	9 564	9 115	22 559
32	25/04/2025	1 675	1 821	9 708	8 947	22 151
33	30/04/2025	1 675	1 821	1 947	911	6 354
34	09/05/2025	9 892	1 821	1 503	1 165	14 381
35	13/05/2025	9 892	1 821	1 503	1 165	14 381
Moyenne sur l'ensemble du suivi		6 762	5 439	6 010	5 621	23 831
Proportion (%)		67,62	54,39	60,10	56,21	59,58

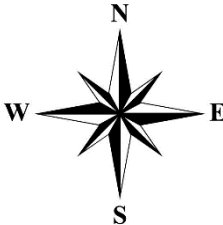
Annexe 10 : Fiches de saisie standardisées de la mortalité du parc éolien de Kerdrouallan Étourneau sansonnet

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ AVIFAUNE			
Nom du parc éolien : Kerdrouallan			
Point	N° 1	Photos	
Date	01/07/2024		
Heure	09:15		
Nom du découvreur	Hugo PONTY		
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte			
Latitude	48,4292542		
Longitude	-3,0237312		
Numéro de l'éolienne la plus proche	E2		
Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m)	4		
Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche	N		
Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur)	Plateforme		
N° de photos	20240701_ST-GILDAS_E2_Etourneau_sansonnet		
Description et identification			
Taille de l'oiseau (aile déployées)	Inconnue		
Particularités (couleur, forme quelconque)	Sous caudales avec liseré crème à brun foncé de part et d'autre de la plume		
Identification (famille, espèce si possible)	Étourneau sansonnet (<i>Sturnus vulgaris</i>)		
État de l'individu : Mort			
État du cadavre : Sec			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...)	Collision avec pale		
Commentaires	Reste uniquement la queue lors de la découverte.		

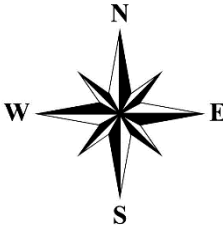
Pipistrelle commune

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ AVIFAUNE		
Nom du parc éolien : Kerdrouallan		
Point	N° 2	Photos 
Date	16/10/2024	
Heure	09:45	
Nom du découvreur	Emilien JOMAT	
Localisation		
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte		
Latitude	48,4255694	
Longitude	-3,0185177	
Numéro de l'éolienne la plus proche	E4	
Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m)	17	
Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche	N	
Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur)	Plateforme	
N° de photos	20241007_ST-GILDAS_E4_Pipistrelle commune	
Description et identification		
Taille de l'oiseau (aile déployées)	Non renseignée	
Particularités (couleur, forme quelconque)		
Identification (famille, espèce si possible)	Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	
État de l'individu : Mort sans blessure visible		
État du cadavre : Avancé		
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...)	Barotraumatisme	
Commentaires	Aucun	

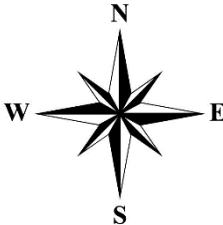
Linotte mélodieuse

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ AVIFAUNE			
Nom du parc éolien : Kerdrouallan			
Point	N° 3	Photos	
Date	09/04/2025		
Heure	10 :55		
Nom du découvreur	Corentin GOISLOT		
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte			
Latitude	48,43129887		
Longitude	-3,026640167		
Numéro de l'éolienne la plus proche	E1		
Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m)	10		
Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche	S		
Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur)	Plateforme		
N° de photos	20250409_KERDROUALLAN_E1_O2		
Description et identification			
Taille de l'oiseau (aile déployées)	Aile : 80 mm / Tarse : 15,5 mm		
Particularités (couleur, forme quelconque)	Mâle adulte : front et poitrine rouges, nuque grise		
Identification (famille, espèce si possible)	Linotte mélodieuse (<i>Linaria cannabina</i>)		
État de l'individu : Mort			
État du cadavre : Frais			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...)	Collision avec pale		
Commentaires	Découverte ayant fait l'objet d'une fiche de déclaration d'incident faune volante pour mortalité d'un individu appartenant à une espèce menacée (classée « Vulnérable » sur la liste des oiseaux nicheurs de France métropolitaine)		

Sterne pierregarin

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ AVIFAUNE		
Nom du parc éolien : Le Ménec		
Point	N° 4	Photos 
Date	09/04/2025	
Heure	12 :55	
Nom du découvreur	Corentin GOISLOT	
Localisation		
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte		
Latitude	48,42691333	
Longitude	-3,021073333	
Numéro de l'éolienne la plus proche	E3	
Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m)	34	
Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche	S	
Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur)	Chaumes	
N° de photos	20250409_KERDROUALLAN_E1_O3	
Description et identification		
Taille de l'oiseau (aile déployées)	Aile : 288 mm	
Particularités (couleur, forme quelconque)	Dessous gris clair, primaires externes plus foncées que les autres et formant un motif sombre sur le bout de l'aile ; primaires blanches dessous avec bord postérieur sombre assez large et diffus	
Identification (famille, espèce si possible)	Sterne pierregarin (<i>Sterna hirundo</i>)	
État de l'individu : Fragments (corps, ailes)		
État du cadavre : Décomposé		
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...)	Collision avec pale	
Commentaires	Cadavre probablement passé dans la moissonneuse	

Alouette des champs

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ AVIFAUNE			
Nom du parc éolien : Kerdrouallan			
Point	N° 5	Photos	
Date	16/04/2025		
Heure	16 :00		
Nom du découvreur	Corentin GOISLOT		
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte			
Latitude	48,42548606		
Longitude	-3,018532528		
Numéro de l'éolienne la plus proche	E4		
Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m)	9		
Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche	N		
Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur)	Plateforme		
N° de photos	20250416_KERDROUALLAN_E4_O4		
Description et identification			
Taille de l'oiseau (aile déployées)	Aile : 210 mm / Tarse : 24,5 mm		
Particularités (couleur, forme quelconque)	Brun, poitrine striée, ventre blanc non rayé ; bord postérieur des ailes plus clair et rectrices externes blanches		
Identification (famille, espèce si possible)	Alouette des champs (<i>Alauda arvensis</i>)		
État de l'individu : Mort			
État du cadavre : Frais			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...)	Collision avec pale		
Commentaires	Blessure à l'aile gauche		