

Mai 2024

Suivi Environnemental ICPE

PARC ÉOLIEN DE BITERNE SUD

COMMUNES DE BROONS ET D'YVIGNAC-LA-TOUR (22)

SUIVI DE L'ANNÉE 3 D'EXPLOITATION (2023)

Maître d'ouvrage

Parc éolien Biterne Sud SAS

Étude réalisée par :

Encis Environnement

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'évolution des habitats naturels
- Suivi de l'activité de l'avifaune (oiseaux nicheurs, migrants et hivernants)
- 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 Parc éolien Biterne Sud SAS pour réaliser ce suivi environnemental ICPE pour la troisième année consécutive, après la mise en service du parc en 2021.

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

SOMMAIRE

1	Cadre général de l'étude	5
1.1	Maître d'ouvrage – exploitant	6
1.2	Auteurs de l'étude	6
1.3	Présentation du parc éolien étudié	7
1.4	Cadre réglementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens	9
1.5	Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel	10
1.5.1	Avifaune	10
1.5.2	Chiroptères	17
2	Méthodes utilisées	32
2.1	Méthodologie et démarche générale	33
2.2	Suivi d'activité des chiroptères	34
2.2.1	Objectif et paramètres à prendre en compte	34
2.2.2	Méthodologie et pression d'inventaire	34
2.3	Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères	45
2.3.1	Principes et objectif	45
2.3.2	Protocole utilisé	46
2.3.3	Déclaration d'incident faune volante	48
2.3.4	Détermination du statut biologique	48
2.3.5	Méthodes d'estimation de la mortalité	49
2.4	Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées	55
2.4.1	Limites des méthodes employées	55
2.4.2	Difficultés rencontrées	56
3	Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères	57
3.1	Bilan des connaissances de l'étude d'impact	58
3.2	Suivi de l'activité des chiroptères en 2023	58
3.2.1	Suivi d'activité des chiroptères au sol	58
3.2.2	Synthèse du suivi d'activité des chiroptères au sol	67
3.2.3	Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle	68
3.2.4	Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle	79
3.1	Bilan et comparaison avec l'étude d'impact et les suivis ICPE	80
3.1.1	Diversité spécifique	80
3.1.2	Activité recensée	82
3.1.3	Cumul des trois années de suivi ICPE	83
3.2	Principaux éléments à retenir du suivi ICPE	89
4	Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	90
4.1	Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation	91
4.1.1	Durée moyenne de l'intervalle	91
4.1.2	Efficacité du chercheur	91
4.1.3	Persistance des cadavres	91
4.1.1	Surfaces prospectées et correction surfacique	92
4.2	Mortalité de l'avifaune	93
4.2.1	Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien	93
4.2.2	Bilan des connaissances de l'étude d'impact	96

4.2.3 Résultats globaux du suivi de l'avifaune en 2023	97
4.2.4 Résultats saisonniers	99
4.2.5 Résultats spatialisés par éolienne	100
4.2.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien	101
4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune	102
4.2.8 Comparaisons des données de 2023 avec celles de 2021 et 2022	104
4.2.9 Synthèse	108
4.3 Mortalité des chiroptères	109
4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien	109
4.3.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact.....	115
4.3.3 Résultats globaux du suivi des chiroptères en 2023	116
4.3.4 Résultats saisonniers	118
4.3.5 Résultats spatialisés par éolienne	119
4.3.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien	120
4.3.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères	121
4.3.8 Comparaisons des données de 2023 avec celles de 2021 et 2022	123
4.3.9 Synthèse	127
5 Mesures correctrices.....	128
5.1 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence sur les chiroptères	129
5.1.1 Programmation préventive	129
5.2 Mesures de réduction proposées pour réduire l'incidence sur l'avifaune	133
5.2.1 Réduire l'attractivité des plateformes des éoliennes pour les rapaces et les passereaux	134
Table des illustrations	134
Bibliographie	139
Annexes.....	149




1 Cadre général de l'étude

1.1 Maître d'ouvrage – exploitant

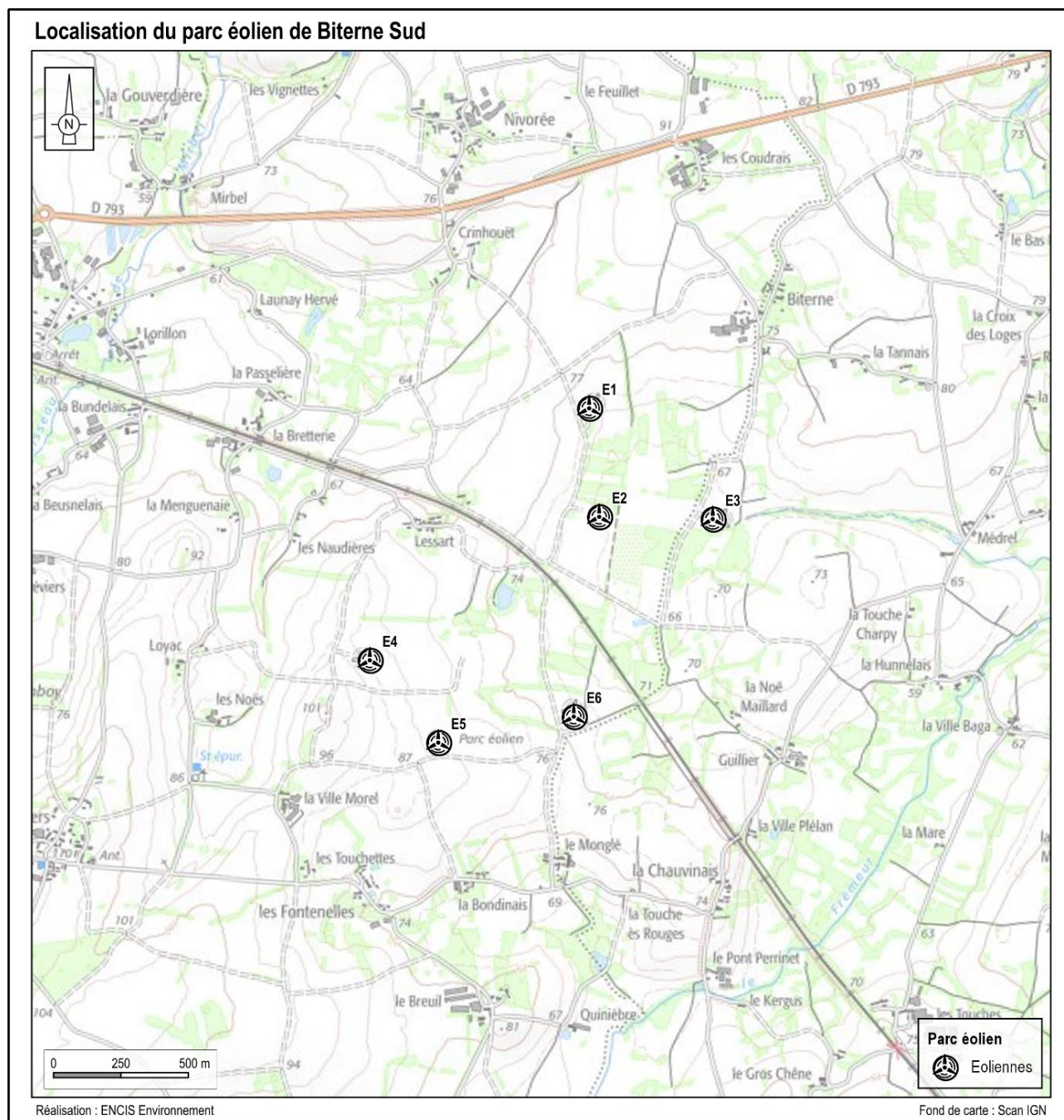
Destinataire	Parc éolien Biterne Sud SAS
Adresse	Val d'Orson - Rue du Pré Long 35770 VERN-SUR-SEICHE
Interlocuteur	Julien LEON
Téléphone	+33 2 99 36 77 40

1.2 Auteurs de l'étude

Structure	
Adresse	21 Rue de Columbia 87 068 LIMOGES
Téléphone	05 55 36 28 39
Suivi de l'activité des chiroptères	Clément MADEC, Chargé d'études - Chiroptérologue
Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	Corentin GOISLOT, Chargé d'études - Ornithologue
Correction	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de Nantes Nicolas LAGARDE, Responsable d'études et développement
Validation	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de Nantes Nicolas LAGARDE, Responsable d'études et développement
Version / date	Mai 2024

1.3 Présentation du parc éolien étudié

Le parc éolien se situe sur les communes de Broons (éoliennes E1, E2, E4, E5 et E6) et d'Yvignac-la-Tour (éolienne E3) dans le département des Côtes-d'Armor (22). Le parc éolien est composé de six éoliennes de type ENERCON E92 d'une puissance nominale de 2,35 MW et réparties en deux groupes de trois éoliennes situées de part et d'autre de la voie ferrée Rennes/Saint-Brieuc. Quatre éoliennes ont une hauteur de 149,9 mètres en bout de pale (E1, E2, E3 et E6), deux de 144,38 mètres (E4 et E5) (carte suivante).



Carte 1 : Localisation du parc éolien de Biterne Sud

Implantées dans un secteur à forte dominante agricole, cinq des six éoliennes et leurs plateformes se situent sur des parcelles cultivées (E1, E3, E4, E5 et E6), la dernière étant située dans une prairie de fauche (E2) (carte suivante).



Carte 2 : Localisation du parc éolien de Biterne Sud sur photographie aérienne



Photo 1 : Éoliennes E1, E2, E3 (au second plan) et E4, E5, E6 (au premier plan)

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

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.

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

1.5.1 Avifaune

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, particulièrement 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).



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).

L'analyse des résultats de 127 études portant sur les impacts des éoliennes sur la biodiversité (Hötter *et al.*, 2006) illustre 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.

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).

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).

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.).

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).

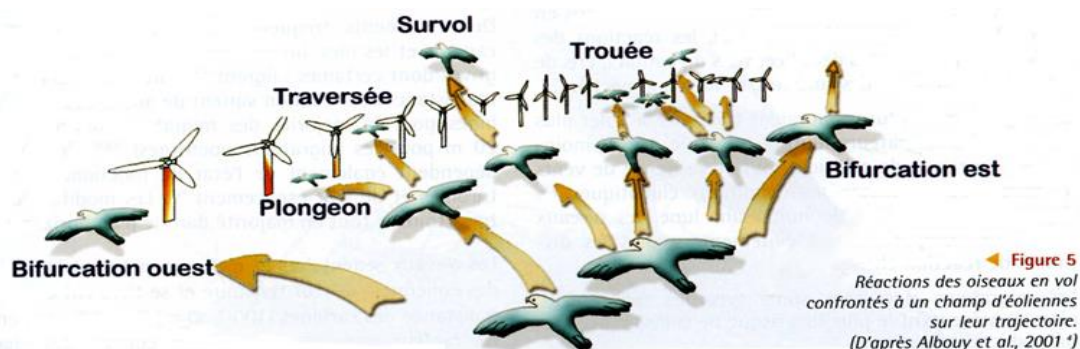


Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001)

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 Étourneau 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'Étourneau 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 migrants qui abordent un parc éolien. Une ligne d'éoliennes parallèle à l'axe de migration principal provoque moins de modifications de comportement qu'une ligne perpendiculaire aux déplacements. Par exemple, sur le plateau de Garrigue Haute (Albouy *et al.*, 2001), les cinq éoliennes du parc de Port-la-Nouvelle, implantées perpendiculairement à l'axe de migration, provoquent cinq fois plus de réactions de traversée que les dix éoliennes du parc de Sigean, implantées parallèlement à cet axe. En outre, les auteurs 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 migrants. La littérature recommande de limiter l'emprise du parc sur l'axe de migration, dans l'idéal à moins de 1 000 mètres (Soufflot *et al.*, LPO, 2010 ; Marx *et al.*, LPO, 2017). Lorsque cette préconisation ne peut être respectée, il est recommandé d'aménager des trouées de tailles suffisantes pour laisser des échappatoires aux migrants. Soufflot *et al.*, (2010) évaluent la distance minimale d'une trouée à 1 000 mètres (1 250 mètres dans l'idéal, sans distinction du sens d'implantation des éoliennes). Ces mêmes auteurs recommandent également d'exclure les croisements de lignes d'éoliennes (configuration en croix, en « Y » ou en « L »).

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

1.5.1.3 Risque de collision

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). 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, Gaultier *et al.*, 2019).

L'environnement du parc (milieux, topographie) serait le paramètre le plus important déterminant la fréquence des cas de collisions (Rydell *et al.* 2012), 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.

Les différentes 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, sont par conséquent moins sensibles au risque de collision. Les espèces moins farouches seront potentiellement plus sensibles à la mortalité par collision avec les pales (milans, buses, Faucon crécerelle, busards, martinets, hirondelles, etc.).

Les rapaces, les laridés et les passereaux migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les turbines (Souflot, 2010).

Certaines situations peuvent accroître les risques de collision avec les pales. Les principaux critères sont le nombre d'éoliennes, leur taille, la configuration du parc (cf. chapitre précédent sur l'effet barrière et le contournement), le contexte paysager, les hauteurs et types de vol des espèces, le comportement de chasse pour les rapaces et les phénomènes de regroupement pour les espèces en migration, principalement pour les migrateurs nocturnes. De même, les conditions météorologiques défavorables (brouillard, nuages bas, vent fort), constituent des situations à risque.

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.

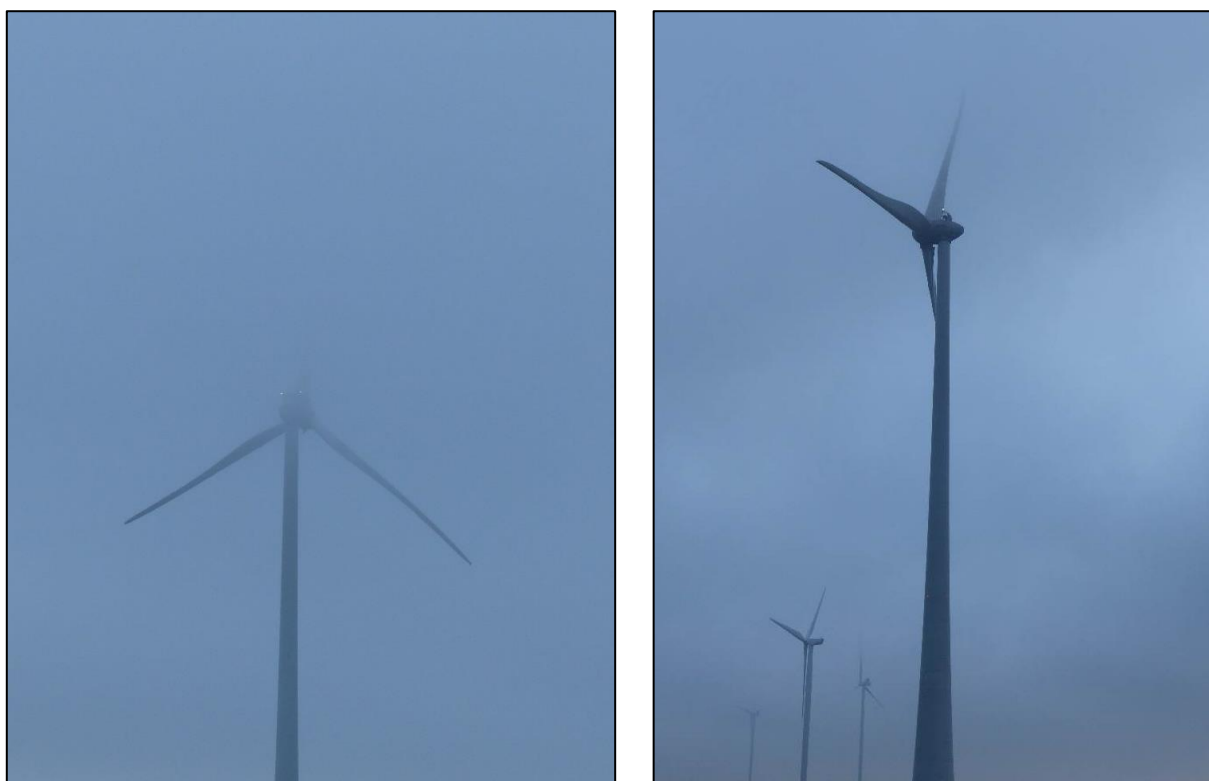


Photo 2 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales.

©Encis Environnement

1.5.2 Chiroptères

1.5.2.1 Généralités

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 Minioptères 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).

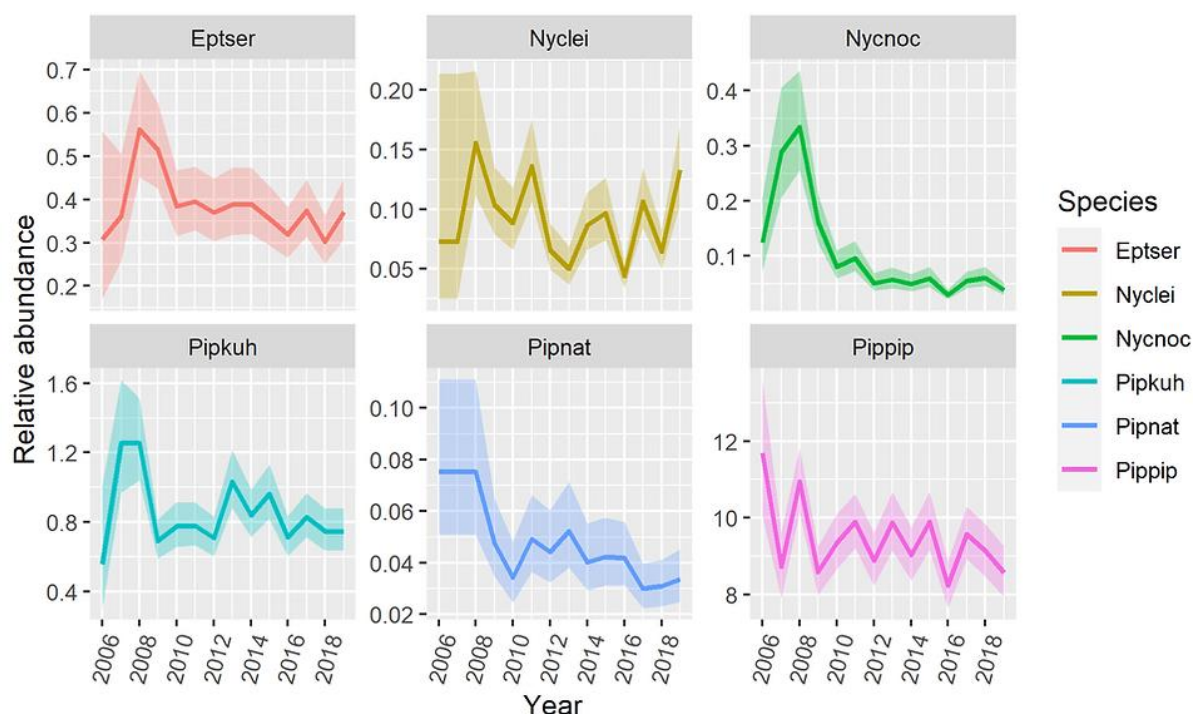


Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas *et al.*, 2020)

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

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 ; Averbach *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).

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 ; Roেকেle *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.

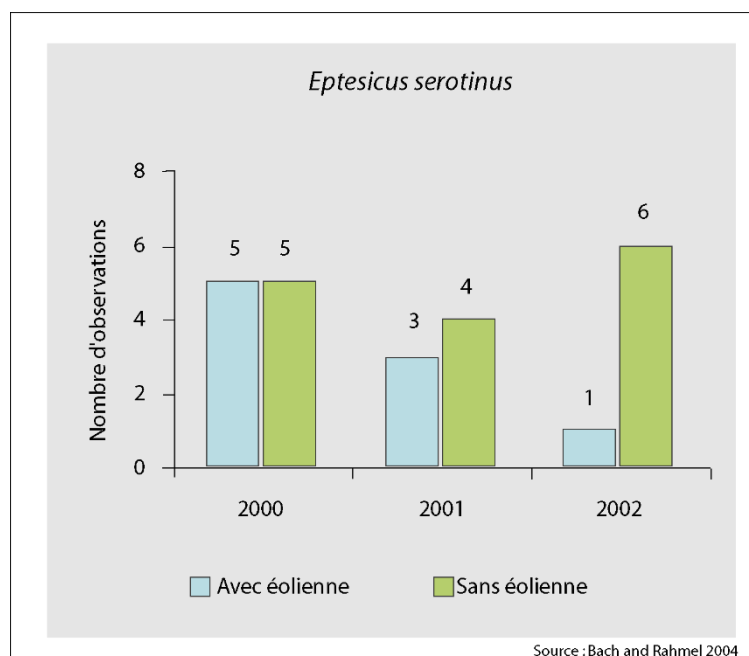


Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach & Rahmel 2004)

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 ; Roেকেle *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 mené 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.

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 relater 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 sublétales 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.

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).

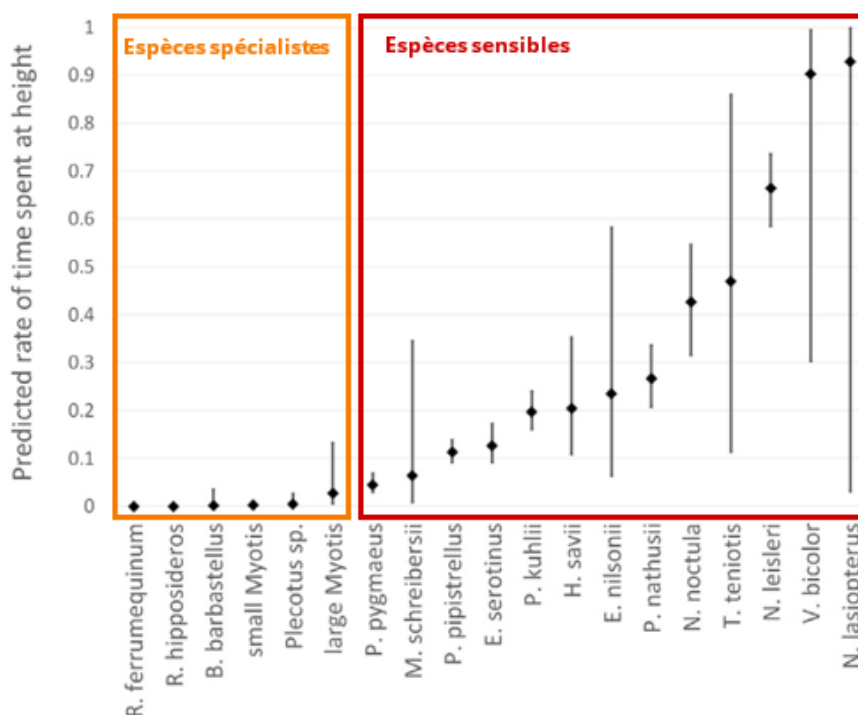


Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer *et al.*, 2017)

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.

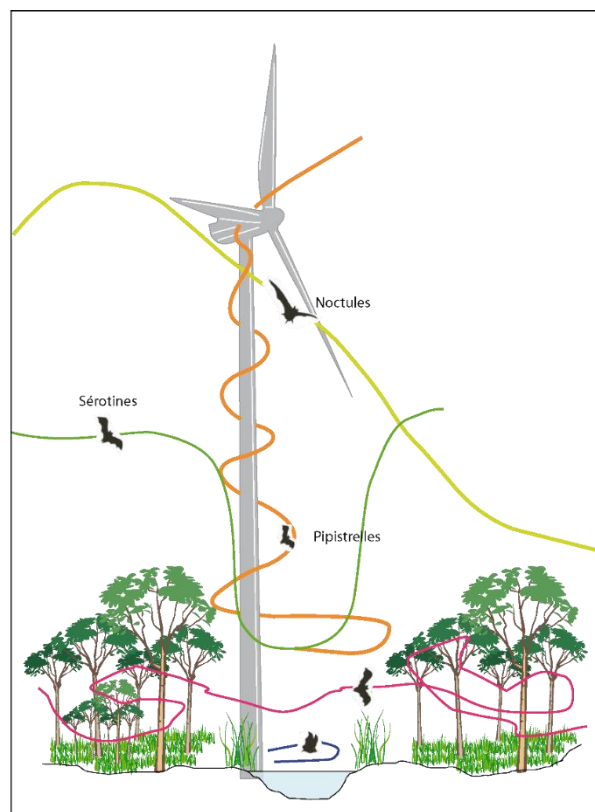


Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne

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.

Sur l'ensemble de ces saisons, hormis l'hibernation, des cas de mortalités liés aux éoliennes sur des populations locales ou migratrices sont observés (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 à 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 mesures 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).

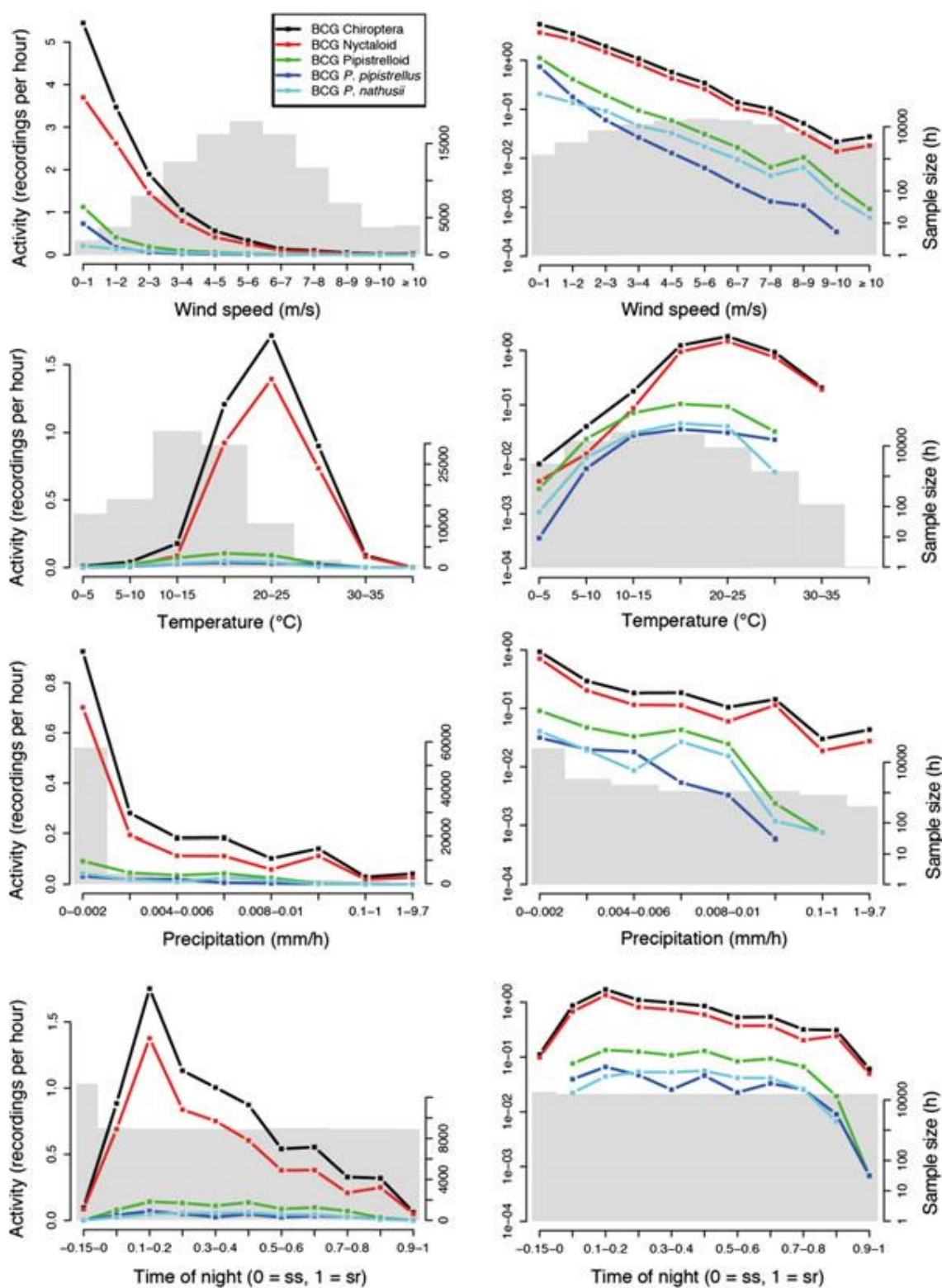


Figure 6 : Effet de différents paramètres sur l'activité des chiroptères mesurée en nacelle d'éolienne (sur 69 éoliennes dans 35 sites dans 5 différentes régions naturelles en Allemagne en 2008) (Behr et al., 2017)

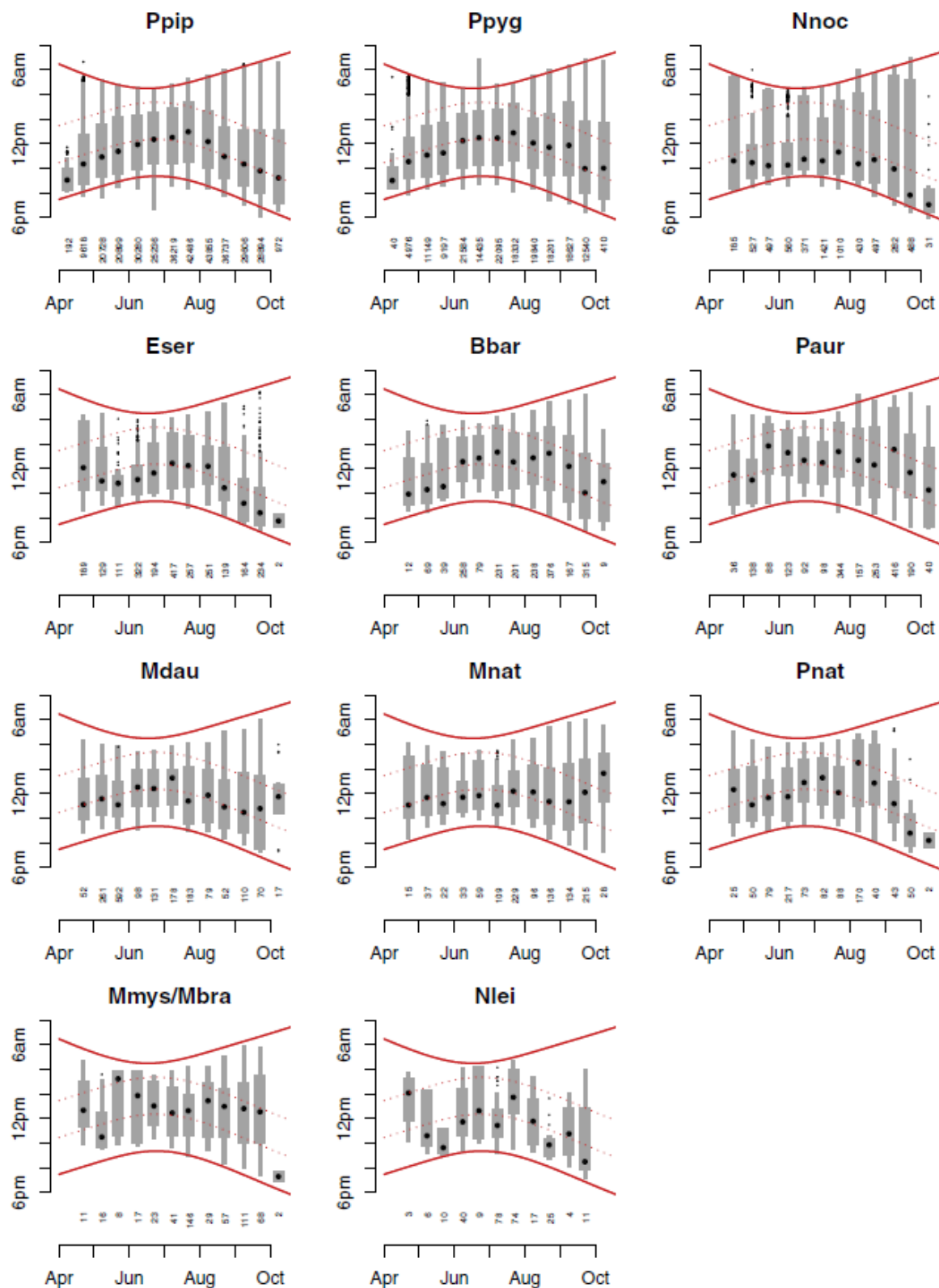


Figure 7 : Modèles d'activité nocturne de plusieurs espèces de chiroptères tout au long de la saison par rapport au coucher du soleil (Newson et al., 2015)

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 arboricoles 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 mises en exploitation.

Dans un second temps, les habitats présents à proximité des éoliennes influencent les cas de mortalité 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 mortalités (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).

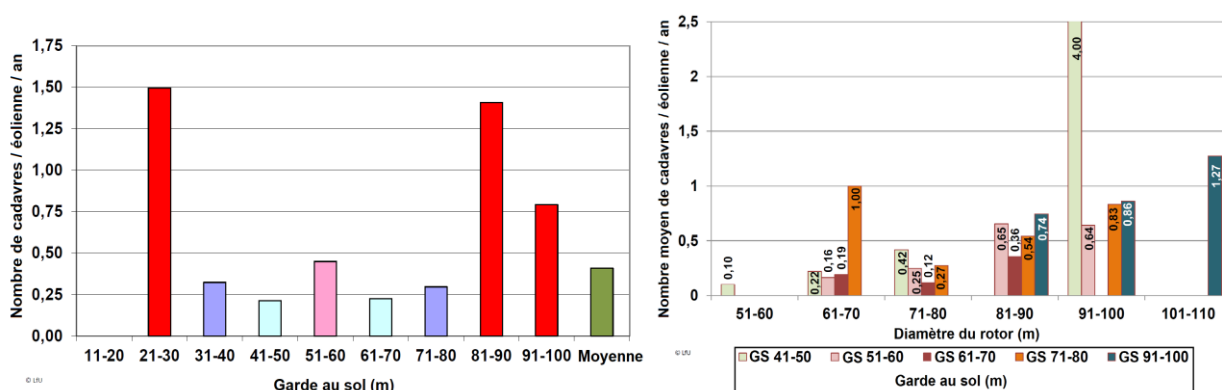


Figure 8 : Nombre de mortalités de chauves-souris par éolienne et par an en fonction de la garde au sol et du diamètre de rotor (Traduit de Dürr 2019, SFEPM 2020)

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 et 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 des 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 due 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 migrants, 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, simulés avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées, causés 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.

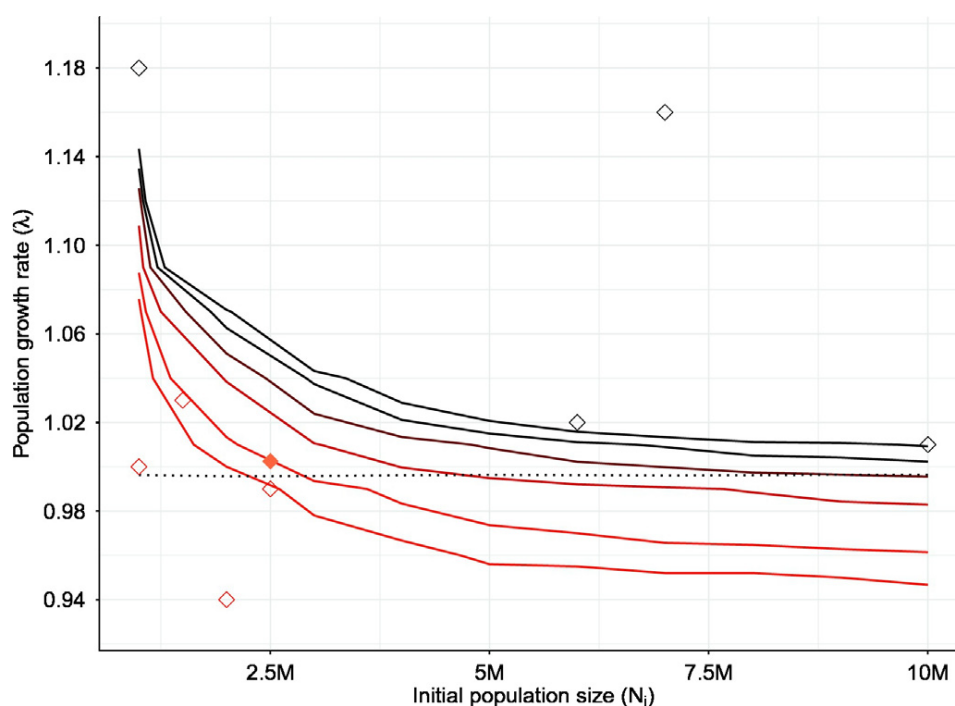


Figure 9 : Contours isolignes des déclin de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles (N_i) et de taux de croissance de population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

Avifaune

La sensibilité d'une espèce au risque de collision, comprise entre 0 et 4, correspond au rapport entre la mortalité recensée en Europe (Dürr, mises à jour régulières) et la taille de la population concernée. Les chiffres des populations européennes sont ceux publiés par BirdLife International (European Birds of Conservation Concern – Populations, trends and national responsibilities, BirdLife, 2017).

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.** Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluation des populations européennes ou nationales assez fiable, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Pour le parc éolien de Biterne Sud (2023), le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé des suivis suivants :

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

Le parc éolien de Biterne Sud a fait l'objet d'un suivi environnemental identique en 2021 et en 2022.

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 par un chiroptérologue au sol

Cet inventaire a pour objectif de caractériser qualitativement (espèces) et quantitativement (nombre de contacts/heure) la population de chiroptères utilisant l'aire d'étude immédiate et rapprochée.

2.2.2.1.1 Pression d'inventaire

A l'instar de la méthode définie par le guide relatif à l'élaboration des études d'impact des projets de parcs éoliens terrestres (DGPR du MEEM, 2016), l'étude de l'activité des chiroptères est menée par le biais de protocoles adaptés aux espèces présentes (point d'écoute au sol).

La pression d'inventaire respecte les engagements de l'étude d'impact reprise par l'arrêté préfectoral du 12 juin 2018, soit cinq soirées durant la phase d'activité respectant le découpage suivant :

- 1 soirée en phase de transits printaniers (mi-mars à fin avril 2022)
- 1 soirée à l'occupation des colonies et la gestation (début mai à fin-juin 2022)
- 1 soirée en phase d'élevage des jeunes (mi-juin à fin-juillet 2022)
- 2 soirées en phase de transits automnaux et de swarming (début août à fin octobre 2022)

Les protocoles utilisés sont des points fixes d'écoute au détecteur d'ultrasons par un chiroptérologue, reproduisant le protocole employé lors de l'étude d'impact. Ces points reprennent, dans la mesure du possible et si cela présente un intérêt, l'emplacement de points d'écoute déjà réalisés lors de l'étude d'impact. Ils ont été choisis en fonction de leur pertinence écologique et de leur proximité par rapport aux éoliennes de l'actuel parc.

Au total, cinq soirées d'écoute par an sont réalisées pour les chiroptères en 2023.

2.2.2.1.2 Protocole d'étude utilisé

Inventaire par points d'écoute

Globalement, l'activité des chiroptères est découpée en trois phases : printemps, été et automne. L'hiver correspond à la saison d'hibernation. Ainsi, sur la période d'activité, entre la mi-mars et la mi-novembre, **5 soirées d'inventaires** sont menées. La méthode utilisée est celle des points d'écoute. Elle consiste à relever, sur plusieurs points prédéfinis, tous les contacts ultrasoniques de chauves-souris pendant 10 minutes¹.

Au total, **10 points d'écoutes ultrasoniques** ont été répartis dans ou à proximité de la zone d'implantation des éoliennes. La distribution est étudiée de façon à couvrir chaque habitat naturel présent sur le site (haies, cultures, boisements, etc.). Ainsi, par une méthode d'échantillonnage des différents milieux, les résultats obtenus sont représentatifs de l'aire d'étude étudiée.

Dans la mesure du possible lors de la détection d'un ou plusieurs contacts de chauve(s)-souris, l'espèce et le type d'activité sont notés. On distingue trois types d'activités pour les chauves-souris : chasse, transit, sociale².

2.2.2.1.3 Méthode d'écoute et d'identification

Pour se déplacer et chasser, les chauves-souris émettent des cris dans l'in audible, appelés ultrasons. En fonction de l'espèce et selon l'environnement dans lequel elles évoluent, les chauves-souris émettent des signaux de différentes structures (Fréquence Constante, Fréquence Modulée, etc.).

Des appareils spécifiques permettent de rendre audibles ces signaux par l'intermédiaire de plusieurs modes : le mode hétérodyne, le mode expansion de temps et le mode division de fréquence. La première méthode permet une identification in situ de certaines espèces seulement. Pour compléter ce manque, les deux dernières méthodes permettent une analyse plus détaillée des signaux (analyse informatique) pour les espèces plus délicates à identifier. Elles sont équivalentes en termes de résultat. L'emploi d'une des deux méthodes étant suffisant, seul le mode à expansion de temps a été utilisé.

Analyses in situ

Le principe du mode hétérodyne est le suivant : le signal émis par une chauve-souris (fréquence reçue) est confronté au signal émis par le détecteur et réglable par l'observateur (fréquence ajustée). Les deux signaux sont alors filtrés par le circuit pour obtenir une nouvelle fréquence audible. Le son entendu résulte de la différence entre la fréquence reçue et la fréquence ajustée. Plus le son obtenu est grave plus cette différence diminue et donc plus l'observateur se rapproche de la fréquence émise par la chauve-souris. C'est l'appréciation de cette fréquence associée à celle de différents paramètres (structure, rythme, intensité) qui permet d'identifier l'individu au genre ou à l'espèce. Dans ce cas, les signaux sont retransmis en temps réel, ce qui permet une identification immédiate de plusieurs espèces.

¹ Barataud, 2012

² Barataud, 2012

Analyses informatisées

Le mode expansion de temps permet d'enregistrer les signaux émis par une chauve-souris et de les rejouer à une vitesse plus lente pour les rendre audibles. Les signaux peuvent ensuite être analysés à l'aide d'un logiciel informatique adapté (Batsound). Plusieurs paramètres relatifs aux signaux (Fréquence de maximum d'énergie, durée, largeur de bande) peuvent alors être mesurés afin d'identifier le genre ou l'espèce de l'individu détecté. Ce mode est utilisé dans la reconnaissance des espèces les plus délicates (genre *Myotis* par exemple).

Traitement des résultats

- Calcul des indices d'activité toutes espèces confondues

Afin de rendre les périodes et les points comparables, une unité relative est utilisée pour cette étude : l'indice d'activité. Il correspond au nombre de contacts par unité de temps (exprimé en contacts/heure).

- Calcul des indices d'activité pondérés par espèce

Les intensités d'émissions des chauves-souris varient en fonction de chaque espèce et du milieu dans lequel elles évoluent. Par exemple, les cris du genre *Myotis* sont généralement plus difficilement détectables que les cris émis par le genre *Pipistrellus*. Pour une meilleure comparaison entre les espèces, les intensités d'émissions et le type de milieu sont pris en compte afin d'obtenir un coefficient de détectabilité par espèces (tableau suivant).

Selon l'analyse effectuée, un regroupement par genre peut être effectué dans le cas d'un recouvrement de type acoustique. Le cas échéant, c'est l'indice correspondant à l'espèce la plus probable qui sera retenu. Par exemple, une séquence non identifiée de *Myotis* présentant des signaux haute fréquence en milieu ouvert se verra attribuer l'indice de 2,50 (cf. tableau suivant).

2.2.2.1.4 Matériels utilisés pour les inventaires chiroptérologiques

Le détecteur Petterson D240X alliant système hétérodyne et expansion de temps a été choisi pour réaliser l'inventaire. Il permet d'enregistrer les sons en expansion de temps et de réécouter la séquence enregistrée en hétérodyne. Cependant, il nécessite l'utilisation d'un enregistreur externe. C'est dans ce but qu'a été utilisé l'enregistreur Roland R05. Cet appareil enregistre les sons avec une fréquence modifiée avec une très bonne qualité (24 bits/96kHz), possède une bonne autonomie (16 heures d'enregistrement) et permet d'enregistrer des commentaires utiles pour archiver les informations collectées sur le terrain (comportement de l'animal, conditions météorologiques). Les signaux ont ensuite été analysés à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement du signal Batsound.



Milieu ouvert				Milieux ouvert et semi ouvert				Sous-bois			
Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité	Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité	Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité
Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposidero</i>	5	5,00	Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposidero</i>	5	5,00	Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposidero</i>	5	5,00
	<i>Rhinolophus ferr/eur/me</i>	10	2,50		<i>Rhinolophus ferr/eur/me</i>	10	2,50		<i>Plecotus spp</i>	5	5,00
	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50		<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50		<i>Myotis emarginatus</i>	8	3,13
	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50		<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50		<i>Myotis nattereri</i>	8	3,13
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50		<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50		<i>Rhinolophus ferr/eur/me</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50		<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50		<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,67		<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,67		<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,67		<i>Myotis nattereri</i>	15	1,67		<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,67		<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,67		<i>Myotis daubentonii</i>	10	2,50
	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67		<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67		<i>Myotis bechsteinii</i>	10	2,50
Moyenne	<i>Myotis oxygnathus</i>	20	1,25	Moyenne	<i>Myotis oxygnathus</i>	20	1,25	Moyenne	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,25		<i>Myotis myotis</i>	20	1,25		<i>Myotis oxygnathus</i>	15	1,67
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00		<i>Plecotus spp</i>	20	1,25		<i>Myotis myotis</i>	15	1,67
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00		<i>Miniopterus schreibersii</i>	25	1,00
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
Forte	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63	Forte	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	Forte	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63		<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63		<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
	<i>Plecotus spp</i>	40	0,63		<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63		<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50		<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50		<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50		<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50		<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31		<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31		<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25		<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25		<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17		<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17		<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17		<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17		<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

Tableau 1 : Intensité d'émission, distances de détection et coefficient de détectabilité des chauves-souris

2.2.2.2 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.

2.2.2.2.1 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 Broons, les modalités suivantes ont été prévues pour le suivi automatique en nacelle :

SEMAINE N°	1 A 19	20 A 30	31 A 43	44 A 52
Suivi d'activité en hauteur des chiroptères	Si enjeux sur les chiroptères	Si pas de suivi en hauteur dans l'étude d'impact	Dans tous les cas	Si enjeux sur les chiroptères

Pour le parc éolien de Broons, un suivi entre les semaines 13 et 43 a été préconisé (afin de répondre à l'arrêté et au protocole national). Le dispositif est resté installé du 28 mars au 30 Octobre 2023.

De fait, le protocole présenté ci-après répond aux modalités prévues initialement et validées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation du 12 juin 2018. Il est conforme également au protocole national de suivi environnemental des parcs éoliens révisé en 2018.

2.2.2.2.2 Protocole d'inventaire sur site

Un enregistreur automatique (modèle BATmode S+ 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.

L'éolienne E3 a été choisie pour placer l'enregistreur. Celle-ci est en effet située à proximité immédiate de boisements et prairies qui sont des milieux favorables aux chiroptères. Elle semble donc plus à risque pour les chauves-souris et plus à même d'enregistrer les différentes espèces présentes sur site.

2.2.2.2.3 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.

Dans la présente étude, à raison d'une trop forte proportion de parasites dans les enregistrements, l'analyse acoustique a été renforcée pour éliminer l'ensemble de ces derniers.

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.

2.2.2.2.4 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
1	Plateforme	Ouvert
2	Lisière de boisement	Semi-ouvert
3	Plateforme	Ouvert
4	Lisière de boisement	Semi-ouvert
5	Plateforme	Ouvert
6	Lisière de boisement	Semi-ouvert
7	Plateforme	Ouvert
8	Haie	Semi-ouvert
9	Lisière de boisement	Semi-ouvert
10	Plateforme	Ouvert

Tableau 2 : Habitat et type de milieu inventorié

La cartographie suivante permet de rappeler la position des points d'écoutes.



Carte 3 : Localisation et dénomination des points d'écoutes au sol

La cartographie suivante permet de rappeler la position des Batmode S.



Carte 4 : Localisation du dispositifs Batmode

2.2.2.3 Calendrier des passages d'inventaire

2.2.2.3.1 Inventaire au sol

Les inventaires chiroptérologiques au sol ont été menés entre le 17 avril et le 26 septembre 2023. Les inventaires se sont déroulés au cours des trois périodes clés du cycle biologique des chauves-souris.

2.2.2.3.2 Inventaire en nacelle

Concernant les écoutes sur nacelle d'éolienne, le dispositif a été mis en place du 28 mars au 30 octobre 2023. Le volume des données brutes peut parfois être important lorsque l'éolienne génère des sons parasites, ce qui a été le cas ici.

Lors des périodes de maintenance ou du fait de problèmes techniques, il peut arriver que certaines nuits le dispositif ne fonctionne pas. Le monitoring permet d'identifier ces nuits de défaillance.

Pour Broons, le dispositif ne présente aucun dysfonctionnement identifié lors des inventaires 2023.

Inventaires et méthodes employées		Nb. sorties	Dates des campagnes	Horaires des inventaires	Conditions météorologiques d'observation			Personne ayant réalisé les inventaires
					Couverture du ciel	Température	Vent	
Chiroptères								
Inventaires en phase de transits printaniers et gestation	Écoutes ultrasoniques ponctuelles au sol (10 points d'écoute ultrasonique : 10 minutes par point et par passage)	2	17 avril 2023	21h30-00h45	Dégagé	9	Faible	Clément MADEC
			25 mai 2023	22h30-01h15	Dégagé	13	Modéré	
2		25 juillet 2023	22h30-01h00	Nuageux	15	Faible		
		08 août 2023	22h00-00h45	Dégagé	18	Faible		
Inventaires en phase de mise bas et d'élevage des jeunes		1	26 septembre 2023	20h30-23h30	Peu nuageux	18	Faible	
Inventaires en phase de swarming et de transits automnaux								
Enregistrements automatiques en nacelle (Batmode S2+)		216 nuits	Du 28 mars au 30 octobre 2023	Une heure avant le coucher à une heure après le lever du soleil	-	-	-	

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des dates et conditions d'inventaires des chauves-souris

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 en mouvement ou par 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 SFEPM.

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 relative, 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 mortalités estimées 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

L'étude d'impact ne soulève pas d'enjeux nécessitant la mise en place d'un renforcement du suivi établi par défaut d'après le protocole national (2018). Par ailleurs, l'arrêté de permis de construire du 12 juin 2018 prévoit un renforcement de ce protocole avec un début de suivi dès le début du mois d'avril (semaine 13).

Au total sur l'année 2023, 31 prospections ont été réalisées dans le cadre du suivi de la mortalité, à raison d'une prospection par semaine, entre les semaines 13 et 43. Le calendrier complet des sorties est présenté en annexe.

Ce suivi permettra notamment de vérifier l'efficacité de la mesure de programmation préventive mise en œuvre sur les six éoliennes.

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, chacune des six éoliennes a été prospectée 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.

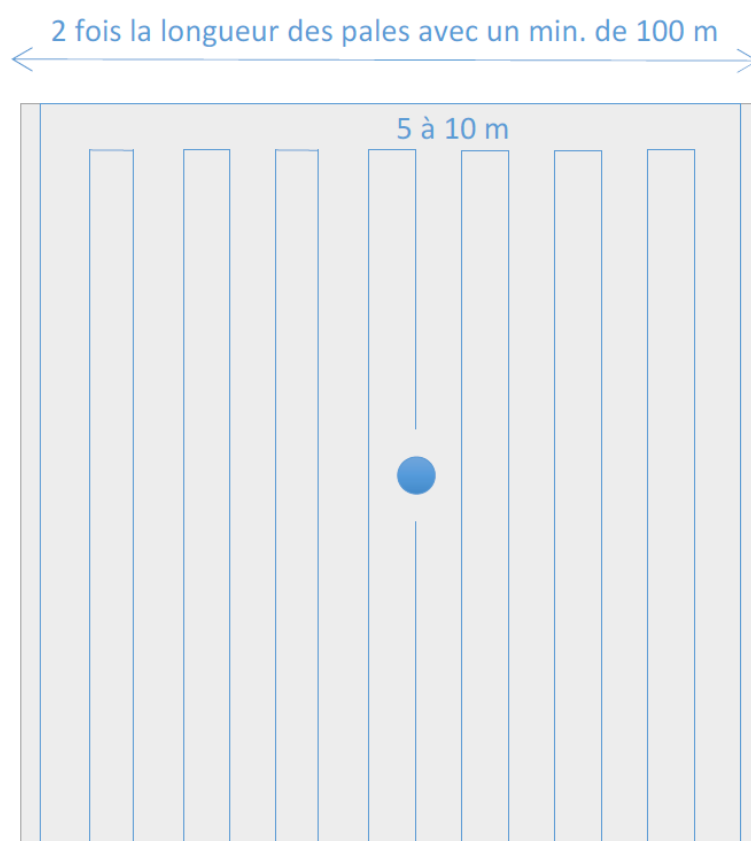


Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne

Au cours de chaque prospection du suivi mortalité une fiche de données est complétée par le chercheur (cf. annexes).

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. annexes : **fiche de saisie standardisée**). 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 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.

2.3.5.1 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)

2.3.5.2 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 :

$$d = \frac{d_t}{d_T}$$

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

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

Test	Date	Nombre cadavres déposés		
		Petit (poussins)	Gros (cailles)	Total
Test 1	11/04/2023	25	11	36
Test 2	04/07/2023	24	11	35
Total		49	22	71

Tableau 4 : Paramètres des tests de d'efficacité effectués sur l'année de suivi

2.3.5.3 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 »).

2.3.5.4 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 3 formules de calcul des estimateurs standardisés à l'échelle internationale pour faciliter les comparaisons :
 - la formule d'Huso (2010) ;
 - deux formules aux 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, Erickson 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 :

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

- Où :
- I : durée moyenne (en jours) de l'intervalle entre deux prospections
 - \hat{I} : 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	Aire d'étude	Intervalle entre deux recherches	Persistance	Efficacité
Erickson (2000)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) 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 (Durée 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	Intervalle basé sur « i » (Le temps au-delà duquel la probabilité de persistance est inférieure à 1%)	Pris en compte (Durée de persistance) 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 5 : Postulats de chaque méthode d'estimation

2.4 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées

2.4.1 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.

2.4.1.1 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.

2.4.1.2 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.

2.4.2 Difficultés rencontrées

2.4.2.1 Suivi des chiroptères

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

Concernant le suivi en nacelle via le dispositif BATmode, des problèmes techniques peuvent occasionnellement survenir. Ils peuvent amener une perte d'information par arrêt temporaire des enregistrements de chauves-souris. **Sur cette période d'inventaire 2023, aucun problème technique n'a été recensé.**

Un autre problème possible est l'enregistrement par le dispositif de sons qui ne proviennent pas de chiroptères. Ces sons « parasites » peuvent être dus à des bruits de l'environnement nocturnes et notamment des éoliennes. Lors de l'analyse, ces sons parasites peuvent générer un surplus de travail. En effet, le chiroptérologue doit les identifier manuellement lorsque le logiciel SonoChiro® ne parvient pas à les filtrer préalablement.

Ces limites protocolaires 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 Broons.

2.4.2.2 Suivi de la mortalité

Par manque de visibilité et afin de limiter les dégâts aux cultures occasionnés par le passage de l'observateur, les parcelles cultivées n'ont pas été prospectées au-delà d'une hauteur de 30 cm pour le blé, la phacélie et le colza et au-delà de 40 cm pour le maïs. Ainsi la surface prospectée s'est trouvée réduite aux seules plateformes et à des portions de voies d'accès lorsque la hauteur des couverts n'a plus permis de pénétrer sur les parcelles.

Par ailleurs, l'éolienne E1 n'a pu être prospectée lors de la sortie du 17 juillet, pour cause de travaux agricoles en cours sur les parcelles.

A chaque sortie, les surfaces n'ayant pu être prospectées sont recensées. Ces valeurs, sont prises en compte dans les calculs d'estimation de la mortalité (correction surfacique).



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 Broons, l'ensemble du cycle annuel des chauves-souris a été étudié.

Les protocoles utilisés ont permis d'établir une liste de **13 espèces**, avec des enjeux moyen à fort pour les espèces de haut-vol, comme les pipistrelles et les noctules. Le suivi comportemental de la présente étude cible surtout l'activité des chiroptères au niveau des rotors et des plateformes. 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 inventaires réalisés en 2017 lors l'étude d'impact réalisée par AMIKIRO ont permis de mettre en évidence la présence de cinq espèces, dont deux inscrites à l'annexe 2 de la Directive Habitats-Faune-Flore. L'activité enregistrée a été qualifiée comme faible. L'intérêt chiroptérologique de la zone d'étude a donc été considéré comme faible à moyen.

D'après l'étude d'impact de 2017 et selon les inventaires réalisés en 2013, 2014 et 2016, les impacts en phase d'exploitation du parc éolien de Broons sur les chiroptères sont considérés comme faibles à moyens. Le présent suivi ICPE doit permettre d'affiner ces résultats, une corrélation entre les écoutes en nacelle et le suivi de la mortalité au sol sera réalisée.

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères en 2023

3.2.1 Suivi d'activité des chiroptères au sol

3.2.1.1 Richesse spécifique du site

Au cours de cette année d'inventaire 2023, **9 espèces** de chauves-souris ont été recensées de manière certaine **au sol** sur le site (tableau suivant).

Ceci témoigne d'une richesse spécifique modérée. Quatre de ces espèces, la Barbastelle d'Europe, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl et la Sérotine commune sont présentes durant chacune des phases inventoriées, ce qui atteste de leur occupation régulière du site. Ces dernières sont relativement communes en Europe

Parmi les cortèges présents, ces espèces sont majoritairement inféodées aux structures verticales (haies, ripisylves, lisières, etc.), comme la Barbastelle d'Europe. Les noctules sont des espèces évoluant majoritairement en altitude et les pipistrelles, espèces ubiquistes, sont souvent liées aux structures paysagères mais sont susceptibles de s'en détacher pour évoluer en hauteur.

Il apparaît une certaine cohérence de la richesse spécifique et des cortèges au vu des habitats présents, à tempérer cependant pour le **Murin de Bechstein**, spécialiste des milieux forestiers. Cette espèce n'avait pas été observé sur le site lors des précédents suivis et lors de l'étude d'impact. En revanche plusieurs espèces n'ont pas été retrouvés cette année (Oreillard gris, Petit Rhinolophe, Grand Murin, Murin à oreille échancrée/d'Alcathoe...) par rapport aux années passées.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Présence selon les phases du cycle biologique		
		Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	X	X	X
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	X		
Murin à moustache	<i>Myotis mystacinus</i>			X
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>		X	
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	X		X
Oreillard roux	<i>Plecotus austriacus</i>	X		
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	X	X
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	X	X	X
Total des espèces	10	7	5	6
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce				
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	X	X	
Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	<i>Pipistrellus sp.</i>		X	
Sérotine / Noctules sp.	<i>Eptesicus / Nyctalus sp.</i>		X	X
Espèce présente durant les trois périodes du cycle biologique				

Tableau 6 : Espèces de chiroptères inventoriées sur le site d'étude

3.2.1.1 Répartition quantitative des espèces de chiroptères

3.2.1.1.1 Répartition sur le cycle complet

Sur l'ensemble du cycle étudié, le nombre de contacts par heure est de 111 (après application des coefficients de pondération, cf. partie 2.4.2.1.4), ce qui correspond à une activité modérée. L'espèce la plus contactée est la Pipistrelle commune avec une majorité des contacts enregistrés (78 %), suivie de la Pipistrelle de Kuhl (12 %). On trouve ensuite la Barbastelle d'Europe avec 3 %. Ces espèces sont régulièrement contactées en Bretagne. Les murins sont régulièrement contactés sur le site, ce sont des espèces qu'on retrouve principalement en lisières sur ce genre de paysage. Une fraction de l'activité est attribuable à la Sérotine commune et à la Noctule commune, qui sont des espèces que l'on retrouve à plus haute altitude et qui ont été contactées avec le dispositif placé en nacelle.

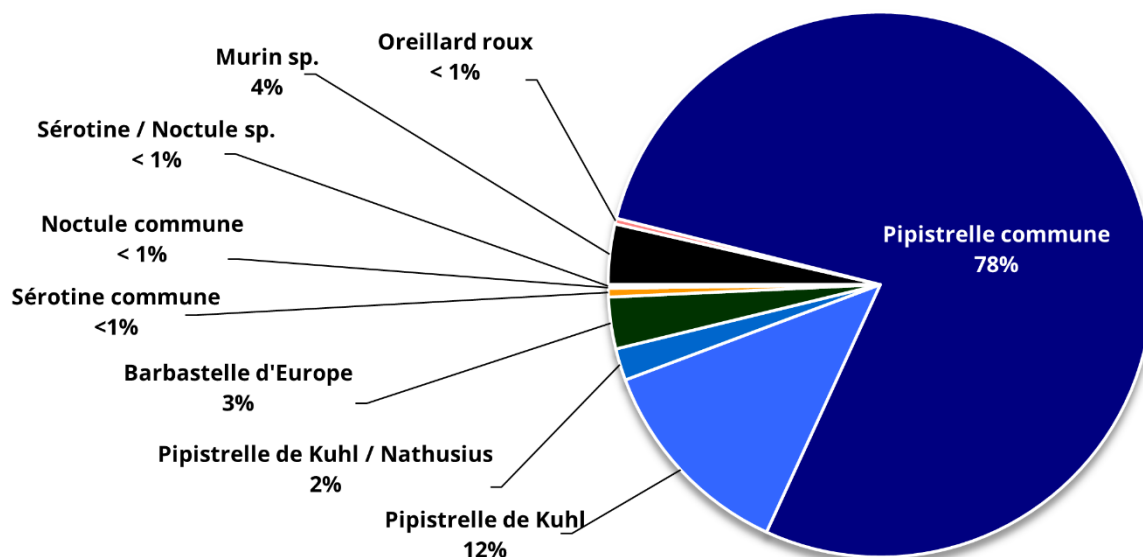


Figure 13 : Répartition de l'activité par espèce sur l'ensemble de la période d'étude (n=1 041 contacts)

3.2.1.1.2 Occurrences spatiales et temporelles

Afin de mieux appréhender l'utilisation du parc éolien par les chiroptères locaux, deux indices d'occurrences sont calculés : l'indice d'occurrences spatiales et l'indice d'occurrences temporelles. Ces indices permettent de voir si l'espèce est présente partout sur le parc et/ou en permanence.

Les calculs de ces indices donnent un nombre compris entre 0 et 1. Plus ce nombre est proche de 1, plus l'espèce est contactée sur un nombre important de point ou de sortie (plus elle est présente partout sur le parc et/ou sur l'ensemble de la saison).

Ces indices d'occurrences sont à différencier de l'indice d'activité. En effet, une espèce peut avoir un indice d'occurrences spatiales ou temporelles faible, mais un indice d'activité fort. Cela voudrait dire que l'espèce est très localisée sur un secteur précis ou présente sur une faible période du cycle, mais qu'elle affiche tout de même une activité importante.

Nom de l'espèce	Indice de spatialité	Indice de temporalité
Barbastelle d'Europe	0,3	0,8
Murin de Natterer	0,2	0,2
Murin à moustache	0,1	0,2
Murin de Bechstein	0,2	0,2
Noctule commune	0,2	0,4
Oreillard roux	0,1	0,1
Pipistrelle commune	1	1
Pipistrelle de Kuhl	0,7	1
Sérotine commune	0,4	0,6

Tableau 7 : Indices de répartition spatiale et de répartition temporelle des espèces de chiroptères inventoriées

Les indices d'occurrences spatiales et d'occurrences temporelle indiquent que la Pipistrelle commune a été contactée sur chacun des points et à chacune des sorties. La Pipistrelle de Kuhl, est la deuxième espèce la plus présente, elle a été contactée sur 7 des 10 points et lors des cinq sorties. Ces espèces sont donc localisées sur l'ensemble du site et à toute périodes de l'année.

En temps de présence, la Sérotine commune et la Barbastelle d'Europe sont présentes sur la plus de la moitié des sorties et on les retrouve sur environ un tiers des points. Tous ces résultats sont cohérents avec les analyses d'activité, on retrouve les plus forts enjeux sur les quatre espèces les plus contactées en proportion.

La Noctule commune, les espèces de murins et l'Oreillard roux sont contactés que très ponctuellement et sur des secteurs restreints du parc.

3.2.1.2 Répartition spatiale des populations de chiroptères

La carte ci-après et le tableau ci-dessous représentent la distribution spatiale de la diversité et de l'activité chiroptérologiques obtenues durant les différentes phases du cycle biologique.

Point	Habitat	Type de milieu	Transits printaniers et gestation		Mise-bas et élevage des jeunes		Transits automnaux et swarming		Cycle complet	
			Richesse spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)	Richesse spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)	Richesse spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)	Richesse spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)
1	Plateforme	Ouvert	3	353	2	16	1	322	3	212
2	Lisière	Semi-ouvert	1	355	3	51	1	125	3	187
3	Plateforme	Ouvert	0	0	2	43	1	27	2	22
4	Lisière	Semi-ouvert	2	155	1	15	1	100	3	88
5	Plateforme	Ouvert	2	30	3	80	0	0	4	44
6	Lisière	Semi-ouvert	2	200	3	96	3	112	4	144
7	Plateforme	Ouvert	0	0	1	3	3	24	3	8
8	Haie	Semi-ouvert	2	337	3	83	2	175	4	203
9	Lisière	Semi-ouvert	4	412	2	54	3	64	5	199
10	Plateforme	Ouvert	0	0	1	5	1	25	1	7
Diversité totale/activité moyenne			6	184	4	45	5	97	6	111

Tableau 8 : Diversité spécifique et indice d'activité mesurés par point d'écoute ultrasonique

L'activité sur les haies et lisières est comparable sur la partie nord (points 2, 4 et 6) et sur la partie sud du parc (points 9 et 8), tant en termes de nombre de contacts qu'en terme de nombre d'espèces. En revanche, **L'activité sur les plateformes est bien plus importante au nord qu'au sud**, du fait de leur proximité avec des haies et boisements. Sur le point 1 particulièrement, (correspondant à la plateforme E1), l'activité est la plus forte observée et est comparable à celle qu'on retrouve sur les haies et lisières.

3.2.1.2.1 Répartition sur le cycle complet

À l'échelle du cycle complet des chiroptères, on observe des disparités notables d'activité et de diversité entre les points et donc entre les différents types de milieu. Au sein du site, plusieurs secteurs sont particulièrement utilisés par les chiroptères (cartes suivantes) :

Les haies et lisières : c'est ici que l'activité est généralement la plus importante avec des valeurs allant de 88 contacts par heure (c/h) au point 4 (lisière de boisement isolé) à 203 c/h au point 8 (haies avec parfois une ru), ce qui représente des valeurs importantes. Ainsi, les points 2, 4, 6, 8, 9 présentent les plus fortes activités. Ces zones de boisements et de bocage revêtent une importance plus marquée pour la chasse et le déplacement des chiroptères.

Les plateforme et culture : les points 3, 5, 7 et 10 présentent une activité plus faible allant de 7 c/h à 44 c/h. Les plateforme et milieux ouverts cultivés sont moins fréquentés par les chiroptères, bien que certaines espèces y soient ponctuellement rencontrées comme le Grand Murin et la Noctule de Leisler. Il y a une **exception remarquable sur le point 1** qui est celui où **l'activité est la plus élevée**, avec 212 c/h, ce qui est similaire au haies et lisières. Cela avait **déjà été remarqué l'année passée** et est probablement lié à la proximité avec une haie arbustive.

Du point de vue spatial, l'activité et la diversité paraissent donc bien différentes entre les milieux semi-ouverts représentés surtout par les haies et les milieux ouverts représentés par les cultures et plateforme. Les milieux semi-ouverts concentrent plus d'activité. La partie nord du site présentent plus d'activité au niveau des plateformes éoliennes.

3.2.1.2.2 Activité chiroptérologique par phase biologique

Sur le cycle complet, c'est une moyenne de **111 contacts/heure** qui a été calculée. Cela correspond à un niveau d'activité modérée, relativement cohérent avec le type de milieu présent au sein de la zone d'étude. La majeure partie de l'activité observé l'est au niveau des haies et lisières, et l'activité pour ce type de milieu n'est pas particulièrement élevé par rapport à ce qu'on peut observer dans des milieux préservés.

	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Activité moyenne (contacts/heure)	184	45	99	111
Niveau d'activité (contacts/heure)	Très fort	Faible	Modéré	Modéré

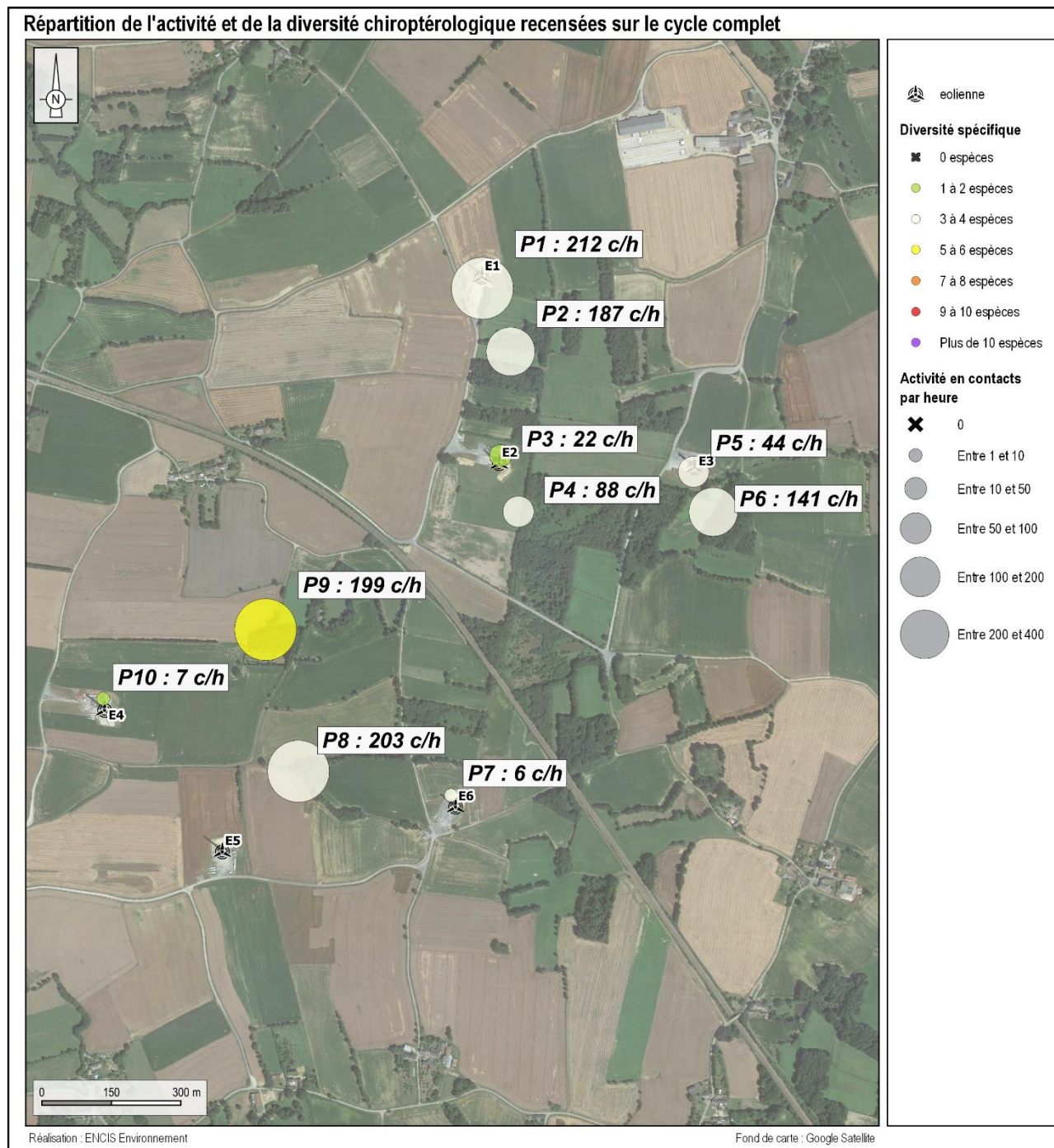
Tableau 9 : Activité moyenne lors des inventaires selon la phase biologique

En phase de transits printaniers et gestation, une activité forte avec en moyenne 184 c/h. Celle-ci est localisé au niveau des haies et du point 1, avec un maximum de 412 c/h au point 9, tandis qu'au niveau des plateforme l'activité est souvent nulle ou quasi nulle.

À l'échelle de la phase de mise-bas et élevage des jeunes, L'activité est bien plus faible, avec une moyenne de 45 c/h, et elle est répartie sur l'ensemble des points. Il est commun d'observer une diminution de l'activité à cette période, cela dit les deux sessions d'écoute durant cette période ont eu lieu tard dans la saison, possiblement après l'envol des jeunes, la saison estivale ayant été particulièrement précoce. Cette forte baisse du nombre de contact peut aussi être lié aux conditions météo ponctuelle.

Enfin, lors de la phase de transits automnaux et swarming, 99 c/h ont été observé en moyenne, soit une activité modérée. Cette phase est cruciale dans le cycle biologique des chiroptères puisque c'est

à cette période qu'ont lieu les accouplements lors de rassemblements en colonies dites de swarming. Les chauves-souris ingèrent également une grande quantité de proies afin de se constituer de solides réserves de graisses leur permettant de passer l'hiver en hibernation. C'est aussi durant cette période que les chauves-souris transitent par des migrations de plus ou moins longue distance.



Carte 5 : Répartition de l'activité et de la diversité chiroptérologiques sur le cycle biologique complet

3.2.1.2.3 Indices d'activité par habitat

Sur le cycle complet étudié, on observe **une très nette graduation de l'activité en fonction du type de milieu**. En effet, l'activité la plus importante est concentrée au niveau des boisements et des haies. Les corridors arborés sont empruntés par les chiroptères pour leurs activités de chasse ou de transit. Les plateformes, en revanche, sont très peu utilisées. Il faut noter l'activité exceptionnelle enregistrée sur la plateforme 1. Celle-ci est surtout liée à l'activité de chasse de pipistrelles de Kuhl et commune, et est liée à la haie arbustive à proximité directe de la plateforme.

Ainsi, les boisements et les écotones forestiers (lisières, chemins forestiers) apparaissent comme des zones à enjeux forts, de même que les secteurs de bocage dense. En revanche, les plateformes sont très peu utilisées, et représentent un enjeu bien moindre.

À l'échelle des différentes phases, les tendances entre milieux sont conservées.

Points correspondants	Milieux	Indice d'activité pondéré moyen (contacts/heure)			
		Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
2 - 4 - 6 - 8 - 9	Haies et Lisières	292	60	115	164
3 - 5 - 7 - 10	Plateforme et Culture	8	33	22	20
1	Plateforme bordée d'une haie	353	16	322	212
Activité pondérée moyenne		184	45	99	111
Niveau d'activité		Très Fort	Faible	Modéré	Modéré

Légende :

Classe	0 - 10	10 - 50	50 - 125	125 - 175	> 175
Niveau	Très faible	Faible	Modéré	Fort	Très fort

Tableau 10 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique

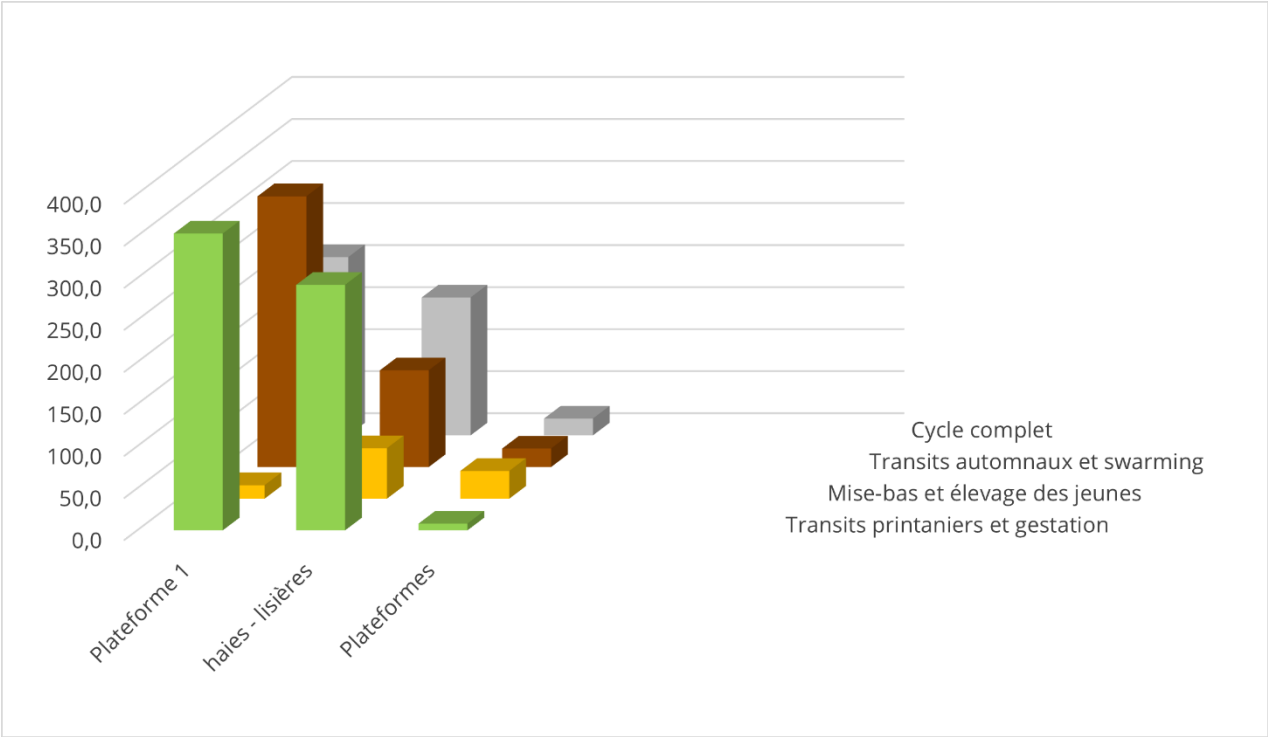


Figure 14 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique

3.2.1.2.4 Types d'activité recensés

Sur le site à l'étude, le comportement des chauves-souris a été divisé en trois catégories :

- **Chasse** : comportement de recherches actives de proies ou d'obstacles et action de chasse certaine. L'animal est très curieux vis-à-vis de son milieu, son rythme est rapide.
- **Transit** : comportement de déplacement plus ou moins actif. La présence d'obstacles ou de proies est considérée comme probable par l'animal ou alors le milieu traversé par la chauve-souris ne requiert pas une collecte d'informations importante. L'animal ménage ses efforts.
- **Social** : comportement de type parade nuptiale ou signe d'agressivité.

Lorsque le comportement de la chauve-souris détectée n'était pas reconnu, il était noté comme « indéterminé ».

Comportement	Pourcentage du nombre total de contacts			
	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Chasse ou approche	94	86	89	91
Transit	5	4	9	8
Social	<1%	0	2	1

Tableau 11 : Répartition des contacts par type de comportement

Sur l'ensemble de la période étudiée, environ 83% des contacts ont pu être attribués à un comportement. Parmi ceux-ci, **les comportements de chasse prédominent largement avec presque 91 % des contacts identifiés**. Les espèces de chauves-souris locales ou de passage sur le site y trouvent les ressources trophiques nécessaires à l'accomplissement des différentes phases de leur cycle biologique.

L'activité de transit représente une part plus modeste des enregistrements avec un peu moins de 8 % des contacts. Ce comportement est aussi bien enregistré au niveau des lisières ou haies présentes, qu'en milieu ouvert.

Enfin, une part minime de comportement social a été enregistrée, lié à des interactions entre individus.

3.2.2 Synthèse du suivi d'activité des chiroptères au sol

Avec un total de 9 espèces, la richesse spécifique en chiroptères sur le site est modérée.

L'activité est forte avec 111 contacts/heure sur l'ensemble de la période d'étude. Elle est plus importante au printemps (184 contacts/heure) qu'en automne (99 contacts/heure) et qu'en été (45 contacts/heure).

Les trois espèces les plus souvent contactées sont la Pipistrelle commune (78 % des contacts), la Pipistrelle de Kuhl (12 %) et la Barbastelle d'Europe (3 %). Il est noté la présence du Murin de Bechstein, espèce inscrite aux annexes II et IV de la directive Habitats-Faune-Flore.

On observe la présence de la Noctule commune espèce de haut-vol migratrice ainsi que celle de la Sérotine commune, espèce assez généraliste pouvant également voler haut.

Concernant la distribution spatiale des résultats, l'activité est bien plus importante au niveau des boisements et haies bocagères. L'activité à proximité des plateformes, est plus importante sur la partie nord du site. La plateforme 1 enregistre d'ailleurs un niveau d'activité très important.

L'activité de chasse reste dominante sur le site, avec 91 % des contacts. Le transit y est notable (8 %).

3.2.3 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 S2+, installé au niveau des nacelles des éoliennes. Ces inventaires sont réalisés en continu durant les périodes les plus importantes du cycle biologique des chiroptères.

Le dispositif est donc resté installé du 28 mars au 30 octobre 2023, soit durant 216 nuits et **l'analyse porte sur l'ensemble de ces nuits**, elles se situent en effet dans le cycle biologique actif des chiroptères (mars à novembre).

3.2.3.1 Diversité et activité spécifique enregistrée

3.2.3.1.1 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	
Eptesicus	Sérotine commune	0	972	87	1 059
Nyctalus	Noctule commune	0	3	8	11
	Noctule de Leisler	99	167	615	881
Pipistrellus	Pipistrelle commune	29	1022	5262	6 313
	Pipistrelle de Kuhl	13	108	928	1 049
	Pipistrelle de Nathusius	0	47	262	309
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce					
	Sérotine / Noctule sp.	1	33	43	77
	Chiroptères sp	2	12	23	37
	Pipistrelle de Kuhl / Nathusius	6	191	482	679
Total	7 espèces	150	2 555	7 710	10 415

Tableau 12 : Répartition du nombre de contacts par espèce et par éolienne

La richesse 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, Noctule commune, Sérotine commune et pipistrelles) qui totalisent toute l'activité, les espèces plus forestières comme la Barbastelle d'Europe n'étant pas présentes.

On observe donc le cortège d'espèces attendu. Les pipistrelles représentent la majorité de l'activité, particulièrement la Pipistrelle commune. La Pipistrelle de Kuhl est aussi régulièrement contactée, ainsi que la Pipistrelle de Nathusius, espèce migratrice à fort enjeu. Concernant le groupe des noctules, la présence de Noctule commune est bien confirmée mais la grande majorité de l'activité de ce groupe est attribuable à la Noctule de Leisler. Enfin, la Sérotine commune est aussi très fréquemment contactée.

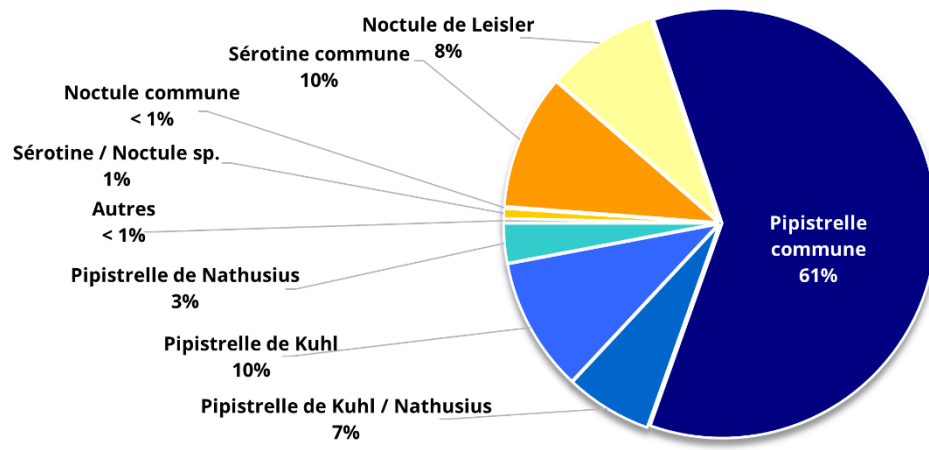


Figure 15 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude (n= 10 415)

3.2.3.1.1 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	150	2 555	7 710	10 415
Nombre de nuits d'enregistrements	65	75	76	216
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	1 %	25 %	74 %	100 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	2	34	101	48

Tableau 13 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques

La période de transits automnaux et swarming est la phase avec le plus d'activité, loin devant les autres. En moyenne, plus de 100 contacts par nuits sont enregistrés, contre 34 sur la période estivale. Très peu d'activité a été enregistré en hauteur durant la période de transit printanier et gestation.

3.2.3.1.1 Résultats obtenus en fonction du mois d'inventaire

En comparant les mois entre eux, on observe que plus **de la moitié de l'activité enregistré a lieu en septembre**. En octobre et en juin il y a aussi une forte activité, tandis qu'elle est plus faible au cœur de l'été et quasiment inexistante en avril et mai. Selon la période, le cortège d'espèce varie.

La Pipistrelle commune est bien représentée tout au long de la période, avec un très fort pic d'activité en septembre. Les autres espèces de pipistrelles suivent une tendance similaire avec une activité plus faible. Cela est indicateur de migration à l'échelle locale des populations de pipistrelles commune et de Kuhl. On note aussi une activité de Pipistrelle de Nathusius conséquente en septembre et octobre, et non négligeable en juin. Cela est aussi lié à une activité migratoire, mais à plus grande échelle, cette espèce étant connue pour pouvoir parcourir plusieurs milliers de kilomètres lors de ces migrations. Elle est aussi présente au cœur de l'été, ce qui nous renseigne sur la présence d'une population locale.

Concernant la Sérotine commune, le pic d'activité identifié est en juin, avec presque 1 000 contacts. Cela peut indiquer la présence d'une colonie de reproduction à proximité. La Noctule de Leisler est présente tout au long de l'année, et particulièrement au mois de juillet, septembre et octobre. L'activité automnale est sûrement liée à une migration.

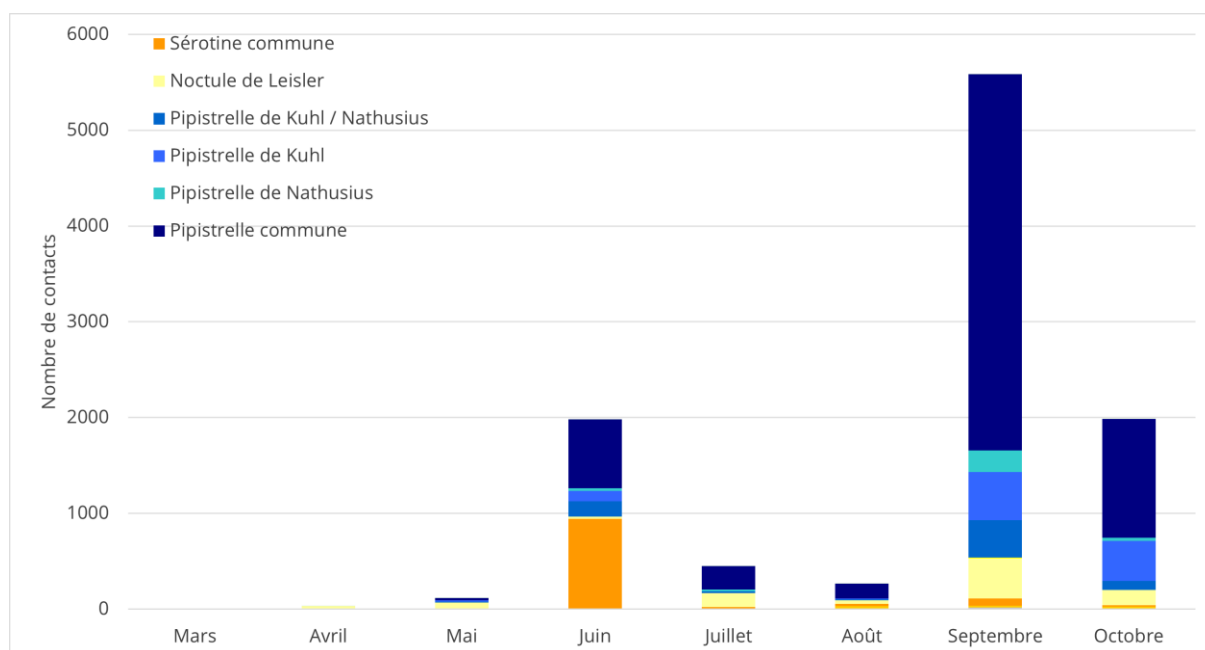


Figure 16 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.
Nombre de contacts	0	32	118	1 980	450	266	5 583	1 986
Nombre de nuits d'enregistrements	31	30	31	30	31	31	30	31
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	0 %	0 %	1 %	19 %	4 %	3 %	54 %	19 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	0	1	4	66	15	9	186	64

Tableau 14 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires

3.2.3.1.2 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 enregistré par nuit varie de 0 à 1 058 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.** Il est dans l'état des connaissances actuelles très difficile de comprendre ces variations mais une hypothèse de migration peut être formulée sur ce site. En effet, des pics d'activités très forts et concentrés sur certaines nuits peuvent survenir brusquement, en automne par exemple, ce qui correspond pour partie aux périodes de migration.

Pour rappel, le dispositif fut opérationnel depuis le 28 mars 2023, et l'arrêt des écoutes dans le cadre des analyses suivantes a été fixé au 30 octobre 2023. Les premiers contacts de chauves-souris ont été recensés le 29 avril 2023 (Noctule de Leisler).

La répartition des données montre une grande variabilité du nombre de contacts enregistrés par nuit. Certaines nuits enregistrent de très fortes activités, ainsi sur les 10 nuits avec le plus d'activité totalisent 6 544 contacts soit plus de 60 % de l'activité totale.

Ces pics d'activité ont lieux en juin et début septembre, ainsi que sur la période de fin septembre à mi-octobre. On note une activité faible en mai et au cœur de l'été.

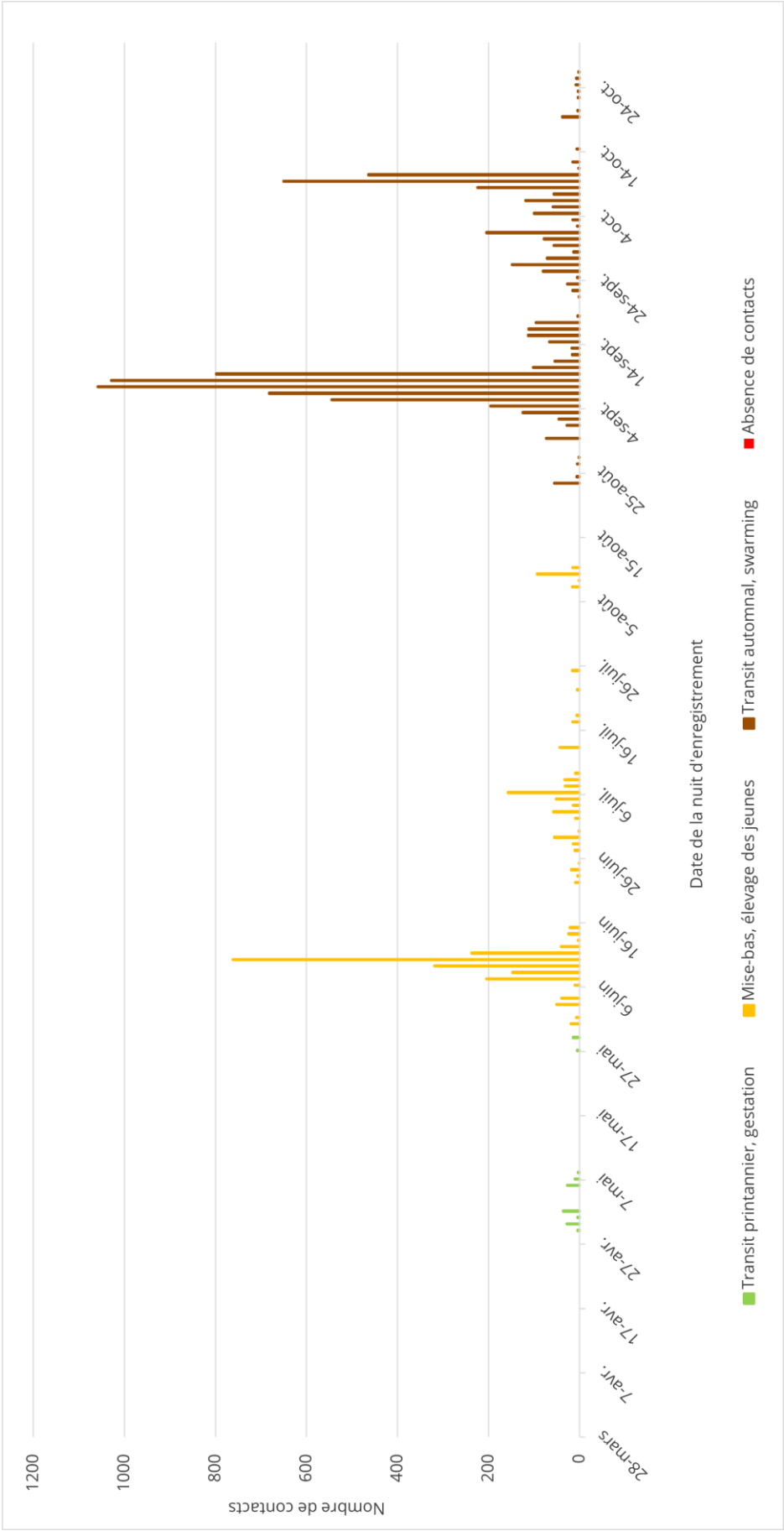


Figure 17 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire

3.2.3.2 Activité chiroptérologique en fonction des facteurs astronomiques et météorologiques

3.2.3.2.1 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 (heure astronomique et non civile) en ordonnée, et les jours de l'année en abscisse. La couleur blanche correspond à l'absence de contacts.

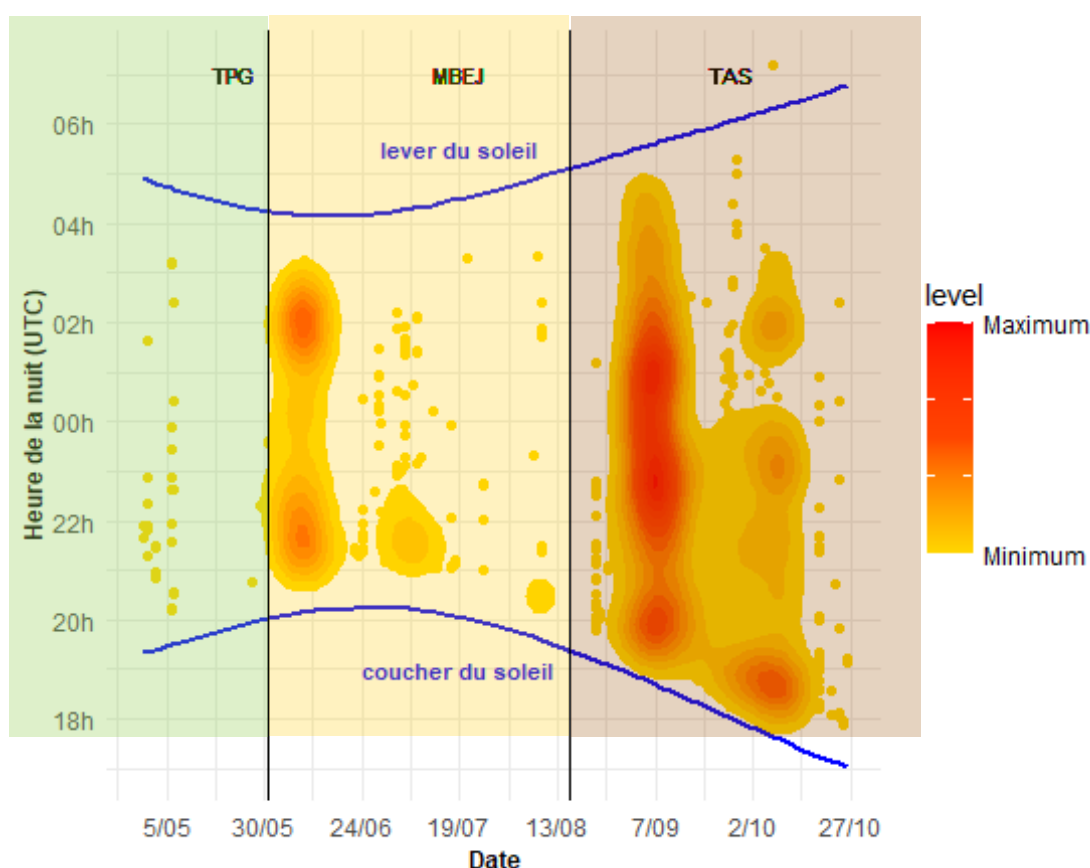


Figure 18 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

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. Régulièrement un second pic d'activité arrive plus tard dans la nuit. Ainsi, plusieurs études suggèrent la présence d'un regain d'activité à l'aube pour certaines espèces de chiroptères. C'est le cas par exemple de la Noctule commune, dont une activité de retour au gîte relativement importante à l'aube a pu être mise en évidence dans les forêts de Slovaquie (Kanuch, 2007). Deux pics d'activité (crépuscule et aube) avaient déjà été mis en évidence pour cette même espèce dans la forêt de Białowieża en Pologne (Rachwald A., 1992), trois selon Arthur et Lemaire (2015). Les pipistrelles

montrent également un pic d'activité au crépuscule et au lever du soleil. Ces deux périodes correspondent en effet aux pics d'activité des insectes nocturnes, et donc des chiroptères pour leur activité de chasse (Swift, 1980).

On constate que durant le mois de juin, l'activité est bimodale, avec un premier pic d'activité en début de nuit et un second avant le lever du soleil. Cela est partiellement expliqué par l'allaitement des petits qui demande une plus forte activité, ce qui conforte la théorie de colonie de mise-bas à proximité. En octobre, on observe aussi plusieurs pics d'activités dans la nuit, mais le second et 3^{ème} sont moins intense que le premier.

Durant le fort pic d'activité début septembre les chiroptères restent actifs durant toute la nuit. Le reste de la période d'enregistrement affiche une activité concentrée dans les premières heures après le coucher du soleil.

3.2.3.2.2 Activité chiroptérologique en fonction de la température

La température joue 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.

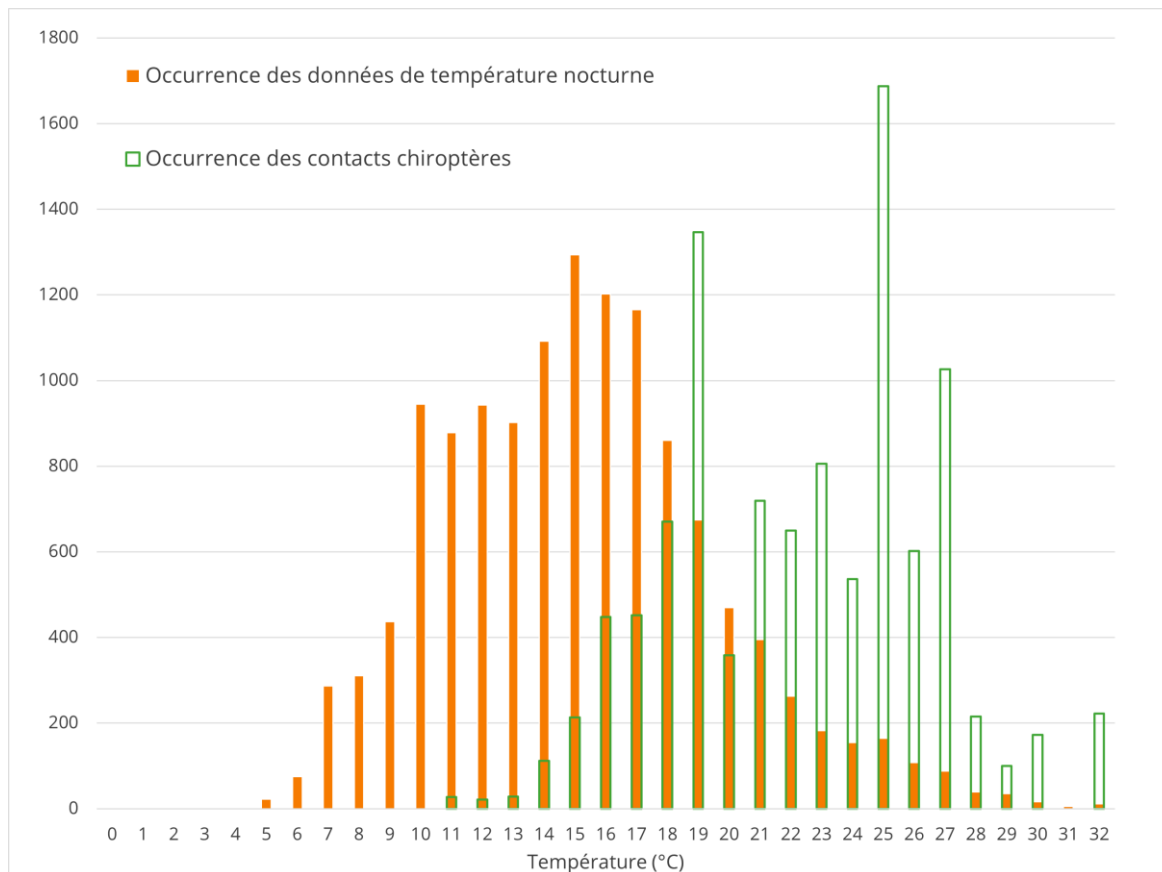


Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la température

Les inventaires réalisés sur le site montrent ainsi que les chiroptères sont actifs entre 11 et 32 °C, en décalage avec les températures nocturnes « disponibles » qui se concentrent entre 7 et 22 °C. **Dans le cas présent, l'activité démarre réellement à partir de 14 °C**, elle est maximum entre 16 et 27°C.

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 démarre vraiment à partir de 14 °C et jusqu'à 32 °C. Les pics d'activités de juin, septembre et octobre sont bien marqués.

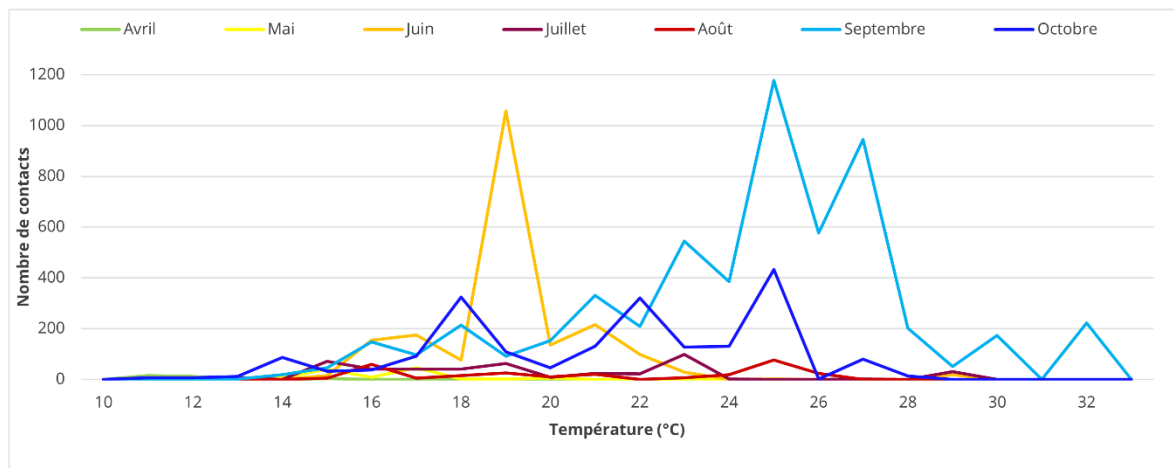


Figure 20 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température

3.2.3.2.3 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.

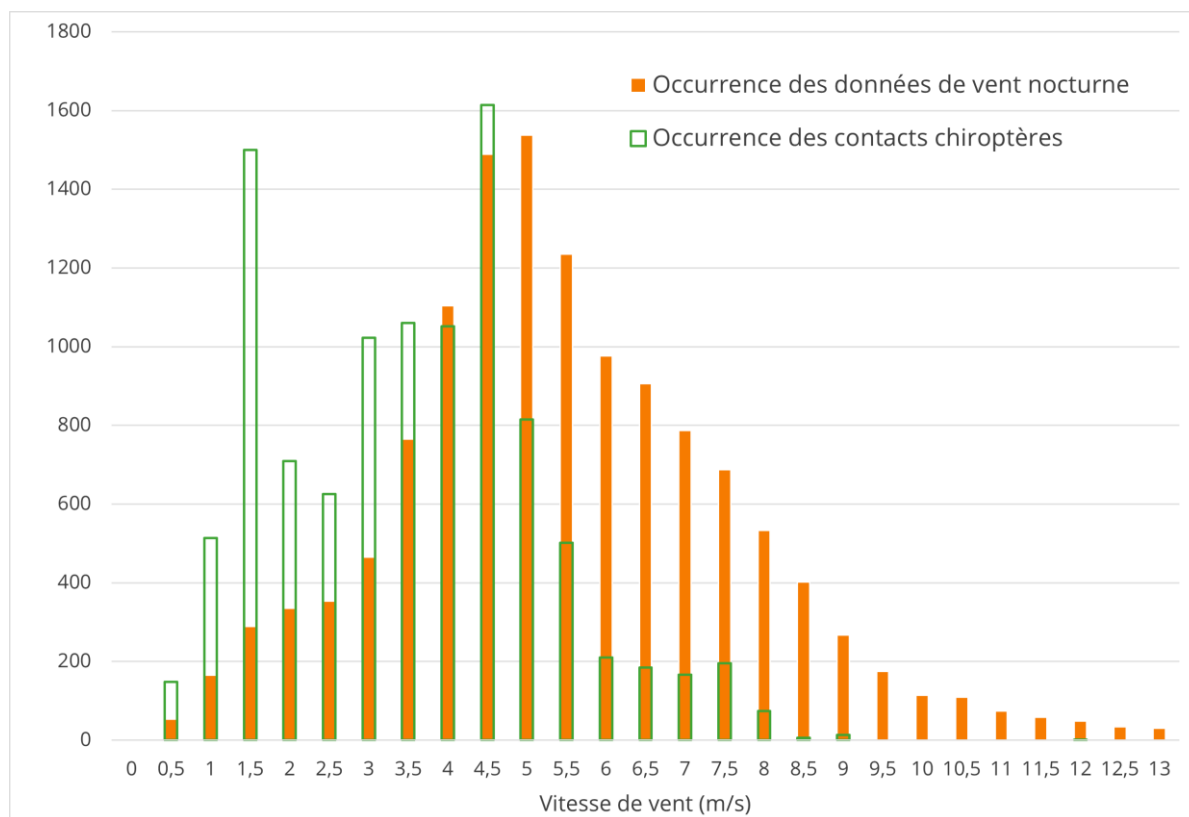


Figure 21 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

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.

L'activité chiroptérologique s'étale entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 12 m/s à hauteur de nacelle avec une importance accrue entre 0,5 et 7,5 m/s. Au-delà de ce seuil, l'activité chute effectivement et devient plus sporadique. Un pic d'activité a été enregistré après le coucher du soleil le 07/06 avec beaucoup d'activité de pipistrelles malgré des vitesses de vents comprise entre 6 et 7,5 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 6 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 7,5 m/s en juin.

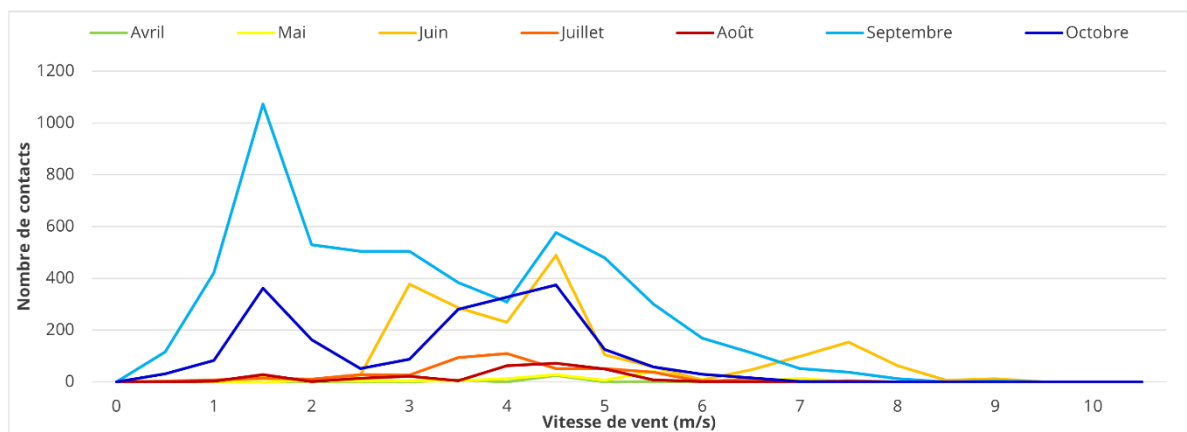


Figure 22 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent

3.2.4 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 richesse spécifique est de six espèces en hauteur, avec la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine commune ;

- on retrouve au sein des espèces inventoriées, essentiellement des espèces pouvant évoluer en hauteur, en cohérence avec les connaissances bibliographiques. À noter les plus fortes proportions de Pipistrelle commune, de Pipistrelle de Kuhl et de Sérotine commune ;

- l'activité chiroptérologique est importante en juin et en septembre-octobre. Ces deux périodes correspondent à des phases d'élevage des jeunes et de transition entre les gîtes estivaux et les gîtes hivernaux. Ainsi, des phénomènes migratoires sont plausibles ;

- l'activité chiroptérologique en hauteur est marquée surtout à partir de 14 °C ;

- l'activité chiroptérologique en hauteur est principalement concentrée entre des vitesses de vent de 0,5 et 7,5 m/s. L'activité présente après ce seuil est plus sporadique, on note cependant des passages de Noctule de Leisler jusqu'à 12 m/s ;

- l'activité au cours de la nuit est bimodale en juin, étalée sur toute la nuit en septembre et principalement concentrée en début de nuit le reste de l'année ;

- l'enjeu principal sur le site semble concerner les périodes de transits d'élevage des jeunes et la période de transition entre les gîtes hivernaux et estivaux à l'automne, traduisant potentiellement un phénomène migratoire. Concernant la période de d'élevage des jeunes, la Pipistrelle commune et la Sérotine commune sont les espèces les plus présentes. On observe qu'elles sont capables d'évoluer sous des fortes vitesses de vent. Durant la période de migration automnale, les enjeux sont très importants car plusieurs espèces comme la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule de Leisler sont aussi très présentes et le risque de collision est élevé avec ces espèces de haut vol.

3.1 Bilan et comparaison avec l'étude d'impact et les suivis ICPE

3.1.1 Diversité spécifique

15 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							
		Par P&T Technologie SAS		Par ENCIS Environnement					
		Sous-traité par AMIKIRO	Sous-traité par AEPE-Gingko						
		Suivis au sol (2013/2014)	Compléments d'inventaires : suivis au sol (2016)	Suivis au sol (2021)	Suivis au sol (2022)	Suivis au sol (2023)	Suivi en altitude (2021)	Suivi en altitude (2022)	Suivi en altitude (2023)
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>		X	X	X	X			
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>				X				
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>			X					
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>					X			
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>			X	X	X			
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>			X	X	X			
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>					X	X	X	X
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>			X			X	X	X
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>			X	X			X	
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>			X	X	X			
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>		X	X	X				
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>		X				X	X	X
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	X		X		X		X	X
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce									
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	X	X	X	X	X			
Murin à oreilles échancrées / Alcathoe	<i>Myotis emarginatus / alcathoe</i>		X						
Oreillard sp.	<i>Plecotus sp.</i>		X	X	X	X			
Noctule / Sérotine sp.	<i>Nyctalus / Eptesicus</i>						X	X	X
Pipistrelle de Kuhl / Nathusius	<i>Pipistrellus kuhlii / nathusii</i>	X	X	X		X		X	X
Total des espèces	14	3	5	11	9	9	5	7	6

Tableau 15 : Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le site

L'étude d'impact de 2013 qui s'étend jusqu'au début de l'année 2014, incluant les résultats des inventaires chiroptérologiques au sol, a permis de recenser trois espèces certaines par l'association AMIKIRO, contre cinq pour les inventaires complémentaires de 2016 réalisés par le bureau d'études AEPE-Gingko, et quinze espèces identifiées par ENCIS Environnement entre 2021 et 2023.

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

En 2013 / 2014, AMIKIRO a réalisé cinq soirées d'écoute au sol sur 20 points ciblés sur des zones pouvant offrir une connexion avec des milieux naturels périphériques. En 2013, deux soirées ont été réalisées en période de transits printaniers et gestation dans des conditions météorologiques défavorables, une soirée en période de mise-bas et élevage des jeunes et une soirée aux transits automnaux et swarming. La dernière sortie a été réalisée au début de la période des transits printaniers et gestation de l'année 2014. Ces inventaires ont fait ressortir un cortège chiroptérologique plutôt faible qui est lié à des espèces généralistes et/ou de haut vol.

En 2016, le bureau d'étude AEPE-Gingko a réalisé des inventaires complémentaires qui ont été réalisés sur six soirées d'écoute au sol sur six points étalés entre les mois de mai et d'octobre (une soirée par mois). Ces inventaires ont fait ressortir un cortège chiroptérologique un peu plus important lié à des espèces évoluant majoritairement au sol.

En 2021, 2022 et 2023 ENCIS Environnement a réalisé deux protocoles de suivi de l'activité des chiroptères avec des écoutes au sol et en hauteur. Les écoutes au sol ont été effectuées en actif sur 10 points d'écoutes de 10 minutes chacun (les points sont conservés d'une année sur l'autre). Les écoutes en hauteurs ont été menées *via* un enregistreur automatique placé en nacelle d'éolienne durant 226 nuits de mars à novembre 2021, durant 245 nuit de mars à novembre 2022 et durant 216 nuits de mars à octobre 2023. Ces deux méthodes d'inventaire ont fait ressortir un cortège chiroptérologique plus exhaustif que les précédents avec des espèces qui jusque-là, n'avaient pas encore été identifiées. On retrouve des espèces communes en Europe comme la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Sérotine commune, qui sont des espèces capables de voler en hauteur. Des espèces appartenant à un cortège plus forestier (murins, rhinolophes, oreillards, etc.) et des espèces de haut-vol comme les noctules ont été mises en exergue.

Globalement et malgré les différents protocoles utilisés, ceci témoigne d'une richesse spécifique modérée.

Les protocoles et inventaires ne sont pas comparables mais il y a une forte cohérence des espèces présentes. En effet, toutes les espèces contactées lors des inventaires des années 2013 / 2014 et 2016 ont été retrouvées lors des inventaires de 2021 et 2022 auxquelles se sont ajoutées plusieurs espèces dont des murins, notamment le Grand Murin, le Murin de Bechstein ou le groupe des noctules avec la Noctule de Leisler.

3.1.2 Activité recensée

Le tableau ci-dessous expose les différents résultats de l'indice d'activité moyenne des chiroptères (pondérée ou non) en fonction des différentes périodes d'inventaires réalisés par différents organismes. La comparaison entre les différentes études réalisées est difficile en raison des méthodes protocolaires différentes (variation du nombre de points d'écoute, de leur localisation, du nombre de sorties, de l'interprétation et la restitution des résultats).

De plus, les résultats de la sortie du 18 mars 2014 prévue par AMIKIRO n'ont pas été présentés dans le rapport d'étude d'impact de P&T Technologies SAS car le bureau d'études AEPE-Gingko a estimé que cette sortie était localisée dans une période très précoce par rapport à l'activité des chiroptères et qu'elle ne permettait pas de recueillir de données significatives.

Année de suivi	Milieux	Indice d'activité moyenne (contacts/heure)
2013 / 2014 (AMIKIRO)*	Haies et Lisières	351
	Culture	9
	Activité moyenne	18
2016 (AEPE-Gingko)*	Haies et Lisières	171
	Culture	458
	Activité moyenne	315
* Le rapport d'étude d'impact de P&T Technologies SAS ne mentionne pas la pondération de l'activité selon la méthode de M.Barataud.		
2021 (ENCIS Environnement)**	Haies et Lisières	427
	Cultures et Plateformes	129
	Activité pondérée moyenne	253
2022 (ENCIS Environnement)**	Haies et Lisières	742
	Cultures et Plateformes	89
	Activité pondérée moyenne	422
2023 (ENCIS Environnement)**	Haies et Lisières	164
	Cultures et Plateformes	58
	Activité pondérée moyenne	111
** Les résultats d'activité moyenne sont pondérés selon la méthode de M.Barataud vis-à-vis du coefficient de détectabilité des espèces.		

Tableau 16 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de l'année

Concernant l'activité par milieu, on notera globalement une corrélation entre les différentes années de suivi, avec une activité plus prononcée sur les milieux de types haies ou lisières, contrairement aux milieux ouverts de type culture qui sont plus rarement utilisés. L'activité observé en plus faible en 2023 que lors des deux années précédentes.

Les comparaisons entre études d'impact et suivi ICPE sont difficile car les méthodes et le matériel utilisés sont différent.

Les suivi ICPE montre une forte baisse de l'activité en 2023 aussi bien sur les haies et lisière que sur les plateformes au milieu des cultures.

3.1.3 Cumul des trois années de suivi ICPE

Répartition par cortège

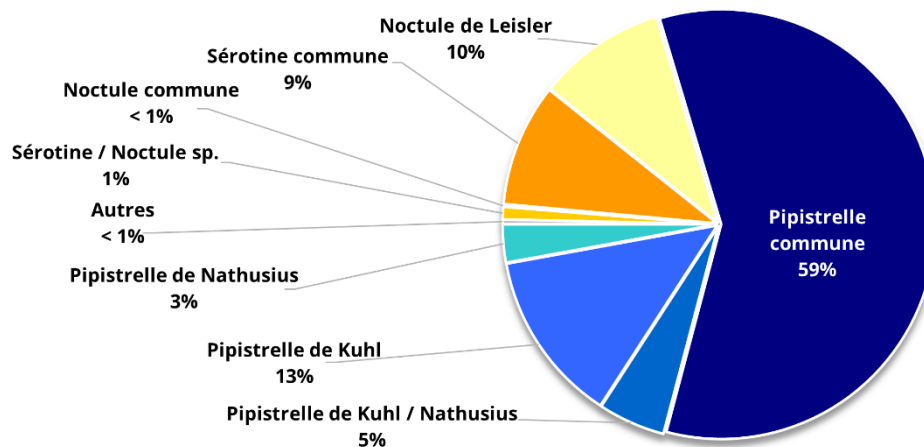


Figure 23 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les trois années d'études (n=13 904)

Sur les trois années de suivi le cortège qui domine est celui des pipistrelles, devant celui des noctules et des sérotines.

Activité par nuit

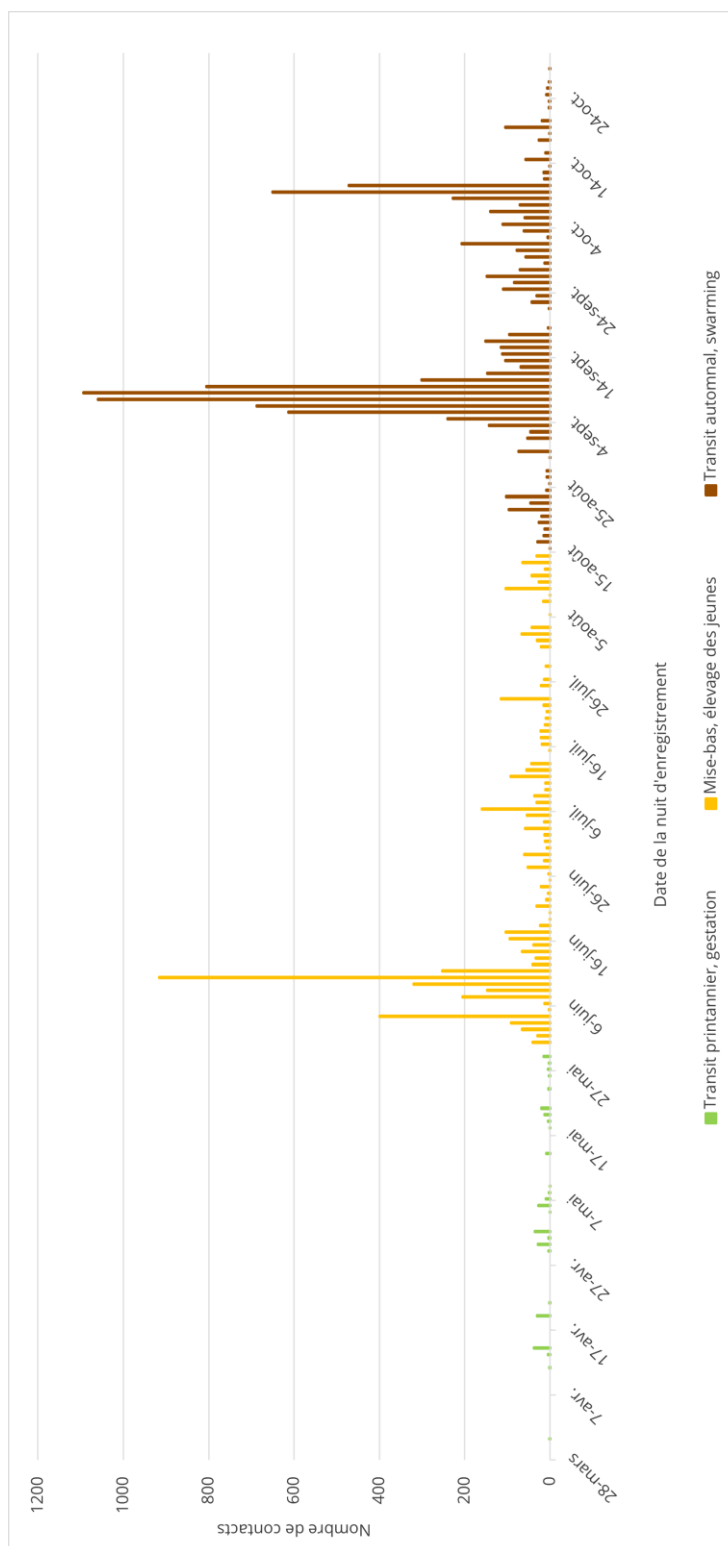


Figure 24 : Répartition du nombre de contacts par jours sur les deux périodes d'études

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

Activité par mois

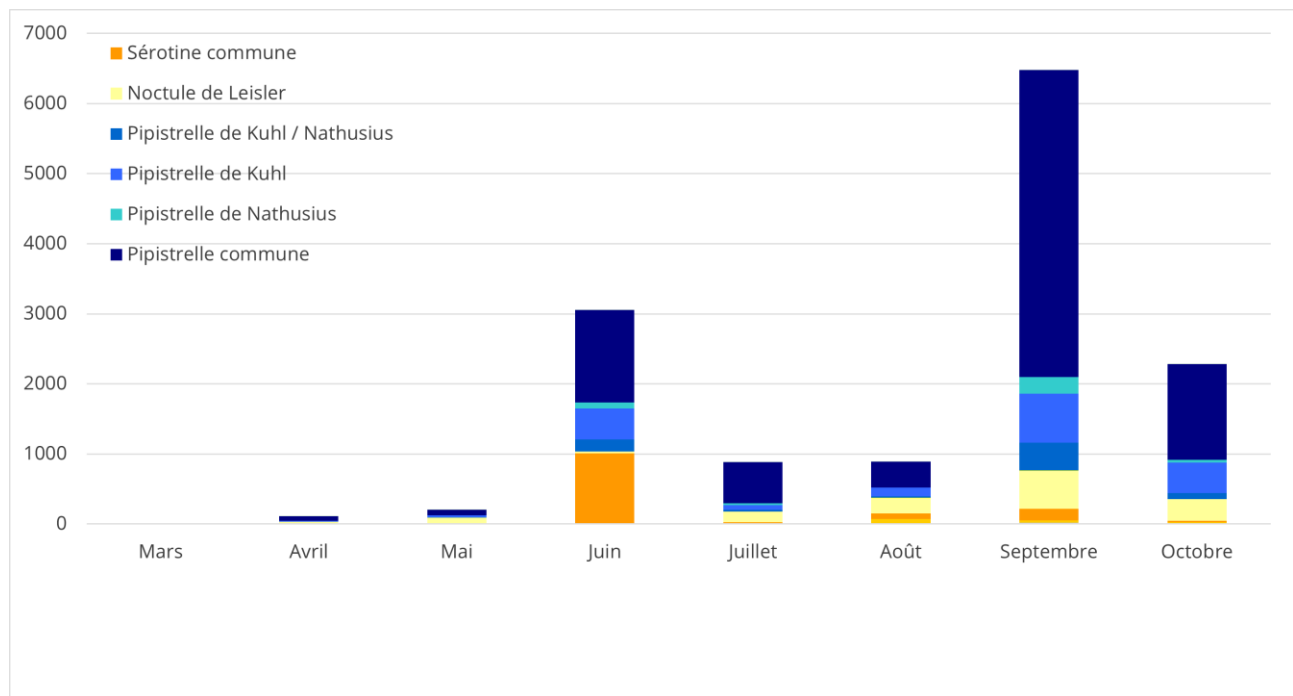


Figure 25 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les trois périodes d'études

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

Activité circadienne

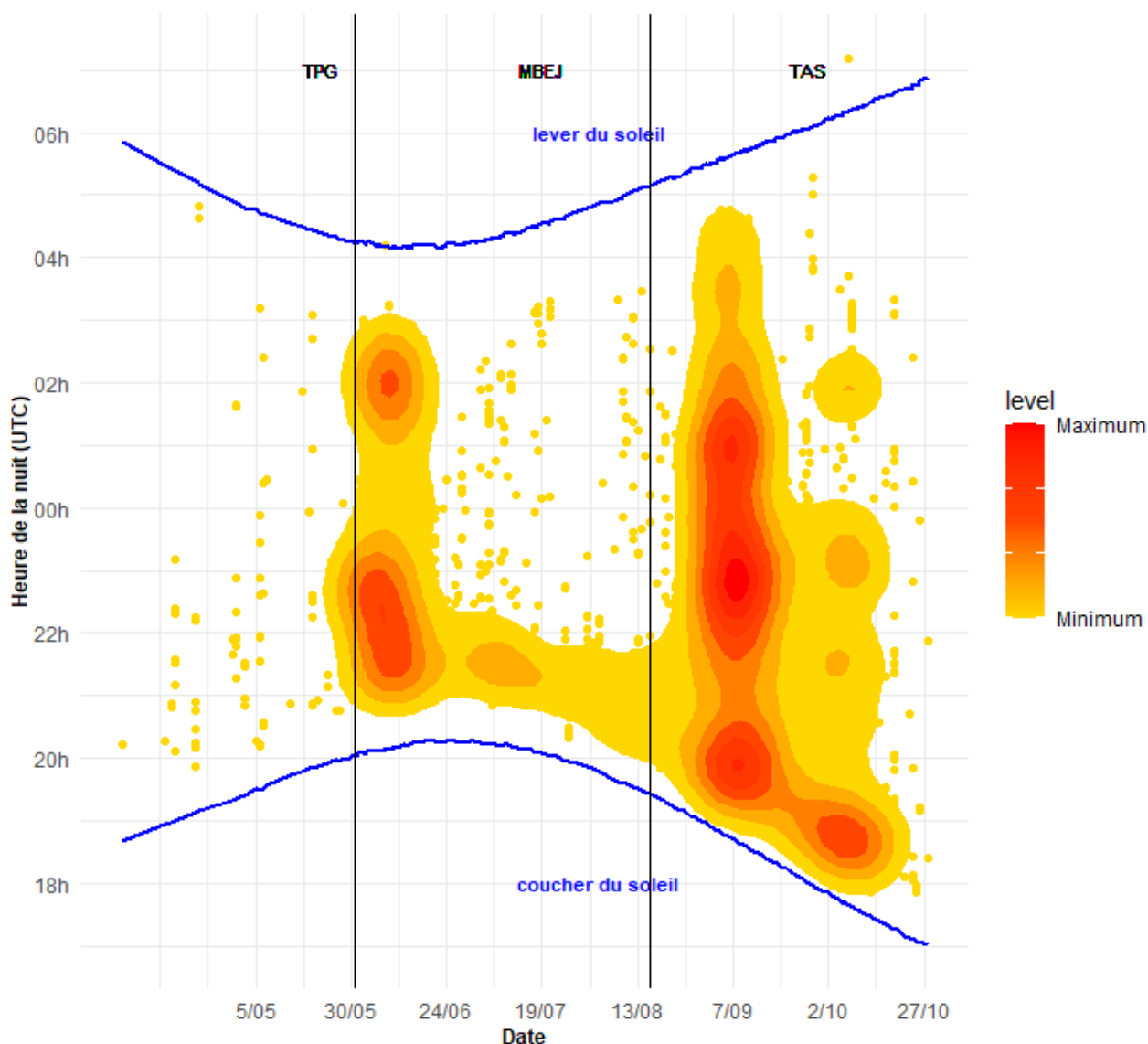


Figure 26 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien sur les trois périodes d'études

L'activité est répartie sur deux pic, après le coucher de soleil et avant son lever en juin. Elle est forte tout au long de la nuit en septembre, et en octobre le pic de forte activité se situe peu après le coucher du soleil mais l'activité continue jusqu'en milieu de nuit. Au cœur de l'été en revanche, l'activité des chauves-souris a surtout lieu dans les 2 heures après le coucher du soleil.

Activité en fonction de la température

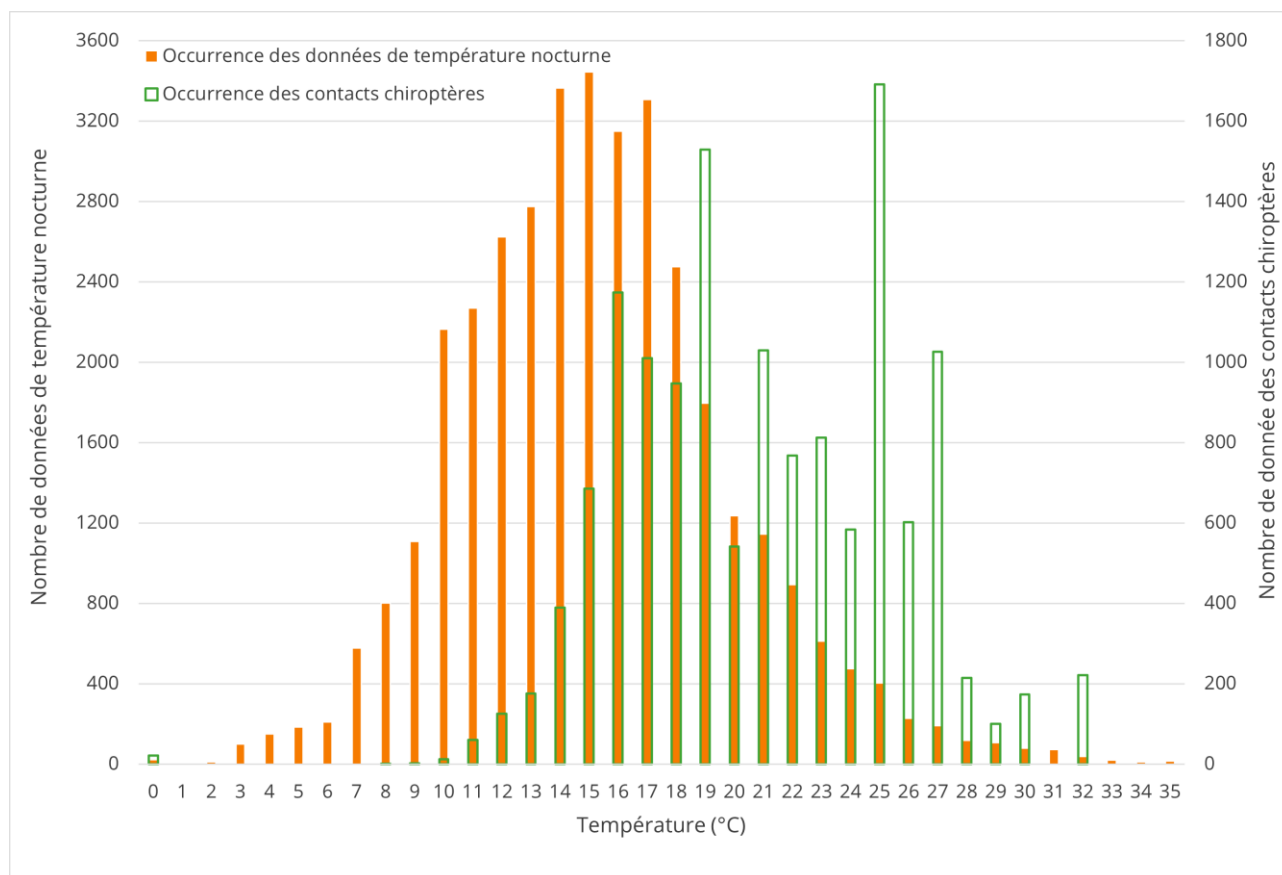


Figure 27 : Activité des chiroptères en fonction de la température sur les trois périodes d'études

Sur les trois années de suivi les seuils à retenir sont un démarrage possible de l'activité des chiroptères dès 8 °C pour les saisons froides, et une activité qui devient non négligeable à partir de 12 °C pour le reste de la période.

Activité en fonction du vent

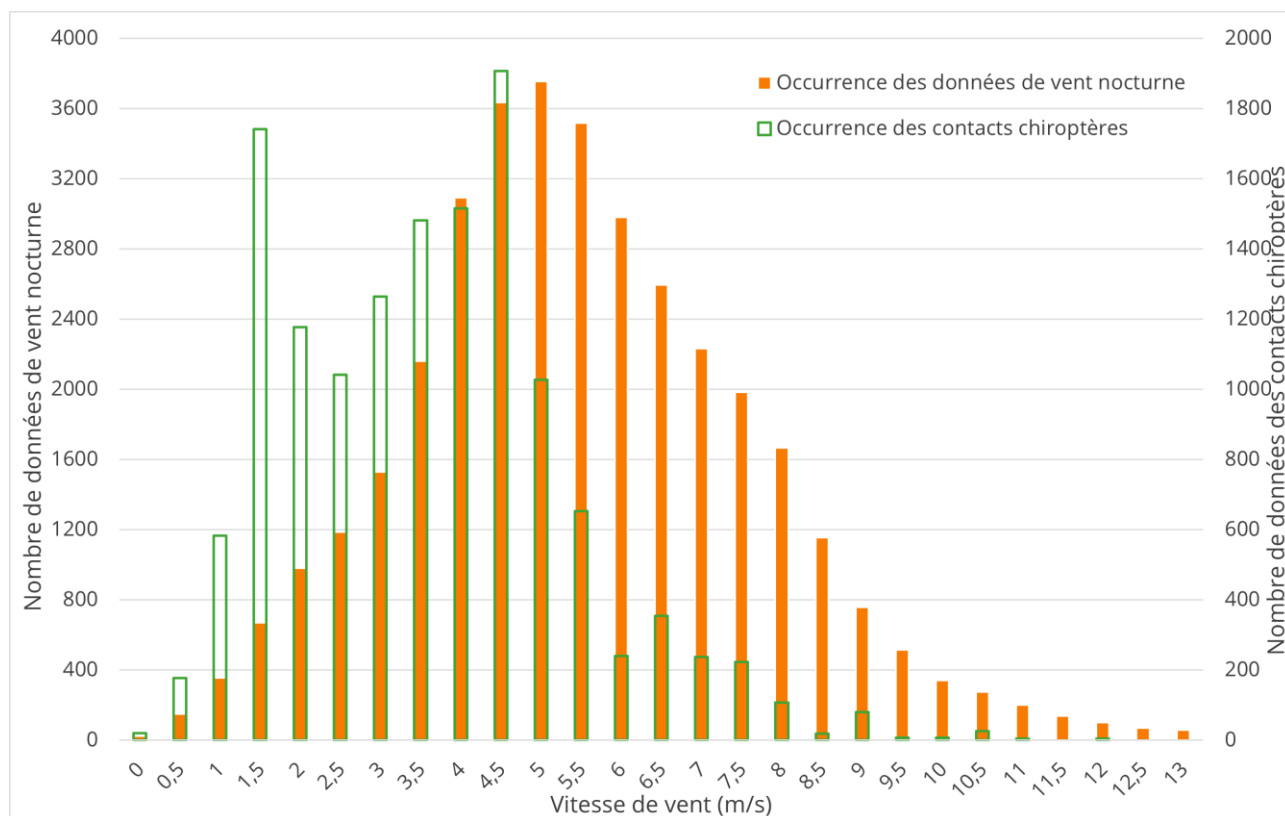


Figure 28 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent sur les trois périodes d'études

L'essentiel de l'activité des chiroptères sur les trois années de suivi s'étale de 0 m/s jusqu'à 7,5 m/s. Il ne faut pas négliger les contacts au-delà de ce seuil cependant, certaines espèces pouvant encore être présente à 12 m/s.

3.2 Principaux éléments à retenir du suivi ICPE


La conclusion après les deux premières années de suivi est la suivante : le cortège des espèces de haut-vol ou capables d'évoluer en hauteur (sensibles à l'éolien) est toujours présent en 2023. Au vu de la concordance des résultats de l'étude d'impact et des suivis post-implantation avec ceux de la présente étude, nous pouvons conclure que le site reste fréquenté par les chiroptères. Cependant, il est impossible d'évaluer si l'on observe une modification de la fréquentation du site par les populations locales inventoriées en 2013/2014 et 2016 (protocoles différents).

Il y a eu plus de quatre fois plus d'activité enregistrée en hauteur en 2023 par rapport à 2022. Il faut cependant de relativiser : le comportement des chiroptères peut être très différent d'une année sur l'autre en fonction des conditions météorologiques et d'un panel d'autres facteurs non mesurables (proies, migrations, naissances, etc.). Au sol, l'activité enregistré est au contraire en forte diminution.

L'année 2023 vient confirmer la répartition par cortège et la fréquentation du site avec une forte présence de Pipistrelle commune et de Pipistrelle de Kuhl, groupe d'espèces ubiquistes pouvant s'adapter au haut-vol (sensibles à l'éolien). La Pipistrelle de Nathusius est aussi présente de juin à octobre ; De même, on observe une forte présence de la Noctule de Leisler et de la Sérotine commune, toutes deux également sensibles à l'éolien.

L'activité est plus forte en période de mise-bas et d'élevage des jeunes (phase estivale) et en période de transits automnaux et swarming (phase automnale), particulièrement au mois de juin et de septembre. Cette activité reste non négligeable jusqu'à fin octobre. La possibilité d'une activité migratoire sur le site se confirme donc avec les résultats de 2023.

En conclusion : *le site de Broons présente une activité chiroptérologique très forte en juin, septembre et octobre, modéré en juillet et août et faible le reste de l'année. Le plan de bridage préventif adopté en 2022 en concertation avec l'exploitant reste nécessaire, il sera adapté avec les résultats 2023.*



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.

La durée moyenne de l'intervalle est : $I = 7,03$ 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	Corentin GOISLOT	11/04/2023	36	28
T2	Corentin GOISLOT	04/07/2023	35	31
Total			71	59

Tableau 17 : Résultats des tests d'efficacité

Le coefficient d'efficacité du chercheur est : $d = 0,91$

A noter, six poussins ont été prédatés avant que l'observateur ne puisse les trouver, ils n'ont donc pas été comptabilisés dans le calcul du coefficient d'efficacité du chercheur.

4.1.3 Persistance des cadavres

Le test de persistance a pour but de déterminer différents coefficients liés à la durée de persistance des cadavres. Ces paramètres sont 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				
			J+1	J+3	J+6	J+9	J+13
T1	11/04/2023	36	28	12	2	1	0
T2	04/07/2023	35	26	10	1	0	0
Total		71	54	22	3	1	0

Tableau 18 : Résultats des tests de persistance

La durée moyenne de persistance des cadavres est : $t = 2,59$

A noter, six poussins ont été prédatés pendant le test d'efficacité du chercheur, ce qui appuie le constat de la disparition très rapide des cadavres.

4.1.1 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 (tableau suivant). 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 60 000 m² par prospection pour l'ensemble du parc.

	Surface prospectée / éolienne (m ²)						Total
	1	2	3	4	5	6	
Moyenne sur l'ensemble du suivi	5 006	4 908	4 080	2 578	5 022	5 671	27 265
Proportion (%)	50,06	49,08	40,80	25,78	50,22	56,71	45,44

Tableau 19 : Synthèse des surfaces prospectées

La proportion moyenne de surface prospectée sur l'ensemble du suivi est de 0,45 (soit 45 %).

Le coefficient de correction surfacique moyen sur l'ensemble du parc et des prospections est de : $A = 2,20$.

4.2 Mortalité de l'avifaune

4.2.1 Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien

4.2.1.1 Les principaux facteurs de mortalité de l'avifaune

À l'exception des parcs éoliens denses et situés dans des zones particulièrement riches en oiseaux, la mortalité par collision est généralement faible par rapport aux autres activités humaines (tableau suivant). Le taux de mortalité varie selon les parcs de 0 à 10 oiseaux par éolienne et par an (programme « éolien biodiversité » - parcs européens). Ces chiffres dépendent de la configuration du parc éolien, de la densité et des caractéristiques des oiseaux qui fréquentent le site, du relief, et plus globalement, des caractéristiques topographiques et paysagères (présence de voies de passage, de haies, de zones d'ascendance thermique). À titre de comparaison, le réseau routier serait responsable de la mort de 30 à 100 oiseaux par km/an, le réseau électrique de 40 à 120 oiseaux par km/an.

Cause de mortalité	Commentaires
Ligne électrique haute tension (> 63 kV)	80 à 120 oiseaux/km/an (en zone sensible) ; réseau aérien de 100 000 km
Ligne moyenne tension (20 à 63 kV)	40 à 100 oiseaux/km/an (en zone sensible) ; réseau aérien de 460 000 km
Autoroute, route	Autoroute : 30 à 100 oiseaux/km/an ; réseau terrestre de 10 000 km
Chasse (et braconnage)	Plusieurs millions d'oiseaux chaque année
Agriculture	Evolution des pratiques agricoles, pesticides, drainage des zones humides.
Urbanisation	Collision avec les bâtiments (baies vitrées), les tours et les émetteurs.
Eoliennes	0 à 10 oiseaux / éolienne / an ; 2456 éoliennes en 2008, environ 10000 en 2020

Tableau 20 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE)

Les différentes espèces interagissent différemment face à un parc éolien :

- les espèces plus sensibles à l'effarouchement (limicoles, anatidés, grues, aigles, etc.), sont plus méfiantes vis-à-vis des éoliennes en mouvement et par conséquent moins sensibles au risque de collision ;
- les espèces moins farouches sont potentiellement plus sensibles à la mortalité par collision avec les pales (milans, buses, Faucon crécerelle, busards, martinets, hirondelles, etc.).

4.2.1.1.1 Situations et facteurs à risques

De manière générale, certaines situations peuvent accroître les risques de collision. Les principaux critères sont :

- les hauteurs et types de vol des espèces ;
- le comportement de chasse chez les rapaces ;
- les phénomènes de regroupement des espèces en migration, notamment chez les migrateurs nocturnes ;
- les conditions de brouillard ou de nuages bas et les vents forts de face.

4.2.1.1.2 Sensibilité des espèces au risque de collision

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, 2022) et sur l'abondance des espèces (BirdLife International, 2017). 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. 17 espèces, dont le Circaète Jean-le-Blanc, le Milan noir, le Grand-duc d'Europe, le Balbuzard pêcheur, le Faucon pèlerin et le Faucon crécerelle atteignent le niveau de sensibilité 3.

4.2.1.1.3 Espèces les plus impactées

Les rapaces et migrateurs nocturnes (roitelets, martinets *etc.*) sont des espèces généralement considérées comme les plus exposées au risque de collision avec les turbines (« Impact des éoliennes sur les oiseaux », ONCFS, 2014).

Certains rapaces, en particulier les espèces à tendance nécrophage 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 impacts semblent survenir plus particulièrement la nuit. Les espèces qui ne migrent que de jour (rapaces, cigognes, fringilles, *etc.*) sont généralement capables d'adapter leurs trajectoires à distance. En effet, comme cela a été démontré dans l'étude d'Abies (2002), 88 % des oiseaux changent leur trajectoire à la vue des éoliennes. Ces comportements d'anticipation participent à la réduction des situations à risques.

4.2.1.2 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 ont 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 ont fait l'objet d'un suivi de la mortalité, soit 12,5 %.

Parmi les suivis réalisés, seuls 80% ont été effectués sur une surface d'au moins 1 ha. Le nombre de prospections est variable, allant d'un passage à l'année à plusieurs passages par semaine tout au long de l'année. Au total 37 839 prospections ont été réalisées, le plus souvent au printemps, en été et en automne.

Au total, 31 parcs possèdent un suivi acceptable (au moins 26 semaines de suivi avec un passage par semaine). Lors de ces suivis, 485 cadavres ont 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 varie entre 1,24 à 2,15 oiseaux/éolienne/an.

Pour finir, huit parcs ont fait l'objet d'estimation selon les quatre méthodes préconisées soit 1,38 % des éoliennes françaises. Ces parcs possèdent tous une sensibilité particulière : proximité d'une ZPS, de forêts de feuillus ou présence d'une mosaïque de milieux. Les estimations sont 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 est 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 Annexes), 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).

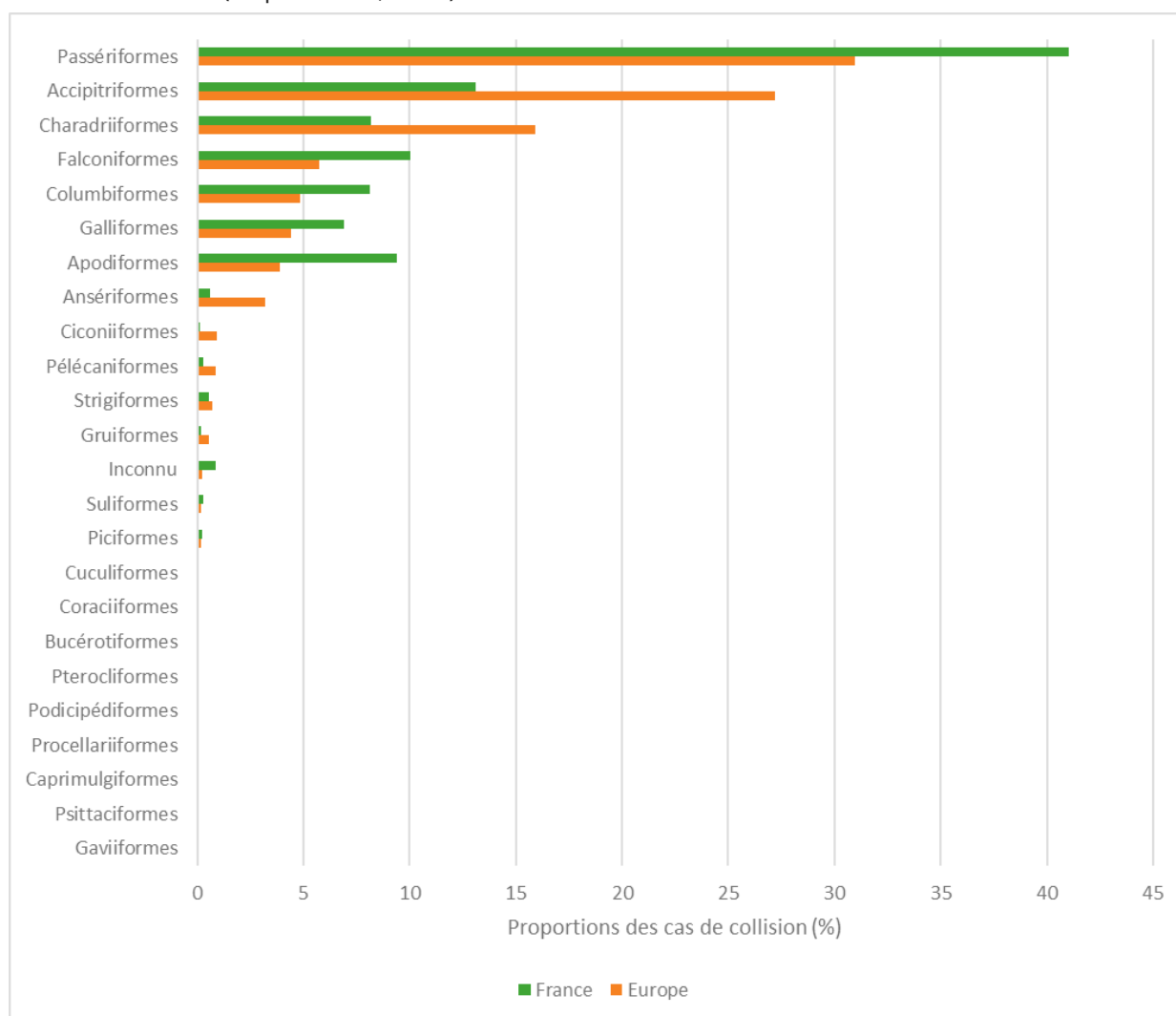


Figure 29 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2023)

4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'état initial, réalisé en 2013-2014 par le bureau d'étude AMIKIRO et le complément d'inventaire, réalisé en 2016 par le bureau d'étude AEPE-Gingko, ont révélé la présence de 13 espèces à enjeu et sensibles au risque de collision dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité (tableau suivant).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Notation	Enjeu
Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	1,5	Fort
Chardonneret élégant	<i>Carduelis carduelis</i>	1	Faible
Verdier d'Europe	<i>Carduelis chloris</i>	1	Faible
Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	1	Faible
Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	1	Faible
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	0,5	Faible
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	0,5	Faible
Tarier pâtre	<i>Saxicola rubicola</i>	0,5	Faible
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	0,5	Faible
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	0,5	Faible
Fauvette des jardins	<i>Sylvia borin</i>	0,5	Faible
Épervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	0,5	Faible
Mésange nonnette	<i>Poecile palustris</i>	0,5	Faible

Tableau 21 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2013-2014 (AMIKIRO) et en 2016 (AEPE-Gingko)

Trois espèces nicheuses présentent un enjeu effectif sur la zone d'étude :

- le Bruant jaune ;
- l'Épervier d'Europe ;
- la Mésange nonnette.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Sensibilité		Vulnérabilité	
		Note	Niveau	Note	Niveau
Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	-1	Très faible	0,5	Faible
Épervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	1	Moyen	1,5	Moyen
Mésange nonnette	<i>Poecile palustris</i>	-1	Très faible	-0,5	Très faible

Tableau 22 : Niveaux de sensibilité et de vulnérabilité des espèces présentant un enjeu effectif sur la zone d'étude

4.2.3 Résultats globaux du suivi de l'avifaune en 2023

4.2.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Biterne Sud, quatre cadavres d'oiseaux appartenant à quatre espèces ont été retrouvés (tableau suivant) lors du protocole de suivi de la mortalité. La mortalité brute est de 0,67 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de fin mars à fin octobre, soit 31 prospections, à raison d'une prospection par semaine.

Les espèces retrouvées sont l'Étourneau sansonnet, le Martinet noir, l'Épervier d'Europe et le Faucon crécerelle, à raison d'un individu pour chaque espèce.

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

Date	Espèce	Éolienne	Statut biologique	Sexe	Âge	Source
03/05/2023	Étourneau sansonnet	E5	Reproducteur	Inconnu	Inconnu	Protocole
07/06/2023	Martinet noir	E6	Reproducteur	Inconnu	Adulte	
17/07/2023	Épervier d'Europe	E5	Reproducteur	Inconnu	Inconnu	
22/08/2023	Faucon crécerelle	E6	Reproducteur	Mâle	Inconnu	

Tableau 23 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité

Avec quatre cadavres d'oiseaux recensés, la mortalité brute observée sur le parc de Biterne Sud est de 0,67 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de fin mars à fin octobre 2023.

4.2.3.2 Mortalité estimée

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 (mortalité globale)	Intervalle de confiance à 95 % (mortalité globale)
Erickson	25,83	6,09 - 54,91
Huso	27,79	6,59 - 58,27
Jones	36,93	8,47 - 80,75

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 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 26 à 37 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 7 et 81 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La précision des estimations est jugée insuffisante pour pouvoir interpréter les résultats (intervalles de confiance).

Les paramètres correcteurs peuvent avoir un impact fort. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives, comme la persistance des cadavres, qui reflète une forte prédation sur le parc de Biterne Sud ($t = 2,59$ jours). En outre, la correction surfacique est assez élevée ($A = 2,20$) étant donné le grand nombre de zones n'ayant pu être prospectées, dû notamment à la présence des cultures. Ceci indique pourquoi la précision des estimations est si peu élevée.

Dans les paragraphes suivant (résultats saisonniers et spatialisés), compte tenu du faible nombre de données et/ou de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées et/ou de la non-homogénéité du suivi (nombre de sortie, périodes couvertes, etc.), le calcul d'une mortalité estimée est susceptible de ne pas être pertinent ou réalisable. Le cas échéant, seule la mortalité brute est analysée.

4.2.3.3 Analyse par groupes taxonomiques

Les quatre cadavres d'oiseaux trouvés appartiennent à l'ordre des Passériformes (un individu), des Apodiformes (un individu), des Accipitriformes (un individu) et des Falconiformes (un individu). Il convient de considérer que cette mortalité observée n'est pas nécessairement représentative de la mortalité réelle par groupe taxonomique. Les Passériformes et les Accipitriformes font effectivement partie des groupes les plus impactés en France et en Europe (cf. 4.2.1.2 Bilans national et européen de la mortalité de l'avifaune). Les Falconiformes et les Apodiformes sont cependant plus rarement découverts.

Sur le parc de Biterne Sud, en 2023, les cadavres retrouvés appartiennent au groupe des Passériformes, des Accipitriformes, des Falconiformes et des Apodiformes.

4.2.4 Résultats saisonniers

4.2.4.1 Mortalité brute

Au cours de ce suivi, les cadavres d'oiseaux ont été retrouvés durant les mois de mai, juin, juillet et août (figure suivante).

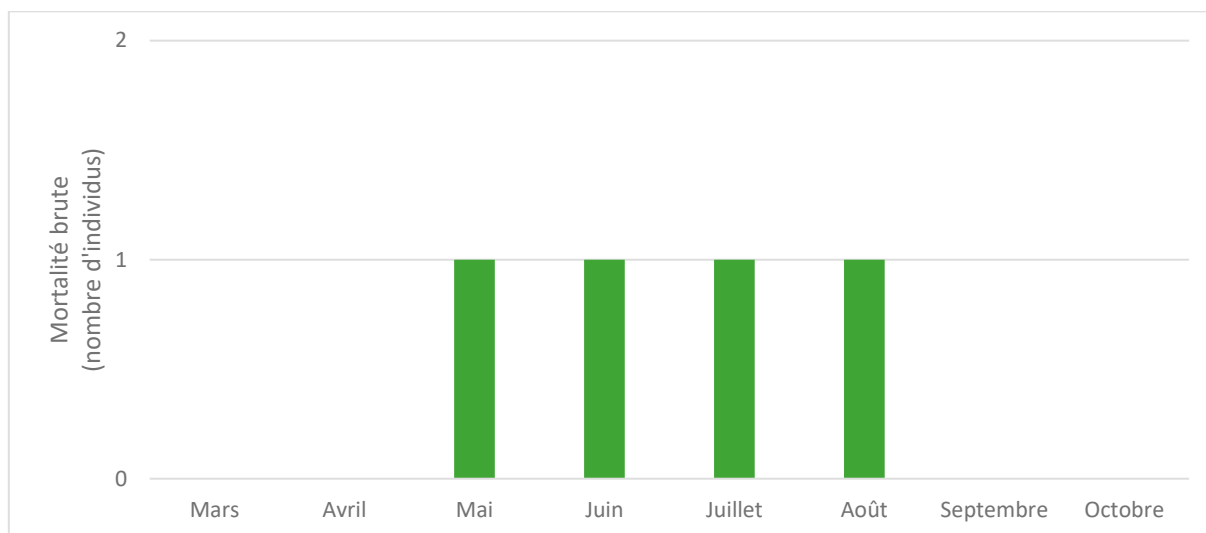


Figure 30 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

D'après les espèces retrouvées et la phénologie de leurs phases biologiques, les cas de mortalité sont attribués à des individus reproducteurs : Étourneau sansonnet, Martinet noir, Épervier d'Europe, Faucon crécerelle. Par ailleurs, une absence de mortalité est constatée durant les périodes de migrations prénuptiale et postnuptiale. A noter, les suivis n'ont démarré qu'à partir du 27 mars et se sont terminés le 24 octobre, il n'est pas impossible que des individus migrateurs aient été tués mais dont la mortalité n'a pas été recensée.

Le faible nombre de données ne peut pas permettre de dégager une tendance claire entre ces périodes. Par ailleurs, les périodes de migration n'ont pas été intégralement couvertes par le suivi (de façon générale, la période de migration prénuptiale débute en février, et celle de la migration postnuptiale se termine en novembre). De plus, étant donnés les potentiels prélèvements de cadavres entre les prospections, il n'est pas impossible que d'autres périodes soient concernées par des cas de mortalité. A noter, la période hivernale n'a pas été concernée par ce suivi.

La mortalité des oiseaux sur le parc de Biterne Sud semble concentrée sur la période de nidification. Il est possible que les oiseaux reproducteurs soient effectivement les plus impactés.

4.2.5 Résultats spatialisés par éolienne

4.2.5.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, deux cadavres d'oiseaux ont été retrouvés sous l'éolienne E5 et deux autres sous l'éolienne E6 (carte suivante). Étant donnés les facteurs tels que, notamment, la prédation, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.



Carte 6 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne

Selon les résultats, les éoliennes E5 et E6 pourraient être les plus mortifères. Toutefois, les données ne permettent pas de conclure sur ce point.

4.2.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien

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.*).

L'origine d'une collision est souvent multifactorielle. Il convient ainsi, lorsque cela est possible, de les identifier afin de déterminer les causes de la mortalité sur le parc éolien, et si cela est justifié, d'appliquer d'éventuelles mesures correctrices.

D'après les caractéristiques des individus retrouvés, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, aucune cause récurrente n'a pu être identifiée comme étant à l'origine de la mortalité sur le parc de Biterne Sud. Les cas de mortalité recensés, peu nombreux, semblent avoir pour origine l'occurrence ponctuelle de facteurs à risques (phénologie, comportement, conditions météorologiques, *etc.*). Le parc est implanté dans un milieu bocager, qui correspond aux habitats fréquentés par les espèces découvertes.

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

- ***un nombre d'individus et une activité plus importante en période de reproduction,***
- ***l'emplacement du parc, dans un milieu bocager, pouvant engendrer un risque accru sur l'avifaune, ces milieux étant généralement riches et densément peuplés en oiseaux.***

4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation des espèces ayant été directement impactées par le parc de Biterne Sud, 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					
			Europe	R	H	M	R	H	M			
Étourneau sansonnet	Annexe II/2	-	LC	LC	LC	NA	LC	-	LC	Non	1	1
Martinet noir	-	Article 3	NT	NT	-	DD	LC	-	DD	Non	1	1
Épervier d'Europe	-	Article 3 et 6	LC	LC	NA	NA	LC	-	DD	Non	2	1
Faucon crécerelle	-	Article 3	LC	NT	NA	NA	LC	-	-	Non	3	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.

: éléments de patrimonialité.

Tableau 25 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées

4.2.7.1 Espèces patrimoniales

Parmi **les quatre espèces** concernées par des cas de mortalité, **deux 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 :

- www.iucnredlist.org (consulté en novembre 2023).
- 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.

Le Martinet noir (*Apus apus*) a fait l'objet d'un cas de mortalité le 7 juin, en période de reproduction. Les populations montrent un déclin de leurs effectifs au niveau européen, tandis qu'ils seraient stables au niveau national. Le Martinet noir est classé « Quasi menacée » au niveau national. En Bretagne, l'espèce n'est pas menacée « Préoccupation mineure » et apparaît assez commune dans les Côtes-d'Armor. Le Martinet a été qualifié comme un oiseau à enjeu faible au moment de l'étude d'impact.

A proximité du parc sont présents des hameaux, des exploitations agricoles et du bâti isolé. Certaines espèces se sont approprié ce type de milieu pour nicher : c'est le cas du Martinet noir qui niche

dans des cavités étroites situées sous les toitures ou dans les bâtiments. Le cadavre découvert pourrait donc être un individu provenant d'un site de nidification à proximité du parc.

L'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif en 2023. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent, afin de rechercher comment en limiter les causes.

Le Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) a fait l'objet d'un cas de mortalité le 10 juillet, en période de reproduction. En Europe, la population est actuellement estimée entre 409 000 et 603 000 couples et accuse un déclin modéré (-29 % sur la période 1980-2019). Cette diminution des effectifs est également avérée en France où elle tendrait à ralentir après une période de forte intensité (-15 % entre 2001 et 2013), bien que des disparités régionales existent. Au niveau national, la population est estimée entre 68 000 et 84 000 couples. Cette espèce est la deuxième espèce de rapace la plus commune en Bretagne. Le Faucon crécerelle présente un statut de conservation défavorable au niveau national « Quasi menacée ». En revanche, il n'est pas menacé à l'échelle de la région Bretagne.

La fauche et plus particulièrement le déchaumage sont assurés avec divers outils qui effectuent un labour superficiel du sol quelques semaines après la moisson. Cette activité est centrée sur la période estivale, qui est effectivement une période à risque pour le Faucon crécerelle. En effet, de la même manière que la fauche, le déchaumage perturbe la faune et la rend plus accessible aux prédateurs. Le Faucon crécerelle a souvent été observé en chasse à proximité des éoliennes et à hauteur de pales. La découverte d'une plumée appartenant à cette espèce pourrait donc être liée à ce comportement à risques (niveau de sensibilité aux collision élevé).

Sans récurrence de la mortalité observée chez cette espèce, l'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif en 2023. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent, afin de rechercher comment en limiter les causes.



Photo 3 : Faucon crécerelle observé en chasse le 10/07/2023 après la moisson du blé sous E6

4.2.7.1 Autres espèces

Les autres espèces concernées par des cas de mortalité (**Étourneau sansonnet** : 1 individu, **Épervier d'Europe** : 1 individu) ne possèdent pas de statuts de conservation défavorables. Compte tenu du faible nombre de cas de collision recensés, l'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif sur les populations de ces espèces.

Parmi les espèces à enjeu, ciblées lors de l'étude d'impact, un cas de mortalité a été avéré en 2023 pour le Martinet noir, l'Épervier d'Europe et le Faucon crécerelle.
À partir des cas de mortalité avérés (mortalité brute), des statuts de conservation et des dynamiques de populations des espèces concernées, le parc de Biterne Sud ne représente pas d'impact significatif sur une espèce particulière en 2023.
Par ailleurs, le nombre de cas de mortalité observé (mortalité brute) reste faible.
Toutefois, il conviendra de surveiller le l'apparition de nouveaux cas de mortalité pour le Martinet noir, l'Épervier d'Europe et le Faucon crécerelle.

4.2.8 Comparaisons des données de 2023 avec celles de 2021 et 2022

4.2.8.1 Comparaison des résultats globaux

4.2.8.1.1 Mortalité brute

La comparaison de la mortalité sur le parc de Biterne Sud est basée sur les sorties effectuées en 2021, 2022 et 2023. Le plan d'échantillonnage est similaire mais les paramètres sont différents pour ces suivis (cf. tableau ci-dessous).

Année	Nombre d'éoliennes suivies	Période suivie	Protocole	Surface prospectée moyenne	Persistance moyenne	Efficacité du chercheur	Intervalle moyen	Nombre de sorties
2021	Toutes	Semaines 13 (avril) à 43 (octobre)	Standardisé (2018)	0,56	4,14	0,86	7,00	31
2022				0,62	3,03	0,81	6,67	31
2023				0,45	2,59	0,91	7,03	31

Sur ce parc, un oiseau a été retrouvé en 2021, deux en 2022 et quatre en 2023 soit huit individus au total (tableau suivant). La mortalité brute semble doubler chaque année. Toutefois, les différences des paramètres ne permettent pas de conclure sur ce point.

Les espèces les plus impactées sur les trois années de suivi sont le Martinet noir et l'Épervier d'Europe. Le Pouillot véloce, l'Étourneau sansonnet et le Faucon crécerelle n'ont été retrouvés qu'une seule fois.

Espèce	Année		
	2021	2022	2023
Martinet noir	1	0	1
Épervier d'Europe	0	1	1
Pouillot véloce	0	1	0
Étourneau sansonnet	0	0	1
Faucon crécerelle	0	0	1

Tableau 26 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021, 2022 et 2023

Les données récoltées sur les trois années suivies ne peuvent pas permettre de dégager une tendance nette concernant un éventuel impact sur une espèce particulière.

Toutefois, des cas de mortalité ont été avérés à deux reprises pour le Martinet noir (espèce patrimoniale) et l'Épervier d'Europe.

4.2.8.1.2 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 2021, 2022 et 2023, selon les différentes méthodes retenues.

Méthodes	Mortalité estimée		
	2021	2022	2023
Erickson	3,46 (1 – 24,26)	11,25 (2 – 41)	25,83 (6,09 – 54,91)
Huso	4,23 (1 – 29,77)	12,31 (2 – 50)	27,79 (6,59 – 58,27)
Jones	4,77 (1 – 33,35)	17,43 (2 – 172,3)	36,93 (8,47 – 80,75)

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 27 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2021, 2022 et 2023

Résultats 2021 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 4 à 5 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 1 et 34 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Résultats 2022 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 12 à 18 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 173 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Résultats 2023 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 26 à 37 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 7 et 81 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La mortalité estimée sur le parc éolien de Biterne Sud semble plus importante en 2023. Cependant, compte tenu des intervalles de confiance (recouvrement), il n'est pas possible de conclure sur l'évolution de la mortalité réelle.

4.2.8.2 Comparaison des résultats saisonniers

4.2.8.2.1 Mortalité brute

La mortalité brute était similaire pour les reproducteurs en 2021 et 2022, alors que d'avantage d'individus ont été retrouvés en 2023. En 2022, un migrateur postnuptial avait également été retrouvé. Aucun cas de mortalité n'a été recensé lors de la migration pré-nuptiale et la période hivernale n'a pas été suivie.

Année	Migrateurs pré-nuptiaux	Reproducteurs	Migrateurs post-nuptiaux
2021	0	1	0
2022	0	1	1
2023	0	4	0

Tableau 28 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la phase biologique en 2021, 2022 et 2023

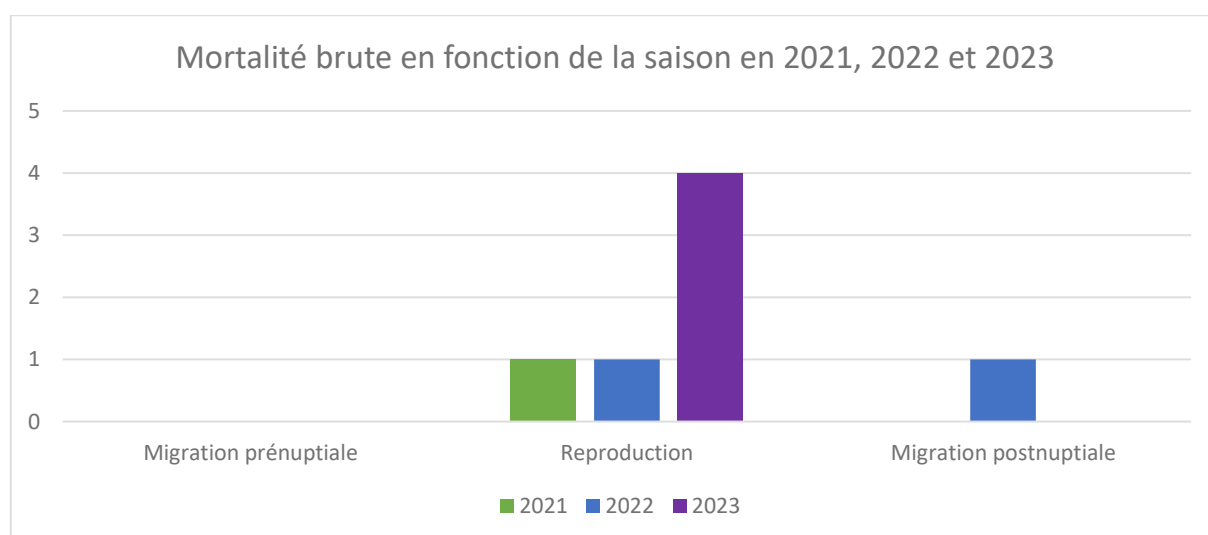


Figure 31 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021, 2022 et 2023

Compte tenu des résultats obtenus sur les trois années consécutives, il est possible que la période de reproduction soit la plus mortifère. Cette interprétation doit être étudiée avec prudence étant donné le faible nombre de données acquises.

4.2.8.1 Comparaison des résultats spatialisés

4.2.8.1.1 Mortalité brute

Des cadavres d’oiseaux ont été retrouvés sous une seule éolienne en 2021 et 2022 et deux éoliennes en 2023 (tableau suivant). Au moins un cadavre a été retrouvé sous quatre des six éoliennes sur l’ensemble des trois années de suivi. La mortalité brute augmente chaque année et la répartition des cadavres est plutôt hétérogène sur le parc avec un cas recensés sous l’éolienne E1 en 2021, deux cas sous l’éolienne E3 en 2022 et deux cas sous chacune des éoliennes E5 et E6 en 2023.

Année	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2021	1	0	0	0	0	0
2022	0	0	2	0	0	0
2023	0	0	0	0	2	2

Tableau 29 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023

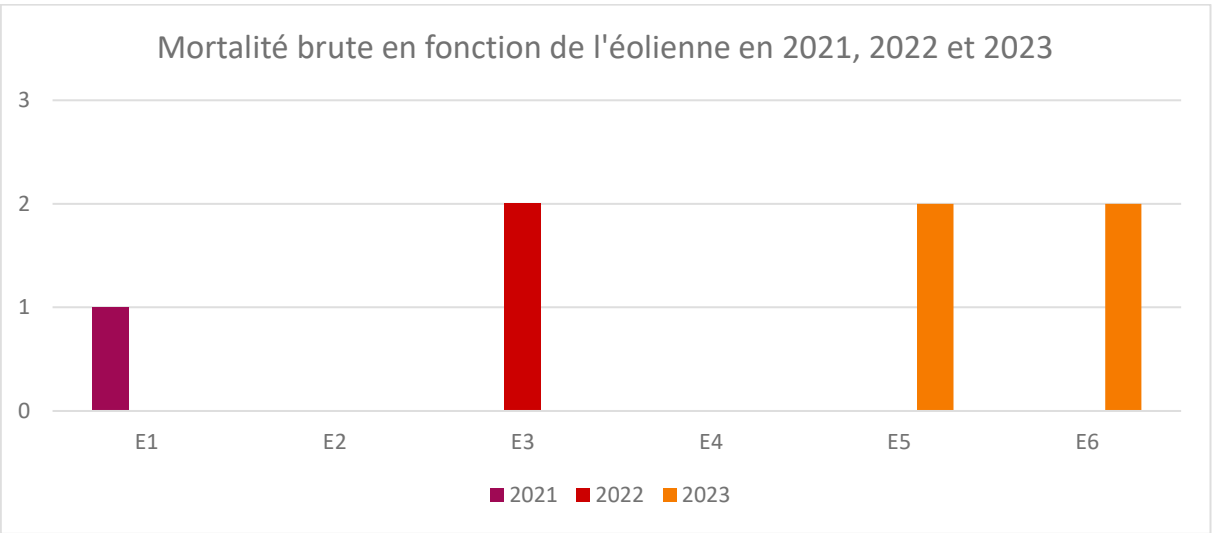


Figure 32 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023

Les résultats obtenus sur les trois années suivies suggèrent une certaine hétérogénéité spatiale de la mortalité au sein de parc. Cependant, les données ne permettent pas de mettre en évidence une différence de mortalité significative entre éolienne.

4.2.9 Synthèse

- **La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (de fin mars à fin octobre 2023) est de quatre individus (un Étourneau sansonnet, un Martinet noir, un Épervier d'Europe et un Faucon crécerelle).**
- **Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 26 à 37 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 7 et 81, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).**
- **La mortalité de l'avifaune sur le parc de Biterne Sud semble plus concentrée sur la période de reproduction, et pourrait être liée à :**
 - l'occurrence ponctuelle de facteurs à risques : phénologie, comportement (la forte activité et augmentation de prises de risque des oiseaux durant la phase de reproduction) ;
 - la présence de milieux favorables à l'avifaune à proximité des éoliennes : habitats de chasse et de reproduction (bocages, éléments arborés).
- **Compte tenu de la mortalité observée et des espèces concernées, le parc de Biterne Sud ne présente pas, en 2023, d'impact significatif sur une espèce particulière.**
- **Le suivi sur 3 ans, prévu par l'arrêté, sauf mortalité importante en 2023, apparaît suffisant. Il demeure néanmoins une incertitude assez importante concernant la mortalité réelle (intervalles de confiance), notamment en 2022 et 2023.**
- **Ainsi, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité, notamment sur le Martinet noir, l'Épervier d'Europe et le Faucon crécerelle.**

4.3 Mortalité des chiroptères

4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien

4.3.1.1 Les principaux facteurs de la mortalité des chiroptères

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 conséquences des blessures létales ou sublétales (Grodsky *et al.*, 2011).

La synthèse bibliographique d'Eva Schuster (Schuster *et al.*, 2015) s'est appuyée sur plus de 220 publications scientifiques dans le but de dresser un état des lieux des connaissances en la matière et de confronter ces différentes hypothèses. Cette publication sert de base à la synthèse suivante.

4.3.1.1.1 Mortalité indirecte

Outre la mortalité la plus évidente résultant de la collision directe des chauves-souris avec les pales des éoliennes, d'autres cas de mortalité indirecte sont documentés :

- un **phénomène de pression/décompression** se produit lors de la rotation des pales et de leur passage devant le mat. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité des pales, nommés barotraumatismes ;
- 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) ;
- les **courants d'air créés par la rotation des pales** seraient susceptibles d'entraîner des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grodsky *et al.*, 2011) ;
- les **collisions sublétales** où des individus percutés par des pales pourraient survivre pendant un temps. Ce type de collision aboutit potentiellement au décès des individus mais pourraient ne pas être comptabilisé lors des suivis si ceux-ci ont pu s'éloigner du rayon de recherche entre-temps.

4.3.1.1.2 La saisonnalité, les conditions météorologiques ou le type d'habitat, comme facteurs de mortalité par collision fortuite

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 (Arnett *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002 ; Doty & Martin, 2012 ; Hull & Cawthen, 2013 ; Brinkmann *et al.*, 2006, 2011 ; Grodsky *et al.*, 2012 ; *etc.*).

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

Le paramètre le plus influent semble être la vitesse du 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. Behr *et al.*, (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s

La température semble également jouer 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 ; *etc.*), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant de manière indépendante sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.*, 2005). La pression atmosphérique (Cryan & Brown, 2007 ; Kern *et al.*, 2005), le rayonnement lunaire (Baerwald & Barclay, 2011 ; Cryan *et al.*, 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.*, 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois plus 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).

Le nombre de cadavres trouvés sous les éoliennes varie également en fonction de l'**environnement immédiat** du parc, de la configuration des aérogénérateurs (distance entre le mât et les structures arborées) et de leurs caractéristiques (hauteur du moyeu et longueur des pales).

4.3.1.1.3 Des comportements à risques de collision, facteurs de mortalité

Comme détaillé précédemment, la saisonnalité joue un rôle particulier dans le niveau d'activité des populations de chiroptères. Les plus forts taux de mortalité sont ainsi généralement recensés en fin d'été - début d'automne, ce qui sous-entend un lien entre mortalité et migration automnale.

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 comportements de chasse, de reproduction ou de swarming sont également des comportements à risque de collision. Horn *et al.*, (2008) mettent ainsi en évidence une corrélation positive entre activité d'insectes et de chauves-souris dans les deux premières heures de la nuit.

En période de reproduction ou lors de recherches de gîtes de mise-bas ou de transit, les chiroptères arboricoles recherchent des cavités, des fissures et des décollements d'écorce où s'installer. La silhouette d'une éolienne pourrait ainsi être confondue avec celle d'un arbre en milieu ouvert (Cryan *et al.*, 2014 ; Kunz *et al.*, 2007), entraînant une exploration de l'ensemble de la structure par les chauves-souris et augmentant ainsi le risque de collision.

Enfin, à proximité des gîtes de mise-bas ou de lieux de swarming, des regroupements importants de chiroptères peuvent avoir lieu, résultant en une augmentation conséquente du nombre d'individus et de l'activité autour du site, ainsi qu'en un rassemblement d'individus volant autour des entrées. Cela implique nécessairement un risque accru de mortalité par collision.

La morphologie et les spécificités écologiques de certaines espèces semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell *et al.*, (2010) ont ainsi mis en évidence des similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces glaneuses 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.

4.3.1.1.4 Sensibilité et vulnérabilité des espèces

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 inclus ainsi la sensibilité et définit un risque pour les populations d'espèces.** Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluation des populations européennes ou nationales assez fiables, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Statuts de protection	Statuts Listes rouges (UICN)			Mortalité de DURR par éoliennes 2021**						Note de risque***
						0	1	2	3	4	% de mortalité européenne connue	
		Directive Habitats	Monde	Europe	France	0	1-10	11-50	51-499	>500		
Rhinolophe de Mehely**	<i>Rhinolophus mehelyi</i>	Annexe II & IV	VU	VU	CR = 5		X				0,01	3*
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Annexe II & IV	NT	NT	VU = 4			X			0,12	3*
Murin de Capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Annexe II & IV	VU	VU	NT = 3	X					0	1,5
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2	X					0	1
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2		X				0,01	1,5*
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Annexe II & IV	NT	VU	NT = 3		X				0,01	2*
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	Annexe II & IV	LC	NT	NT = 3		X				0,07	2*
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	6,7	3,5

Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	LC	LC	VU = 4					X	14,6	4
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	15	3,5
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2	X					0	1
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3				X		0,7	3
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2		X				0,06	1,5*
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1			X			0,4	1,5
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3				X		1,1	3
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2				X		3,2	2,5
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Annexe IV	DD	DD	LC = 2	X					0	1
Murin de Brandt	<i>Myotis brandtii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,02	1,5
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,09	1,5
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Annexe II & IV	LC	LC	LC = 2		X				0,05	1,5*
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	Annexe II & IV	LC	LC	LC = 2		X				0,07	1,5*
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,05	1,5
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,02	1,5
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2				X		4,4	2,5
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	22,6	3,5
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2				X		4,2	2,5
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,07	1,5
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2		X				0,08	1,5
Murin d'Escalera	<i>Myotis escaleraei</i>	NE	NE	/	VU = 4	X					0	2*
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Annexe IV	NT	DD	VU = 4			X			0,4	3*
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrotullaris</i>	Annexe IV	LC	NT	VU = 4	X					0	2

Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1				X		2	2
Murin des marais**	<i>Myotis dasycneme</i>	Annexe II & IV	NT	NT	EN=5		X				0,02	3*
DD : Données insuffisantes LC : Préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible) NT : Quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises) VU : Vulnérable EN : En danger CR : En danger critique d'extinction NA : Non applicable (espèce non soumise à évaluation car introduite dans la période récente ou présente en métropole de manière occasionnelle ou marginale) * 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) **Mortalité de DURR par éoliennes 2021 (Europe) : informations reçues au 07/05/2021 ***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 02/12/2021		

Tableau 30 : Sensibilité et note de risque des chiroptères vis-à-vis des éoliennes

4.3.1.2 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 4 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.

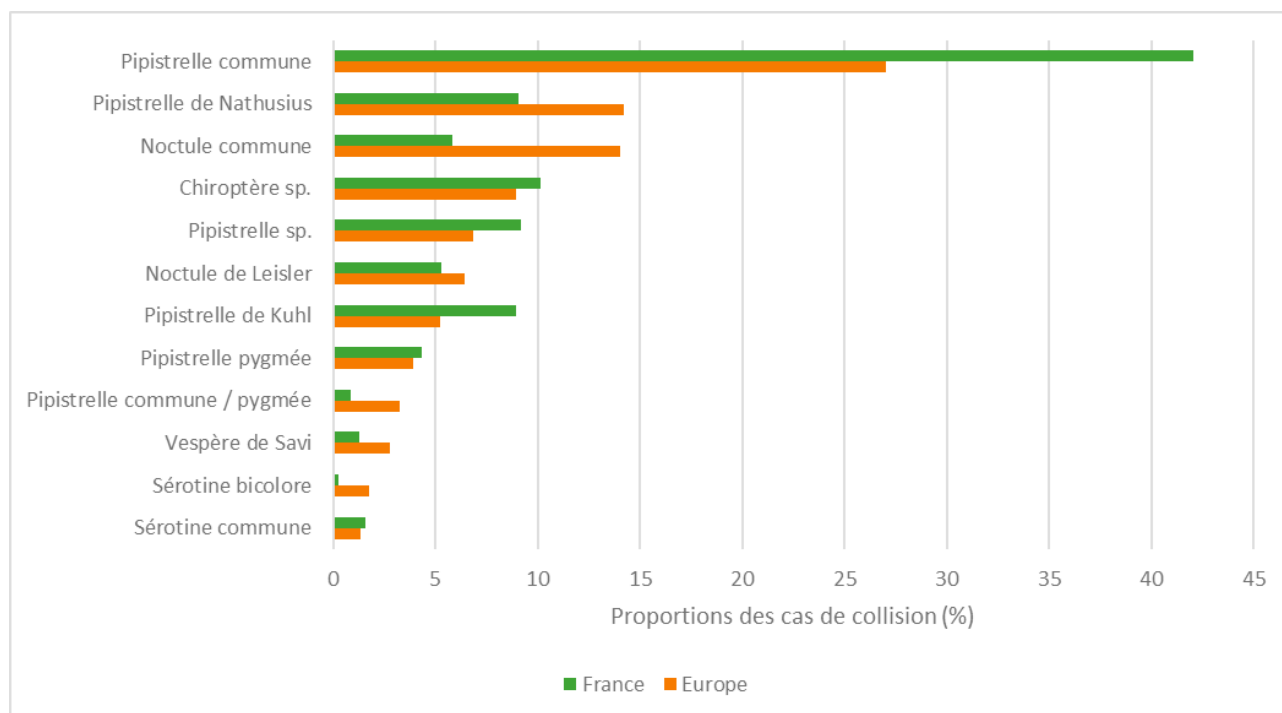


Figure 33 : Proportions des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe (espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2023)

4.3.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'état initial, réalisé en 2013-2014 par le bureau d'étude AMIKIRO et le complément d'inventaire, réalisé en 2016 par le bureau d'étude AEPE-Gingko, ont révélé la présence de six espèces formellement identifiées ainsi que quatre groupes pour des espèces qui n'ont pu être identifiées de manières exactes. Cinq taxons présentent un enjeu moyen ou fort et sensibles au risque de collisions dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité (tableau suivante) :

- la Pipistrelle commune ;
- la Pipistrelle de Kuhl ;
- la Pipistrelle de Nathusius ;
- la Sérotine commune ;
- le groupe Pipistrelle commune/Nathusius.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Notation	Enjeu
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	3	Moyen
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	2,5	Moyen
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	3,5	Fort
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	1,5	Faible
Petit rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	1	Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	2,5	Moyen
Oreillard sp.	<i>Plecotus sp</i>	1,5	Faible
Murin à oreilles échancrées/ d'Alcathoe	<i>Myotis emarginatus/Alcathoe</i>	1 ou 1,5	Faible
Pipistrelle commune/Nathusius	<i>Pipistrellus pipistrellus/nathusii</i>	3 ou 3,5	Moyen ou fort
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	1 à 2	Faible

Tableau 31 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2013-2014 (AMIKIRO) et en 2016 (AEPE-Gingko)

4.3.3 Résultats globaux du suivi des chiroptères en 2023

4.3.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Biterne Sud, trois cadavres de chiroptères appartenant à une même espèce ont été retrouvés (tableau suivant) lors du protocole de suivi de la mortalité. La mortalité brute est de 0,50 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de fin mars à fin octobre, soit 31 prospections, à raison d'une prospection par semaine. L'unique espèce retrouvée est la Pipistrelle commune (trois cadavres)

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

Date	Espèce	Éolienne	Statut	Sexe	Âge	Source
09/08/2023	Pipistrelle commune	E1	Transits automnaux et swarming	Femelle	Adulte	Protocole
04/09/2023	Pipistrelle commune	E3	Transits automnaux et swarming	Femelle	Adulte	
04/09/2023	Pipistrelle commune	E1	Transits automnaux et swarming	Femelle	Juvenile	

Tableau 32 : Chiroptères découverts lors du suivi mortalité

Avec trois cadavres de chiroptères recensés, la mortalité brute observée sur le parc de Biterne Sud est de 0,50 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de fin mars à fin octobre 2023.

4.3.3.2 Mortalité estimée

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 (mortalité globale)	Intervalle de confiance à 95 % (mortalité globale)
Erickson	18,32	3 – 54,41
Huso	19,91	3 – 57,90
Jones	25,82	3 – 79,48
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 33 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 19 à 26 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 80 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La précision des estimations est jugée insuffisante pour pouvoir interpréter les résultats (intervalles de confiance).

Les paramètres correcteurs peuvent avoir un impact fort. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives, comme la persistance des cadavres, qui reflète une forte prédation sur le parc de Biterne Sud ($t = 2,59$ jours). En outre, la correction surfacique est assez élevée ($A = 2,20$) étant donné le grand nombre de zones n'ayant pu être prospectées, dû notamment à la présence des cultures. Ceci indique pourquoi la précision des estimations est si peu élevée.

Dans les paragraphes suivant (résultats saisonniers et spatialisés), compte tenu du faible nombre de données et/ou de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées et/ou de la non-homogénéité du suivi (nombre de sortie, périodes couvertes, etc.), le calcul d'une mortalité estimée est susceptible de ne pas être pertinent ou réalisable. Le cas échéant, seule la mortalité brute est analysée.

4.3.3.3 Analyse taxonomique

Les trois cadavres de chiroptères trouvés correspondent à trois Pipistrelles communes. Il convient de considérer que cette mortalité observée n'est pas nécessairement représentative de la mortalité réelle par groupe taxonomique. La Pipistrelle commune est l'espèce la plus impactée en France et en Europe (cf. 4.3.1.2 Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères).

Les Pipistrelles communes découvertes sur le parc de Biterne Sud représentent l'espèce la plus fréquemment concernée par des cas de mortalité en France et en Europe.

4.3.4 Résultats saisonniers

4.3.4.1 Mortalité brute

Au cours de ce suivi, les cadavres de chiroptères ont été retrouvés durant les mois d'août et septembre (figure suivante).

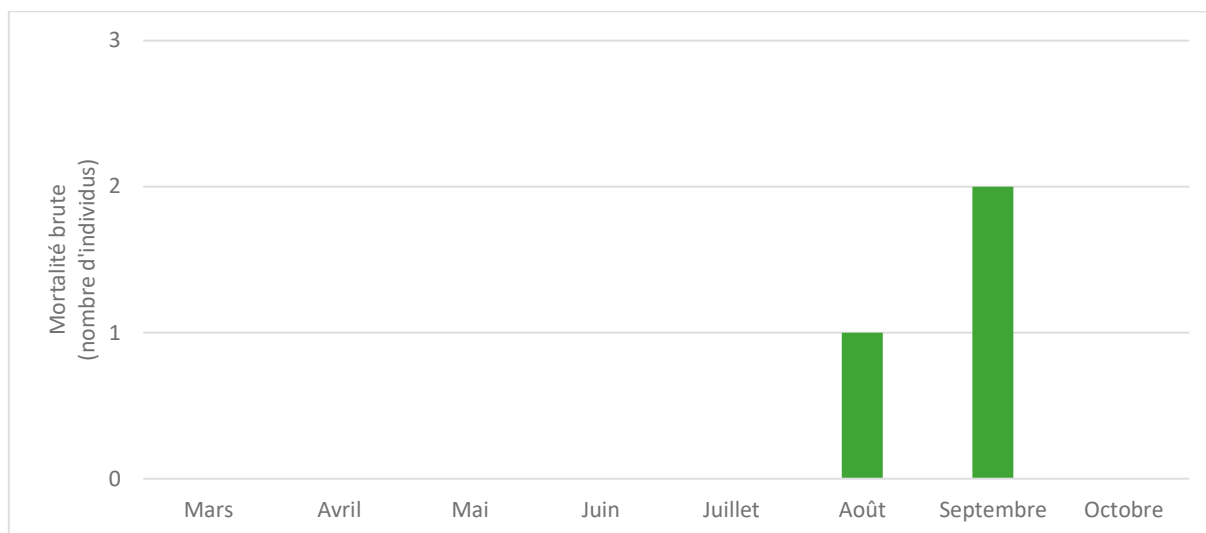


Figure 34 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

Compte tenu des caractéristiques des individus retrouvés (espèce, date, critères morphologiques), la période concernée correspond à celle du transit automnal et de swarming. Par ailleurs, une absence de mortalité est constatée durant les périodes de transit printanier, de mise-bas et d'élevage des jeunes.

La mortalité fluctue entre un et deux individus sur les mois concernés. Le faible nombre de données ne peut pas permettre de dégager une tendance claire entre ces périodes. Par ailleurs, les périodes de transits n'ont pas été intégralement couvertes par le suivi (de façon générale, la période de transit printanier débute mi-mars, et celle de transit automnal se termine en novembre). De plus, étant donnés les potentiels prélèvements de cadavres entre les prospections, il n'est pas impossible que d'autres périodes soient concernées par des cas de mortalité. A noter, la période d'hibernation n'a pas été concernée par ce suivi.

La mortalité des chiroptères sur le parc de Biterne Sud semble concentrée sur la période de transit automnal et de swarming.

4.3.5 Résultats spatialisés par éolienne

4.3.5.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, deux cadavres de chiroptères ont été retrouvés sous l'éolienne E1 et un autre sous l'éolienne E3 (carte suivante). Étant donnés les facteurs tels que, notamment, la prédation, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.



Carte 7 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne

D'après ces résultats, les éoliennes E1 et E3 pourraient être les plus mortifères. Toutefois, les données ne permettent pas de conclure sur ce point.

4.3.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien

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.).

L'origine d'une collision est souvent multifactorielle. Il convient ainsi, lorsque cela est possible, de les identifier afin de déterminer les causes de la mortalité sur le parc éolien, et si cela est justifié, d'appliquer d'éventuelles mesures correctrices.

D'après les caractéristiques des individus retrouvés, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, aucune cause récurrente n'a pu être identifiée comme étant à l'origine de la mortalité sur le parc de Biterne Sud. Les cas de mortalité recensés, peu nombreux, semblent avoir pour origine l'occurrence ponctuelle de facteurs à risques (phénologie, comportement, conditions météorologiques, etc.). Le parc est implanté dans un milieu bocager, qui correspond aux habitats fréquentés par la Pipistrelle commune. Les éoliennes E1 et E3 survolent partiellement des haies constituant des corridors pour les chiroptères. Les cas de mortalité observés au pied de ces éoliennes pourraient être liés à la proximité de ce réseau de haies et de petits boisements.

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

- **une activité importante en période de swarming et de transit automnal,**
- **l'emplacement des éoliennes E1 et E3, à proximité de haies et en bordure de boisements partiellement survolés par le champ de rotation des éoliennes, pouvant engendrer un risque accru sur les chiroptères. Les milieux boisés et les alignements arborés et arbustifs sont généralement riches et densément fréquentés par les chiroptères.**

4.3.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation des espèces ayant été directement impactées par le parc de Biterne Sud, ainsi que leur note de risque éolien.

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

Tableau 34 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées

Au regard des statuts de conservation et de la note de risque face aux éoliennes, la Pipistrelle commune est à considérer avec vigilance sur le parc de Biterne Sud.

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. En effet, elle représente 42 % des cadavres retrouvés en France entre 2003 et 2023. 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). La Pipistrelle commune est classée « Quasi menacée » au niveau national et « Préoccupation mineure » au niveau régional. Sa note de risque à l'éolien est de 3,5.

Sur le site, c'est l'espèce la plus contactée en nacelle avec plus de 6 300 contacts sur la période inventoriée. **Trois cas de mortalité ont été recensés en 2023.** Seul le troisième individu présentait une blessure visible à la tête laissant supposer une collision, les deux premiers ayant probablement été victimes de barotraumatisme.

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 2023. Toutefois, le maintien de la mesure de programmation préventive est nécessaire pour maintenir les impacts actuels sur cette espèce au niveau faible et une attention particulière devra être portée à cette espèce lors des prochains suivis (le suivi sera renouvelé dans 10 ans).

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 des cas de mortalité avérés (mortalité brute), des statuts de conservation et des dynamiques de populations des espèces concernées, le parc de Biterne Sud ne représente pas d'impact significatif sur une espèce particulière en 2023.

Toutefois, il est nécessaire de maintenir la programmation préventive des éoliennes et de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité durant les prochaines années de suivi (le suivi sera renouvelé dans 10 ans), notamment sur la Pipistrelle commune.

4.3.8 Comparaisons des données de 2023 avec celles de 2021 et 2022

4.3.8.1 Comparaison des résultats globaux

4.3.8.1.1 Mortalité brute

La comparaison de la mortalité sur le parc de Biterne Sud est basée sur les sorties effectuées en 2021, 2022 et 2023. Le plan d'échantillonnage est similaire mais les paramètres sont différents pour ces suivis (cf. tableau ci-dessous).

Année	Nombre d'éoliennes suivies	Période suivie	Protocole	Surface prospectée moyenne	Persistance moyenne	Efficacité du chercheur	Intervalle moyen	Nombre de sorties
2021	Toutes	Semaines 13 (avril) à 43 (octobre)	Standardisé (2018)	0,56	4,14	0,86	7,00	31
2022				0,62	3,03	0,81	6,67	31
2023				0,45	2,59	0,91	7,03	31

Sur ce parc, 7 chiroptères ont été retrouvés en 2021, 3 en 2022 et 3 en 2023 soit 13 individus au total (tableau suivant). La mortalité brute en 2023 est identique à celle de 2022, qui a diminué de moitié en comparaison de celle de 2021. Toutefois, les différences des paramètres ne permettent pas de conclure sur ce point (notamment la diminution de la durée de persistance des cadavres).

L'espèce la plus impactée sur les trois années de suivi est la Pipistrelle commune (tableau suivant). Sur les trois espèces retrouvées en 2021, seules deux le sont aussi en 2022, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl, et seulement la Pipistrelle commune en 2023.

Espèce	Année		
	2021	2022	2023
Pipistrelle commune	3	2	3
Pipistrelle de Kuhl	1	1	0
Sérotine commune	1	0	0
Chiroptère sp.	1	0	0
Pipistrelle sp.	1	0	0

Tableau 35 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021, 2022 et 2023

La Pipistrelle commune semble être l'espèce la plus impactée par l'activité du parc de Biterne Sud, avec huit individus retrouvés sur les trois années suivies.

4.3.8.1.2 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 2021, 2022 et 2023, selon les différentes méthodes retenues.

Méthodes	Mortalité estimée		
	2021	2022	2023
Erickson	23,74 (7 – 51,15)	12,22 (3 – 30,07)	18,32 (3 – 54,41)
Huso	29,14 (7,86 – 60,95)	13,95 (3 – 33,28)	19,91 (3 – 57,90)
Jones	32,88 (8,67 – 70,10)	16,76 (3 – 42,03)	25,82 (3 – 79,48)
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 36 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2021, 2022 et 2023

Résultats 2021 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 24 à 33 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 7 et 71 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Résultats 2022 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 13 à 17 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 43 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

Résultats 2023 : selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 19 à 26 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 80 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La mortalité estimée sur le parc éolien de Biterne Sud semble plus importante en 2021. Ces résultats semblent confirmer la baisse des cas de mortalité depuis la mise en place de la programmation préventive à la fin de la première année de suivi. Cependant, compte tenu des intervalles de confiance (recouvrement), il n'est pas possible de conclure sur l'évolution de la mortalité réelle.

4.3.8.1 Comparaison des résultats saisonniers

4.3.8.1.1 Mortalité brute

Des cadavres de chiroptères avaient été retrouvés durant les phases de mise-bas et de transit automnal en 2021, de transit printanier et de mise-bas en 2022 (figure suivante). En 2023, des cas de mortalité ont été recensés uniquement lors de la phase de transit automnal. A noter, la période d’hibernation n’a pas été suivie.

Année	Transit printanier	Mise-bas	Transit automnal
2021	0	2	5
2022	2	1	0
2023	0	0	3

Tableau 37 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021, 2022 et 2023

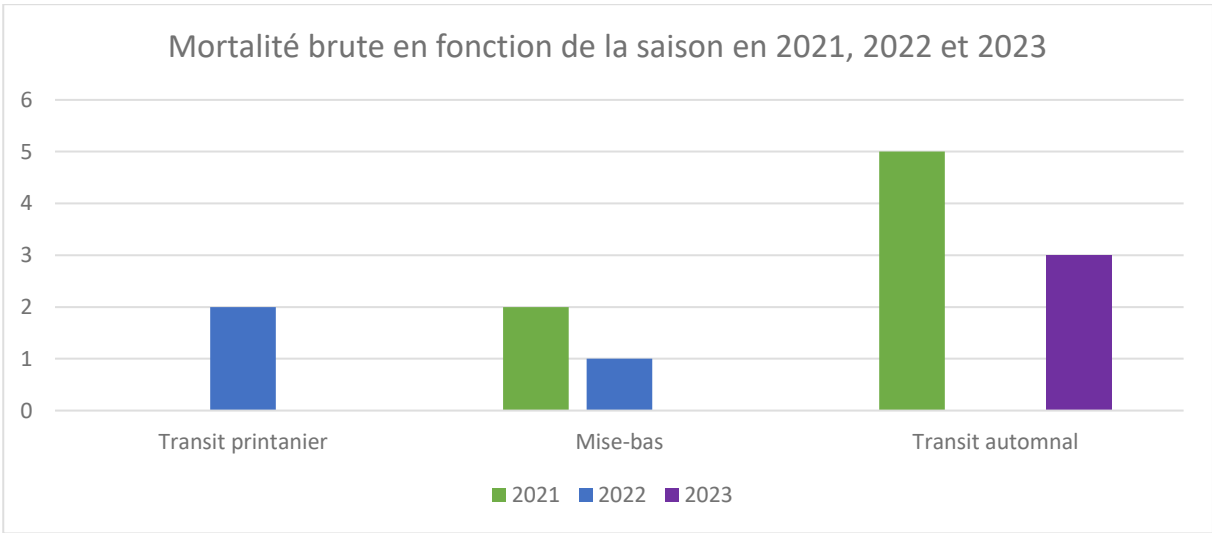


Figure 35 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021, 2022 et 2023

Compte tenu des résultats obtenus sur les trois années consécutives, il semble que la période de transit automnal et de swarming soit la plus mortifère.
Dans une moindre mesure, les périodes de transit printanier, de mise-bas et d’élevage des jeunes sont aussi concernées.
Ces interprétations doivent être étudiées avec prudence étant donné le faible nombre de données acquises.

4.3.8.1 Comparaison des résultats spatialisés

4.3.8.1.1 Mortalité brute

Des cadavres de chiroptères ont été retrouvés sous cinq des six éoliennes en 2021, sous trois éoliennes en 2022 et sous deux éoliennes en 2023 (tableau suivant). Au moins un cadavre a été retrouvé par éolienne sur l'ensemble des trois années de suivi. En 2021, la mortalité brute (observée) était assez homogène sur le parc. En 2022 et 2023, la mortalité brute a diminué de moitié et la répartition globale des cadavres est plus hétérogène de part et d'autre de la voie ferrée avec cinq cas recensés sur les trois éoliennes au nord contre un seul cas sous les trois éoliennes au sud.

Année	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2021	2	0	1	2	1	1
2022	1	1	0	1	0	0
2023	2	0	1	0	0	0

Tableau 38 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023

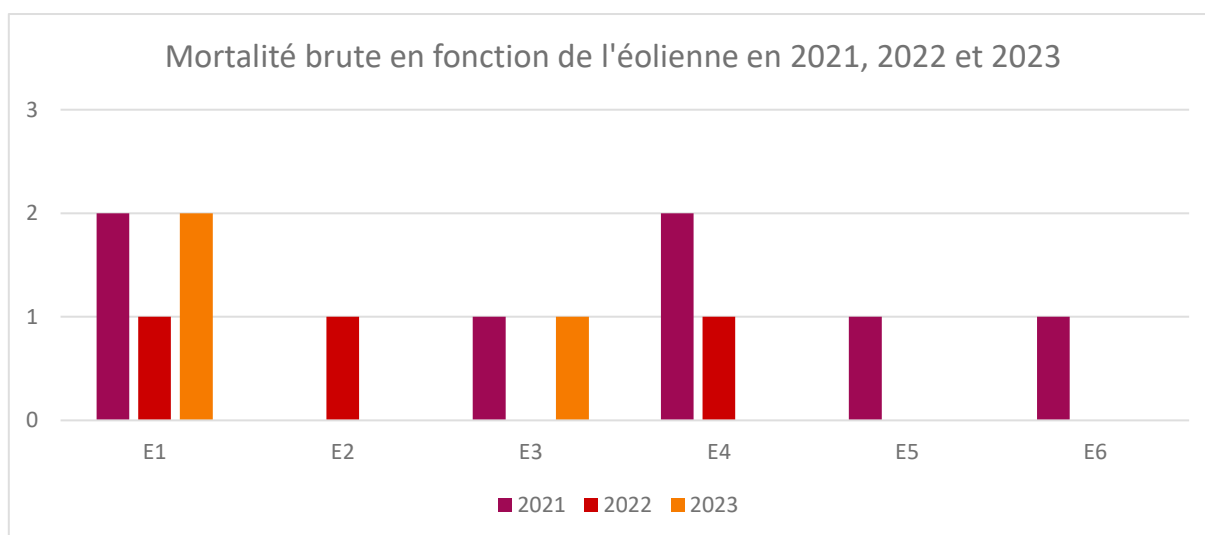


Figure 36 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023

Les résultats obtenus sur les trois années suivies suggèrent une certaine hétérogénéité spatiale de la mortalité au sein de parc. En effet, le groupe d'éolienne au nord de la voie ferrée, avec la présence de haies et de boisements connectés constituant des corridors pour les chiroptères, semble plus mortifère que le groupe d'éolienne au sud.

Ces interprétations doivent être étudiées avec prudence étant donné le faible nombre de données acquises.

4.3.9 Synthèse

- **La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (de fin mars à fin octobre 2023) est de trois individus (trois Pipistrelles communes).**
- **Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 19 à 26 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 80, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).**
- **La mortalité des chiroptères semble concentrée en fin d'été, soit notamment, durant les phases de transit automnal et de swarming, une période de forte activité des chiroptères. Plusieurs hypothèses peuvent être émises concernant les causes de cette mortalité :**
 - l'occurrence ponctuelle de facteurs à risques (phénologie, comportement, conditions météorologiques) ;
 - Les éoliennes E1 et E3, survolant partiellement des éléments arborés constituant des corridors pour les chiroptères, pourraient être les plus mortifères ;
 - l'habituelle forte activité des chiroptères durant la fin d'été et l'automne (émancipation des jeunes, rassemblement automnal, accouplements, etc.), recoupant la fin de la période de mise-bas et d'élevage des jeunes, ainsi que la phase de swarming et de transit automnal ;
 - la localisation du parc au sein d'un bocage arboré, milieu généralement riche et densement fréquenté par les chiroptères.
- **Parmi les espèces à enjeu et/ou sensibilité élevés, ciblées lors de l'étude d'impact, la Pipistrelle commune a été recensée durant de ce suivi.**
- **Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Biterne Sud représente, en 2023, un impact considéré comme faible sur la Pipistrelle commune.**
- **Toutefois, le maintien de la programmation préventive des éoliennes est nécessaire afin de limiter l'impact du parc sur les chiroptères, et notamment, sur l'espèce à enjeu précédemment citée.**
- **Il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité (le suivi sera renouvelé dans 10 ans), notamment sur la Pipistrelle commune.**



5 Mesures correctrices

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

Le bilan des suivis des populations de chauves-souris menés par AMIKIRO (2013-2014) et AEPE-Gingko (2016) n'avaient pas mis en avant d'impact significatif sur les populations chiroptérologiques. Aucune mesure spécifique n'avait été prise pour la première année de fonctionnement.

Les résultats du suivi d'année 1 (2021) avaient montré une activité chiroptérologique assez forte avec de la mortalité (sept individus), induisant la mise en place de mesure de réduction pour l'année suivante.

Les résultats du suivi d'année 2 (2022) avaient montré une diminution de la mortalité (trois individus), cependant toujours notable, et avaient induit une adaptation de la mesure de réduction pour l'année suivante.

Les résultats du suivi d'année 3 (2023) montrent une mortalité semblable à l'année précédente (trois individus). L'impact sur la Pipistrelle commune étant considéré comme faible, le bridage appliqué en 2023 sera conservé tel quel. Le faible taux de prospection sur les éoliennes E1 et E3 en juin (13% en 2022, 20% en 2023), reste néanmoins une limite qui peut amener à sous-estimé la mortalité réelle et elles nécessiteront une vigilance particulière lors du prochain suivi.

5.1.1 Programmation préventive

5.1.1.1 Historique des programmations préventives

Aucun bridage n'avait été mis en place la première année d'exploitation du parc. La deuxième année de fonctionnement, sur la période allant du 1er avril au 31 octobre 2022, en lien avec les analyses des résultats des suivis de mortalité et de comportement acoustique en nacelle (2021), toutes les éoliennes ont été arrêtées selon les conditions cumulatives suivantes :

Périodes		Mois	Modalités d'arrêt		Modalités de redémarrage	
			Heures après le coucher du soleil	Vitesse du vent à hauteur de moyeu		
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars				
		Avril	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s	Pluie	Température de l'air inférieur à 7 °C
		Mai	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C

	Phase estivale	Juin	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s		Température de l'air inférieur à 11 °C
		Juillet	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C
		Août	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C
	Phase automnale	Septembre	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s		Température de l'air inférieur à 11 °C
		Octobre	Les 5 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C
		Novembre				

Tableau 39 : Modalités d'arrêt des éoliennes en 2022

On notera cependant le délai important pour la mise en place de la programmation préventive qui n'a été effective qu'à partir du mois de mai. Or deux cas de mortalité ont été détecté au mois d'avril, durant lequel la programmation n'était pas active, ce qui peut expliquer cet incident.

Il avait été proposé d'ajuster cette programmation préventive afin de couvrir un maximum d'activité, en lissant les paramètres en fonction des conditions relevées sur les deux années de suivi (2021-2022).

Ainsi, la troisième année de fonctionnement, sur la période allant du 1er avril au 31 octobre 2023, en lien avec les analyses des résultats des suivis de mortalité et de comportement acoustique en nacelle (2022), toutes les éoliennes ont été arrêtées selon les conditions cumulatives ci-dessous. En cumulant les contacts obtenus sur les 3 dernières années de suivi, le tableau suivant montre **le pourcentage d'activité couvert par les paramètres de bridage de 2023**.

Périodes		Mois	Contacts par mois	Pourcentage d'activité des chiroptères couvert par les critères suivants	Modalités d'arrêt		Modalités de redémarrage		
					Heures après le coucher du soleil	Vitesse du vent à hauteur de moyeu			
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	2	-					
		Avril	110	80 %	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s	Pluie	Température de l'air inférieur à 9 °C	
		Mai	201	62,2 %	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C	
	Phase estivale	Juin	3 052	85,1 %	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 6 m/s		Température de l'air inférieur à 11 °C	
		Juillet	884	84,7 %	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C	
		Août	892	95,9 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C	
		Phase automnale	Septembre	6 479	95,1 %	Toute la nuit		Vitesse de vent inférieur à 6 m/s	Température de l'air inférieur à 11 °C
	Octobre		2 284	92,6 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C	
	Novembre		0	-					
	Total sur la période inventoriée (2021-2022-2023)			13 904	91,3 %	Paramètres ajustés			

Tableau 40 : Modalités d'arrêt des éoliennes en 2023

Les paramètres cumulés sur la période de programmation prévue ont permis de couvrir 91,3 % de l'activité chiroptérologique globale sur cette même période. Celle-ci étant élevée, les 8,7 % non couverts ont mené à des cas de mortalité.

Le bridage préventif a permis de couvrir la majorité des contacts de chiroptères. Bien que les seuils d'arrêt ne permettent pas d'enrayer totalement la mortalité au vu de l'activité importante en septembre et en juin, l'impact est considéré comme faible. Le plan de bridage en place sera donc conservé.

5.1.1.2 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 3 d'exploitation (2023). Le bridage reste identique, ces paramètres sont résumés ci-dessous.

Programmation préventive du fonctionnement de toutes les éoliennes

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 des éoliennes du parc sous certaines conditions (humidité, température, vitesse du vent, et saison), sera mis en place lors du 1^{er} avril au 31 octobre de la quatrième année d'exploitation. 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).

Les critères retenus sont présentés dans les deux tableaux suivants. Notons que dans les tableaux 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 (mars 2021 à octobre 2023).

Rappelons que l'arrêt est effectif lorsque les paramètres ci-après sont concomitants. La mesure est valable du 1er avril au 31 octobre inclus d'une année calendaire.

Périodes		Mois	Contacts par mois	Pourcentage d'activité des chiroptères couvert par les critères suivants	Modalités d'arrêt		Modalités de redémarrage		
					Heures après le coucher du soleil	Vitesse du vent à hauteur de moyeu			
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	2	-					
		Avril	110	80 %	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s	Pluie	Température de l'air inférieur à 9 °C	
		Mai	201	62,2 %	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C	
	Phase estivale	Juin	3 052	91,1 %	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 6 m/s		Température de l'air inférieur à 11 °C	
		Juillet	884	84,7 %	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C	
		Août	892	95,9 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C	
		Phase automnale	Septembre	6 479	98,1 %	Toute la nuit		Vitesse de vent inférieur à 6 m/s	Température de l'air inférieur à 11 °C
	Octobre		2 284	92,6 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C	
	Novembre		0	-					
	Total sur la période inventoriée (2021-2022-2023)			13 904	94 %				

Tableau 41 : Paramètre de bridage recommandé pour les éoliennes E1, E2 et E3 en 2024

5.2 Mesures de réduction proposées pour réduire l'incidence sur l'avifaune

Parmi les espèces d'oiseaux concernées par des cas de mortalité sur les trois années de suivi, trois espèces sont considérées comme patrimoniales et/ou impactées plusieurs années :

- le Martinet noir : deux cas de mortalité (2021 et 2023) ;
- l'Épervier d'Europe : deux cas de mortalité (2022 et 2023) ;
- le Faucon crécerelle : un cas de mortalité (2023).

Le parc ayant eu une incidence sur ces espèces aux vues des résultats 2021, 2022 et 2023, une mesure spécifique est proposée et décrite ci-après.

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

Réduire l'attractivité des plateformes des éoliennes pour les oiseaux

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, dont le Faucon crécerelle recensé sur site, s'accoutument facilement à la présence d'éoliennes. Cette absence de comportements 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 de réduire l'attractivité des plateformes en éliminant régulièrement par gyrobroyage toute plante adventice qui pourrait pousser. Ainsi, le risque d'installation d'une friche qui pourrait être favorable aux micromammifères, espèces proies de certains oiseaux, serait réduit. Plus largement, l'évitement de l'installation et du développement d'un milieu herbacé, voire landicole sur certains talus, permettra également la limitation de l'installation de certaines espèces de passereaux. Enfin, il est important de noter que la mise en place de cette mesure permettra d'éviter le développement d'espèces invasives, comme le buddleia, observé sur la plateforme des éoliennes E4 et E5.

Afin de mener un entretien respectueux des espèces potentiellement présentes, les consignes suivantes devront être respectées :

- pas d'intervention durant la période de nidification (15 mars à 31 août)
- broyage de la végétation 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

Calendrier : Pendant toute la durée de l'exploitation

Coût prévisionnel : Intégré aux coûts d'exploitation

Responsable : Maître d'ouvrage

Table 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).....	13
Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas et al., 2020)	17
Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach & Rahmel 2004)	19
Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer et al., 2017)	21
Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne.....	22
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)	25
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).....	26
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)	28
Figure 9 : Contours isolignes des déclinés 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)	30
Figure 10 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.).....	38
Figure 11 : Indices de confiance établis par SonoChiro® et risques d'erreurs associés	40
Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne.....	47
Figure 13 : Répartition de l'activité par espèce sur l'ensemble de la période d'étude (n=1 041 contacts).....	60
Figure 14 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique	66
Figure 15 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude (n= 10 415)	69
Figure 16 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement	70
Figure 17 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire	72
Figure 18 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien	73
Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la température.....	75
Figure 20 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température	76
Figure 21 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent.....	77
Figure 22 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent	78
Figure 23 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les trois années d'études (n=13 904).....	83
Figure 24 : Répartition du nombre de contacts par jours sur les deux périodes d'études.....	84

Figure 25 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les trois périodes d'études	85
Figure 26 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien sur les trois périodes d'études	86
Figure 27 : Activité des chiroptères en fonction de la température sur les trois périodes d'études	87
Figure 28 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent sur les trois périodes d'études	88
Figure 29 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2023).....	95
Figure 30 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi	99
Figure 31 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021, 2022 et 2023	106
Figure 32 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023	107
Figure 33 : 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).....	114
Figure 34 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi	118
Figure 35 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021, 2022 et 2023	125
Figure 36 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023	126

Tableaux

Tableau 1 : Intensité d'émission, distances de détection et coefficient de détectabilité des chauves-souris	37
Tableau 2 : Habitat et type de milieu inventorié.....	41
Tableau 3 : Tableau récapitulatif des dates et conditions d'inventaires des chauves-souris	44
Tableau 4 : Paramètres des tests de d'efficacité effectués sur l'année de suivi	50
Tableau 5 : Postulats de chaque méthode d'estimation.....	54
Tableau 6 : Espèces de chiroptères inventoriées sur le site d'étude	59
Tableau 7 : Indices de répartition spatiale et de répartition temporelle des espèces de chiroptères inventoriées	61
Tableau 8 : Diversité spécifique et indice d'activité mesurés par point d'écoute ultrasonique	62
Tableau 9 : Activité moyenne lors des inventaires selon la phase biologique	63
Tableau 10 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique	65
Tableau 11 : Répartition des contacts par type de comportement	66
Tableau 12 : Répartition du nombre de contacts par espèce et par éolienne	68
Tableau 13 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques	69
Tableau 14 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires	71
Tableau 15 : Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le site	80
Tableau 16 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de l'année	82

Tableau 17 : Résultats des tests d'efficacité	91
Tableau 18 : Résultats des tests de persistance	91
Tableau 19 : Synthèse des surfaces prospectées	92
Tableau 20 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE)	93
Tableau 21 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2013-2014 (AMIKIRO) et en 2016 (AEPE-Gingko)	96
Tableau 22 : Niveaux de sensibilité et de vulnérabilité des espèces présentant un enjeu effectif sur la zone d'étude	96
Tableau 23 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité.....	97
Tableau 24 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées	97
Tableau 25 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées	102
Tableau 26 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021, 2022 et 2023	105
Tableau 27 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2021, 2022 et 2023.....	105
Tableau 28 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la phase biologique en 2021, 2022 et 2023	106
Tableau 29 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023	107
Tableau 30 : Sensibilité et note de risque des chiroptères vis-à-vis des éoliennes	113
Tableau 31 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2013-2014 (AMIKIRO) et en 2016 (AEPE-Gingko)	115
Tableau 32 : Chiroptères découverts lors du suivi mortalité	116
Tableau 33 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées	116
Tableau 34 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées	121
Tableau 35 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021, 2022 et 2023	123
Tableau 36 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2021, 2022 et 2023	124
Tableau 37 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021, 2022 et 2023.....	125
Tableau 38 : Mortalité brute par éolienne en 2021, 2022 et 2023	126
Tableau 39 : Modalités d'arrêt des éoliennes en 2022	130
Tableau 40 : Modalités d'arrêt des éoliennes en 2023	131
Tableau 41 : Paramètre de bridage recommandé pour les éoliennes E1, E2 et E3 en 2024	133
Tableau 42 : Paramètre de bridage recommandé pour les éoliennes E4, E5 et E6 en 2024	Erreur ! Signet non défini.

Cartes

Carte 1 : Localisation du parc éolien de Biterne Sud	7
--	---

Carte 2 : Localisation du parc éolien de Biterne Sud sur photographie aérienne	8
Carte 3 : Localisation et dénomination des points d'écoutes au sol.....	42
Carte 4 : Localisation du dispositifs Batmode	43
Carte 5 : Répartition de l'activité et de la diversité chiroptérologiques sur le cycle biologique complet..	64
Carte 6 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne	100
Carte 7 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne	119

Photographie

Photo 1 : Éoliennes E1, E2, E3 (au second plan) et E4, E5, E6 (au premier plan)	9
Photo 2 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales.....	16
Photo 3 : Faucon crécerelle observé en chasse le 10/07/2023 après la moisson du blé sous E6	103

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). Rapport final, octobre 2001. ABIES/LPO Aude/ADEME, Gardouch – Gruissan. 56 p + annexes.
- 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. & Takersley 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).
- 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.
- 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., R. Bispo, H. Costa & M. Mascarenhas (2013): Estimating bird and bat fatalities at wind farms: a practical overview of estimators, their assumptions and limitations. *New Zealand Journal of Zoology* 40 (1): 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 Castelnaud-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
- 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.*
- Brinkmann, R., H. Schauer-Weisshahn & 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
- Camina, A. (2012): Bat fatalities at wind farms in northern Spain – lessons to be learned. *Acta Chiropterologica* 14(1): 205-212
- 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. Gorrens 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
- 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.
- 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 AL *et al.*, (2006). Assessing the impacts of wind farms on birds. (p14).
- 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. Georgiakakis, 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): Évaluation 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 pages
- 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
- 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.
- 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. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15363.73765>
- Gelman, A., Pardoe, I., 2006. Bayesian measures of explained variance and pooling in multilevel (hierarchical) models. — *Technometrics* 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 Smeared: 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, Thomsen KM, Jeromin H (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources: the example of birds and bats. (p65).
- 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, Zoogdiervereniging & 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.
- 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).

- 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.
- 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.
- Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015.
- Rachwald A. 1992. Habitat preference and activity of the noctule bat *Nyctalus noctula* in the Bialowieza Primeval Forest. *Acta Theriol.* 37, 413-422.
- 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.
- 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 Secretariat, 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
- 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.
- Sané, F. (2012): Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou 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.
- Seiche K. Endl P. & Lein M. 2007. Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen – Ergebnisse einer landesweiten Studie. *Nyctalus (N.F.)* 12 (2-3): 170-181.
- 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.
- 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.

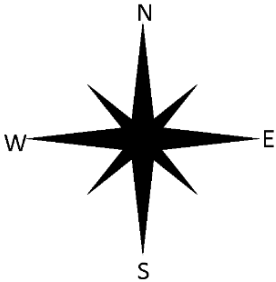
- Whitaker J.O.Jr. 1998. Life history and roost switching in six summer colonies of eastern pipistrelles in buildings. *Journal of Mammalogy* 79 (2): 651-659.
- Young Jr DP, Erickson WP, Strickland MD, Good RE, Sernka KJ (2003). Comparison of avian responses to UV-Light-Reflective Paint on Wind Turbines. (p67).

Annexe 2 : Fiche de données remplie pour chaque cas de mortalité

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)														

Annexe 3 : Présentation de la fiche de saisie standardisée de la mortalité

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

Annexe 4 : Sorties mortalité réalisées en 2023

Chercheurs	Période biologique avifaune (théorique)	Période biologique chiroptère (théorique)	Date	H. début	H. fin	T. début (°C)	T. fin (°C)	CN (%)	Pluie	Vent	
Clément MADEC	Migrations prénuptiales (1 ^{er} mars - 30 avril)	Transits printaniers (16 mars - 31 mai)	27/03/2023	17:15	18:55	9	8	30	absente	absent	
Corentin GOISLOT			04/04/2023	9:00	12:00	3	11	0	absente	absent	
Corentin GOISLOT			11/04/2023	12:00	17:00	12	12	100	averses	moyen à fort	
Clément MADEC			18/04/2023	15:40	17:30	13	12	30	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			24/04/2023	7:45	9:45	7	9	25	absente	faible	
Corentin GOISLOT	Nidification (1 ^{er} mai - 31 août)	Transits printaniers (16 mars - 31 mai)	03/05/2023	9:00	10:30	13	16	25	absente	faible	
Corentin GOISLOT			10/05/2023	8:30	10:30	11	12	100	averses	moyen à fort	
Emilien JOMAT			16/05/2023	8:15	9:40	12	14	0	absente	faible	
Corentin GOISLOT			23/05/2023	9:15	11:15	14	16	75	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			30/05/2023	8:00	9:30	12	14	0	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT		Mise-bas / Elevage des jeunes (1 ^{er} juin - 15 août)	07/06/2023	12:00	14:00	23	26	0	absente	faible	
Emilien JOMAT			12/06/2023	9:15	10:50	17	18	100	absente	faible	
Corentin GOISLOT			20/06/2023	10:00	12:30	19	22	50	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			28/06/2023	9:30	12:00	18	21	100	absente	faible	
Corentin GOISLOT			04/07/2023	8:30	12:00	14	16	100	averses	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			10/07/2023	11:15	15:45	21	25	50	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			17/07/2023	9:30	13:30	16	21	70	absente	moyen à fort	
Clément MADEC			25/07/2023	18:30	21:45	15	15	70	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			31/07/2023	10:00	15:30	18	20	100	bruine	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			09/08/2023	9:45	14:15	17	24	50	absente	absent	
Thomas LEROY			Transits automnaux / Swarming (16 août - 15 novembre)	17/08/2023	10:00	12:30	22	27	10	absente	faible
Corentin GOISLOT				22/08/2023	9:15	13:15	17	23	25	absente	faible
Corentin GOISLOT				29/08/2023	9:00	12:30	14	17	100	absente	moyen à fort
Corentin GOISLOT				04/09/2023	9:15	13:30	21	29	0	absente	faible
Romain FOUQUET				14/09/2023	13:30	17:15	19	15	100	absente	moyen à fort
Corentin GOISLOT		Migrations postnuptiales (1 ^{er} septembre - 30 novembre)	18/09/2023	9:15	12:15	17	19	90	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			26/09/2023	8:30	11:30	16	20	90	absente	faible	
Corentin GOISLOT			03/10/2023	8:00	10:00	14	15	60	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT			10/10/2023	8:15	10:15	11	17	0	absente	absent	
Corentin GOISLOT			17/10/2023	8:30	10:00	8	9	100	absente	moyen à fort	
Corentin GOISLOT	24/10/2023		9:30	11:30	8	12	10	absente	faible		
T. : Température / CN : couverture nuageuse / H. : Heure.											

T. : Température / CN : couverture nuageuse / H. : Heure.

Annexe 5 : 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 6 : 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 7 : Surfaces prospectées par éolienne et par sortie lors du suivi de la mortalité

Sortie	Date	Surface prospectée / éolienne (m²)						Total
		1	2	3	4	5	6	
1	27/03/2023	2 014	3 088	4 144	1 150	2 606	3 575	16 577
2	04/04/2023	2 014	3 088	4 144	1 150	2 606	3 575	16 577
3	11/04/2023	2 014	3 088	3 126	1 150	2 606	3 575	15 559
4	18/04/2023	1 762	1 361	2 775	1 150	2 184	3 477	12 709
5	24/04/2023	1 762	1 361	2 775	1 150	2 184	3 477	12 709
6	03/05/2023	1 762	1 361	2 400	1 150	2 184	3 477	12 334
7	10/05/2023	1 762	1 361	1 382	1 150	2 184	3 477	11 316
8	16/05/2023	1 762	1 361	1 382	1 150	2 184	3 090	10 929
9	23/05/2023	1 833	1 361	1 382	1 150	2 184	3 090	11 000
10	30/05/2023	2 085	1 361	1 382	1 150	1 090	3 090	10 158
11	07/06/2023	2 085	10 000	1 382	1 150	1 090	2 029	17 736
12	12/06/2023	2 085	10 000	1 382	1 150	1 090	2 029	17 736
13	20/06/2023	2 085	10 000	2 400	1 150	1 090	2 029	18 754
14	28/06/2023	1 831	10 000	2 400	1 150	1 090	2 029	18 500
15	04/07/2023	1 831	10 000	2 400	1 150	1 090	9 353	25 824
16	10/07/2023	7 337	5 779	2 400	1 150	9 848	9 510	36 024
17	17/07/2023	7 337	5 779	2 400	1 150	9 848	9 510	36 024
18	25/07/2023	9 016	4 541	9 324	9 766	9 848	9 560	52 055
19	31/07/2023	9 016	4 541	9 324	9 766	9 848	9 560	52 055
20	09/08/2023	9 016	2 771	9 324	9 766	9 848	9 560	50 285
21	17/08/2023	9 268	2 771	9 324	9 766	9 848	9 560	50 537
22	22/08/2023	9 268	2 771	8 286	1 150	9 675	9 560	40 710
23	29/08/2023	9 268	2 257	8 286	1 385	9 700	9 560	40 456
24	04/09/2023	9 268	2 257	8 286	1 385	9 700	9 560	40 456
25	14/09/2023	9 016	7 537	8 255	1 385	9 700	9 560	45 453
26	18/09/2023	9 016	7 537	8 255	1 385	9 700	9 560	45 453
27	26/09/2023	9 016	7 537	2 222	1 385	9 700	9 560	39 420
28	03/10/2023	9 294	7 537	1 671	1 150	4 365	2 334	26 351
29	10/10/2023	3 790	7 537	1 671	1 150	4 365	2 496	21 009
30	17/10/2023	3 790	6 095	1 296	1 150	1 115	2 496	15 942
31	24/10/2023	3 790	6 095	1 296	9 766	1 115	2 496	24 558
Moyenne sur l'ensemble du suivi		5 006	4 908	4 080	2 578	5 022	5 671	27 265
Proportion (%)		50,06	49,08	40,80	25,78	50,22	56,71	45,44

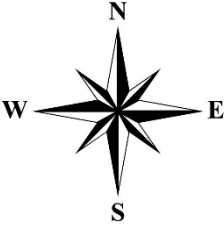
Annexe 8 : Fiches de saisie standardisées de la mortalité du parc éolien de Bourbriac Nord

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 1 – MORTALITÉ OISEAUX			
Nom du parc éolien : Broons			
Point n° 1	Date 03/05/2023	Heure 09:40	Nom du découvreur Corentin GOISLOT
<p style="text-align: center;">Localisation</p> <p>Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte</p> <p>Latitude : 48.32152721</p> <p>Longitude : -2.21493565</p> <p>Numéro de l'éolienne la plus proche : E5</p> <p>Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 20</p> <p>Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : SW</p> <p>Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : végétation rudérale bordant la plateforme</p> <div style="text-align: right;">  </div>			
N° de photos : 20230503_BROONS_E5_O1 ; 20230523_BROONS_E5_O1 ; 20230530_BROONS_E5_O1			
<p style="text-align: center;">Description et identification</p> <p>Taille de l'oiseau (aile déployées) : inconnue</p> <p>Particularités (couleur, forme quelconque) : rémiges primaires brunes, plus sombres vers le bout, avec un liseré beige sur le vexille externe et une tache plus claire vers le bout.</p> <p>Identification (famille, espèce si possible) : Etourneau sansonnet</p>			
<p style="text-align: center;">État de l'individu</p> <p style="text-align: center;">Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment <input checked="" type="checkbox"/></p>			
<p style="text-align: center;">État du cadavre</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/> Frais <input checked="" type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec</p>			
<p>Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) :</p> <p>Collision avec pale puis prédation par un rapace probable (rachis en bon état)</p> <p>COMMENTAIRES :</p> <p>Aile droite rémiges primaires 3 à 9 / Aile gauche : rémiges primaires 1 à 9 et couvertures primaires associées</p>			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 1 – PHOTOS



Photographie 1 : Morceaux d'ailes d'Étourneau sansonnet retrouvés sous l'éolienne E5 du parc éolien de Broons (22)

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 2 – MORTALITÉ OISEAUX			
Nom du parc éolien : Broons			
Point n° 2	Date 07/06/2023	Heure 12:00	Nom du découvreur Corentin GOISLOT
<p style="text-align: center;">Localisation</p> <p>Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte</p> <p>Latitude : 48,3225900</p> <p>Longitude : -2,2081883</p> <p>Numéro de l'éolienne la plus proche : E6</p> <p>Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 29</p> <p>Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : S</p> <p>Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : plateforme</p> <div style="text-align: right;">  </div>			
N° de photos : 20230607_BROONS_E6_O2			
<p style="text-align: center;">Description et identification</p> <p>Taille de l'oiseau (aile déployées) : 40 cm</p> <p>Particularités (couleur, forme quelconque) : plumage uniformément sombre, tache pâle à la gorge.</p> <p>Identification (famille, espèce si possible) : Martinet noir</p>			
<p style="text-align: center;">État de l'individu</p> <p style="text-align: center;">Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Mort <input checked="" type="checkbox"/> Fragment <input type="checkbox"/></p>			
<p style="text-align: center;">État du cadavre</p> <p style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec</p>			
<p>Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) :</p> <p>Projection au sol</p> <p>COMMENTAIRES :</p> <p>Cadavre frais d'un individu adulte ne présentant aucune blessure visible. Longueur = 18,5 cm Aile = 17,5 cm</p>			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 2 – PHOTOS



Photographie 2 : Individu de Martinet noir retrouvé sous l'éolienne E6 du parc éolien de Broons (22)



Photographie 3 : Individu de Martinet noir retrouvé sous l'éolienne E6 du parc éolien de Broons (22)

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 3 – MORTALITÉ OISEAUX

Nom du parc éolien : Broons

Point n°
3Date
17/07/2023Heure
11:00Nom du découvreur
Corentin GOISLOT

Localisation

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude : 48,3217830

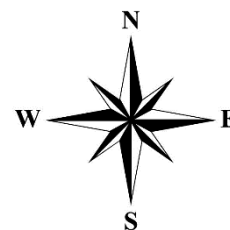
Longitude : -2,2155066

Numéro de l'éolienne la plus proche : E5

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 53

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : W

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : chaumes de blé



N° de photos : 20230717_BROONS_E5_O3

Description et identification

Taille de l'oiseau (aile déployées) : inconnue

Particularités (couleur, forme quelconque) : squelette (crâne + colonne vertébrale), une patte et quelques plumes brun foncé à brun roussâtre.

Identification (famille, espèce si possible) : Épervier d'Europe

État de l'individu

Vivant (blessé) ☐Mort ☐Fragment ☒

État du cadavre

☐Frais☐Avancé☒Décomposé☐SecCause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) :
Collision ou projection au sol probable

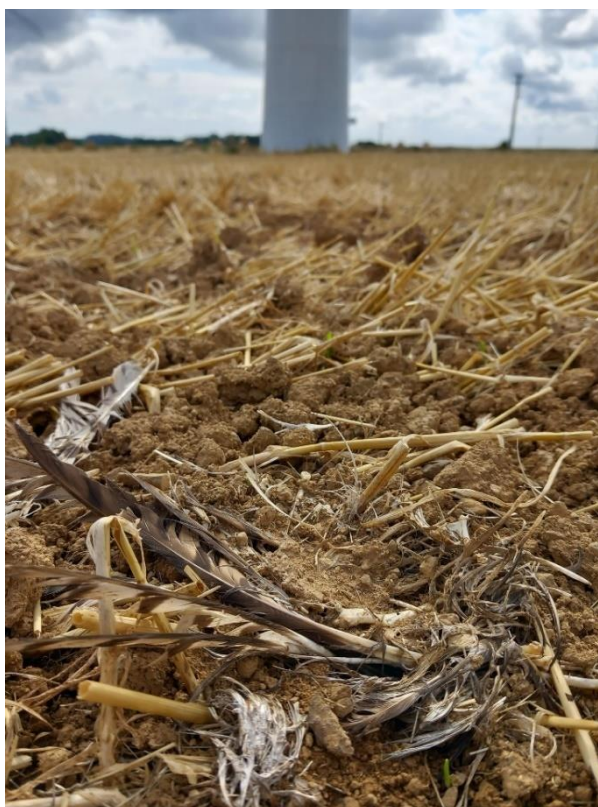
COMMENTAIRES :

Trouvé dans les chaumes suite à la moisson du blé. État du cadavre très dégradé laissant penser à une mort datant de plusieurs jours voire de plusieurs semaines avant la découverte (détection du cadavre impossible avant la moisson du blé).

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 3 – PHOTOS



Photographie 4 : Individu d'Épervier d'Europe retrouvé sous l'éolienne E5 du parc éolien de Broons (22)



Photographie 5 : Individu d'Épervier d'Europe retrouvé sous l'éolienne E5 du parc éolien de Broons (22)

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 4 – MORTALITÉ CHAUVES-SOURIS

Nom du parc éolien : Broons

Point n°
4Date
09/08/2023Heure
13:15Nom du découvreur
Corentin GOISLOT

Localisation

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude : 48,3330033

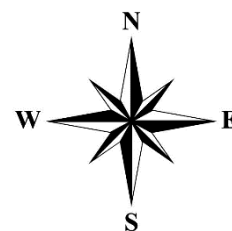
Longitude : -2,2079033

Numéro de l'éolienne la plus proche : E1

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 38

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : SE

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Labour (ancienne culture de colza)



N° de photos : 20230809-C4

Description et identification

Taille de la chauve-souris (aile déployées) : Avant-bras = 32,5mm | 5ème doigt = 41mm | 3ème doigt = 56mm

Particularités (couleur, forme quelconque) : Forme du tragus : courbé, à pointe arrondie. Epiphyse articulaire : fusion terminée, articulation noduleuse, pas de zone claire. Usure des dents : pointe des canines pointues. Irrigation du patagium : ailes peu vascularisées. Dentition : l'incisive 1 est bicuspidée et légèrement plus longue que l'incisive 2, la prémolaire 3 est peu visible, la canine 1 et la prémolaire 4 ne se touche pas.

Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune

État de l'individu

Vivant (blessé) ☐Mort ☒Fragment ☐Blessure apparente ☐Sans blessure visible ☒

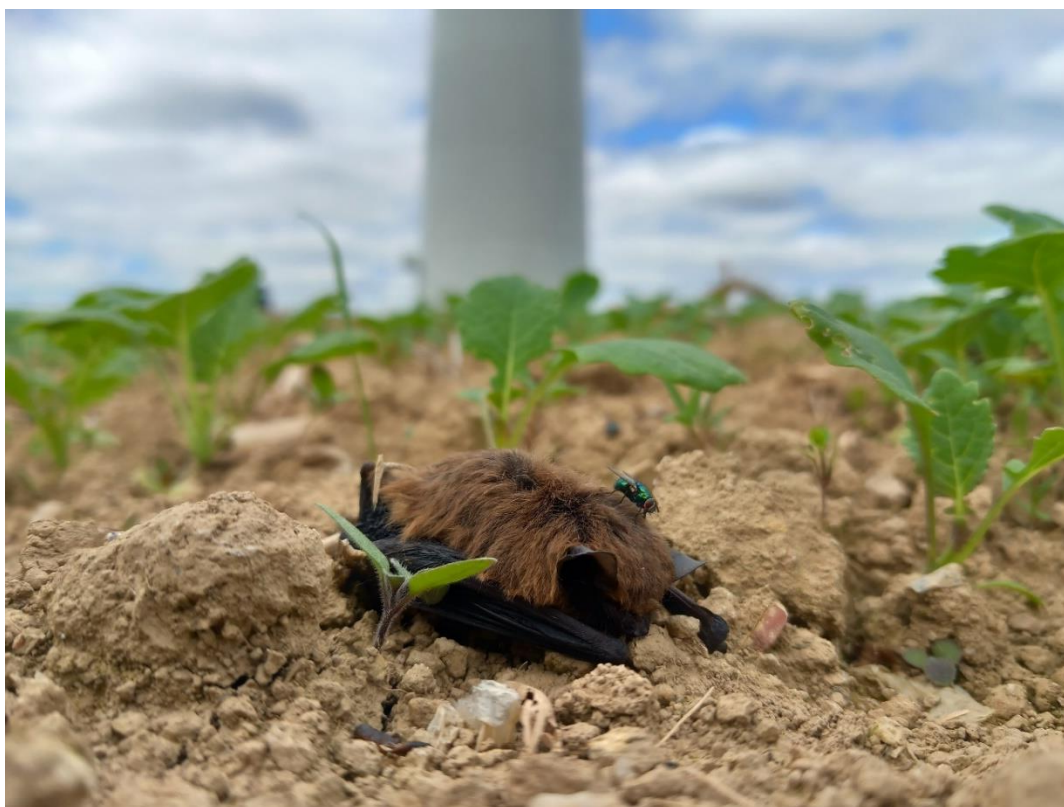
État du cadavre

☐ Frais☒ Avancé☐ Décomposé☐ SecCause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...) :
BarotraumatismeCOMMENTAIRES :
Femelle adulte

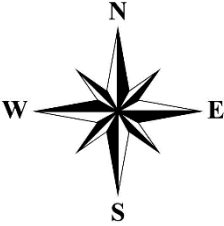
FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 4 – PHOTOS



Photographie 6 : Individu de Pipistrelle commune retrouvé sous l'éolienne E1 du parc éolien de Broons (22)



Photographie 7 : Individu de Pipistrelle commune retrouvé sous l'éolienne E1 du parc éolien de Broons (22)

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 5 – MORTALITÉ OISEAUX			
Nom du parc éolien : Broons			
Point n° 5	Date 22/08/2023	Heure 12:55	Nom du découvreur Corentin GOISLOT
<p style="text-align: center;">Localisation</p> <p>Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte</p> <p>Latitude : 48,3231557</p> <p>Longitude : -2,2087631</p> <p>Numéro de l'éolienne la plus proche : E6</p> <p>Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 58</p> <p>Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : NW</p> <p>Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : labour</p> <div style="text-align: right;">  </div>			
N° de photos : 20230822_BROONS_E6_O5			
<p style="text-align: center;">Description et identification</p> <p>Taille de l'oiseau (aile déployées) : inconnue</p> <p>Particularités (couleur, forme quelconque) : Plumes du dessus brun chaud avec une tache subterminale noire en forme de pointe de flèche. Présence de plumes uniformément gris-bleu.</p> <p>Identification (famille, espèce si possible) : Faucon crécerelle</p>			
<p style="text-align: center;">État de l'individu</p> <p style="text-align: center;">Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment <input checked="" type="checkbox"/></p>			
<p style="text-align: center;">État du cadavre</p> <p style="text-align: center;"><input type="checkbox"/>Frais <input type="checkbox"/>Avancé <input type="checkbox"/>Décomposé <input checked="" type="checkbox"/>Sec</p>			
<p>Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) :</p> <p>Collision avec pale probable</p> <p>COMMENTAIRES :</p> <p>Plumée comprenant des plumes de couverture (cadavre prédaté)</p>			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 5 – PHOTOS



Photographie 8 : Plumée de Faucon crécerelle retrouvée sous l'éolienne E6 du parc éolien de Broons (22)



Photographie 9 : Plumée de Faucon crécerelle retrouvée sous l'éolienne E6 du parc éolien de Broons (22)

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 6 – MORTALITÉ CHAUVES-SOURIS

Nom du parc éolien : Broons

Point n°
6Date
04/09/2023Heure
11:10Nom du découvreur
Corentin GOISLOT

Localisation

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude : 48,3297633

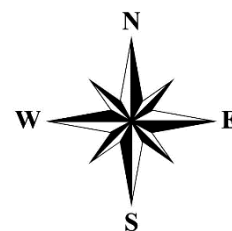
Longitude : -2,2024900

Numéro de l'éolienne la plus proche : E3

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 48

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : W

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Plateforme



N° de photos : 20230904-C6

Description et identification

Taille de la chauve-souris (aile déployées) : Avant-bras = 32,6mm | 5ème doigt = 41,5mm | 3ème doigt = 58mm

Particularités (couleur, forme quelconque) : Femelle adulte. Tragus courbé, à pointe arrondie. L'incisive 1 est bicuspidée et légèrement plus longue que l'incisive 2, la prémolaire 3 est peu visible, la canine 1 et la prémolaire 4 ne se touche pas.

Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune

État de l'individu

Vivant (blessé) ☐Mort ☒Fragment ☐Blessure apparente ☐Sans blessure visible ☒

État du cadavre

☒Frais☐Avancé☐Décomposé☐Sec

Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...) :
Barotraumatisme

COMMENTAIRES :
RAS

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 6 – PHOTOS



Photographie 10 : Individu de Pipistrelle commune retrouvé sous l'éolienne E3 du parc éolien de Broons (22)



Photographie 11 : Individu de Pipistrelle commune retrouvé sous l'éolienne E3 du parc éolien de Broons (22)

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 7 – MORTALITÉ CHAUVES-SOURIS

Nom du parc éolien : Broons

Point n°
7Date
04/09/2023Heure
12:40Nom du découvreur
Corentin GOISLOT

Localisation

Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte

Latitude : 48,3326667

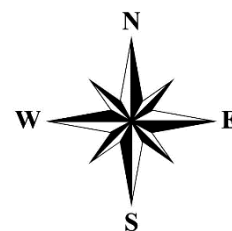
Longitude : -2,2085383

Numéro de l'éolienne la plus proche : E1

Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 54

Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : S

Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Labours (ancienne culture de colza)



N° de photos : 20230904-C7

Description et identification

Taille de la chauve-souris (aile déployées) : Avant-bras = 34,1mm | 5ème doigt = 43mm | 3ème doigt = 58,5mm

Particularités (couleur, forme quelconque) : Femelle juvénile. Tragus courbé, à pointe arrondie. L'incisive 1 est bicuspidée et légèrement plus longue que l'incisive 2, la prémolaire 3 est peu visible, la canine 1 et la prémolaire 4 ne se touchent pas.

Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune

État de l'individu

Vivant (blessé) ☐Mort ☒Fragment ☐Blessure apparente ☒Sans blessure visible ☐

État du cadavre

☐ Frais☒ Avancé☐ Décomposé☐ Sec

Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...) :

Collision ou barotraumatisme

COMMENTAIRES :

Fracture derrière la tête

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE 7 – PHOTOS



Photographie 12 : Individu de Pipistrelle commune retrouvé sous l'éolienne E1 du parc éolien de Broons (22)



Photographie 13 : Individu de Pipistrelle commune retrouvé sous l'éolienne E1 du parc éolien de Broons (22)