

Avril 2023

## Suivi Environnemental ICPE

PARC ÉOLIEN DE BROONS

COMMUNE DE BROONS (22)

ANNÉE DE SUIVI 2

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

Le bureau d'études ENCIS Environnement a été missionné par la société ERNERGIEQUELLE pour réaliser ce suivi environnemental ICPE dès 2022.

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

## SOMMAIRE

<b>1 Cadre général de l'étude .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Maître d'ouvrage – exploitant .....</b>	<b>7</b>
<b>1.2 Auteurs de l'étude .....</b>	<b>7</b>
<b>1.3 Présentation du parc éolien étudié.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Cadre réglementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens .....</b>	<b>10</b>
<b>1.2 Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel .....</b>	<b>11</b>
1.2.1 Avifaune .....	11
1.2.2 Chiroptères.....	17
<b>2 Méthodes utilisées .....</b>	<b>32</b>
<b>2.1 Méthodologie et démarche générale .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2 Suivi d'activité des chiroptères.....</b>	<b>36</b>
2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte.....	36
2.2.2 Méthodologie et pression d'inventaire.....	36
<b>2.3 Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères .....</b>	<b>47</b>
2.3.1 Principes et objectif.....	47
2.3.2 Protocole utilisé .....	48
2.3.1 Détermination du statut biologique .....	50
2.3.2 Méthodes d'estimation de la mortalité .....	50
<b>2.4 Calendrier des inventaires .....</b>	<b>56</b>
<b>2.5 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées .....</b>	<b>57</b>
2.5.1 Limites des méthodes employées.....	57
2.5.2 Difficultés rencontrées .....	58
<b>3 Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères .....</b>	<b>60</b>
<b>3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2 Suivi de l'activité des chiroptères en 2022.....</b>	<b>63</b>
3.2.1 Suivi d'activité des chiroptères au sol.....	63
3.2.2 Synthèse du suivi d'activité des chiroptères au sol.....	71
3.2.3 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle .....	72
3.2.4 Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle .....	83
<b>3.3 Bilan et comparaison avec l'étude d'impact et les suivis ICPE .....</b>	<b>84</b>
3.3.1 Diversité spécifique .....	84
3.3.2 Activité recensée.....	85
3.3.3 Cumul des deux années de suivi ICPE .....	87
<b>3.4 Principaux éléments à retenir du suivi ICPE .....</b>	<b>95</b>
<b>4 Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères .....</b>	<b>96</b>
<b>4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation.....</b>	<b>98</b>
4.1.1 Durée moyenne de l'intervalle.....	98
4.1.1 Efficacité du chercheur .....	98
4.1.2 Persistance des cadavres .....	98
4.1.3 Surfaces prospectées et correction surfacique.....	99
<b>4.1 Mortalité de l'avifaune.....</b>	<b>100</b>
4.1.1 Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien .....	100
4.1.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact.....	104

---

4.1.3 Résultats globaux du suivi de l'avifaune en 2022 .....	104
4.1.4 Résultats saisonniers .....	107
4.1.5 Résultats spatialisés par éolienne .....	107
4.1.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien .....	109
4.1.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune .....	110
4.1.8 Comparaisons avec des données de 2021 avec celles de 2022 .....	112
4.1.9 Synthèse .....	114
<b>4.2 Mortalité des chiroptères .....</b>	<b>115</b>
4.2.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien .....	115
4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact .....	121
4.2.3 Résultats globaux du suivi des chiroptères en 2022 .....	121
4.2.4 Résultats saisonniers .....	124
4.2.5 Résultats spatialisés par éolienne .....	124
4.2.6 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien .....	126
4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères .....	127
4.2.8 Comparaisons avec des données de 2021 avec celles de 2022 .....	130
4.2.9 Synthèse .....	134
<b>5 Mesures correctrices.....</b>	<b>136</b>
<b>Table des illustrations .....</b>	<b>145</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>148</b>
<b>Annexes.....</b>	<b>158</b>

# 1 Cadre général de l'étude



## 1.1 Maître d'ouvrage – exploitant

<b>Destinataire</b>	Parc éolien Biterne Sud SAS
<b>Adresse</b>	Parc éolien Biterne Sud SAS Val d'Orson - Rue du Pré Long 35770 Vern-sur-Seiche
<b>Interlocuteur</b>	P&T technologie – Julien Leon
<b>Téléphone</b>	02 99 36 77 40

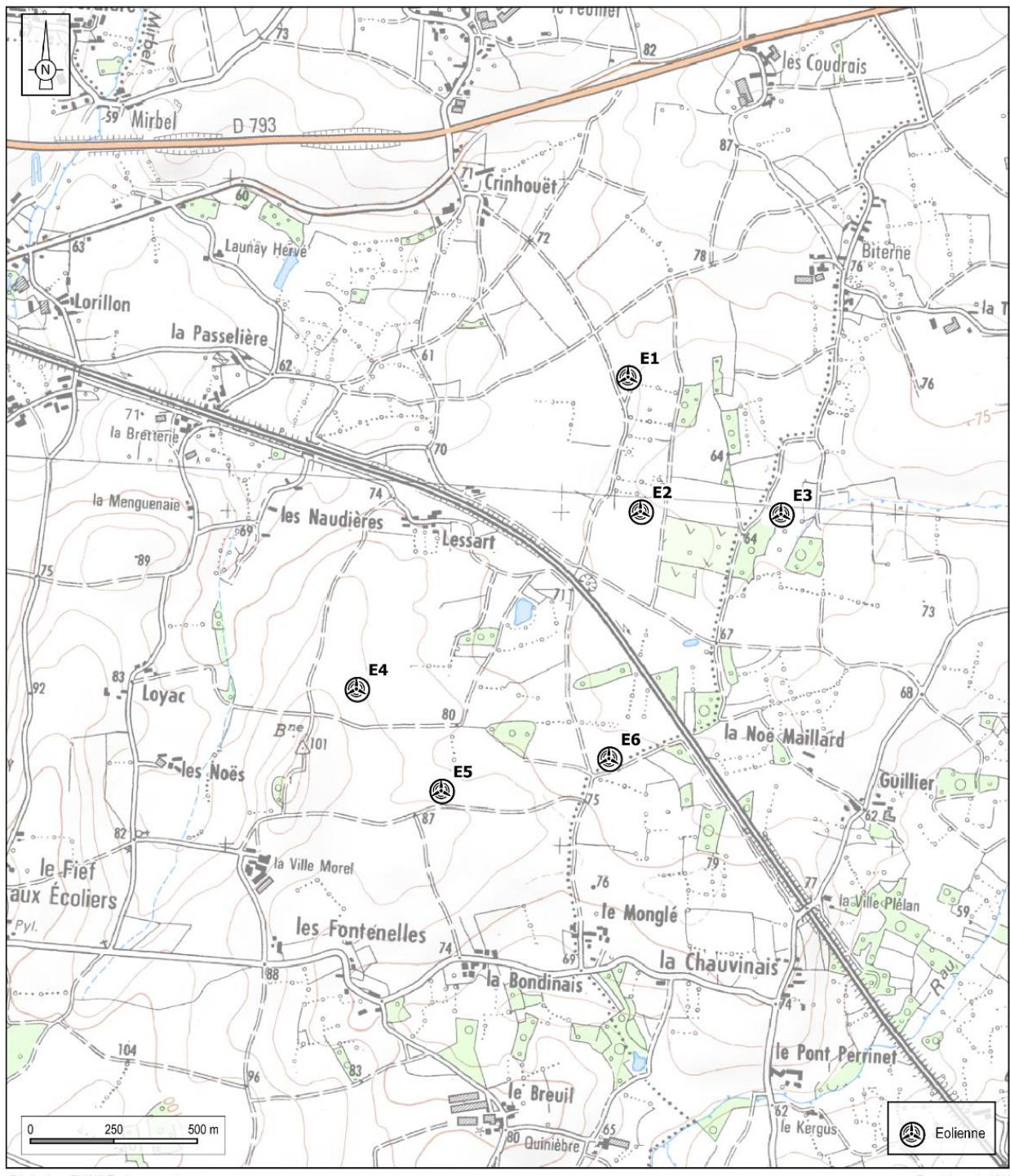
## 1.2 Auteurs de l'étude

<b>Structure</b>	
<b>Adresse</b>	21 Rue de Columbia 87 068 LIMOGES
<b>Téléphone</b>	05 55 36 28 39
<b>Coordination de l'étude</b>	Thomas LEROY, Chargé d'études - Écologue
<b>Suivi de l'activité des chiroptères</b>	Thomas GIRARD, Responsable d'études - Chiroptérologue
<b>Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères</b>	Laëtitia VIBERT, Technicienne d'études – Écologue Margot FEVRIER, Chargée d'Études Écologue -- Ornithologue
<b>Correction</b>	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de Nantes
<b>Validation</b>	Romain FOUQUET, Responsable du pôle Écologie de Nantes
<b>Version / date</b>	Avril 2023

### 1.3 Présentation du parc éolien étudié

Le parc éolien est constitué de quatre éoliennes d'une hauteur de 150 mètres (E1, E2, E3 et E6) et de deux éoliennes de 145 m en bout de pale (E4 et E5). Les éoliennes sont implantées à l'est de la commune de Broons (carte suivante).

## Localisation du parc éolien de Broons



*Carte 1 : Localisation du parc éolien de Broons*

Implantées dans un secteur à forte dominance de polyculture-élevage, les six éoliennes et leurs plateformes se situent dans des parcelles cultivées (carte suivante).



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

## 1.1 Cadre règlementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens

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. 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 actualisé en 2018.

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

### 1.2.1 Avifaune

#### 1.2.1.1 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 **déarrangement 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).



Certains oiseaux s'adaptent facilement en s'habituant progressivement aux éoliennes dans leur entourage, d'autres sont très farouches. Le degré de sensibilité varie selon les espèces et le stade phénologique concerné.

L'analyse des résultats de 127 études portant sur les impacts des éoliennes sur la biodiversité (Hötker et al., 2006) illustre ces différences interspécifiques, intraspécifiques 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<sup>1</sup>, du MEEDDM<sup>2</sup>, du SER-FEE<sup>3</sup> et de la LPO<sup>4</sup>, 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.

<sup>1</sup> Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

<sup>2</sup> Ministère de l'Écologie, de l'Energie, du développement Durable et de la Mer

<sup>3</sup> Syndicat des Énergies Renouvelables – France Energie Éolienne

<sup>4</sup> Ligue de Protection des Oiseaux

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

### **Hivernants et migrateurs**

Peu de suivis post-implantation se sont penchés sur les réponses comportementales des groupes de passereaux hivernants ou en halte migratoire face à la présence d'éoliennes. La bibliographie est parfois contradictoire. 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). De même, à Tarifa, Janss (2000) n'a pas montré de différence de densité des groupes hivernants de Pipit farlouse, de Linotte mélodieuse et de Chardonneret élégant.

Pour les espèces de petite et moyenne tailles, Hötker *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).

En revanche, en hiver, pour certaines espèces de moyenne taille, 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 tailles sont moins gênés par la présence des éoliennes que les oiseaux migrateurs 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 Hötker *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 intraspécifiques. 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 (Hötker *et al.*, 2006).

Une capacité d'accoutumance des oiseaux d'eau nicheurs à la présence des éoliennes dans leur environnement a également 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 intraspécifiques importantes, il est difficile de généraliser le phénomène d'accoutumance. Par ailleurs, il faut souligner que cette habituation se fait au prix d'un risque accru de collision avec les éoliennes (Gaultier *et al.*, 2019).**

#### 1.2.1.2 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 transit quotidien** 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).

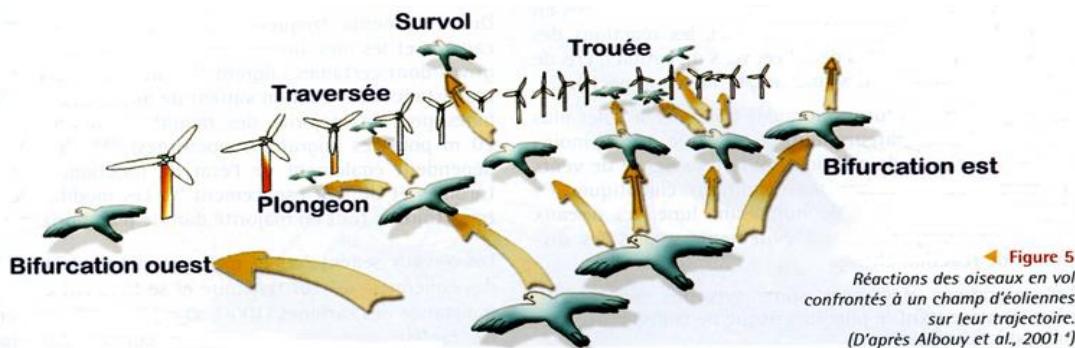


Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al., 2001)

Les espèces qui sont **le plus susceptibles d'être affectées par l'effet barrière sont les espèces de grande taille**, 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 columbidés** (Pigeon ramier). Toutefois, Hötker *et al.*, (2006), indique 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 observés 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., Hötker *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 (Tadorne 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, Hötker *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 taille 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 taille suffisante 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.**

#### 1.2.1.3 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 (Gaultier *et al.*, 2019).

**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 migrants 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 migrants 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 **attirées 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.



Photo 1 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales.

©Encis Environnement

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.

## 1.2.2 Chiroptères

### 1.2.2.1 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).

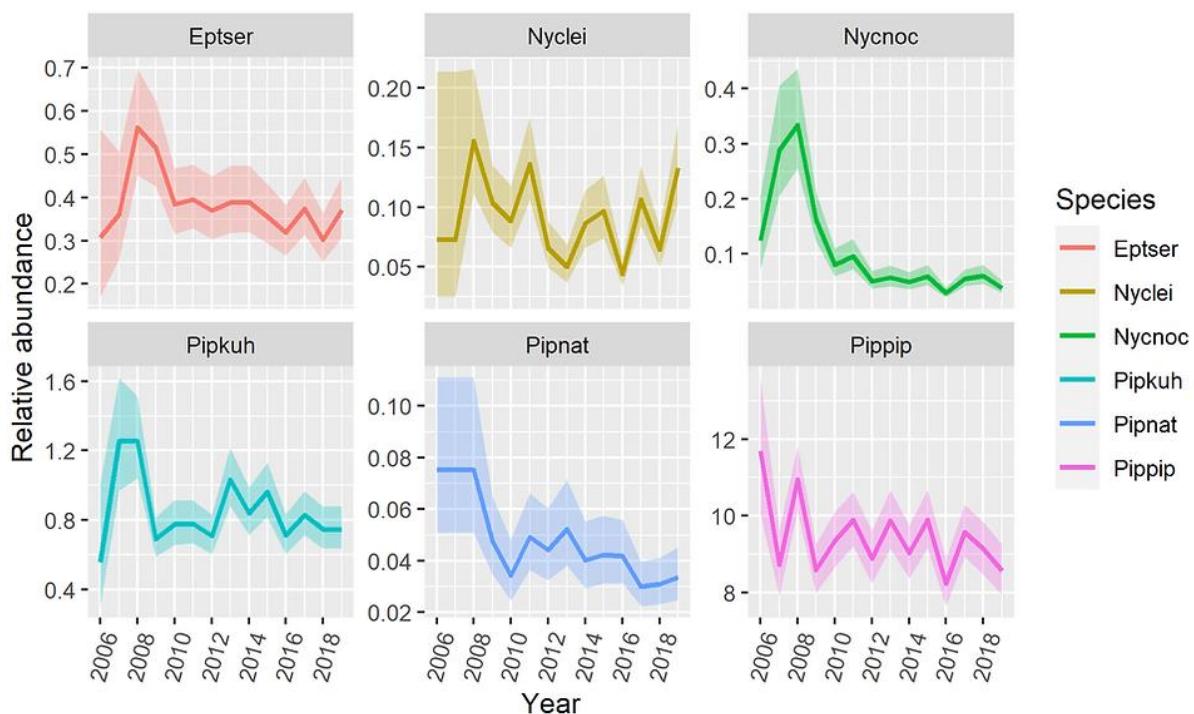


Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas *et al.* 2020)

## **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.).

### **1.2.2.2 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, Averback *et al.* 2015 et Peste *et al.* 2015). Ainsi, la perte de gîtes surtout dans les secteurs où ils sont rares aura un impact plus grand que des modifications d'habitats de chasse ou de transits (Brinkmann *et al.* 2011, Amorim *et al.* 2012).

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

#### **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 migrateurs (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, Roekele *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 and 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.

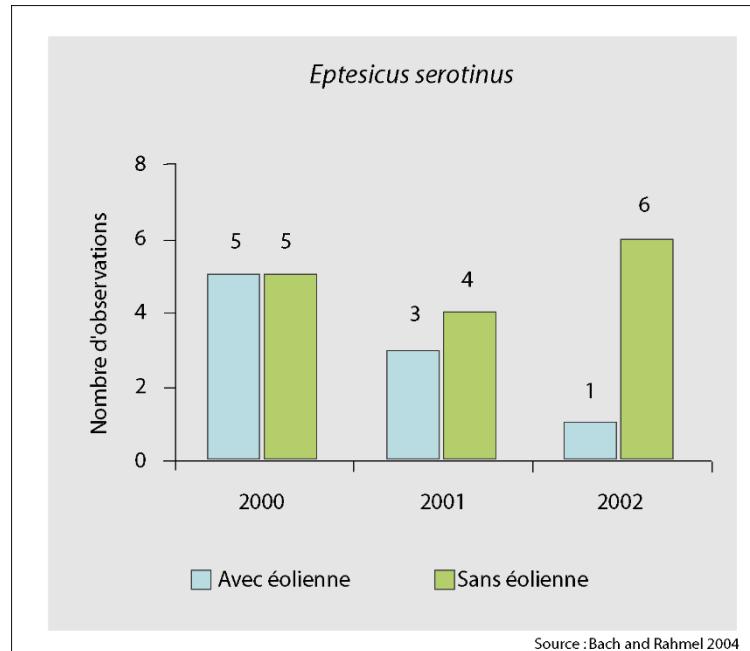


Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach and Rahmel 2004)

#### 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 Natusius 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, Furmarkiewicz & 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, Roekele *et al.* 2016).

#### 1.2.2.3 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 sublétale (Grodsky *et al.* 2011).

Un état des lieux des connaissances avec une analyse approfondie de nombreuses publications scientifiques a été menées 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'entrainer des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité des pales, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grodsky *et al.* 2011). Enfin, Horn *et al.* (2008) ont observé des cas de collision sublétale où des individus percutés par des pales ont continué à voler maladroitement. Ce type de collision aboutissant certainement au décès des

individus en question, ne serait ainsi pas comptabilisé dans les suivis de mortalité opérés dans un rayon proche des éoliennes, puisque les cadavres se trouveraient alors à bonne distance du site.

### **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 présentent 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., oreillardsp., rhinolophesp.).** Ces espèces présentent un risque de collision avec les éoliennes assez faible (Dürr 2021).

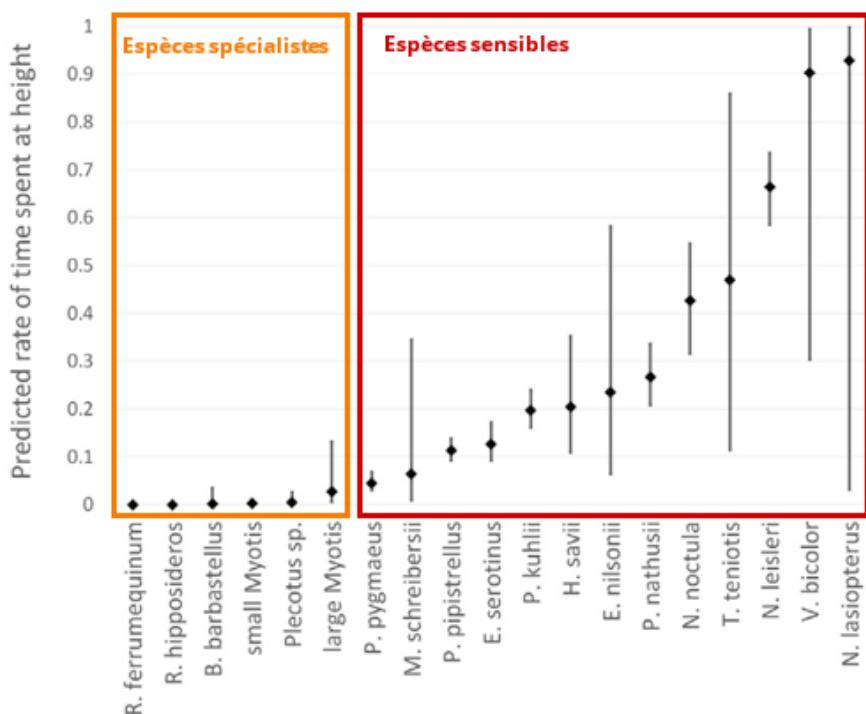


Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer *et al.* 2017).

## 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.

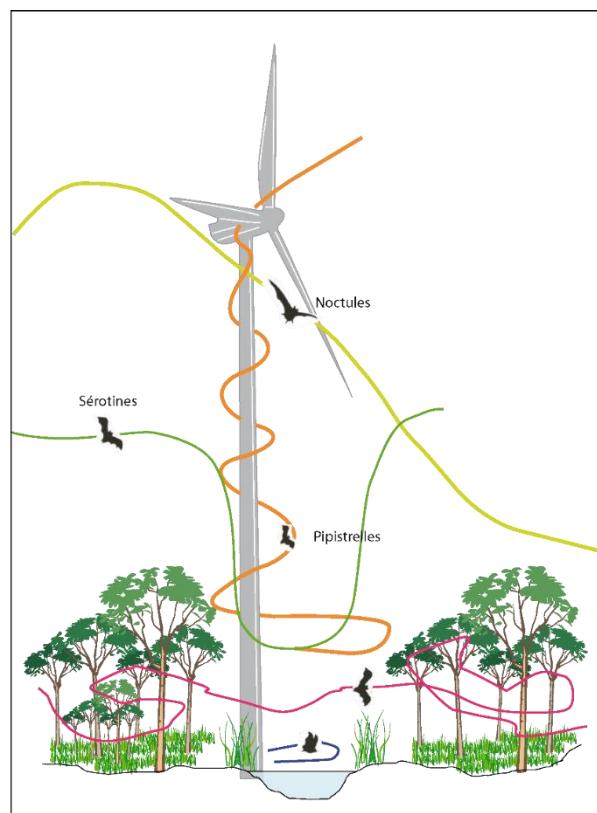


Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne

## 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-aout, une période de migration vers les secteurs de swarming (accouplements) et vers les gîtes hivernaux d'aout à octobre.

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

migratrices ne seraient en fait pas forcément plus touchées que les populations locales (Behr *et al.* 2007 ; Brinkmann *et al.* 2006 ; Rydell *et al.* 2010 ; Voigt *et al.* 2012). Ainsi, Lenhert a mené une étude en 2014 montrant une mortalité supérieure sur les individus locaux (72 %) que sur les individus migrants (28 %) durant la période de migration de la Noctule commune (espèces le 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 équilibrés 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 (Furmaniakiewicz 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 and 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 inexistant 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 ( $\leq 5$  m/s mesurées au sol), et toutes les victimes ont été constatées lors de nuits présentant une vitesse moyenne du vent  $< 10$  m/s. Behr *et al.* (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s. Si la plupart des études sur le sujet concordent sur ce phénomène, les valeurs seuils sont variables et dépendantes de la localisation des sites, de la période de l'année, des espèces concernées. Arnett *et al.* (2008) estimèrent pour deux parcs éoliens des Etats-Unis que la mortalité aurait été réduite de 85 % si les aérogénérateurs avaient été arrêtés pour des valeurs de vent inférieures à 6 m/s en fin d'été-début d'automne. À noter cependant que toutes les chauves-souris ne répondent pas de façon similaire à la vitesse de vent. Les espèces de haut-vol apparaissent plus tolérantes aux vitesses de vent supérieures à 7 m/s (Wellig *et al.* 2018, Frick *et al.* 2017, Voigt *et al.* 2015). Enfin, la rotation des pales d'éoliennes avec la vitesse de vent

rend difficile la localisation des chiroptères par écholocation qui n'arrivent pas à percevoir les bouts de pales dont la vitesse est de 100 et 150 m/s (Grodky *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 and 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 and 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 and 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 Natusius, montre un schéma légèrement différent de celui des autres espèces avec une activité culminant au milieu de la nuit. Ces résultats sont régulièrement observés sur les études de l'activité des chiroptères et peuvent varier en fonction de la saisonnalité (Arthur et Lemaire 2015, Newson *et al.* 2015, Labouré 2021).

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

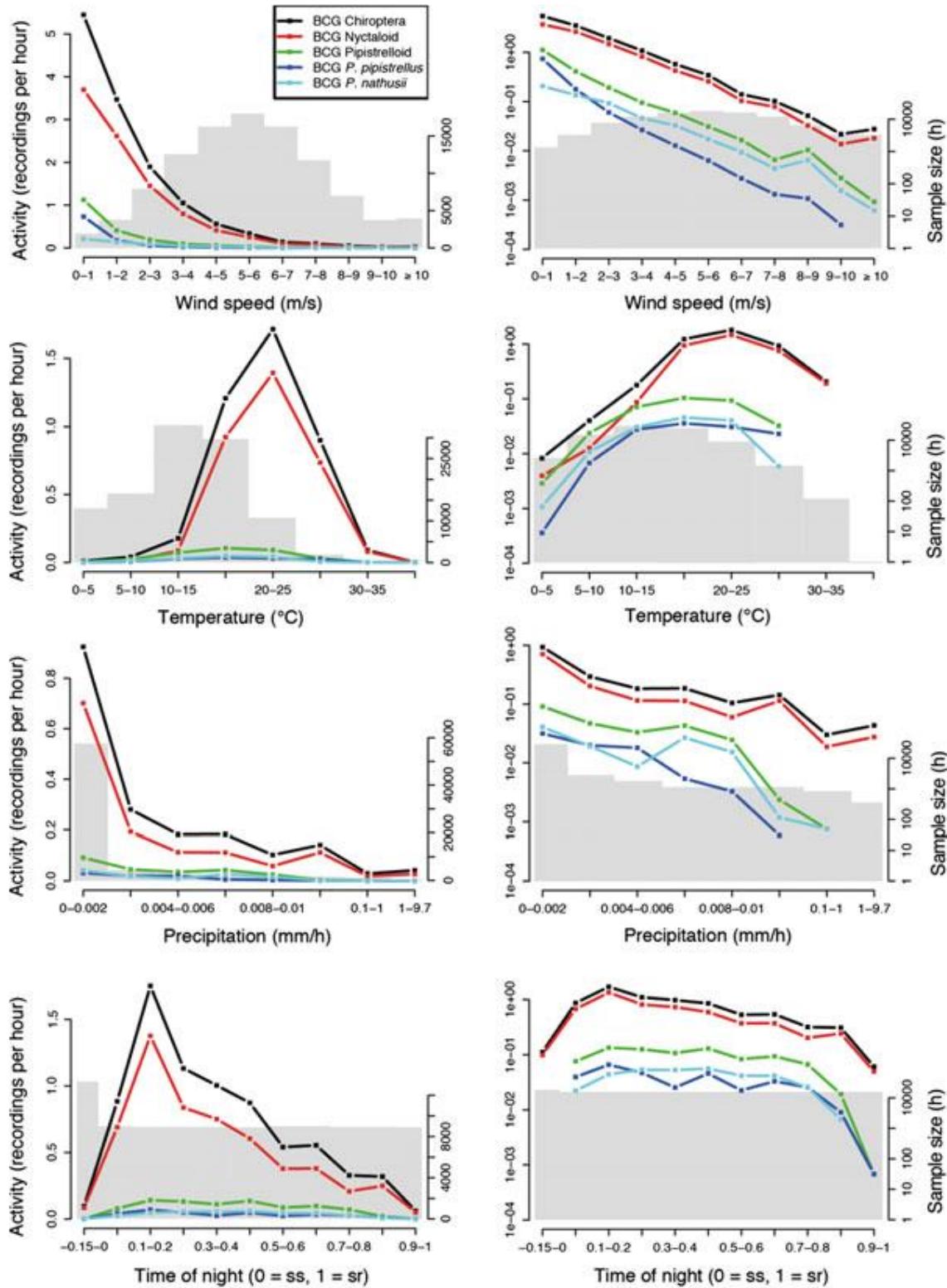


Figure 6 : Effet de différents paramètres sur l'activité des chiroptères mesurée en nacelle d'éolienne (sur 69 éoliennes dans 35 sites dans 5 différentes régions naturelles en Allemagne en 2008) (Behr et al. 2017)

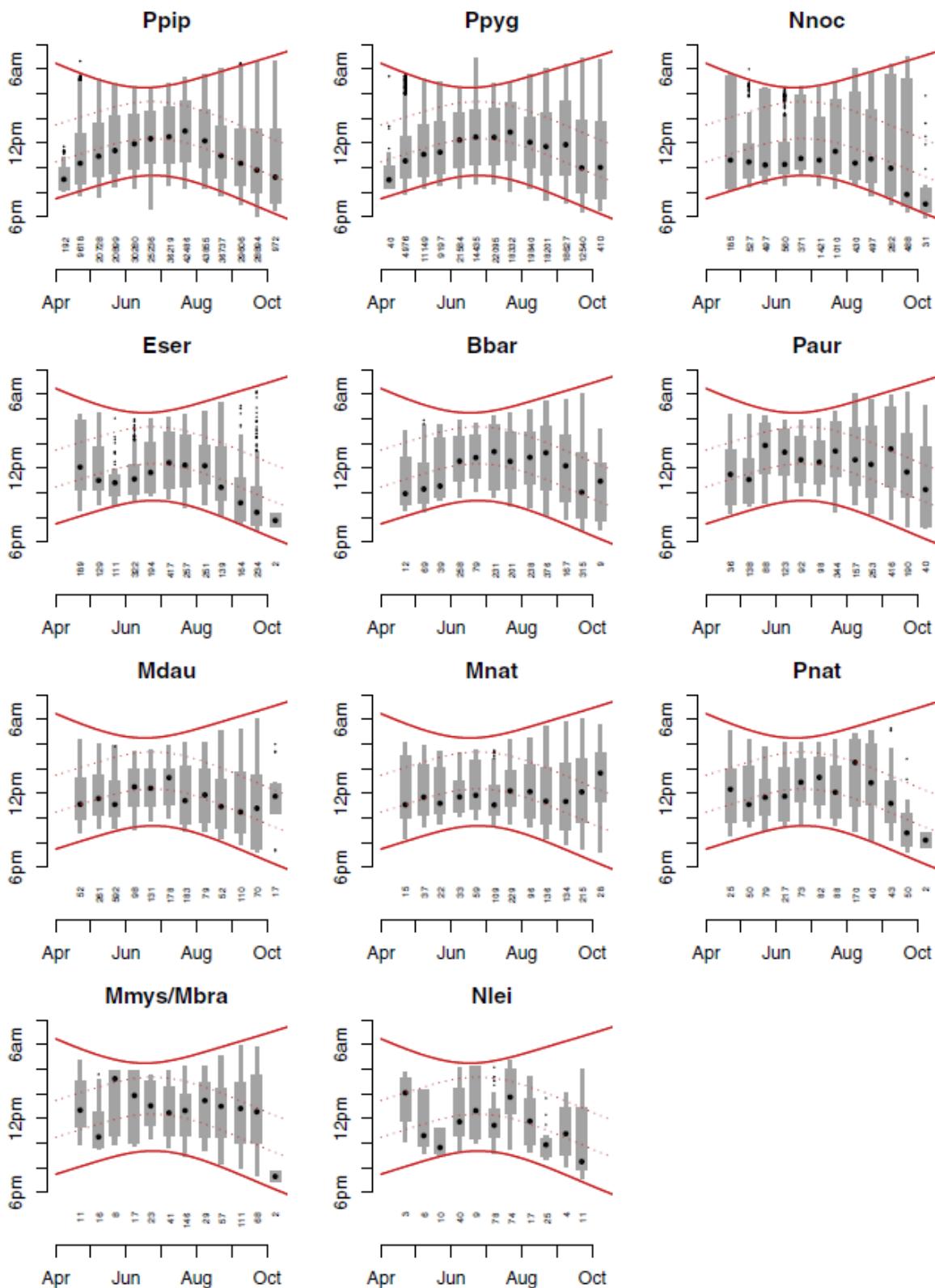


Figure 7 : Modèles d'activité nocturne de plusieurs espèces de chiroptères tout au long de la saison par rapport au coucher du soleil (Newson et al. 2015)

## Le type d'habitats

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

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

Dans un second temps, les habitats présents à proximité des éoliennes influencent les cas mortalités des chauves-souris. Rydell *et al.* en 2010 observent une mortalité de 0 à 3 chiroptères/éolienne/an en openfield, 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).

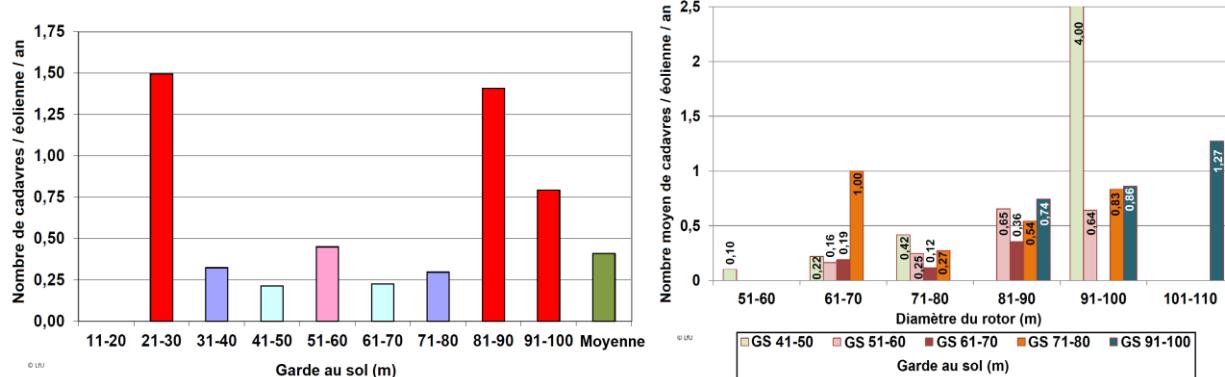


Figure 8 : Nombre de mortalités de chauves-souris par éolienne et par an en fonction de la garde au sol et du diamètre de rotor (Traduit de Dürr 2019, SFEPM 2020)

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 and Brown 2007 ; Cryan *et al.* 2014 ; Hull and Cawthen 2013 ; Kunz *et al.* 2007).

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

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

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

### Conséquences de la mortalité sur les populations de chiroptères

Comme expliqué précédemment, la notion de population chez les chiroptères est complexe à estimer. Cependant, il apparaît important de prendre en compte l'étude de Frick *et al.* menée en 2017.

Cette étude montre que les taux actuels de mortalité dues aux éoliennes apparaissent suffisamment élevés pour modifier considérablement la probabilité de stabilité de la population. Le risque d'extinction dans une gamme de scénarios démographiques plausibles pour des chauves-souris cendrées aux États-Unis serait plus fort, ces chiroptères sont proches des noctules européennes. La mortalité due aux éoliennes pourrait ainsi entraîner une réduction de 50 % de la taille de la population en seulement 50 ans, même dans un scénario optimiste d'une population de chauves-souris cendrées aussi importante que 10 millions de chauves-souris et avec un taux de croissance annuel moyen de 1 % par an, qui soutiendrait une croissance démographique stable. Cette étude souligne également que pour les chiroptères migrateurs, la mortalité liée aux éoliennes est susceptible d'impacter la viabilité des populations sur des scénarios démographiques probables. Elle suggère qu'à une échelle locale, l'implantation d'éoliennes pourrait suffire à faire chuter les effectifs d'une population jusqu'à l'extinction sur un pas de temps relativement court des cent prochaines années. Le graphique suivant représente ainsi les contours isolignes des déclins de population projetés après 50 ans de croissance, simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées, causées par les éoliennes, selon des combinaisons de tailles de populations initiales possibles ( $N_i$ ) et de taux de croissance de population ( $\lambda$ ). 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.

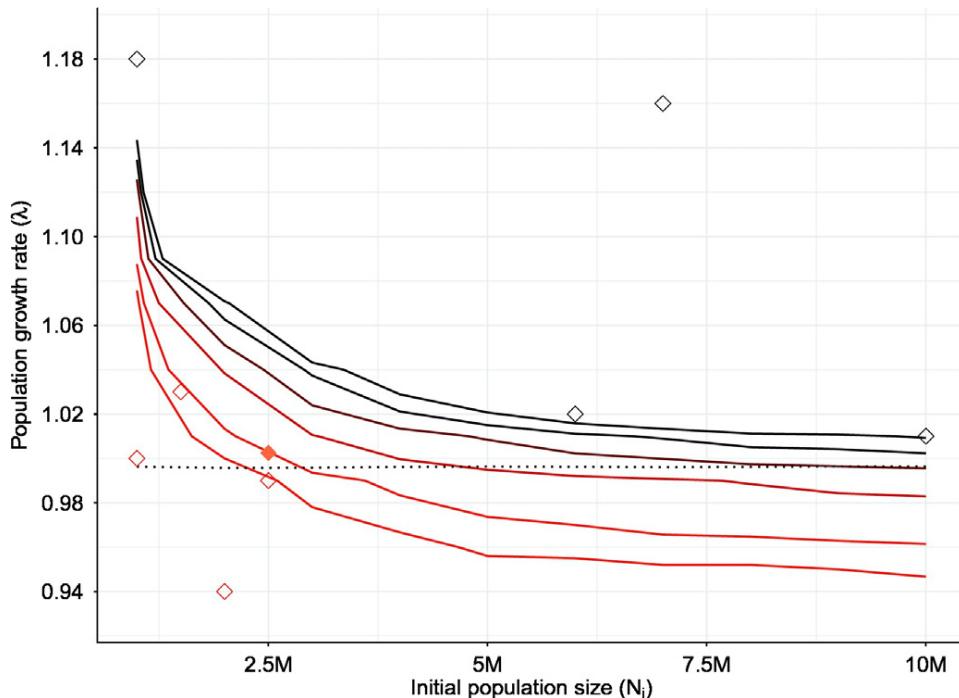


Figure 9 : Contours isolignes des déclins de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles ( $N_i$ ) et de taux de croissance de population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

L'intensité du suivi à mettre en œuvre est défini selon plusieurs critères (espèces observées, statut de conservation, dynamique 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 (BirdLife 2017, European Birds of Conservation Concern – Populations, trends and national responsibilities).

### 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 IUCN national et le taux de mortalité en Europe. **Cet indice inclus ainsi la sensibilité et défini 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.

Pour le parc éolien de Broons, le rapport de suivi environnemental remis à l'inspection des installations classées sera composé des suivis suivants :

- Suivi de l'activité des chiroptères (au sol et en nacelle),
- Suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères.

Le parc éolien de Broons a fait l'objet d'un suivi environnemental identique (suivi de l'activité chiroptérologique et de la mortalité) lors de sa mise en exploitation en 2021.

***Le présent rapport comprend les résultats de ces suivis pour l'année 2022, s'étalant d'avril à fin octobre soit les périodes de migration prénuptiale, de reproduction et de migration postnuptiale pour l'avifaune et la migration printanière, la mise bas et l'élevage des jeunes ainsi que les transits automnaux pour les chiroptères.***

## 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 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, **cinq soirées d'inventaires** ont été 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 minutes**<sup>5</sup>.

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, sociale<sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Barataud, 2012

<sup>6</sup> Barataud, 2012

#### 2.2.2.1.2 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 durant le cycle d'activité des chiroptères ont été réalisées en 2022.***

#### 2.2.2.1.3 Méthode d'écoute et d'identification

Pour se déplacer et chasser, les chauves-souris émettent des cris dans l'inaudible, 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.

## 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 Pettersson 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.



<b>Espèce</b>		<b>Milieux ouvert et semi ouvert</b>		<b>Sous-bois</b>	
<b>Nom vernaculaire</b>	<b>Nom scientifique</b>	<b>Distance détection (m)</b>	<b>Coefficient détectabilité</b>	<b>Distance détection (m)</b>	<b>Coefficient détectabilité</b>
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00	5	5,00
Rhinolophe sp.	<i>Rhinolophus ferr/eur/meh.</i>	10	2,50	10	2,50
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50	8	3,13
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50	10	2,50
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50	10	2,50
Murin de Brandt	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50	10	2,50
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,67	10	2,50
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,67	8	3,13
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,67	10	2,50
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67	15	1,67
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	20	1,25	15	1,67
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	20	1,25	15	1,67
Oreillard sp.	<i>Plecotus sp.</i>	20	1,25	5	5,00
Milieu ouvert et semi-ouvert : durée 4 à 6 ms – Sous-bois : durée < 4 ms					
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00	20	1,25
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00	25	1,00
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00	25	1,00
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00	25	1,00
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	25	1,00
Oreillard sp.	<i>Plecotus spp.</i>	40	0,63	20	1,25
Milieu ouvert et semi-ouvert : durée >6 ms – Sous-bois : durée 4 à 6 ms					
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63	30	0,83
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63	30	0,83
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	50	0,50
Sérotine isabelle	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50	50	0,50
Sérotine bicolore	<i>Vesperilio murinus</i>	50	0,50	50	0,50
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31	80	0,31
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25	100	0,25
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17	150	0,17
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17	150	0,17
Niveau d'intensité d'émission : Très faible à faible <span style="background-color: yellow;">■</span> / Moyen <span style="background-color: orange;">■</span> / Fort <span style="background-color: red;">■</span> / Très fort <span style="background-color: maroon;">■</span>					

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

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

SEMAINE N°	1 A 19	20 A 30	31 A 43	44 A 52
<b>Suivi d'activité en hauteur des chiroptères</b>	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

Tableau 2 : Pression d'inventaire du suivi des chiroptère en fonction de la vulnérabilité des espèces

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 10 mars au 9 novembre 2022.

***De fait, le protocole présenté ci-après répond aux modalités prévues initialement et validées dans l'arrêté préfectoral d'autorisation (N° 18-643 du 23 mars 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 S2+ 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.

#### 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.

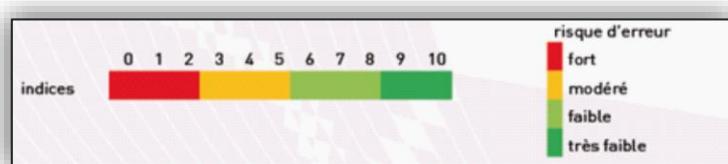


Figure 11 : Indices de confiance établis par SonoChiro® et risques d'erreurs associés

## 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, en 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 Estimation de l'activité et de la diversité chiroptérologique

La quantification de l'activité et de la diversité chiroptérologique est basée sur des échelles d'activité mises en place par ENCIS Environnement. Afin de rester en adéquation avec les échelles d'activité déjà existantes sur d'autres protocoles acoustiques au niveau national, notamment Bas *et al.* 2020 et Hacquart 2015, la méthode retenue pour la mise en place de ces échelles est celle des quantiles. Ainsi, ces échelles ont été définies sur la base de plus d'une centaine d'inventaires de terrain ultrasoniques par échantillonnage, de 150 inventaires ultrasoniques automatiques au sol et 60 inventaires ultrasoniques automatiques en hauteur.

Quantiles	Échelles d'activité	Inventaires ultrasoniques par échantillonnage (contacts/heure)	Inventaires ultrasoniques automatiques en hauteur (contacts/nuit)
Inférieur à 10 %	Très faible	<= 1	<= 1
Entre 10 % et 25 %	Faible	1 à 50	1 à 3
Entre 25 % et 75 %	Modéré	50 à 125	3 à 25
Entre 75 % et 90 %	Fort	125 à 175	25 à 65
Supérieur à 90 %	Très fort	> 175	> 65

Tableau 3 : Valeurs seuils des échelles d'activité globale en fonction des différents protocoles

Quantiles	Échelles de diversité spécifique	Inventaires ultrasoniques par échantillonnage	Inventaires ultrasoniques automatiques en hauteur
Inférieur à 10 %	Faible	<= 9	<= 6
Entre 10 % et 25 %	Modéré	9 à 15	6 à 12
Entre 25 % et 75 %	Fort	> 15	> 12

Tableau 4 : Valeurs seuils des échelles de diversité spécifique en fonction des différents protocoles

### 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 5 : Habitat et type de milieu inventorié



Carte 3 : Répartition des points d'écoute pour l'inventaire des chiroptères

La cartographie suivante permet de localiser la position du BATmode S2+ en fonction de l'éolienne associée.



Carte 4 : Localisation du dispositif BATmode S2+

### 2.3.2.4 Calendrier des passages d'inventaire

#### 2.2.2.2.5 Inventaire au sol

Le suivi chiroptérologique au sol pour l'année 2022 s'est traduit par des investigations réalisées entre le 28 mars et le 15 septembre 2022 par Virgile SCHÖN et Émilien JOMAT.

#### 2.2.2.2.6 Inventaire en nacelle

Concernant les écoutes sur nacelle d'éolienne, la période de présence du dispositif va du 10 mars au 09 novembre 2022. Les analyses des écoutes seront donc menées sur l'ensemble de la période d'activité des chiroptères.

Le volume des données brutes peut parfois être important lorsque l'éolienne génère des sons parasites, or cela n'a pas 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 disfonctionnement lors des inventaires 2022.

Inventaires et méthodes employées	Nombres de sorties	Dates des campagnes	Horaires des inventaires	Conditions météorologiques d'observation			Personnes ayant réalisé les inventaires
				Couverture du ciel	Température	Vent	
Inventaires en phase de transits printaniers et gestation	1	28 mars 2022	20h45 – 00h30	Couvert	13 °C	Faible	
Inventaires en phase de mise bas et d'élevage des jeunes	2	03 mai 2022	21h45 – 00h45	Ciel dégagé	10 °C	Faible	Virgile SCHÖN
		1 <sup>er</sup> juin 2022	22h15 – 01h30	Peu nuageux	17 °C	Très faible	
Inventaires en phase de swarming et de transits automnaux	2	04 août 2022	22h00 – 00h30	Ciel dégagé	16 °C	Modéré	Emilien JOMAT
		15 septembre 2022	20h30 – 23h40	Peu nuageux	15 °C	Modéré	
Enregistrements automatiques en nacelle (BATmode S2+)	245 nuits	Du 10 mars au 09 novembre 2022	Depuis 1 h avant le coucher jusqu'à 1 h après le lever du soleil	-	-	-	Thomas GIRARD

Tableau 6 : Dates et conditions météorologiques des inventaires des chiroptères

## 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 brute observée est ensuite extrapolée, 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 prédatation 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 extrapolations effectuées. Toute conclusion ne devrait ainsi être tirée qu'en prenant en compte la tendance globale apportée par l'ensemble des estimateurs, et non les résultats d'une unique estimation.

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 fait systématiquement l'objet d'une fiche détaillée. Cela permet ainsi le recensement standardisé des caractéristiques de l'espèce et des conditions de mortalité constatée par une procédure définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Seuls les acteurs habilités à manipuler des cadavres ou des animaux blessés pourront remplir ces fiches de terrain dans le cadre du suivi de mortalité.

## 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
<b>Le suivi de mortalité doit être réalisé :</b>	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). Cependant, 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 2022, 31 sorties de prospection sont réalisées dans le cadre du suivi de la mortalité, à raison d'une prospection par semaine, entre les semaine 13 et 43. Le calendrier complet des sorties est présenté en Annexe 4.***

### 2.3.2.1 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, au sein du parc de Broons, chacune des six éoliennes sera prospectée lors de ce suivi.***

### 2.3.2.2 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 m<sup>2</sup> 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.

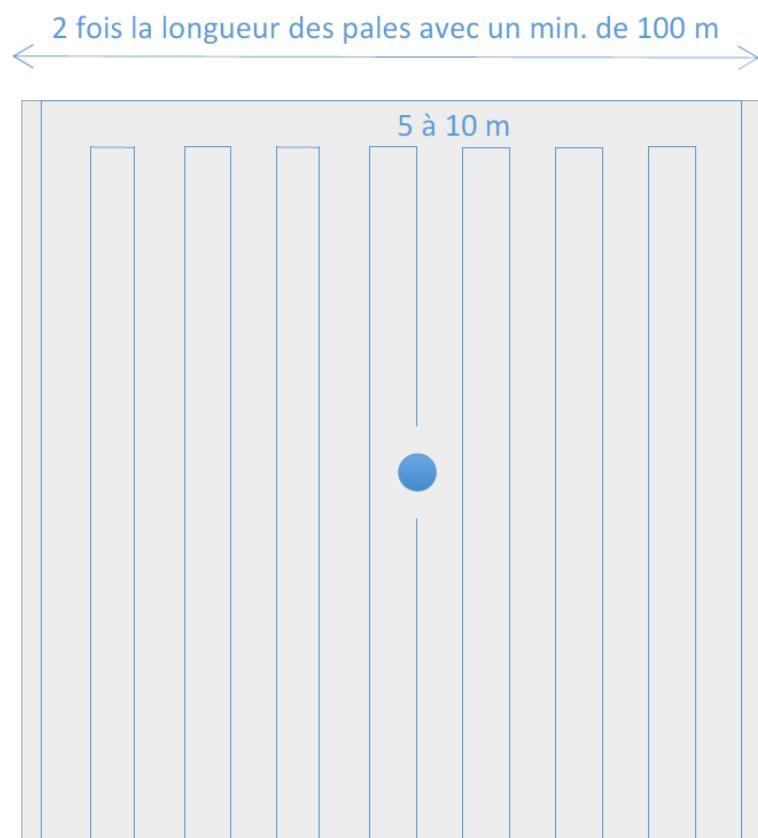


Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne

Au cours de chaque prospection du suivi mortalité une fiche de données est complétée par le chercheur (Annexe 1). De plus, à chaque découverte de cadavre, celui-ci est localisé par GPS, photographié et déterminé, puis, fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (Annexe 3). Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées.

### 2.3.1 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.

### 2.3.2 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.***

#### 2.3.2.1 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 :

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

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

### 2.3.2.2 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 (souris)	Gros (poussins)	Total
Test 1	19 avril 2022	21	10	10
Test 2	11 juillet 2022	24	12	36
<b>Total</b>		45	22	46

Tableau 7 : Paramètres des tests de d'efficacité effectués sur l'année de suivi

### 2.3.2.3 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, j+16 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 de Huso**, qui sont détaillés dans la partie traitant des méthodes d'estimation de la mortalité (2.3.2.5.2 - Protocoles « Jones » et « Huso »).

#### 2.3.2.4 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

#### 2.3.2.5 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 de 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](http://www.cefe.cnrs.fr)). Ce logiciel permet de calculer la mortalité estimée selon les formules d'Huso, d'Erickson, de Winkelmann 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 Winkelmann 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, Körner-Nievergelt, Limpens, Bastos.

#### 2.3.2.5.1 Protocole « Erickson »

En 2000, Erickson intègre au calcul deux nouvelles variables : 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

#### 2.3.2.5.2 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 :

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

### 2.3.2.6 Postulat de chaque méthode d'estimation

Méthodes	Aire d'étude	Intervalle entre deux recherches	Persistante	Efficacité
<b>Erickson (2000)</b>	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédatation 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
<b>Jones (2009)</b>	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédatation 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
<b>Huso (2010)</b>	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 prédatation 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 8 : Postulats de chaque méthode d'estimation

Il est à noter que la formule d'Erickson (2000) tend à sous-estimer la mortalité réelle, notamment lorsque la durée de persistance des cadavres est importante.

## 2.4 Calendrier des inventaires

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)	1	28 mars 2022	20h45 – 00h30	Couvert	13 °C	Faible	Virgile SCHÖN Emilien JOMAT Thomas GIRARD	
Inventaires en phase de mise bas et d'élevage des jeunes		2	03 mai 2022	21h45 – 00h45	Ciel dégagé	10 °C	Faible		
			01 juin 2022	22h15 – 01h30	Peu nuageux	17 °C	Très faible		
Inventaires en phase de swarming et de transits automnaux		2	04 août 2022	22h00 – 00h30	Ciel dégagé	16 °C	Modéré		
			15 septembre 2022	20h30 – 23h40	Peu nuageux	15 °C	Modéré		
Enregistrements automatiques en nacelle (BATmode S2+)	245 nuits	Du 10 mars au 09 novembre 2022	D'une heure avant le coucher à une après le lever du soleil	-	-	-	-		

Tableau 9 : Dates et conditions météorologiques des inventaires du milieu naturel

## 2.5 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées

### 2.5.1 Limites des méthodes employées

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

#### 2.5.1.1 Limites des méthodes employées pour le suivi des chiroptères

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

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

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

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

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

#### 2.5.1.2 Limites des méthodes employées pour le suivi de la mortalité

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

- La capacité de détection est variable en fonction du chercheur. Ce biais est corrigé par l'utilisation d'un ou plusieurs tests d'efficacité et la prise en compte du taux d'efficacité dans les calculs d'estimation. Toutefois, la variabilité de l'efficacité peut être liée à de multiples facteurs (luminosité extérieure, fatigue du chercheur, type de végétation sur la surface prospectée, etc.). Il est donc complexe de corriger ce biais avec précision.

- La durée de persistance des cadavres est estimée par la réalisation d'un ou plusieurs tests de persistance et la prise en compte du taux de persistance dans les calculs d'estimation. Toutefois, ce taux de persistance dépend de nombreux facteurs aléatoires et peut ainsi être variable temporellement et spatialement. De même, il est complexe de corriger ce biais avec précision.

- Les surfaces non-prospectées créent un biais d'échantillonnage qui est corrigé par le coefficient de correction surfacique, pris en compte dans les calculs d'estimation. Toutefois, cette correction repose sur l'hypothèse que les cadavres se répartissent de façon homogène sous l'éolienne, au sein de la surface prospectée.

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

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

## 2.5.2 Difficultés rencontrées

### 2.5.2.1 Suivi des chiroptères

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

Concernant le suivi 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 2022, 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.

### 2.5.2.2 Suivi de la mortalité

L'éolienne E3 n'a pas pu être prospectée lors de la sortie du 24 octobre, pour cause de travaux agricoles en cours sur les parcelles.





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

Les 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 2022

### 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 2022, **neuf espèces** de chauves-souris ont été recensées de manière certaine sur le site (tableau suivant).

**Ceci témoigne d'une diversité spécifique modérée.** Trois de ces espèces sont présentes durant chacune des phases inventoriées, ce qui atteste de leur occupation régulière du site.

Parmi les cortèges présents, ces espèces sont majoritairement inféodées aux structures verticales (haies, ripisylves, lisières, etc.), comme la Barbastelle d'Europe, les oreillard, les murins ou le Petit Rhinolophe. Les pipistrelles, espèces ubiquistes, sont souvent liées aux structures paysagères mais sont susceptibles de s'en détacher pour évoluer en hauteur.

On notera une baisse de la diversité enregistrée par rapport au suivi de 2021, où 11 espèces avaient été inventoriées. Les trois espèces absentes de cet inventaire 2022 sont le Murin de Daubenton, la Noctule de Leisler et la Sérotine commune. Ces deux dernières sont des espèces de haut-vol et migratrice pour la Noctule de Leisler. Une désertion des secteurs d'implantation est connue pour la Sérotine commune et pourrait être l'explication de son absence sur le parc de Broons où elle a été inventoriée lors de quatre sorties sur cinq en 2021.

<b>Nom vernaculaire</b>	<b>Nom scientifique</b>	<b>Présence selon les phases du cycle biologique</b>			
		Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	X	X		X
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>			X	
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	X			X
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>			X	X
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>			X	
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>				X
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	X			X
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	X	X	X
<i>Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce</i>					
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	X		X	X
Oreillard sp.	<i>Plecotus sp.</i>		X		
<b>Total des espèces</b>	<b>9 (11)</b>	<b>5 (6)</b>	<b>6 (7)</b>	<b>7 (8)</b>	
<i>Espèce présente durant les trois périodes du cycle biologique</i>					

Tableau 10 : Espèces de chiroptères inventoriées sur le site d'étude

### 3.2.1.2 Répartition quantitative des espèces de chiroptères

#### 3.2.1.2.1 Répartition sur le cycle complet

Sur l'ensemble du cycle étudié, l'espèce la plus contactée est la Pipistrelle commune avec une majorité des contacts enregistrés (73 %), suivie de la Pipistrelle de Kuhl (20 %). On trouve ensuite le groupe des murins sp. avec 3 % de l'activité et la Barbastelle d'Europe avec 2 %. Ces espèces sont régulièrement contactées en Pays de la Loire.

Le Petit Rhinolophe et les oreillardes représentent 1 % de l'activité, ce sont des espèces très inféodées aux haies.

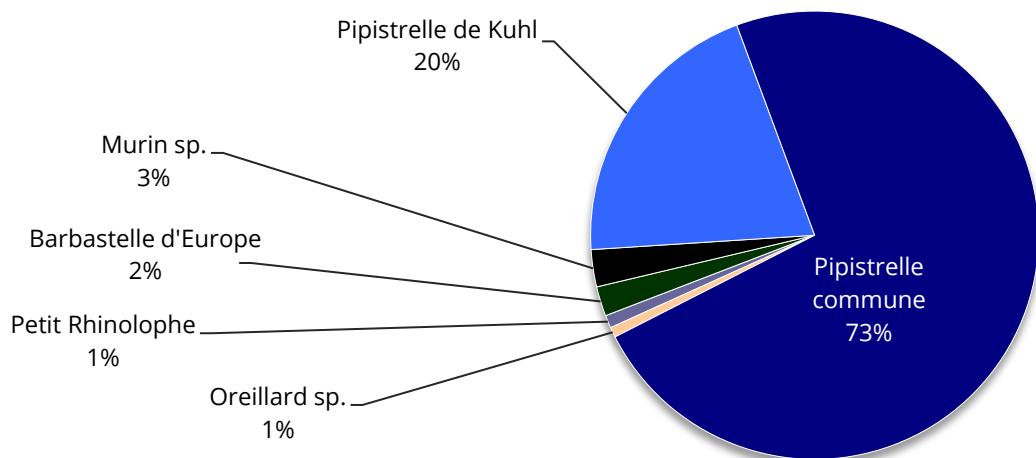


Figure 13 : Répartition de l'activité par espèce sur l'ensemble de la période d'étude

#### 3.2.1.2.2 Occurrences spatiales et temporelles

Afin de mieux appréhender l'utilisation du parc éolien par les chiroptères locaux, deux indices d'occurrence sont calculés : l'indice d'occurrence spatiale et l'indice d'occurrence temporelle. 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 points ou de sorties (plus elle est présente partout sur le parc et/ou sur l'ensemble de la saison).

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

Nom de l'espèce	Indice de temporalité	Indice de spatialité
Pipistrelle commune	1	0,9
Pipistrelle de Kuhl	1	0,9
Barbastelle d'Europe	0,6	0,5
Murin de Natterer	0,4	0,3
Petit Rhinolophe	0,4	0,2
Murin à moustaches	0,4	0,1
Oreillard gris	0,2	0,2
Grand Murin	0,2	0,1
Oreillard roux	0,2	0,1

Tableau 29 : Indices de répartition spatiale et de répartition temporelle des espèces de chiroptères inventoriées

Les indices d'occurrence spatiale et d'occurrence temporelle indiquent que la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl sont contactées sur l'ensemble des sorties et sur la plupart des points (0,9). Vient ensuite la Barbastelle d'Europe présente plus de la moitié du temps et sur la moitié des points.

Le Murin de Natterer, le Petit Rhinolophe et le Murin à moustaches sont présents régulièrement sur le site (0,4) mais sur des secteurs restreints du parc.

### 3.2.1.3 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 des chiroptères.

Point	Habitat	Type de milieu	Transits printaniers et gestation		Mise-bas et élevage des jeunes		Transits automnaux et swarming		Cycle complet	
			Diversité spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)	Diversité spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)	Diversité spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)	Diversité spécifique	Indice d'activité (contacts/heure)
1	Plateforme	Ouvert	3	275	2	425	2	273	3	324
2	Lisière	Semi-ouvert	2	205	4	1 154	4	840	6	733
3	Plateforme	Ouvert	1	25	1	5	3	28	3	19
4	Lisière	Semi-ouvert	3	448	2	28	3	41	5	172
5	Plateforme	Ouvert	1	85	3	183	1	5	3	91
6	Lisière	Semi-ouvert	2	466	3	1 455	3	145	4	689
7	Plateforme	Ouvert	1	5	3	23	0	0	3	9
8	Haie	Semi-ouvert	2	996	2	1 235	2	200	3	810
9	Lisière	Semi-ouvert	2	3 094	2	900	2	123	3	1 372
10	Plateforme	Ouvert	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Diversité totale/activité moyenne</b>			<b>5</b>	<b>560</b>	<b>6</b>	<b>541</b>	<b>7</b>	<b>165</b>	<b>9</b>	<b>422</b>

Tableau 11 : Diversité spécifique et indice d'activité mesurés par point d'écoute ultrasonique

### 3.2.1.3.1 Répartition sur le cycle complet

À l'échelle du cyclé 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 la plus importante avec des valeurs allant de 172 contacts par heure (c/h) au point 4 (haie) à 1 372 c/h au point 9 (lisière de boisement), ce qui représente des valeurs très élevées. Ainsi, les points 2, 4, 6, 8 et 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.

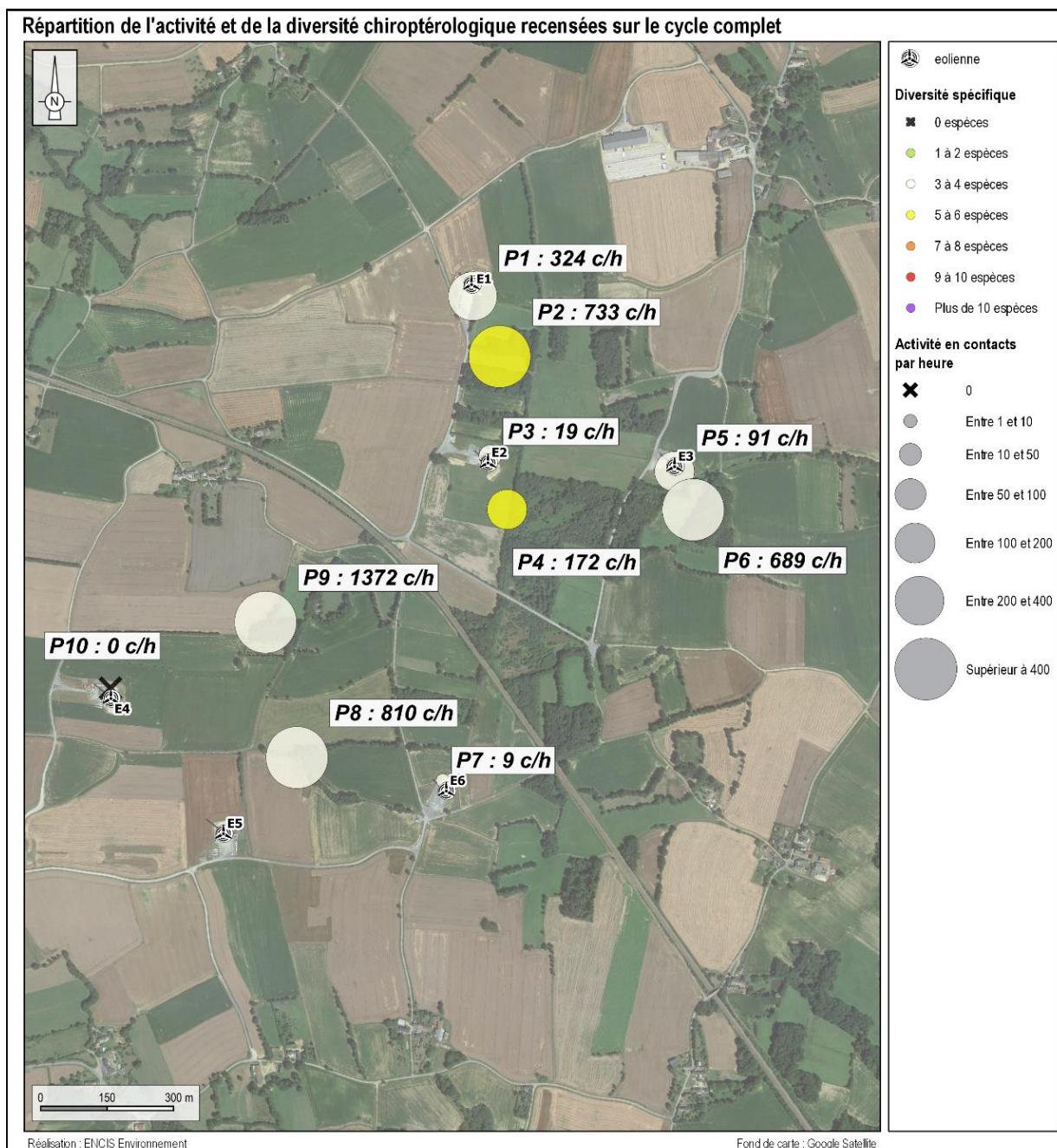
La diversité spécifique peut devenir intéressante sur les lisières et haies avec notamment six espèces au point 2 et cinq au point 4.

**Les plateformes et les cultures :** les points 3, 5, 7, et 10 présentent une activité plus faible, bien qu'allant de 0 c/h à 91 c/h. Le point 1 fait figure d'exception avec 392 c/h enregistrés, représentant une activité très forte pour une plateforme.

Les milieux ouverts sont moins fréquentés par les chiroptères par rapport aux lisières et haies, bien que l'activité enregistrée sur ceux-ci soient jusqu'à modérée à très forte pour certain. La diversité recensée sur ces milieux n'atteint pour autant que trois espèces.

Ces milieux, bien que moins attractifs pour les chauves-souris, car souvent pauvres en ressources alimentaires du fait d'une plus faible biodiversité (culture monospécifique) sont tout de même bien utilisés par les chiroptères locaux.

***Du point de vue spatial, l'activité et la diversité paraissent donc assez élevées sur l'ensemble du site de Broons. Nous noterons que l'activité et la diversité sont tout de même plus élevées sur les milieux semi-ouverts (lisières et haies), comparativement aux milieux ouverts (plateformes et cultures). Les milieux semi-ouverts concentrent donc à la fois plus d'activité et de diversité en chiroptères.***



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

### 3.2.1.4 Mode d'utilisation de la zone par les chiroptères

#### 3.2.1.4.1 Activité chiroptérologique par phase biologique

Sur le cycle complet, c'est une moyenne de **422 contacts/heure** qui a été calculée. Cela correspond à un niveau d'activité très fort, relativement cohérent avec le type de milieu présent au sein de la zone d'étude. Les structures paysagères préservées (haies, boisements, bosquets) jouent donc un rôle majeur dans l'attractivité des milieux en présence pour les chiroptères. On peut conclure que le site présente une activité chiroptérologique très forte et localisée sur des zones bien identifiées.

	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Activité moyenne (contacts/heure)	560	541	165	422
Niveau d'activité (contacts/heure)	Très fort	Très fort	Fort	Très fort

Tableau 12 : Activité moyenne lors des inventaires selon la phase biologique

En période printanière, l'activité mesurée est la plus forte avec **560 contacts/heure**. Durant cette période qui fait suite à l'hibernation, les individus doivent ingurgiter de nombreuses proies pour refaire leur stock de graisse et préparer la mise-bas. Les femelles sont particulièrement concernées pour pouvoir mener à bien leur gestation dans les meilleures conditions. L'activité de chasse y est souvent importante dans les habitats à valeurs trophiques notables. Ainsi, le site semble pouvoir présenter des habitats nécessaires à ce cycle de développement.

En période estivale, **541 contacts/heure** sont relevés, ce qui représente de nouveau une activité très forte pour cette saison. Cette période de nourrissage des jeunes par allaitement correspond à des besoins importants en nourriture pour les mères. De même, la grande disponibilité en proie et les conditions de vol favorables (chaleur et vents faibles) entraînent une augmentation de l'activité de chasse.

En période automnale, une activité de **165 contacts/heure** a été recensée, soit une forte activité. 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.

Néanmoins, l'activité peut grandement varier au sein du secteur étudié en fonction du type de milieu. Ainsi, afin de caractériser au mieux les enjeux chiroptérologique du site, une analyse plus fine est réalisée (cf. paragraphes suivants).

### 3.2.1.4.2 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 et les cultures sont en revanche bien moins utilisées.

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 cultures 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	Lisière et Haie	1042	954	270	742
1 - 3 - 5 - 7 - 10	Plateforme	78	127	61	89
<b>Activité pondérée moyenne</b>		<b>560</b>	<b>541</b>	<b>165</b>	<b>422</b>
<b>Niveau d'activité</b>		<b>Très fort</b>	<b>Très fort</b>	<b>Fort</b>	<b>Très fort</b>

Légende :

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

Tableau 13 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique

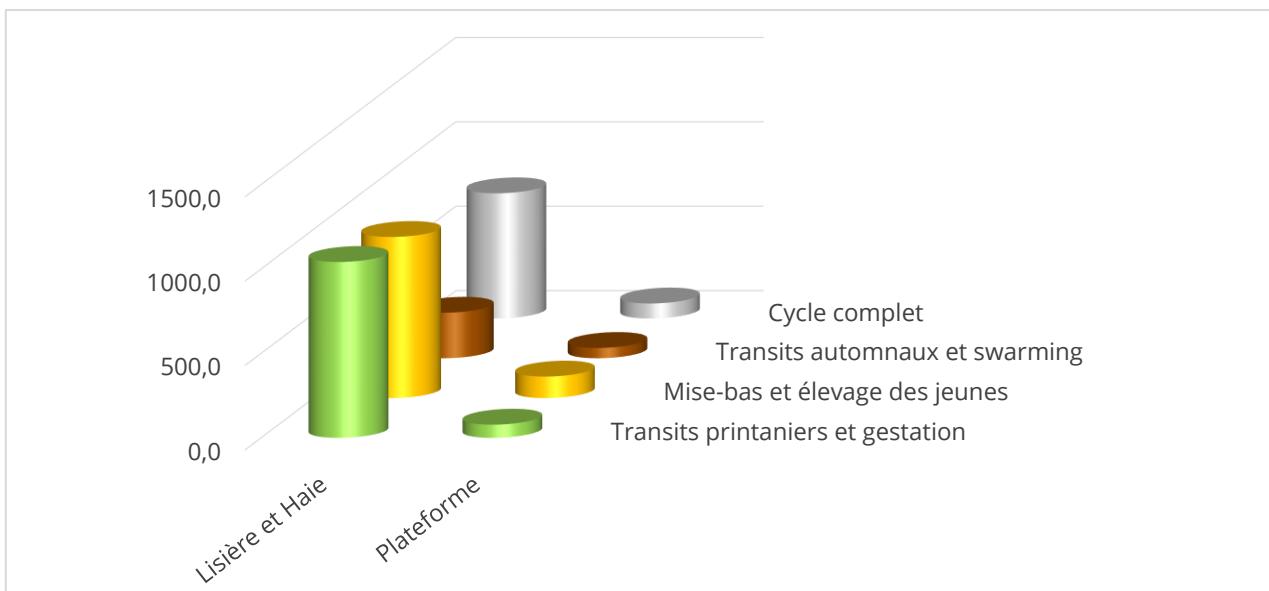


Figure 14 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique

### 3.2.1.4.3 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	90	96	92	93
Transit	7	3	6	5
Social	3	1	2	2

Tableau 14 : Répartition des contacts par type de comportement

Sur l'ensemble de la période étudiée, **les comportements de chasse prédominent largement avec une moyenne de 93 % des contacts**. 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 5 % des contacts.** Ce comportement est aussi bien enregistré au niveau des lisières ou haies présentes, qu'en milieu ouvert. On notera que ce comportement est plus présent au printemps et en automne, ce qui corrobore la bibliographie.

**Enfin, une part minime de comportement social a été enregistrée**, correspondant principalement à des individus de Pipistrelles commune et de Kuhl probablement en compétition alimentaire sur un même territoire.

### 3.2.2 Synthèse du suivi d'activité des chiroptères au sol

*Avec un total de neuf espèces, la diversité spécifique en chiroptères sur le site est modérée. L'activité est très forte avec 422 contacts/heure sur l'ensemble de la période d'étude. Elle est plus importante au printemps (560 contacts/heure) qu'en été (541 contacts/heure) et qu'en automne (165 contacts/heure).*

*Les deux espèces les plus souvent contactées sont la Pipistrelle commune (73 % des contacts), la Pipistrelle de Kuhl (20 %), auxquelles s'ajoutent le groupe des murins (3 %) et la Barbastelle d'Europe (2 %). Il est à noter la présence du Petit Rhinolophe et du Grand Murin, espèces inscrites aux annexes II et IV de la directive Habitats-Faune-Flore.*

*Lors de cette année d'inventaire 2022, aucune espèce de haut-vol n'a été inventoriée, contrairement à l'année 2021.*

*Concernant la distribution spatiale des résultats, l'activité est bien plus importante au niveau des boisements et haies bocagères. Les milieux ouverts de type culture et plateformes présentent des activités bien plus faibles voire nulles excepté au point 1. Pour la diversité, les mêmes tendances sont observées : jusqu'à six espèces différentes sur les haies contre trois maximum en cultures et plateformes.*

*L'activité de chasse reste dominante sur le site, avec 93 % des contacts. Le transit y est notable (5 %) et les cris sociaux sont plus rares (2 %).*

### 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, du 10 mars 2022 au 09 novembre 2022.

Le dispositif est donc resté installé durant 245 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).

**Le site comprend un dispositif BATmode sur la nacelle de l'éolienne E3. Une analyse du comportement des chiroptères est réalisée sur l'éolienne E3 et va permettre de recenser l'activité en hauteur du parc éolien sur la période étudiée.**

#### 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		95	131	226
Nyctalus	Noctule commune		7		7
	Noctule de Leisler	4	110	292	406
Pipistrellus	Pipistrelle commune	60	824	179	1 063
	Pipistrelle de Kuhl	20	404	114	538
	Pipistrelle de Nathusius	3	58	8	69
Plecotus	Oreillard gris	11			11
<i>Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce</i>					
Sérotine / Noctule sp.				2	2
Pipistrelle de Kuhl / Nathusius			21	3	24
<b>Total</b>	<b>7 espèces</b>	<b>98</b>	<b>1 519</b>	<b>729</b>	<b>2 346</b>

Tableau 15 : Répartition du nombre de contacts par espèce

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

En hauteur, on constate une cohérence avec la bibliographie disponible, au travers de la présence d'espèces dites de haut-vol ou de lisière généralistes (noctules, sérotines et pipistrelles) qui totalisent presque toute l'activité. On notera tout de même la présence très ponctuelle d'une espèce forestière, n'étant généralement pas présentes en altitude.

Ainsi, la Pipistrelle commune regroupe la majorité de contacts avec 45 % du total. La Pipistrelle de Kuhl, la Noctule de Leisler et la Sérotine commune suivent avec respectivement 23 %, 17 % et 10 % de l'activité en hauteur. La Pipistrelle de Natusius est également bien représentée avec 3 % des contacts. L'Oreillard gris et la Noctule commune sont présentes de manière anecdote sur ce site.

On notera donc la forte présence de pipistrelles, de noctules et particulièrement de la Noctule de Leisler, en comparaison des autres espèces. Les noctules sont des espèces sensibles à l'éolien car spécialisées dans le vol en hauteur, elles sont également migratrices.

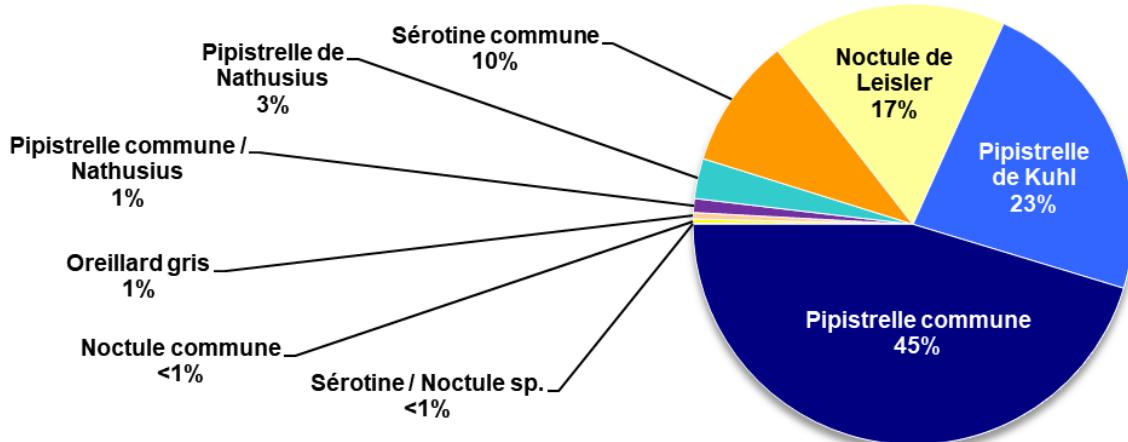


Figure 15 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

### 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
<b>Nombre de contacts</b>	98	1 510	736	2 346
<b>Nombre de nuits d'enregistrements</b>	83	75	86	244
<b>Pourcentage du nombre moyen de contacts par nuit</b>	4 %	64 %	31 %	100 %
<b>Moyenne du nombre de contacts par nuit</b>	2	20	9	10

Tableau 16 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques

On constate que la période de mise-bas et d'élevage des jeunes est la phase avec le plus d'activité, loin devant les autres. Elle concentre 64 % des contacts par nuit. Vient ensuite la période des transits automnaux et swarming qui représente une part d'activité non négligeable avec 31 % des contacts suivie, enfin, de la phase des transits printaniers et gestation (4 % des contacts).

**L'activité chiroptérologique est donc jugée comme modéré à hauteur de nacelle.**

#### 3.2.3.1.1 Résultats obtenus en fonction du mois d'inventaire

En comparant les mois entre eux, on note **une forte prédominance du groupe des pipistrelles et notamment de la Pipistrelle commune d'avril à juillet, et une prédominance de la Noctule de Leisler et de la Sérotine commune, d'août à octobre.**

Le mois de juin concentre 40 % des contacts enregistrés sur le site, soit près de 934 contacts sur ce mois. On notera une proportion notable de Pipistrelle de Nathusius, suggérant la présence d'une colonie de mise-bas à proximité.

C'est à partir d'août et jusqu'en octobre que l'activité des espèces de haut-vol est la plus intense avec une large proportion de Noctule de Leisler, potentiellement en migration. Enfin, les mois d'avril et mai affichent respectivement 2 % des contacts.

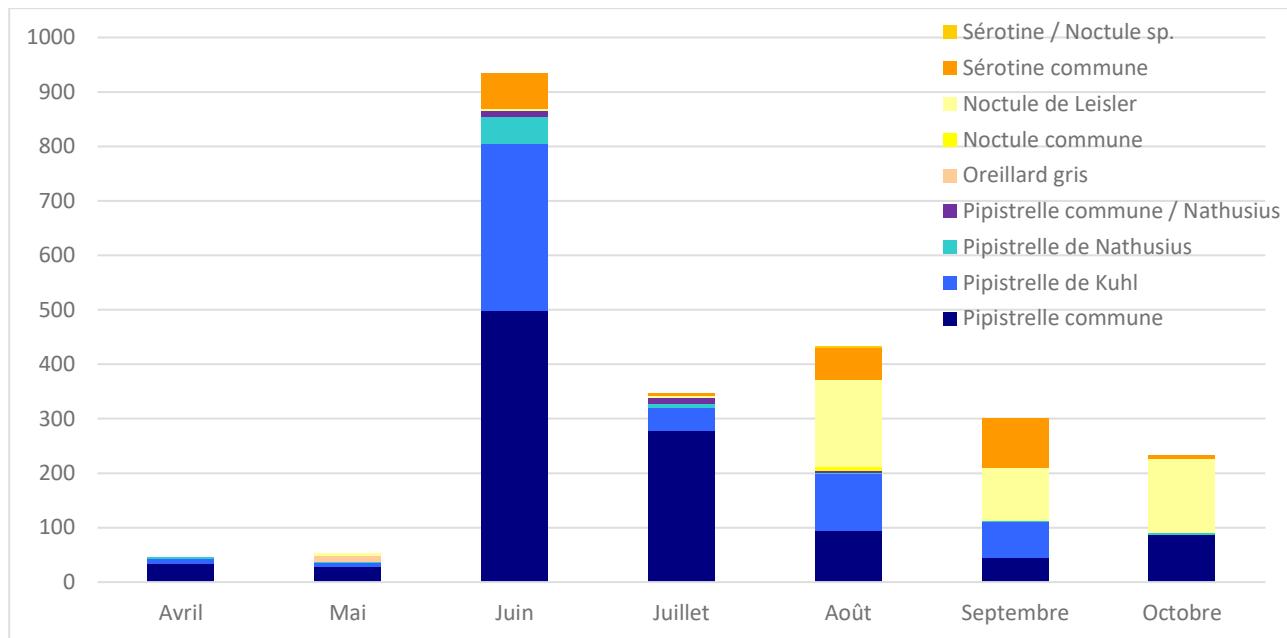


Figure 14 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.
<b>Nombre de contacts</b>	0	46	52	934	347	432	301	234	0
<b>Nombre de nuits d'enregistrements</b>	21	30	31	30	31	31	30	31	9
<b>Pourcentage du nombre de contacts par nuit</b>	0 %	2 %	2 %	40 %	15 %	18 %	13 %	10 %	0 %
<b>Moyenne du nombre de contacts par nuit</b>	0	2	2	31	11	14	10	8	0

Tableau 17 : 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 352 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 et d'activité de chasse peuvent être formulée sur ce site.

Pour rappel, le dispositif fut opérationnel à partir du 10 mars 2022, et l'arrêt des écoutes dans le cadre des analyses suivantes a été fixé au 09 novembre 2022. Les premiers contacts de chauves-souris ont été recensés le 11 avril 2022.

Plusieurs nuits ont donc enregistré un nombre de contacts conséquent alors qu'à l'inverse de nombreuses nuits n'ont pas enregistré de chiroptères. En effet, alors que la plupart des nuits ne dépassent pas la centaine de contacts enregistrés, il y a eu 352 contacts le 5 juin. Quatre autres nuits

rencontrent un nombre de contacts plus fort que la moyenne, c'est notamment le cas les 11 et 17 juin, les 11 et 23 juillet ainsi que le 11 septembre, avec plus de 100 contacts.

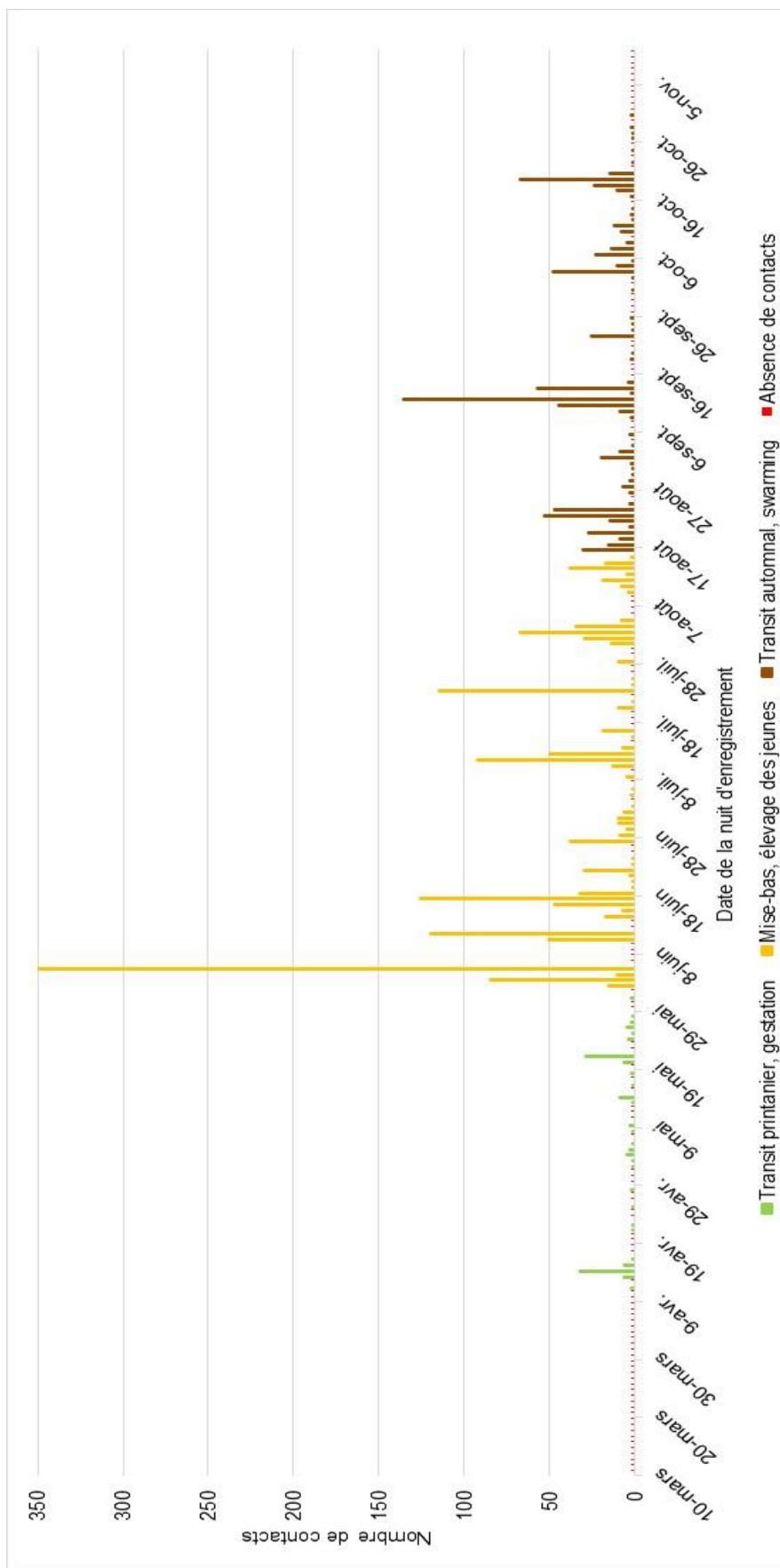


Figure 16 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire

### 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.

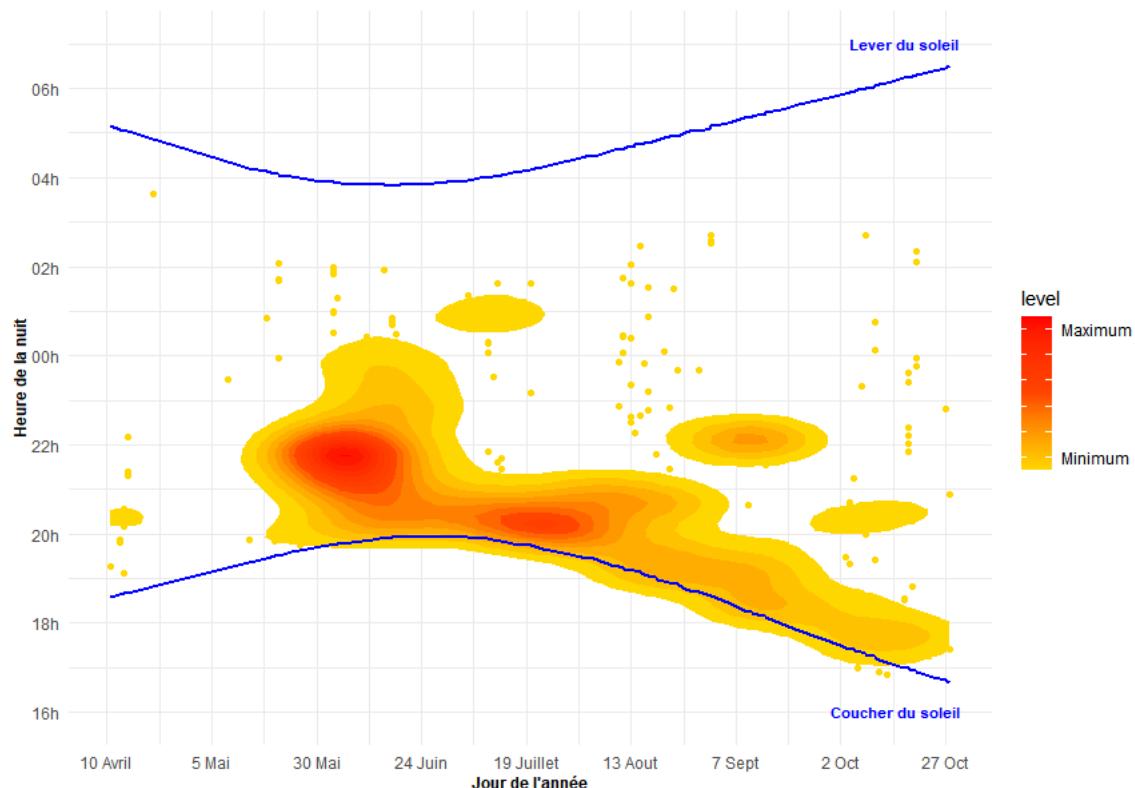


Figure 17 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

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

Sur la période analysée cette tendance est observée, hormis au printemps où l'activité a été plus faible. On constate des niveaux d'activité plus intenses en début de nuit (durant les 3 premières heures principalement). L'activité décroît par la suite, mais reste assez régulière durant une bonne partie de la nuit. En effet, sur toute la période étudiée, des contacts isolés sont enregistrés jusqu'à 2 h avant le lever du soleil, correspondant ici aux points jaunes épars.

### 3.2.3.2.2 Activité chiroptérologique en fonction de la température

La température semble jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre l'augmentation de la température et l'activité (Redell *et al.* 2006 ; Arnett *et al.* 2006, 2007 ; Baerwald and Barclay 2011, etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant indépendamment 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 and Brown 2007 ; Cryan *et al.* 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.* 2011) pourraient également influer 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.

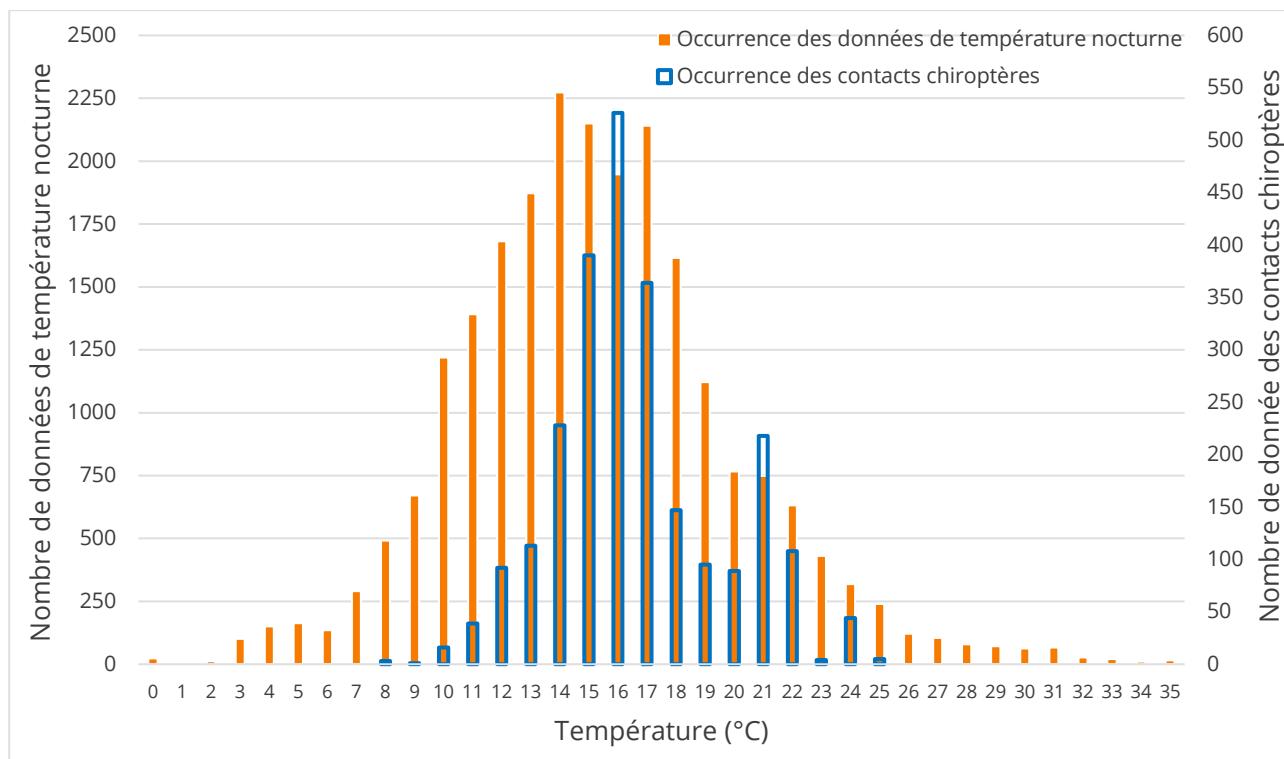


Figure 18 : Activité des chiroptères en fonction de la température

Les inventaires réalisés sur le site montrent que les chiroptères semblent concentrer leur activité entre 8 et 25 °C à hauteur de nacelle, en léger décalage avec les températures nocturnes « disponibles » qui se concentrent entre 3 et 31 °C. **L'activité semble démarrer réellement à partir de 11 °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 qu'un maximum d'activité est mesuré à partir de 11 °C et jusqu'à 25 °C de température.

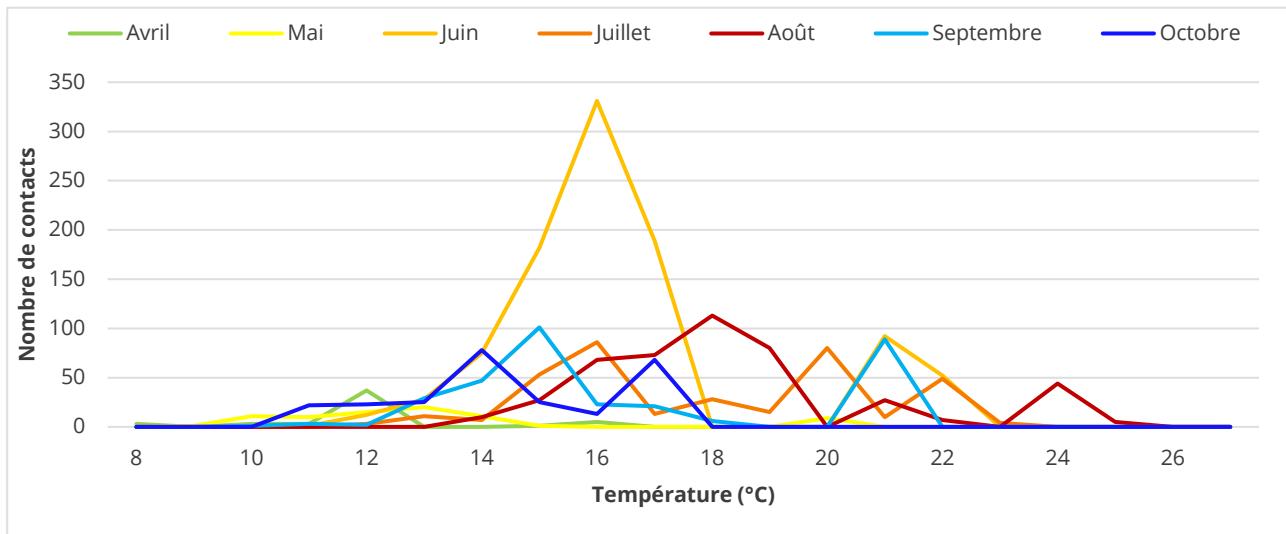


Figure 16 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température

### 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 ces vitesses de vent.

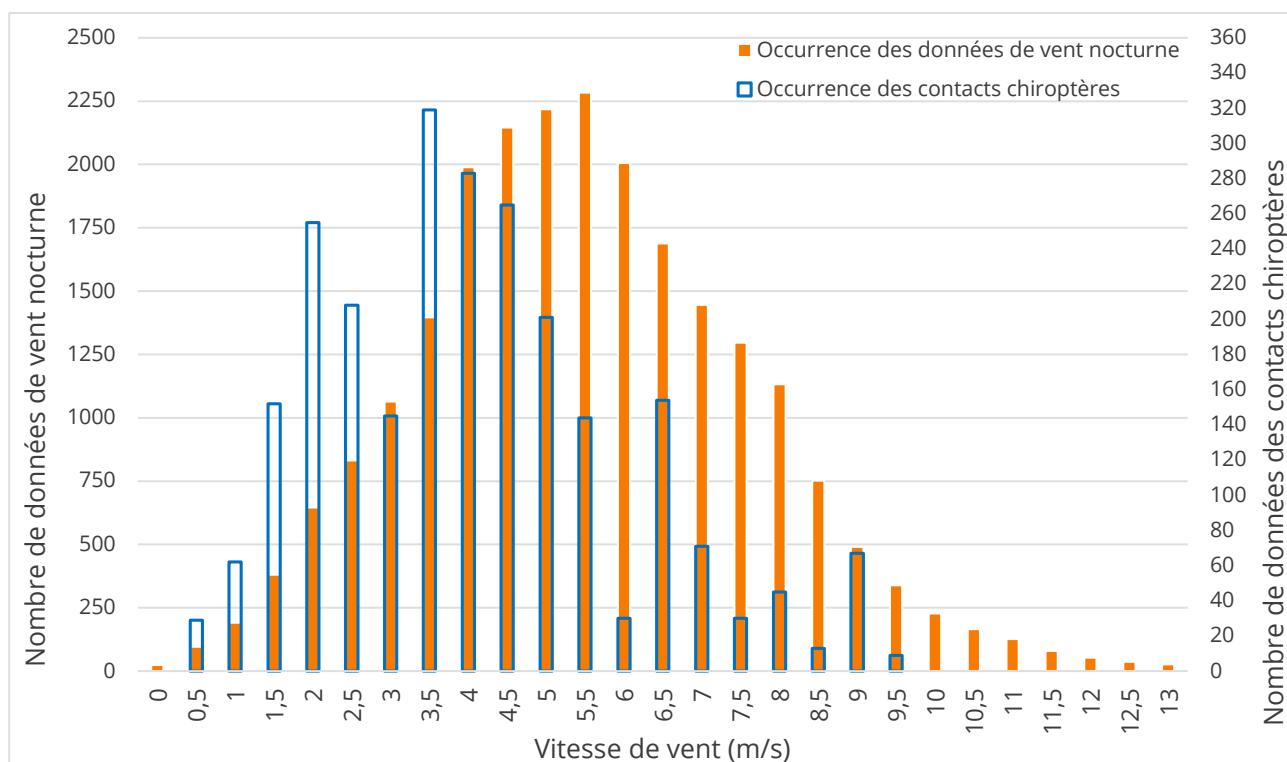


Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

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 nocturne.

L'activité chiroptérologique semble s'étaler entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 9,5 m/s à hauteur de nacelle. On notera un maximum d'activité entre 0,5 et 7 m/s avec un pic non négligeable à 9 m/s.

Résultats obtenus par analyse mensuelle

L'analyse mensuelle de l'activité des chiroptères expose les mêmes tendances que celles observées sur l'ensemble de la période étudiée, à savoir que l'activité semble s'étaler surtout entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 7 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, avec notamment deux pics d'activité à 8 m/s en juin et 9 m/s en octobre.

Ce dernier mois enregistre une activité plus importante à 9 m/s. Les espèces évoluant à ces vitesses de vent sont principalement la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune. Ces chiroptères n'hésitent effectivement pas à évoluer sous des vitesses de vents relativement fortes.

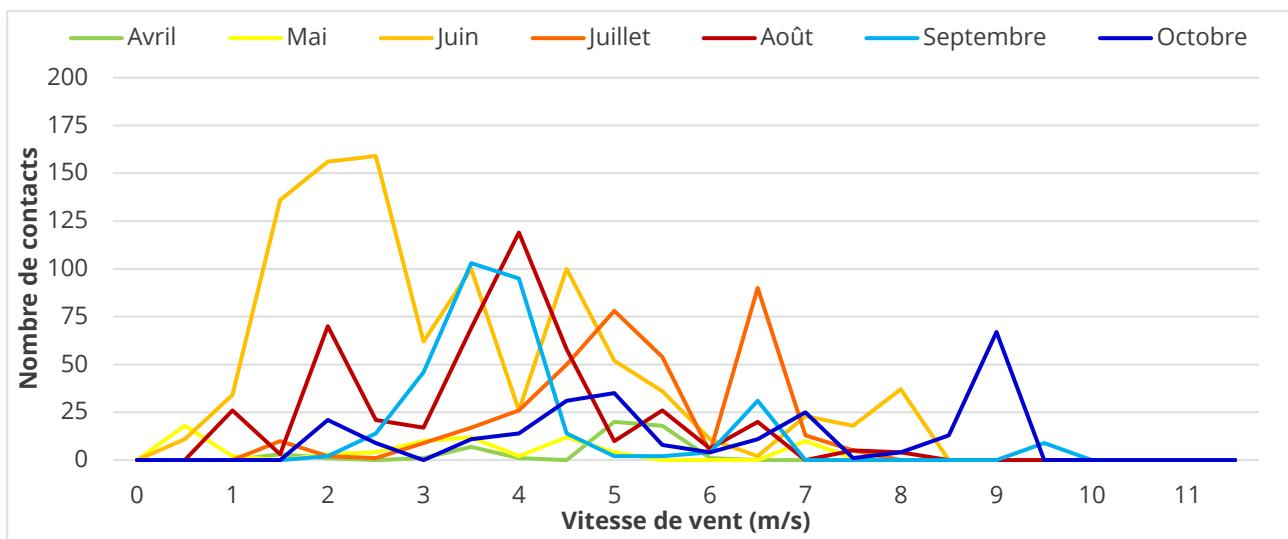


Figure 20 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent

### 3.2.3.2.1 Activité chiroptérologique en fonction de la précipitation

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

Le graphique suivant présente parallèlement les occurrences des précipitations enregistrées par la nacelle et le nombre de contacts enregistrés.

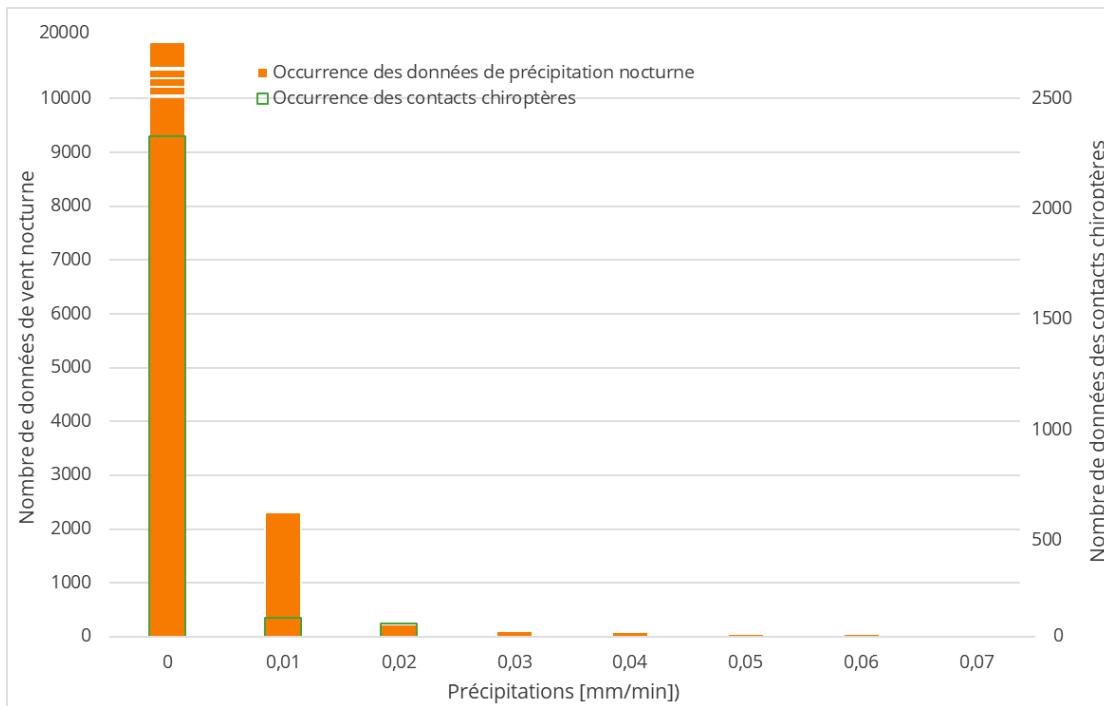


Figure 21 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction des précipitations

Globalement, lorsqu'on analyse ce graphique, on remarque que les chiroptères sont actifs principalement lorsqu'il n'y a pas de précipitation. Dès 0,01 mm de pluie par minute, l'activité chiroptérologique est très réduite et devient inexistant à partir 0,03 mm/min.

### 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 diversité spécifique est de sept espèces confirmées, avec la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, la Sérotine commune et l'Oreillard gris ;*
  - 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 et de Noctule de Leisler comparativement aux autres espèces présentes. On notera également la présence ponctuelle d'une espèce forestière (l'Oreillard gris) peu fréquente en altitude ;*
  - l'activité chiroptérologique est plus importante durant la mise-bas et l'élevage des jeunes ainsi que durant la phase des transits automnaux. Cette dernière période correspond à une phase de transits entre les gîtes estivaux et les gîtes hivernaux. Ainsi, des phénomènes migratoires sont plausibles ;*
  - l'activité chiroptérologique en hauteur atteint des niveaux d'activité plus intense en début de nuit (durant les 3 premières heures principalement). L'activité décroît par la suite, mais reste assez régulière tout au long de la nuit et même remonte légèrement avant le coucher et après le lever du soleil ;*
  - l'activité chiroptérologique en hauteur est marquée surtout à partir de 11 °C ;*
  - l'activité chiroptérologique en hauteur est principalement concentrée entre des vitesses de vent de 0,5 et 7 m/s. On note cependant deux pics d'activité non négligeable à 8 m/s en juin et 9 m/s en octobre.*
  - les chiroptères sont actifs principalement lorsqu'il n'y a pas de précipitation. Dès 0,01 mm de pluie par minute, l'activité chiroptérologique est très réduite et devient inexisteante à partir 0,03 mm/min.*
  - l'enjeu principal sur le site semble concerner les périodes de mise-bas et d'élevage des jeunes ainsi que de transits automnaux et swarming, traduisant potentiellement une activité de parturition pour certaines espèces (dont la Pipistrelle de Nathusius probable avec une activité marquée en juin) et un phénomène migratoire. Les proportions remarquables de Pipistrelle commune et de Noctule de Leisler présentent également un enjeu pour le maintien de ces espèces. Les noctules sont effectivement capables de migrer et d'évoluer en hauteur sous de plus fortes vitesses de vent. Les résultats présents montrent également que la Pipistrelle commune est également capable d'évoluer par des vents soutenus ;*
- De fait, un risque accru de collision ou de mortalité est présent pour la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune.*

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

#### 3.3.1 Diversité spécifique

14 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	Compléments d'inventaires : suivis d'activités des chiroptères au sol - 2016	Suivis d'activités des chiroptères au sol - 2021	Suivis d'activités des chiroptères au sol - 2022	Suivi d'activités des chiroptères en altitude - 2021
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>		X	X	X		
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>				X		
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>			X			
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>			X	X		
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>			X	X		
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>					X	X
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>			X		X	X
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>			X	X		X
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>			X	X		
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>		X	X	X		
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>		X			X	X
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	X	X	X	X	X
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	X		X			X
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce							
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	X	X	X	X		
Murin à oreilles échancrées / Alcathoe	<i>Myotis emarginatus / alcathoe</i>		X				
Oreillard sp.	<i>Plecotus sp.</i>		X	X	X		
Noctule / Sérotine sp.	<i>Nyctalus / Eptesicus</i>					X	X
Pipistrelle de Kuhl / Nathusius	<i>Pipistrellus kuhlii / nathusii</i>	X	X	X			X
<b>Total des espèces</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

Tableau 32 : 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 onze espèces identifiées par ENCIS Environnement en 2021 puis neuf en 2022.

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 étaillés 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 et 2022, ENCIS Environnement a réalisé deux protocoles de suivi de l'activité des chiroptères avec des écoutes au sol et en altitude. 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 et durant 245 nuit de mars à novembre 2022. 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, oreillardes, 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 diversité spécifique globale 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, ou le groupe des noctules avec la Noctule de Leisler.

### 3.3.2 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
	Culture	129
	Activité pondérée moyenne	253
2022 (ENCIS Environnement)***	Haies et Lisières	742
	Culture	89
	Activité pondérée moyenne	422
** Les résultats d'activité moyenne sont pondérés selon la méthode de M.Barataud vis-à-vis du coefficient de détectabilité des espèces.		

Tableau 18 : Activité 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.

On notera tout de même que lors de l'année 2016 cette tendance était inversée, avec une activité plus importante en culture. Pour autant, ces résultats sont à modérer, le rapport d'étude d'impact de P&T Technologies SAS ne mentionnant pas la pondération de l'activité selon la méthode de M.Barataud, utilisée en 2021 et 2022.

### 3.3.3 Cumul des deux années de suivi ICPE

Répartition par cortège :

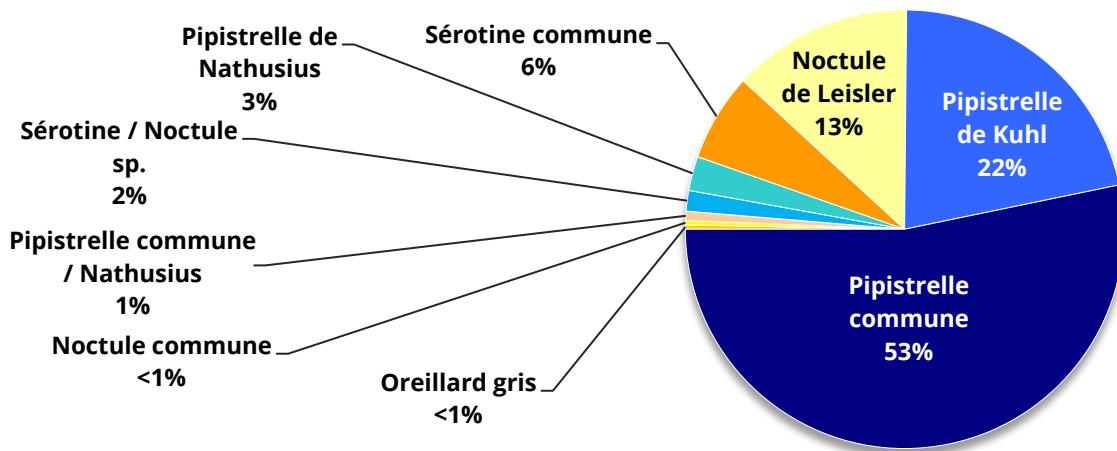


Figure 19 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les deux années d'étude

**En cumulant les deux années de suivi, le cortège qui domine est le genre Pipistrellus, suivi des genres Nyctalus et Eptesicus. On note bien que l'espèce la plus présente sur les deux années est la Pipistrelle commune.**

Activité par nuit :

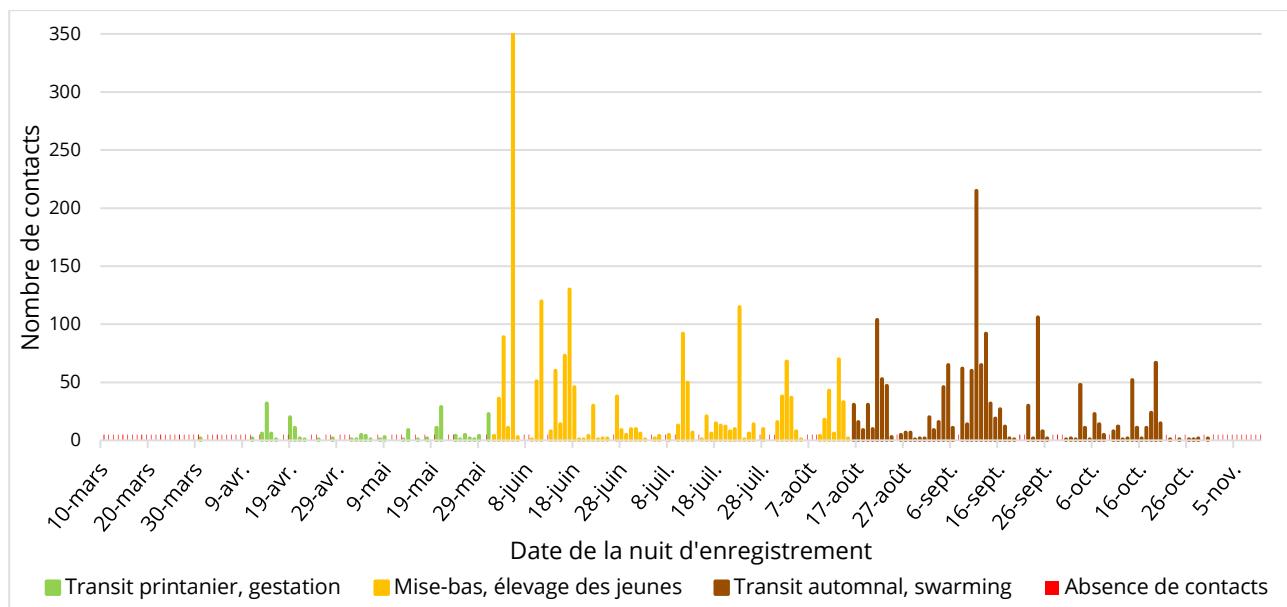


Figure 20 : Répartition du nombre de contacts par jours sur les deux périodes d'étude

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

Activité par mois :

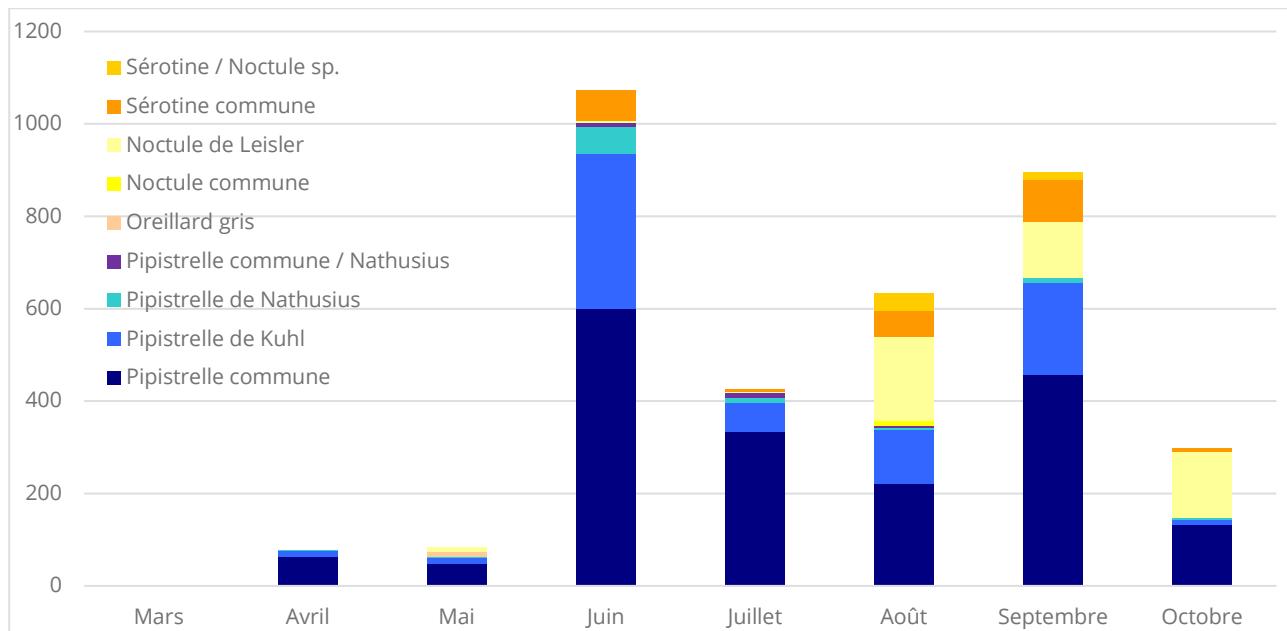


Figure 21 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les deux périodes d'études

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

## Activité circadienne :

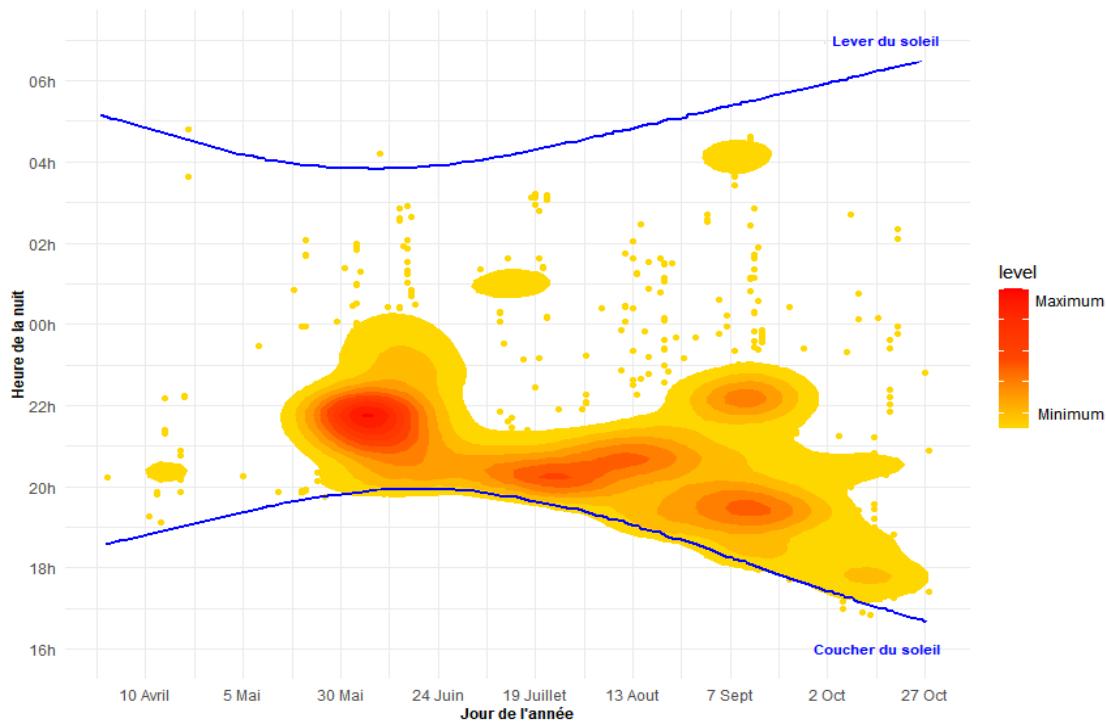


Figure 22 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

**En cumulant les deux années de suivi, l'activité est plus intense lors des 3 premières heures de la nuit. On notera un maximum d'activité entre mi-mai et fin octobre, comme précédemment démontré avec les graphiques précédents.**

**On observe également que sur cette période les chiroptères sont capables de voler sur l'ensemble des heures de la nuit.**

## Activité en fonction de la température :

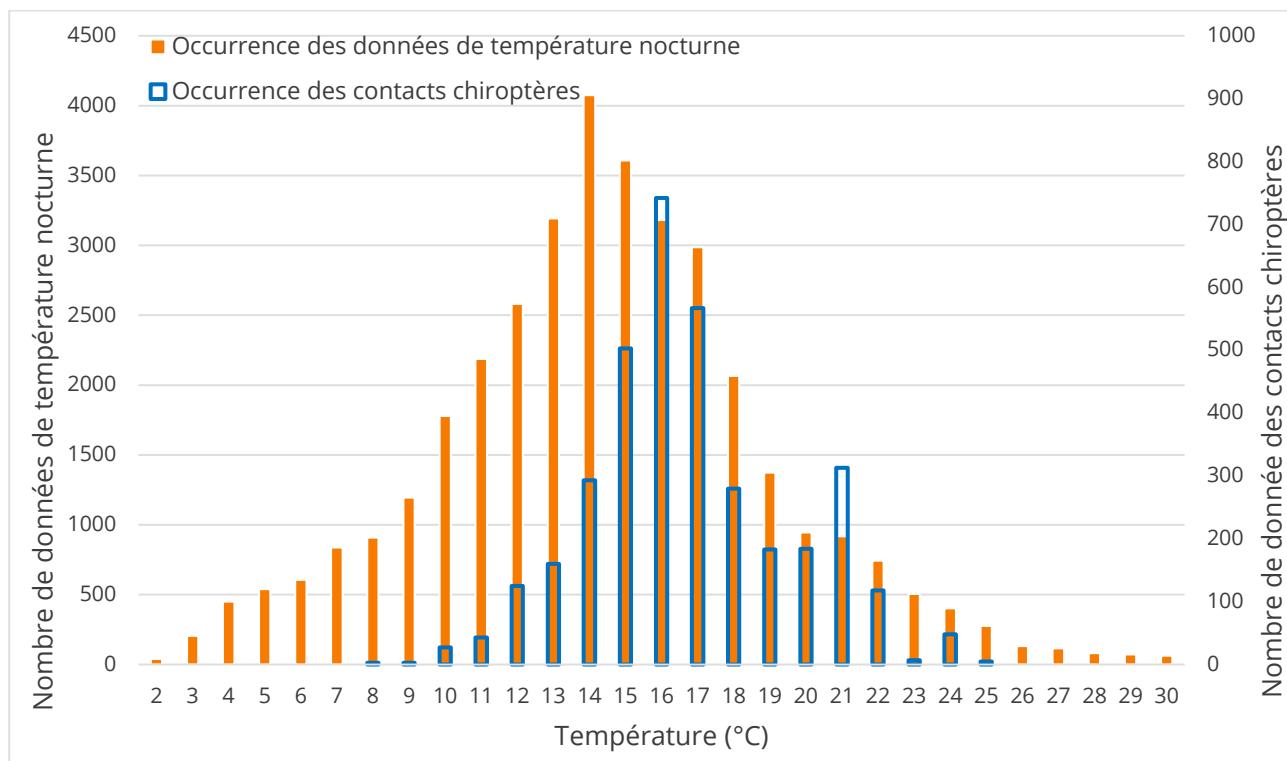


Figure 23 : Activité des chiroptères en fonction de la température

**Lors du cumul des deux années de suivi, on remarque que l'activité des chiroptères est comprise entre 8 °C et 25 °C, avec un maximum d'activité entre 12 et 22 °C.**

## Activité en fonction du vent :

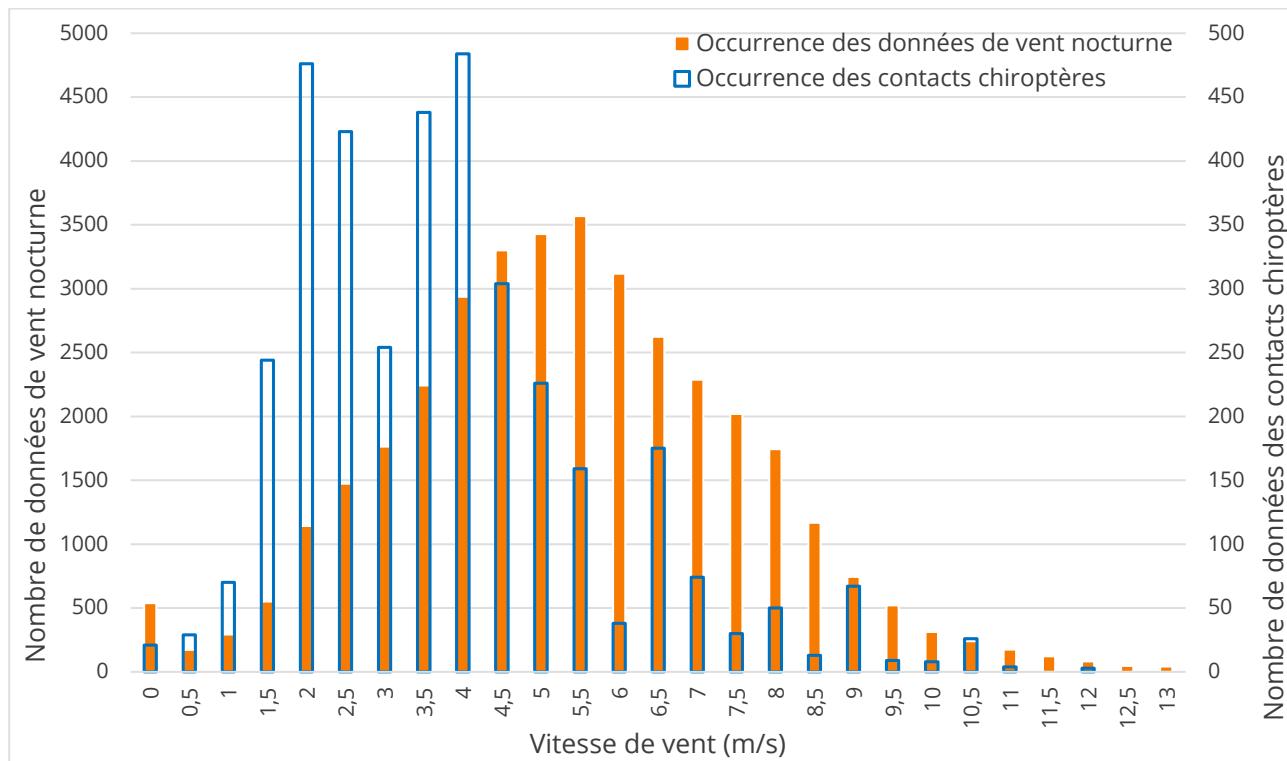


Figure 24 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

**L'essentiel de l'activité des chiroptères, au cumul des deux années de suivi, s'étale entre 0 m/s jusqu'à 7 m/s (94 % des contacts). Il ne faut cependant pas négliger les contacts au-delà de ce seuil cependant, notamment à 9 m/s.**

## Bilan des paramètres d'arrêts programmés :

À la suite de la première année de suivi, le bridage suivant a été adopté. Celui-ci permettait de couvrir 89,3 % de l'activité des chiroptères enregistrée sur l'année 2021.

Périodes	Mois	Contacts par mois	Pourcentage d'activité des chiroptères couvert par les critères suivants	Modalités d'arrêt proposées en 2021		Modalités de redémarrage
				Heures après le coucher du soleil	Vitesse du vent à hauteur de moyeu	
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	2	0,0%		
		Avril	32	96,9%	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s
		Mai	31	77,4%	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s
	Phase estivale	Juin	138	86,2%	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		JUILLET	79	86,1%	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Aout	202	94,6%	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
	Phase automnale	Septembre	595	88,7%	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Octobre	64	93,8%	Les 5 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Novembre	0	0 %		
<b>Total sur la période inventoriée (23 mars au 4 novembre 2021).</b>		<b>1 143</b>	<b>89,3%</b>			

Tableau 19 : Pourcentage d'activité des chiroptères 2021 couvert par les paramètres d'arrêts programmés

Durant la seconde année de suivi 2022, le plan de programmation d'arrêt des éoliennes 2021 a été mis en place. Lorsque l'on corrèle l'activité chiroptérologique recensées en 2022 avec ce plan de bridage, nous observons que près de 75 % de l'activité a été couverte par cette mesure.

Périodes	Mois	Contacts par mois	Pourcentage d'activité des chiroptères couvert par les critères suivants	Modalités d'arrêt proposées en 2021		Modalités de redémarrage
				Heures après le coucher du soleil	Vitesse du vent à hauteur de moyeu	
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	0	0,0%		
		Avril	46	15,2%	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s
		Mai	52	42,3%	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s
	Phase estivale	Juin	934	88,4%	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		JUILLET	347	52,7%	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Aout	432	87,5%	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
	Phase automnale	Septembre	301	88,7%	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Octobre	234	28,2%	Les 5 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Novembre	0	0 %		
<b>Total sur la période inventoriée (10 mars au 09 novembre 2022).</b>		<b>2 346</b>	<b>74,6 %</b>			

Tableau 20 : Pourcentage d'activité des chiroptères (2022) couvert par les paramètres d'arrêts programmés

Enfin, lorsque l'on cumule l'ensemble de l'activité des années 2021 et 2022, c'est 77,4 % de l'activité qui est couverte par la mesure adoptée en 2021 pour l'année 2022.

Périodes	Mois	Contacts par mois	Pourcentage d'activité des chiroptères couvert par les critères suivants	Modalités d'arrêt proposées en 2021		Modalités de redémarrage
				Heures après le coucher du soleil	Vitesse du vent à hauteur de moyeu	
Cycle actif des chiroptères	Phase printanière	Mars	2	0,0%		
		Avril	84	45,2%	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s
		Mai	109	42,2%	Les 4 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 4,5 m/s
	Phase estivale	Juin	1 101	86,3%	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Juillet	438	58,7%	Les 8 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Aout	656	89,0%	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
	Phase automnale	Septembre	917	87,6%	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Octobre	318	39,6%	Les 5 h après le coucher du soleil	Vitesse de vent inférieur à 5 m/s
		Novembre	0	0 %		
<b>Total sur la période inventoriée (2021-2022)</b>		<b>3 625</b>	<b>77,4 %</b>			

Tableau 21 : Pourcentage d'activité des chiroptères (2021-2022) couvert par les paramètres d'arrêts programmés

### 3.4 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 2022. Au vu de la concordance des résultats de l'étude d'impact, du suivi post-implantation 2021 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).*

*À noter, qu'en 2021 la Sérotine commune a été absente des inventaires, contrairement à 2022 où elle représente 6 % de l'activité à hauteur de nacelle.*

*L'année 2022 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). 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 2022.*

*Afin de pouvoir conclure avec des résultats fiables, une troisième année d'écoute sur nacelle d'éolienne est programmée en 2023.*

*Si l'on se concentre sur le cumul des deux années de suivi en nacelle, on note une augmentation de l'activité de plus du double, avec 2 346 contacts lors de l'année 2 contre 1 143 en année 1. 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.).*

*On retiendra que le site est bien utilisé par les espèces du genre *Pipistrellus*, *Nyctalus* et *Eptesicus*, très sensibles à l'éolien. Par ailleurs, l'activité des chiroptères est importante jusqu'à 7 m/s la nuit, et reste non négligeable jusqu'à 9 m/s, ce qui est une donnée importante pour les mesures de réduction en place.*

**En conclusion :** le site de Broons – Côtes-d'Armor (22) présente une activité chiroptérologique non négligeable, qui est plutôt concentrée en été et en automne. Le plan de bridage préventif adopté en 2021 en concertation avec l'exploitant reste nécessaire. Les résultats de 2022 ont permis de confirmer l'importance des modifications adoptées en 2021 par une mortalité enregistrée réduite de plus de la moitié. Pour autant, la mortalité enregistrée reste toujours notable, et la couverture de l'activité cumulée n'atteint que 77,4 %, c'est pourquoi un ajustement des paramètres d'arrêt préventif est proposé en Partie 5 du présent rapport.



## 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 :  $I = 6,67$  jours***

### 4.1.1 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	Laëtitia VIBERT	19 avril 2022	31	20
T2	Laëtitia VIBERT	11 juillet 2022	36	36
Total			67	56

Tableau 22 : Résultats des tests d'efficacité

***Le coefficient d'efficacité du chercheur est :  $d = 0,81$***

### 4.1.2 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+4	J+7	J+10	J+14
T1	Avril 2022	32	19	9	2	2	2
T2	Juillet 2022	36	25	11	3	3	0
Total		58	44	20	5	5	2

Tableau 23 : Résultats des tests de persistance

***La durée moyenne de persistance des cadavres est :  $t = 3,03$  j***

### 4.1.3 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). Celles-ci varient 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 m<sup>2</sup> par éolienne soit 60 000 m<sup>2</sup> par prospection pour l'ensemble du parc.

Sortie	Date	Surface prospectée / éolienne (m)							% surf prosp.
		1	2	3	4	5	6	Total	
1	31/03/2022	3 558	10 000	10 000	6 044	3 786	10 000	43 388	72,3
2	05/04/2022	3 558	10 000	10 000	6 044	3 786	10 000	43 388	72,3
3	12/04/2022	1 257	10 000	10 000	1 257	1 181	10 000	33 695	56,2
4	19/04/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
5	25/04/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
6	02/05/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
7	10/05/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
8	16/05/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
9	23/05/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
10	30/05/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
11	06/06/2022	1 257	1 246	10 000	1 257	1 181	10 000	24 941	41,6
12	13/06/2022	1 257	10 000	10 000	1 257	1 181	10 000	33 695	56,2
13	20/06/2022	1 257	10 000	10 000	1 257	1 181	10 000	33 695	56,2
14	27/06/2022	1 257	10 000	12 64	1 257	1 181	1 546	16 505	27,5
15	04/07/2022	1 257	10 000	12 64	1 257	1 181	1 546	16 505	27,5
16	11/07/2022	1 257	10 000	12 64	1 257	1 181	1 546	16 505	70,2
17	18/07/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
18	25/07/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
19	04/08/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
20	09/08/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
21	16/08/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
22	22/08/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
23	29/08/2022	9 285	10 000	12 64	10 000	10 000	1 546	42 095	70,2
24	05/09/2022	9 285	10 000	9 410	10 000	10 000	1 546	50 241	83,7
25	12/09/2022	9 285	10 000	9 411	10 000	10 000	1 546	50 242	83,7
26	19/09/2022	9 285	10 000	9 412	10 000	10 000	10 000	58 697	97,8
27	26/09/2022	9 285	10 000	9 412	10 000	10 000	10 000	58 697	97,8
28	03/10/2022	9 285	10 000	9 412	10 000	10 000	10 000	58 697	97,8
29	11/10/2022	9 285	10 000	9 412	10 000	10 000	10 000	58 697	97,8
30	18/10/2022	1 264	10 000	1 257	10 000	10 000	10 000	42 521	70,9
31	24/10/2022	1 264	1 246	1 257	10 000	10 000	10 001	33 768	56,3
<b>Moyenne sur l'ensemble du suivi</b>		<b>4 813</b>	<b>7 374</b>	<b>6 387</b>	<b>5 788</b>	<b>5 677</b>	<b>6 618</b>	<b>36 875</b>	<b>61,5</b>
<b>A</b>		2,08	1,36	1,57	1,73	1,76	1,51	0,27	1,6

Tableau 24 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés

**La proportion moyenne de surface prospectée sur l'ensemble du suivi est de 0,615 (61,5 %).**

**Le coefficient de correction surfacique moyen sur l'ensemble du parc et des prospections est de : A = 1,6.**

## 4.1 Mortalité de l'avifaune

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

#### 4.1.1.1 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 60 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 25 : 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.).

#### 4.1.1.1.1 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 migrants nocturnes,
- les conditions de brouillard ou de nuages bas et les vents forts de face.

#### 4.1.1.1.2 Sensibilité et vulnérabilité des espèces

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.

Afin de déterminer les enjeux induits par le risque éolien sur la conservation d'une espèce, un **indice de vulnérabilité** peut être calculé. Cet indice couple ainsi la sensibilité au risque de collision et le statut IUCN national. Cette méthode est synthétisée dans le tableau suivant, issue du « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » de novembre 2015.

IV. Enjeux de conservation	III. Sensibilité à l'éolien				
	0	1	2	3	4
Espèce non protégée	0,5				
DD, NA, NE = 1	0,5	1	1,5	2	2,5
LC = 2	1	1,5	2	2,5	3
NT = 3	1,5	2	2,5	3	3,5
VU = 4	2	2,5	3	3,5	4
CR-EN = 5	2,5	3	3,5	4	4,5

**DD** : Données insuffisantes, **NA** : Non applicable, espèce non soumise à l'évaluation car : introduite après l'année 1500 ; présente de manière occasionnelle ou marginale et non observée chaque année en métropole ; régulièrement présente en hivernage ou en passage mais ne remplit pas les critères d'une présence significative ; ou régulièrement présente en hivernage ou en passage mais pour laquelle le manque de données disponibles ne permet pas de confirmer que les critères d'une présence significative sont remplis, **NE** : Non évaluée : espèce n'ayant pas été confrontée aux critères de l'IUCN, **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

Figure 22 : Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015)

#### 4.1.1.1.3 Espèces les plus impactées

Les rapaces et migrants 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.

#### 4.1.1.2 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 Annexe 5), 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, 2022).

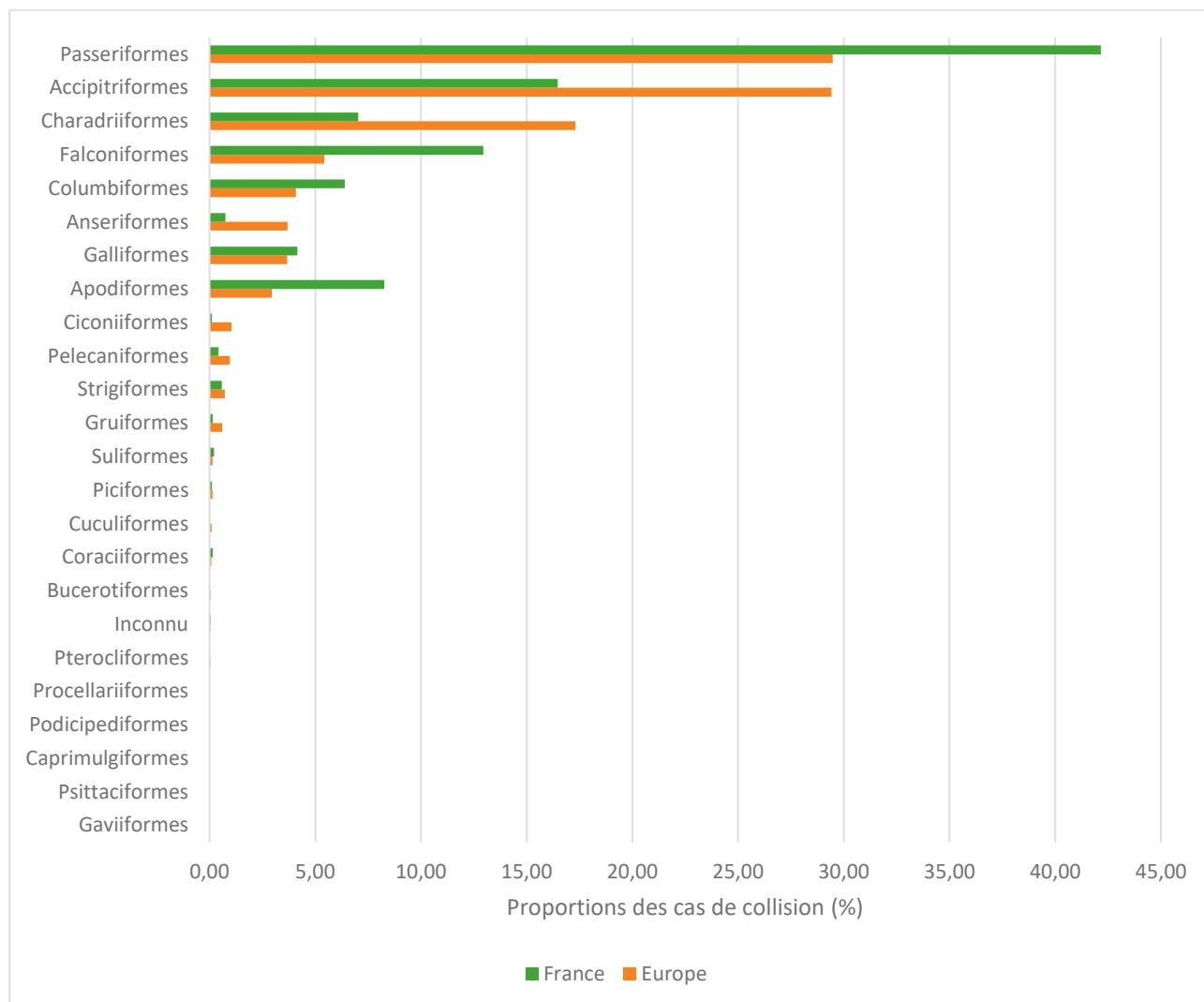


Figure 23 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2022)

#### 4.1.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'étude d'impact, réalisée en 2013 - 2014 par le bureau d'étude AEPE Gingko, a révélé la présence de 36 espèces lors de l'ensemble des périodes du cycle biologique des oiseaux dont 13 possèdent un enjeu (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
Épervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	0,5	Faible
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	0,5	Faible
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	0,5	Faible
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	0,5	Faible
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	0,5	Faible
Mésange nonnette	<i>Poecile palustris</i>	0,5	Faible
Tarier pâtre	<i>Saxicola rubicola</i>	0,5	Faible
Fauvette des jardins	<i>Sylvia borin</i>	0,5	Faible

Tableau 48 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision inventoriées durant l'étude d'impacts réalisée en 2013-14 sur le site de Broons (AEPE Gingko)

#### 4.1.3 Résultats globaux du suivi de l'avifaune en 2022

##### 4.1.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Broons, deux cadavres d'oiseaux appartenant à deux espèces ont été retrouvés (tableau suivant). Ces deux cadavres ont été découverts lors du protocole de suivi de la mortalité. La mortalité brute est de 0,33 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de fin mars à mi-octobre, soit 31 prospections, à raison d'une prospection par semaine. Cette mortalité brute est ainsi équivalente à 0,011 individu / éolienne / sortie.

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

Date	Espèce	Éolienne	Statut biologique	Sexe	Âge	Source
12/04/2022	Épervier d'Europe	E3	Nicheur	F	Immature 1ère année	Protocole de suivi
18/10/2022	Pouillot véloce	E3	Migrateur postnuptial	-	-	

Tableau 26 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité

**Avec deux cadavres d'oiseaux recensés, la mortalité brute observée sur le parc de Broons est de 0,33 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de fin mars à fin octobre.**

#### 4.1.3.2 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 CEFE Montpellier, <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp>). L'intervalle de confiance à 95 % est également mentionné.

<b>Méthodes</b>	<b>Mortalité estimée</b>				<b>Intervalle de confiance à 95 %</b> (mortalité globale)
	<b>Globale</b>	<b>/éolienne</b>	<b>/sortie</b>	<b>/éolienne/sortie</b>	
Erickson	<b>11,25</b>	1,88	0,36	0,06	2 - 41
Huso	<b>12,31</b>	2,05	0,40	0,07	2 - 50
Jones	<b>17,43</b>	4,57	0,56	0,15	2 - 172,30

Tableau 27 : 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 11,25 à 17,43 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 172,30 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 liées à la persistance des cadavres, qui reflète une forte prédatation sur le parc de Broons. En outre, la correction surfacique est assez élevée étant donné la grande surface de zones non prospectables autour des éoliennes, due notamment à la présence des cultures.

#### 4.1.3.3 Analyse par groupes taxonomiques

Les deux cadavres d'oiseaux trouvés appartiennent à l'ordre des Passériformes (un individu) et des Accipitriformes (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 sont effectivement les deux groupes les plus impactés en France et en Europe (cf. 6.2.1.2 : bilan national de la mortalité avifaune). Une comparaison entre ces résultats doit cependant être étudiée avec prudence étant donné le faible nombre de données issues du parc de Broons et donc de la faiblesse statistique qui en découle.

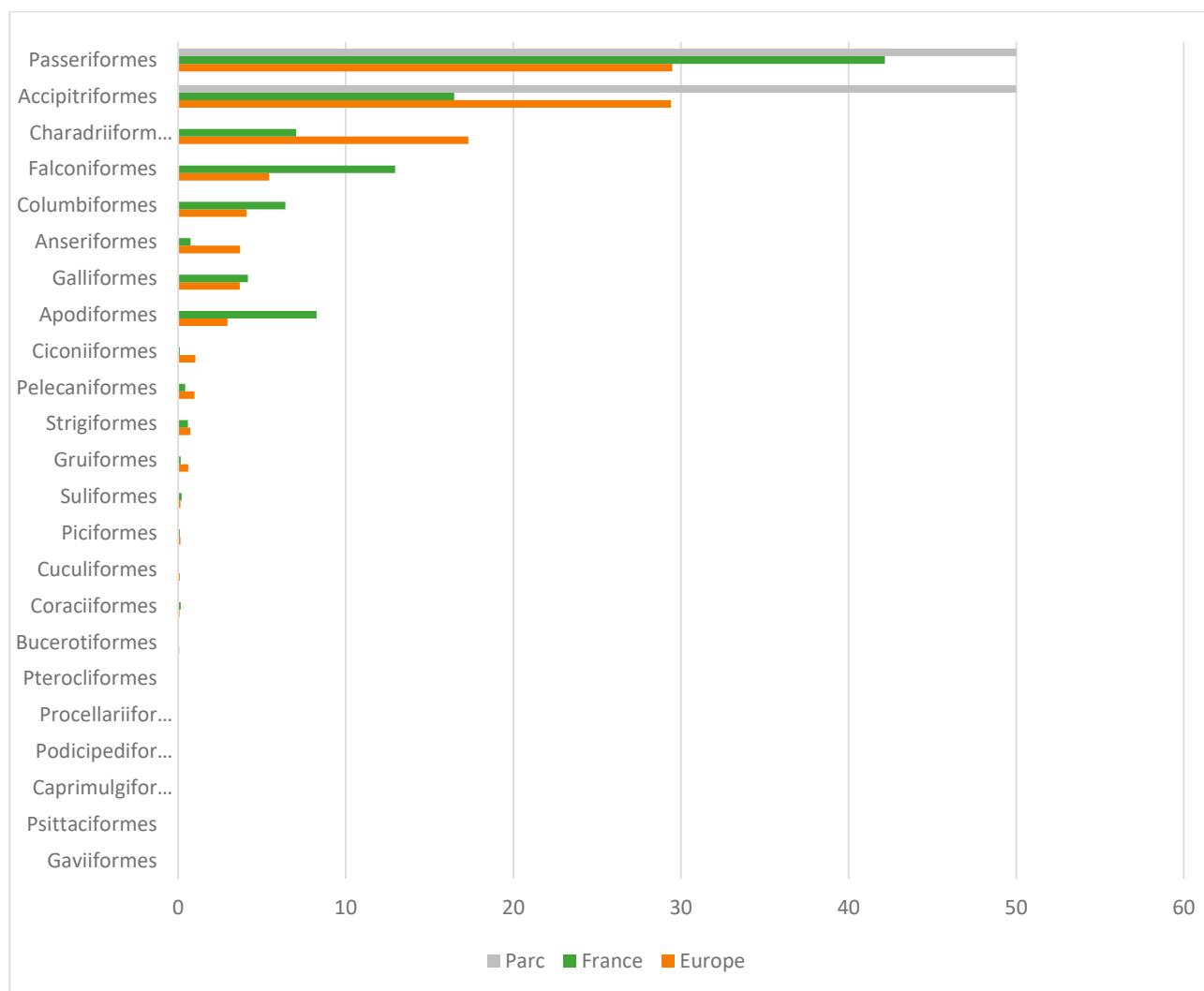


Figure 24 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes par ordre taxonomique, en France, en Europe et sur le parc de Broons

***Sur le parc de Broons, en 2022, les deux cadavres retrouvés appartiennent respectivement aux groupes des Passériformes et des Accipitriformes, soit les deux ordres les plus touchés par les cas de collision avec des éoliennes.***

## 4.1.4 Résultats saisonniers

### 4.1.4.1 Mortalité brute

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



Figure 25 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

Le cadavre retrouvé au mois d'avril correspond à un individu nicheur (Épervier d'Europe). Celui découvert au mois d'octobre est un individu migrateur postnuptial (Pouillot véloce). Par ailleurs, aucun cadavre n'a été retrouvé entre les mois de mai à septembre, période qui correspond généralement à la phase de reproduction.

Le faible nombre de données ne peut pas permettre de dégager une tendance claire entre ces périodes. De plus, étant donnés les potentiels prélèvements de cadavres entre les prospections, il n'est pas impossible que d'autres périodes aient aussi été mortifères lors du suivi.

### 4.1.4.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

## 4.1.5 Résultats spatialisés par éolienne

### 4.1.5.1 Mortalité brute

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

Le parc est implanté dans un milieu bocager/forestier, qui correspond aux habitats fréquentés par les espèces découvertes (Épervier d'Europe et Pouillot véloce). L'éolienne E3 fait partie des éoliennes les plus proches des zones boisées (avec les éoliennes E1 et E2). Les cas de mortalité observés au pied de cette éolienne peuvent être liés à cette proximité.



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

#### 4.1.5.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique claire expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

#### 4.1.6 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'éoliennes, 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 précisément comme étant à l'origine de la mortalité sur le parc de Broons.

Les cas de mortalité recensés, peu nombreux, semblent avoir pour origine l'occurrence ponctuelle de facteurs à risque (phénologie, comportement, conditions météorologiques, *etc.*).

L'implantation du parc dans un milieu bocager/forestier, qui correspond aux habitats fréquentés par les espèces découvertes (Épervier d'Europe et Pouillot véloce), pourrait être une des raisons expliquant les cas de mortalité observés sur le site.

Des suivis complémentaires seraient nécessaires pour surveiller l'évolution de la mortalité sur le parc de Broons.

***La mortalité sur le parc pourrait être liée à l'implantation du parc dans un milieu bocager/forestier, pouvant engendrer un risque accru sur l'avifaune, les milieux boisés étant généralement riches et densément peuplés en oiseaux. Toutefois, la mortalité estimée sur ce parc reste faible.***

## 4.1.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune

### 4.1.7.1 Patrimonialité, sensibilité et vulnérabilité des espèces

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation des espèces ayant été directement impactées par le parc de Broons, ainsi que leur sensibilité et leur vulnérabilité face au risque de collision avec les éoliennes.

Ordre	Espèce	Statut de protection		Statut de conservation national (IUCN)			Risque de collision		Effectifs
		Directive oiseaux	Oiseaux protégés (France)	Nicheur	Migrateur	Hivernant	Sensibilité	Vulnérabilité*	
Accipitriformes	Épervier d'Europe	-	Article 3 et 6	LC	NA	NA	2	2	1
Passériformes	Pouillot véloce	-	Article 3	LC	NA	NA	-	1	1

LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi-menacée / VU : Vulnérable / EN : En danger / CR : En danger critique / DD : Données insuffisantes / NA : Non applicable /   : éléments de patrimonialité. \*(de la phase biologique concernée)

Tableau 28 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observée

Le Pouillot véloce et l'Épervier d'Europe ayant fait l'objet de cas de mortalité sur le parc de Broons présentent un statut de conservation national « Préoccupation mineure ». En revanche, l'Épervier d'Europe possède un niveau de sensibilité et de vulnérabilité moyen face à l'éolien. Une certaine vigilance sera donc nécessaire quant à une potentielle récurrence des cas de mortalité pour cette espèce.

**Les deux espèces retrouvées sur le parc cette année présentent un statut de conservation « Préoccupation mineure » à l'échelle nationale en période de reproduction. Par ailleurs, l'Épervier d'Europe est sujet à une sensibilité (2) et une vulnérabilité (2) modérées face au risque de collision.**

### 4.1.7.2 Incidences sur les populations des espèces concernées

Parmi les espèces portant des enjeux élevés, ciblées lors de l'étude d'impact de 2014 (Bruant jaune), aucun cas de mortalité n'a été avéré. On notera un cas de mortalité pour l'Épervier d'Europe, une espèce présentant enjeu faible au moment de l'étude d'impact.

L'Épervier d'Europe est une espèce relativement commune bien que discrète. Dans le cadre du suivi de mortalité, un individu a été retrouvé sous l'éolienne E3. Il s'agit du premier cas de mortalité observé pour cette espèce sur le parc de Broons depuis le début du suivi. Étant donnés le statut de conservation peu préoccupant de l'Épervier d'Europe au niveau national (« Préoccupation mineure ») et la bonne santé de sa population régionale, l'enjeu que celui-ci représente est jugé faible.

*Parmi les espèces à enjeu, ciblées lors de l'étude d'impact, aucun cas de mortalité n'a été avéré. Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Broons ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce particulière. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité sur l'Épervier d'Europe durant les prochaines années de suivi.*

## 4.1.8 Comparaisons avec des données de 2021 avec celles de 2022

### 4.1.8.1 Comparaison des résultats globaux

#### 4.1.8.1.1 Mortalité brute

La comparaison de la mortalité sur le parc de Broons est basée sur les sorties effectuées en 2021 et 2022. Sur ce parc, un oiseau a été retrouvé en 2021 et deux en 2022 soit 3 individus au total (tableau suivant).

Les trois espèces impactées sur les deux années de suivi sont le Martinet noir, l'Épervier d'Europe et le Pouillot véloce. Chacune des trois a fait l'objet d'un unique cas de mortalité observé.

Espèce	Année	
	2021	2022
Martinet noir	1	0
Épervier d'Europe	0	1
Pouillot véloce	0	1

Tableau 29 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021 et 2022

**Le faible nombre de données récoltées sur les deux années suivies ne peut pas permettre de dégager une tendance nette concernant l'évolution de la mortalité brute sur ce parc.**

#### 4.1.8.1.2 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 et 2022, selon les différentes méthodes retenues.

Méthodes	Mortalité estimée	
	2021	2022
Erickson	<b>3,46</b> (0,48 - 24,26)	<b>11,25</b> (2 - 41)
Huso	<b>4,23</b> (0,59 - 29,77)	<b>12,31</b> (2- 50)
Jones	<b>4,77</b> (0,66 - 33,35)	<b>17,43</b> (2 - 172,3)

Entre parenthèses : intervalles de confiance à 95 %

Tableau 30 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2021 et 2022

**Résultats 2021 :** selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 3,46 à 4,77 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 0,48 et 33,35 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

**Résultats 2022 :** selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 11,25 à 17,43 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 172,3 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

**La mortalité estimée sur le parc éolien de Broons est plus élevée en 2022. Néanmoins, le nombre de données est insuffisant pour établir une comparaison précise entre les résultats de ces deux années de suivi.**

#### 4.1.8.2 Comparaison des résultats saisonniers

##### 4.1.8.2.1 Mortalité brute

En 2021, seule la phase biologique de reproduction a été concernée par un cas de mortalité. En 2022, un cas de mortalité a été recensé en période de reproduction et un autre en période de migration postnuptiale. La mortalité brute est similaire pour les reproducteurs en 2021 et 2022, et supérieure pour les migrants postnuptiaux en 2022.

Aucun suivi n'est effectué durant la période d'hivernage.

Le nombre de données n'est pas suffisant pour déterminer une tendance claire quant à l'évolution de la mortalité de l'avifaune selon les différentes périodes biologiques.

Année	Hivernage	Migration prénuptiale	Reproduction	Migration postnuptiale
2021	-	0	1	0
2022	-	0	1	1

Tableau 31 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la phase biologique en 2021 et 2022

##### 4.1.8.2.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

#### 4.1.8.1 Comparaison des résultats spatialisés

##### 4.1.8.1.1 Mortalité brute

Des cadavres d'oiseaux ont été retrouvés sous deux des six éoliennes entre 2021 et 2022 (tableau suivant). Un cadavre a été découvert sous l'éolienne E1 en 2021 et deux sous l'éolienne E3 en 2022.

Étant donné le faible nombre de données, il est difficile d'évaluer la répartition des cas de mortalité sur le parc. Avec les résultats obtenus lors des deux premières années de suivi, aucune éolienne ne semble particulièrement plus mortifère que les autres.

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

Tableau 32 : Mortalité brute par éolienne en 2021 et 2022

#### 4.1.8.1.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

#### 4.1.9 Synthèse

- *La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (mars à octobre 2022) est de deux individus (un Épervier d'Europe et un Pouillot véloce).*
- *Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 11,25 à 17,43 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 172,3, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).*
- *La mortalité de l'avifaune sur le parc de Broons pourrait être liée à la présence de milieux favorables à l'avifaune à proximité du parc (boisements et bocage).*
- *Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Broons ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce particulière.*
- *Toutefois, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité durant les prochaines années de suivi, notamment sur l'Épervier d'Europe.*
- *Le suivi 2023 sera nécessaire afin d'améliorer la précision des estimations de la mortalité réelle. Le suivi sur 3 ans, prévu par l'arrêté, sauf mortalité importante en 2023, est à priori suffisant.*

## 4.2 Mortalité des chiroptères

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

#### 4.2.1.1 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 conséquence des blessures létale ou sublétale (Grodsy *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.

#### 4.2.1.1.1 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 (Grodsy *et al.*, 2011) ;
- les **collisions sublétale** 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.

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

La majorité des auteurs s'accorde 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 ; Grodsy *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 inexiste 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 influer 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).

#### 4.2.1.1.3 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.

#### 4.2.1.1.4 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 défini 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 2022**						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					0,02	2*
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	Annexe II & IV	LC	NT	NT = 3		X					0,06	2*

Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3			X	6,83	3,5
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	LC	LC	VU = 4			X	14,67	4
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3			X	15,09	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	0,76	3
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2		X		0,05	1,5*
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1		X		0,41	1,5
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3			X	1,18	3
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2			X	3,12	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		0,1	2
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		0,06	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		0,04	1,5
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2			X	4,28	2,5
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3			X	23,32	3,5
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Annexe IV	LC	LC	LC = 2			X	4,13	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 escalerai</i>	NE	NE	/	VU = 4	X				0	2*
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Annexe IV	NT	DD	VU = 4		X			0,37	3*
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrobullaris</i>	Annexe IV	LC	NT	VU = 4	X				0	2
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Annexe IV	LC	LC	DD = 1			X		1,97	2
Murin des marais**	<i>Myotis dasycneme</i>	Annexe II & IV	NT	NT	EN=5		X			0,03	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 du 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 2022 (Europe) : informations reçues au 17/06/2022 ***Note calculée par ENCIS sur la base de la SFEPM 2015 avec la mise à jour de la mortalité de DURR : mise à jour le 05/09/2022											

Tableau 59 : Sensibilité et note de risque des chiroptères vis-à-vis des éoliennes

#### 4.2.1.2 Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères

3 106 cas de collision avec les éoliennes ont été recensés en France au 17 juin 2022 (Dürr, 2022). L'espèce la plus fortement impactée (environ 36 %) 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 7 à 10 % pour chaque espèce). Enfin, dans des proportions encore plus faibles, la Pipistrelle pygmée et la Noctule de Leisler (environ 6 %), la Noctule commune (environ 5 %), le Vespère de Savi (environ 2 %) et la Sérotine commune (environ 1 %) sont identifiés. Il est précisé qu'environ 14 % 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.

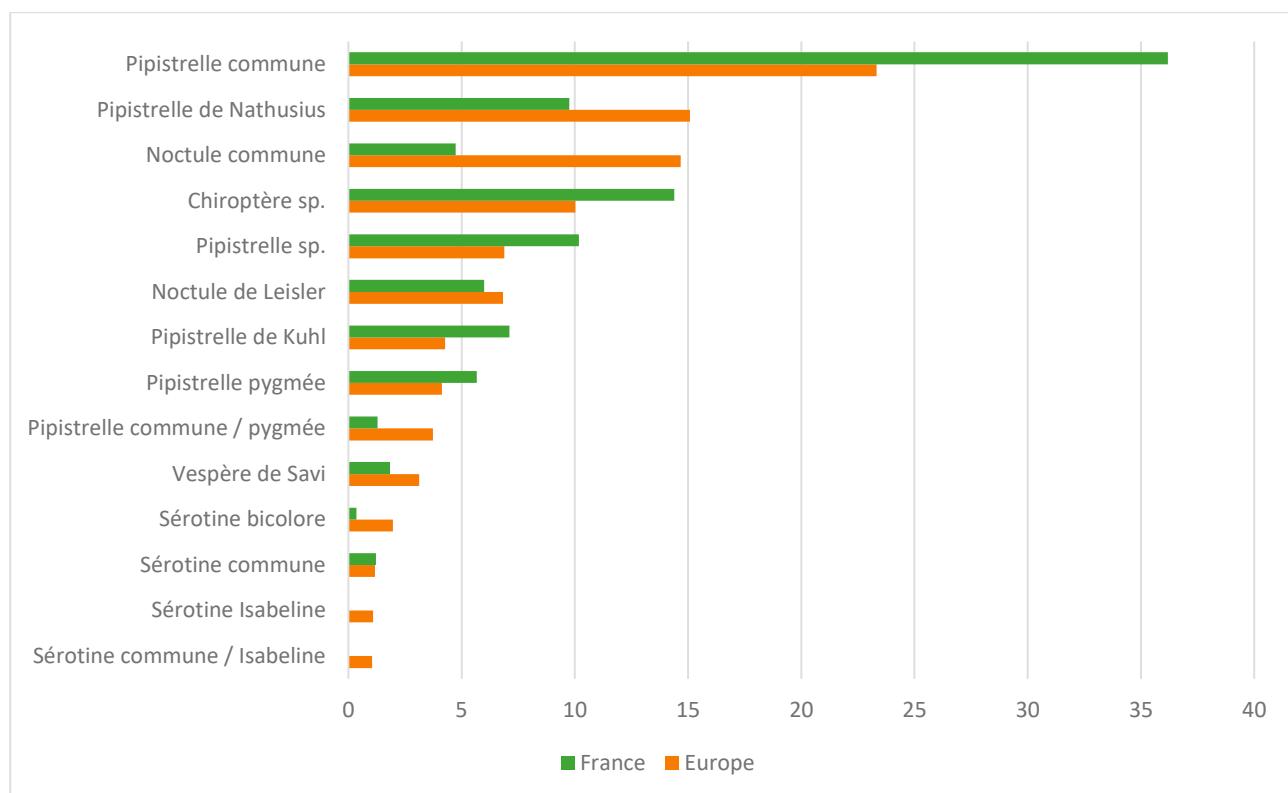


Figure 26 : Proportions des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe (espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2022)

## 4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'étude d'impact, réalisée en 2013 - 2014 par le bureau d'étude AEPE Gingko, a révélé la présence de neuf espèces dont cinq à enjeu moyen et/ou fort et sensibles au risque de collision dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité (figure suivante) :

- la Pipistrelle de Kuhl,
- la Pipistrelle de Natusius,
- la Sérotine commune,
- la Pipistrelle commune,
- la Pipistrelle commune/Natusius

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Notation	Enjeu
Pipistrelle de Natusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	3.5	Fort
Pipistrelle commune / Natusius	<i>Pipistrellus pipistrellus / nathusii</i>	3 ou 3.5	Moyen ou fort
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	3	Moyen
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	2.5	Moyen
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	2.5	Moyen
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	1.5	Faible
Oreillard sp.	<i>Plecotus sp</i> ;	1.5	Faible
Murin à oreilles échancrees / d'Alcathoe	<i>Myotis emarginatus / alcathoe</i>	1 ou 1.5	Faible
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	1	Faible
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	1 à 2	Faible

Tableau 60 : Espèces de chiroptères à enjeux et sensibles au risque de collision inventoriées durant l'études d'impact (AEPE Gingko, 2013-14)

## 4.2.3 Résultats globaux du suivi des chiroptères en 2022

### 4.2.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Broons, trois cadavres de chiroptères appartenant à deux espèces ont été retrouvés (tableau suivant). Les trois cadavres ont été découverts lors du protocole de suivi de la mortalité. La mortalité brute est de 0,5 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de fin mars à mi-octobre, soit 31 prospections, à raison d'une prospection par semaine. Cette mortalité brute est ainsi équivalente à 0,016 individu / éolienne / sortie.

L'espèce la plus retrouvée est la Pipistrelle commune (deux cadavres).

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

Date	Espèce	Éolienne	Statut	Sexe	Âge	Source
12/04/2022	Pipistrelle commune	E4	Transit printanier	M	-	Protocole de suivi
19/04/2022	Pipistrelle commune	E1	Transit printanier	F	-	
20/06/2022	Pipistrelle de Kuhl	E2	Mise-bas / Élevage des jeunes	-	-	

Tableau 23 : Chiroptères découverts lors du suivi mortalité

**Avec trois cadavres de chiroptères recensés, la mortalité brute observée sur le parc de Broons est de 0,5 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de mars à octobre.**

#### 4.2.3.1 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 CFE Montpellier, <https://shiny.cefe.cnrs.fr/eolapp>). L'intervalle de confiance à 95 % est également mentionné.

Méthodes	Mortalité estimée				Intervalle de confiance à 95 % (mortalité globale)
	Globale	/éolienne	/sortie	/éolienne/sortie	
Erickson	<b>12,22</b>	2,04	0,39	0,06	3 – 30,07
Huso	<b>13,95</b>	2,32	0,45	0,07	3 – 33,28
Jones	<b>16,76</b>	2,79	0,54	0,09	3 – 42,03

Tableau 33 : 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 12,22 à 16,76 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 42,03 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).**

La précision des estimations est jugée insuffisante pour pouvoir établir une conclusion précise (intervalles de confiance). Néanmoins, la mortalité réelle pourrait s'étendre de 3 à 42 individus. L'estimation la plus haute entraînerait une conséquence notable sur les populations.

Les paramètres correcteurs peuvent avoir un impact fort. C'est notamment le cas pour les valeurs correctives liées à la persistance des cadavres, qui reflète une prédateur importante sur le parc de Broons. En outre, la correction surfacique est assez élevée étant donné la grande surface de zones non prospectables autour des éoliennes, due notamment à la présence des cultures.

#### 4.2.3.2 Analyse taxonomique

Les trois cadavres de chiroptères trouvés correspondent à deux Pipistrelles communes et une Pipistrelle de Kuhl. Il convient de considérer que cette mortalité observée n'est pas nécessairement représentative de la mortalité réelle par espèce.

La Pipistrelle commune est l'espèce la plus impactée en France et en Europe (figure suivante). La Pipistrelle de Kuhl est plus rarement découverte. Une comparaison entre ces résultats doit cependant être étudiée avec prudence étant donné le faible nombre de données issues du parc de Broons et donc de la faiblesse statistique qui en découle.

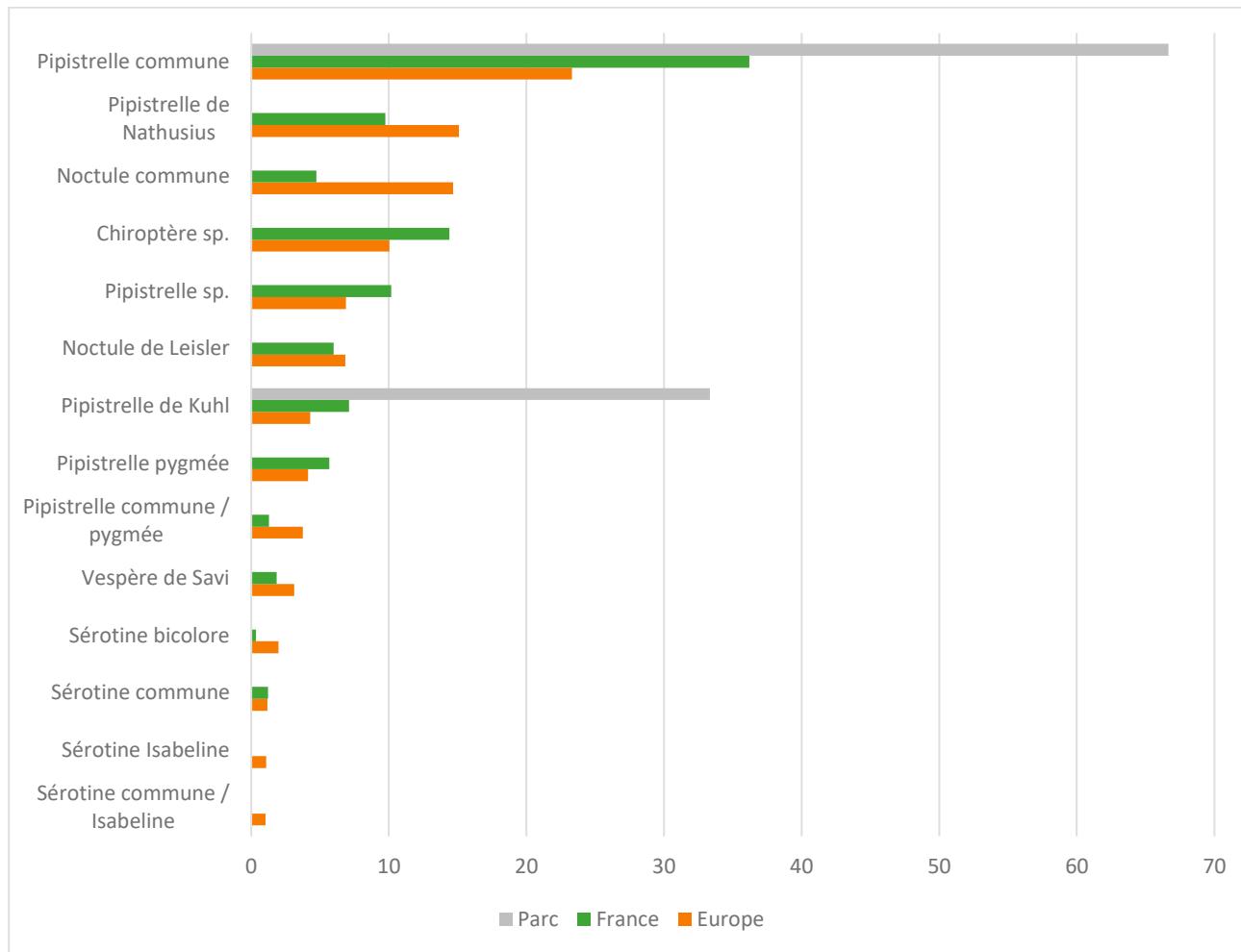


Figure 27 : Proportions (%) des cas de mortalité avec les éoliennes par espèce, en France, en Europe et sur le parc de Broons

**Les Pipistrelles communes, découvertes sur le parc de Broons, représentent une espèce fréquemment concernée par des cas de mortalité. A l'inverse, la Pipistrelle de Kuhl représente un cas plus inhabituel.**

## 4.2.4 Résultats saisonniers

### 4.2.4.1 Mortalité brute

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

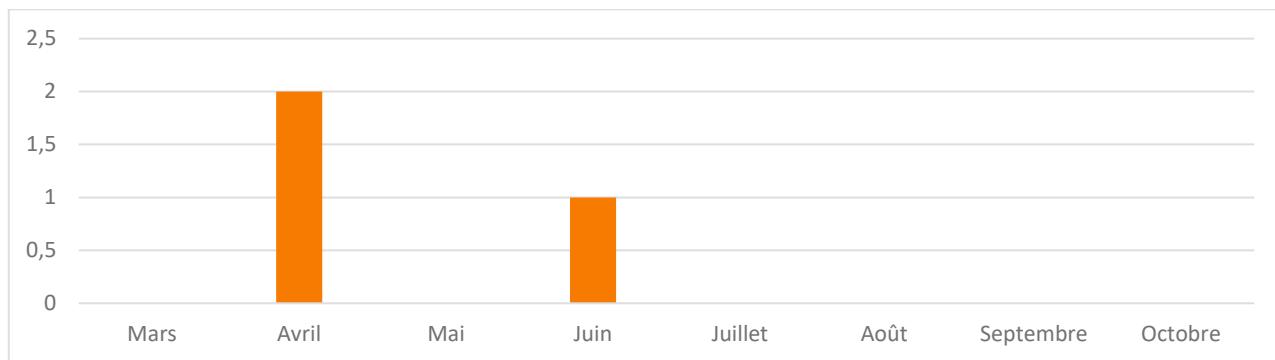


Figure 28 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

La mortalité observée est la plus importante au mois d'avril. Compte tenu des caractéristiques des individus retrouvés (date, critères morphologiques), la période concernée correspond à celle du transit printanier. Dans une moindre mesure, la période de mise-bas et d'élevage des jeunes est aussi concernée. Par ailleurs, une absence de mortalité est constatée durant les mois de juillet à octobre, qui comprennent une partie de la période de transit automnal.

Le faible nombre de données ne peut pas permettre de dégager une tendance claire entre ces périodes. De plus, étant donnés les potentiels prélèvements de cadavres entre les prospections, il n'est pas impossible que d'autres périodes aient aussi été mortifères lors du suivi.

### 4.2.4.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

## 4.2.5 Résultats spatialisés par éolienne

### 4.2.5.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, les trois cadavres de chiroptères ont été retrouvés sous les éoliennes E1, E2 et E4 (carte suivante). Étant donnés les facteurs tels que, notamment, la prédatation, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.

Le parc est implanté dans un milieu bocager/forestier, qui correspond aux habitats fréquentés par les espèces découvertes (Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl). Les éoliennes E1 et E2 font partie des éoliennes les plus proches des zones boisées. Les cas de mortalité observés au pied de ces éoliennes peuvent être liés à cette proximité.



Carte 7 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne

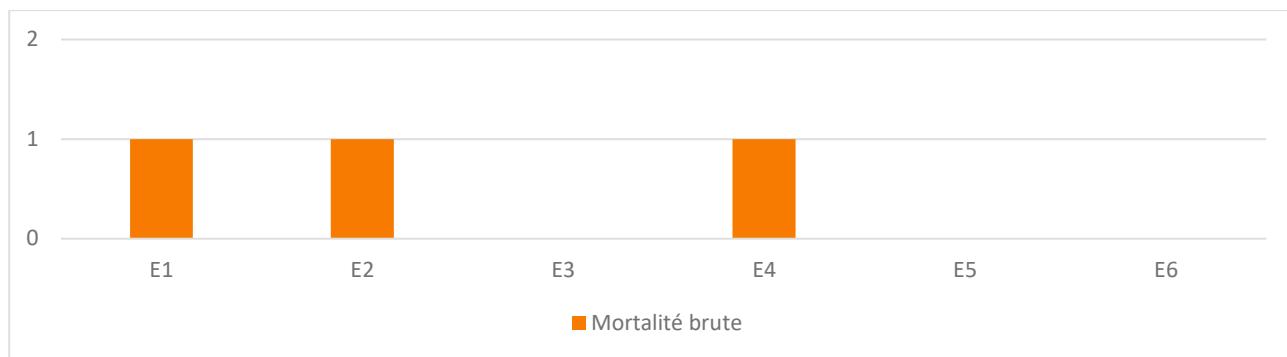


Figure 29 : Mortalité brute par éolienne sur l'ensemble de la période de suivi

#### 4.2.5.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

#### 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 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 Broons. 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/forestier, qui correspond aux habitats fréquentés par les espèces découvertes (Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl). Deux des éoliennes ayant fait l'objet de cas de mortalité (E1 et E2) sont très proches de zones de lisière. Des suivis complémentaires seraient nécessaires pour surveiller l'évolution de la mortalité sur le parc.

**La mortalité sur le parc pourrait être liée à l'implantation du parc en milieu bocager et l'emplacement des éoliennes E1 et E2 en bordure de boisements, 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. Toutefois, la mortalité estimée sous ces éoliennes reste faible.**

#### 4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères

##### 4.2.7.1 Patrimonialité et risque pour les populations d'espèces

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

Espèce	Statut de protection		Statut de conservation			Note de risque éolien	Effectifs
	Directive Habitats-Faune-Flore	Mammifères protégés France	Liste rouge Europe (IUCN)	Liste rouge France (IUCN)	Liste rouge Régionale (IUCN)		
Pipistrelle commune	Annexe IV	Article 2	LC	NT	NT	3,5	2
Pipistrelle de Kuhl	Annexe IV	Article 2	LC	LC	LC	2,5	1

LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi menacée / VU : Vulnérable / EN : en danger / DD : Données insuffisantes / NA : Non applicable / NE : Non évalué /  : Éléments de patrimonialité

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

Au regard des statuts de conservation des individus découverts et du risque pour les espèces concernées face aux éoliennes, une espèce est à considérer avec vigilance sur le parc de Broons : la Pipistrelle commune.

La Pipistrelle commune est l'espèce la plus rencontrée en France. Possédant la faculté de voler en hauteur tout comme en rase-motte, il n'est donc pas étonnant de retrouver plusieurs cadavres sous les éoliennes. Elle présente des caractéristiques de comportement à risque vis-à-vis des éoliennes par sa prépondérance à chasser les insectes là où ils pullulent, notamment près des mâts d'éoliennes qui, en état de marche, peuvent attirer les insectes par la chaleur dégagée. Néanmoins, les suivis Vigie-nature et les comptages des colonies sur le long terme montrent une tendance significative de déclin de l'espèce<sup>12</sup>. Il semble donc qu'à terme, l'incidence des parcs éoliens sur la population locale de Pipistrelle commune devienne non-négligeable.

<sup>12</sup> Arthur L. & Lemaire M. 2015. *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg & Suisse*. Biotope Editions, Mèze, Publications scientifiques du Muséum, Paris.

**Parmi les deux espèces découvertes, la Pipistrelle commune présente un état de conservation défavorable à l'échelle nationale (NT). Elle est également sujette à un risque élevé (3,5) pour les populations face aux impacts de collision.**

#### 4.2.7.2 Corrélation avec le suivi comportemental

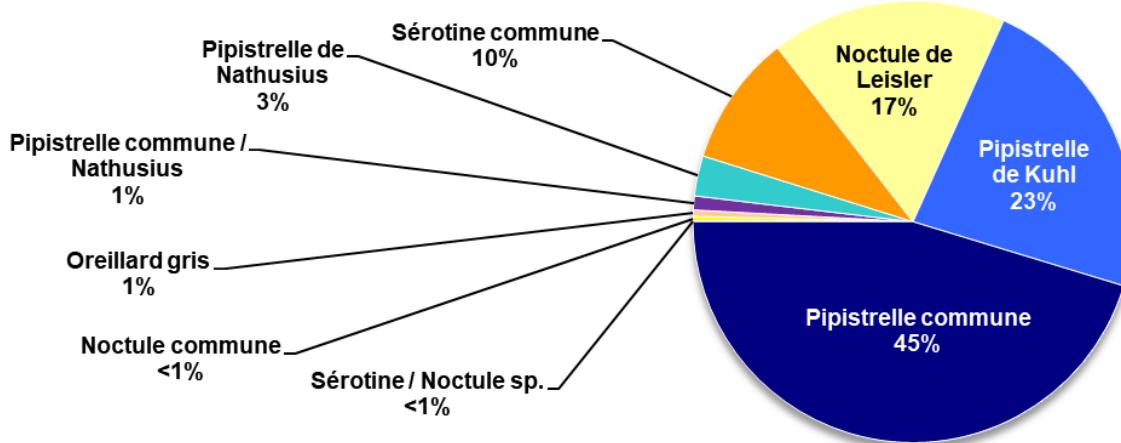


Figure 30 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

Il est intéressant de noter que l'activité chiroptérologique recensée sur le parc à hauteur de nacelle est dominée par le groupe des pipistrelles (72 % des contacts). Les autres espèces majoritairement contactées sont la Noctule de Leisler (17 % des contacts) et la Sérotine commune (10 %). Ces résultats confirment le panel d'espèces retrouvées sous les éoliennes du parc, à savoir des pipistrelles.

La programmation préventive des machines appliquée en 2022 a couvert 74,6 % de l'activité. On notera que deux des trois cas de mortalité sont survenus en avril, où le pourcentage de couverture n'était que de 15 %.

On notera paradoxalement que les nuits présentant une forte activité ne coïncident pas avec les périodes durant lesquelles une mortalité est apparue pour la phase printanière. Pour autant, en juin, une activité notable a été enregistrée le 17 et 18 juin, avec une mortalité recensée le 20 juin ce qui pourrait correspondre.

Par ailleurs, pour l'activité concernant majoritairement la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl, une corrélation apparaît avec les cas de mortalité de ces espèces recensées.

La mortalité chiroptérologique estimée sur le parc de Broons a été considérée comme faible au regard du nombre de cadavres trouvés sur la saison de suivi. Les premières conclusions du suivi comportemental à hauteur de nacelle montrent une activité chiroptérologique modérée et donc non-négligeable sur le site.

**Sur le site de Broons, l'activité chiroptérologique est jugée comme modérée et non-négligeable. Elle est cependant peu corrélée avec une mortalité estimée faible.**

#### 4.2.7.3 Incidences sur les populations des espèces concernées

Parmi les espèces portant des enjeux élevés, ciblées lors de l'étude d'impact réalisée en 2013-2014 (Noctule commune, Sérotine commune, Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl), deux ont été recensées lors de ce suivi.

La Pipistrelle commune, classée « Quasi menacée » à l'échelle nationale et présentant une note de risque élevée face à l'éolien, a fait l'objet de deux cas de mortalité recensé sur le parc de Broons en 2022. Avec une faible récurrence de la mortalité observée chez cette espèce, l'impact du parc peut être qualifié comme faible. Toutefois, l'environnement bocager à proximité est propice à la présence et à l'activité des chiroptères. De plus, l'activité peut évoluer d'une année sur l'autre. Compte tenu de ces éléments et de la récurrence de la mortalité observée, il conviendra tout de même de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent en quantité inquiétante afin de pouvoir éventuellement en limiter les causes.

La Pipistrelle de Kuhl, à l'instar de la Pipistrelle commune, présente une note de risque élevée face à l'éolien, et n'a fait l'objet que d'un cas de mortalité recensé sur le parc de Broons en 2022. En tenant compte de ces paramètres, l'impact du parc peut être qualifié comme faible et non-significatif. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux événements de mortalité surviennent.

***Parmi les espèces à enjeu et/ou risque élevés, ciblées lors de l'étude d'impact, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl ont été recensées durant ce suivi.***

***Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Broons présente, à l'heure actuelle, un impact faible sur les populations de chiroptères. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité sur la Pipistrelle commune durant les prochaines années de suivi.***

## 4.2.8 Comparaisons avec des données de 2021 avec celles de 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 Broons est basée sur les sorties effectuées en 2021 et 2022. Sur ce parc, sept chiroptères ont été retrouvés en 2021 et trois en 2022 soit 10 individus au total (tableau suivant). La mortalité brute en 2022 a notablement diminué en comparaison de celle de 2021.

Une programmation préventive des éoliennes a été mise en place à la fin de la première année de suivi (2021) afin de réduire l'impact du parc sur les populations de chiroptères. La baisse des cas de mortalité semble liée à cette mesure de réduction.

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

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

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

**Selon les résultats du suivi des deux dernières années, la mortalité brute a nettement diminué entre 2021 et 2022. Cela s'explique par la mise en place d'un bridage à la fin de la première année de suivi.**

**La Pipistrelle commune semble être l'espèce la plus impactée par l'activité du parc de Broons, avec cinq individus retrouvés depuis le début du suivi.**

#### 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 et 2022, selon les différentes méthodes retenues.

Méthodes	Mortalité estimée	
	2021	2022
Erickson	<b>23,74</b> (6,19 – 51,15)	<b>12,22</b> (3 – 30,07)
Huso	<b>29,14</b> (7,86 – 60,95)	<b>13,95</b> (3 – 33,28)
Jones	<b>32,88</b> (8,67 – 70,10)	<b>16,76</b> (3 – 42,03)

Entre parenthèses : intervalles de confiance à 95 %

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 et 2022

**Résultats 2021 :** selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 23,74 à 32,88 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 6,19 et 70,10 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

**Résultats 2022 :** selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 12,22 à 16,76 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 42,03 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

***La mortalité estimée sur le parc éolien de Broons était plus importante en 2021. Ces résultats confirment la baisse des cas de mortalité depuis la mise en place du bridage entre les deux années de suivi.***

#### 4.2.8.1 Comparaison des résultats saisonniers

##### 4.2.8.1.1 Mortalité brute

Des cadavres de chiroptères ont été retrouvés durant les phases de mise-bas et d'élevage des jeunes ainsi que de transit automnal en 2021 (tableau suivante). En 2022 au contraire, aucun cas de mortalité n'a été observé durant la période de transit automnal. Deux cas ont été recensés durant les transits printaniers et un pendant la phase de mise-bas et d'élevage des jeunes.

Aucun suivi de mortalité n'est effectué durant la période d'hibernation.

Le nombre de données est insuffisant pour identifier une phase biologique plus mortifères que les autres. Les chiffres indiquent une mortalité légèrement plus élevée sur la période de mise-bas et d'élevage des jeunes mais cela s'explique par le fait que seule cette période est couverte intégralement par le suivi de mortalité. Il est possible que des cas de mortalité aient eu lieu au début de la phase de transit printanier ou à la fin de celle du transit automnal sans avoir été observés.

Année	Transit printanier	Mise-bas	Transit automnal
2021	0	4	3
2022	2	1	0

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

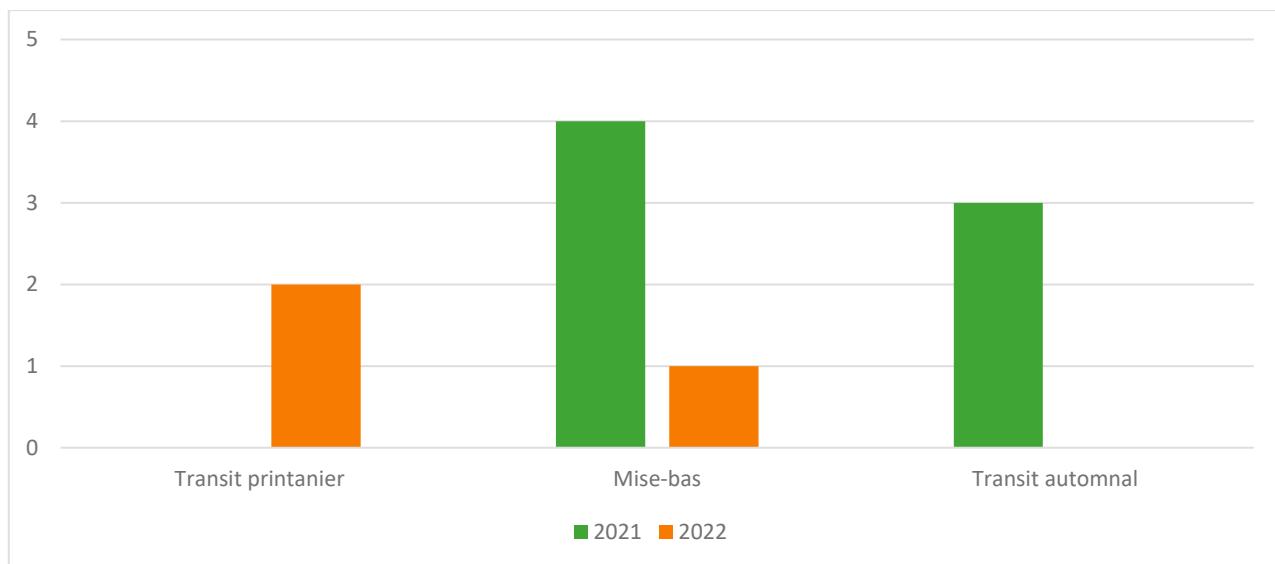


Figure 31 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021 et 2022

#### 4.2.8.1.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

#### 4.2.8.1 Comparaison des résultats spatialisés

##### 4.2.8.1.1 Mortalité brute

Des cadavres de chiroptères ont été retrouvés sous cinq des six éoliennes en 2021 et trois des six éoliennes en 2022 (tableau suivant). Au moins un cadavre a été retrouvé par éolienne sur l'ensemble des deux années de suivi. La mortalité est homogène sur le parc avec un à trois cas recensés sous chaque éolienne. Les éoliennes E1 et E4 sont celles ayant fait l'objet du plus grand nombre de cas de mortalité.

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

Tableau 38 : Mortalité brute par éolienne en 2021 et 2022

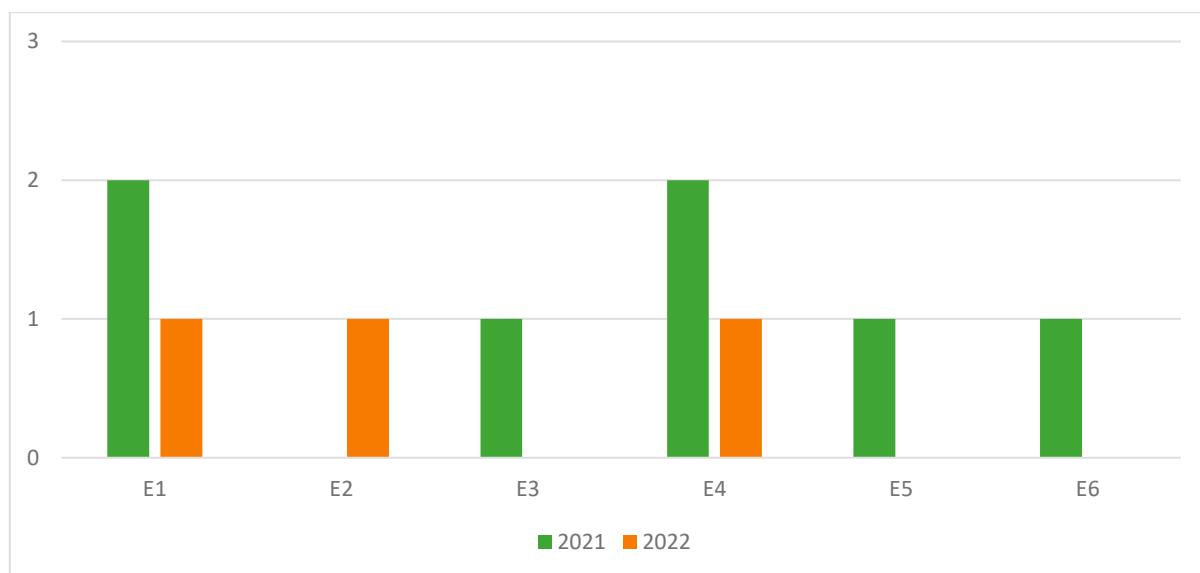


Figure 32 : Mortalité brute par éolienne en 2021 et 2022

#### 4.2.8.1.2 Mortalité estimée

Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée n'apparaît pas pertinent ici.

#### 4.2.9 Synthèse

- La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (fin mars à octobre 2022) est de trois individus (deux Pipistrelles communes et une Pipistrelle de Kuhl).
- Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 12,22 à 16,76 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 3 et 42,03, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).
- La mortalité des chiroptères sur le parc de Broons semble être liée l'implantation du parc en milieu bocager et forestier, milieux généralement riches et densément fréquentés par les chiroptères.
- Parmi les espèces à enjeu et/ou sensibilité élevés, ciblées lors de l'étude d'impact, aucun individu n'a été découvert. Deux individus de Pipistrelles communes et un de Pipistrelle de Kuhl, présentant un enjeu modéré ont été retrouvés.
- Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Broons présente, à l'heure actuelle, un impact considéré comme faible sur les populations de chiroptères.
- Il sera ainsi nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité durant les prochaines années de suivi, notamment sur la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl.
- De nouveaux suivis seront nécessaires afin d'améliorer la précision des estimations de la mortalité réelle.





## 5 Mesures correctrices



### 5.1.1.1.1 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence sur les chiroptères

Les résultats du suivi d'année 1 (2021) ont montré une activité assez forte et de la mortalité chiroptérologique (sept individus), ceci induisant la mise en place de mesure de réduction pour l'année 2 (2022).

Le suivi d'année 2 montre une diminution de la mortalité chiroptérologique (trois individus). Cette mortalité est cependant toujours notable et induit une adaptation de la mesure de réduction.

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.

#### **Mesure prise suite au suivi d'année 2 (2022) pour la troisième année (2023)**

##### **Programmation préventive des éoliennes en fonction de l'activité chiroptérologique**

Cette mesure est détaillée ci-après :

##### **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 de toutes les éoliennes du parc sous certaines conditions (humidité, température, vitesse du vent, et saison), sera mis en place du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre de la troisième 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).

Comme détaillé dans la partie 3.3.3, 77,4 % de l'activité cumulées est couverte par les paramètres adoptés pour l'année 2022. La mesure correctrice suivante permettra d'atteindre une couverture d'activité avoisinant les 85 %, en ajustant les paramètres de programmation préventive.

***Les seuils de déclenchement et d'arrêt des éoliennes en place lors de l'années 2022 peuvent être améliorer afin de couvrir une proportion acceptable de l'activité chiroptérologique, bien que la mortalité ait réduit.***

***Ainsi, il est proposé d'ajuster cette programmation préventive afin de couvrir un maximum d'activité, en lissant les paramètres en fonction des conditions relevées sur l'ensemble des deux années de suivi.***

Afin de maintenir les impacts actuels du parc sur les chiroptères au niveau faible, une nouvelle programmation préventive du fonctionnement des éoliennes est préconisée.

Ainsi, les seuils de déclenchements seront choisis en fonction de l'activité cumulée par nuit mesurée sur le site, des années 2021 et 2022. Les périodes qui comprennent le plus de contacts et une activité chiroptérologique répartie sur l'ensemble de la nuit seront privilégiées pour la mesure d'arrêt machine la plus longue, à savoir août et septembre.

### **Paramètres utilisés pour l'ajustement de la mesure correctrice**

#### Période de l'année

Le premier critère d'arrêt est lié au cycle biologique des chiroptères. Ces derniers étant en phase d'hibernation entre la fin-novembre et la mi-mars (en fonction des conditions climatiques), un arrêt des éoliennes n'est pas jugé nécessaire durant cette période. Sur le parc de Broons, les inventaires montrent une activité plus importante du mois de juin à octobre (avec un maximum d'activité pour les mois de juin et septembre plus particulièrement).

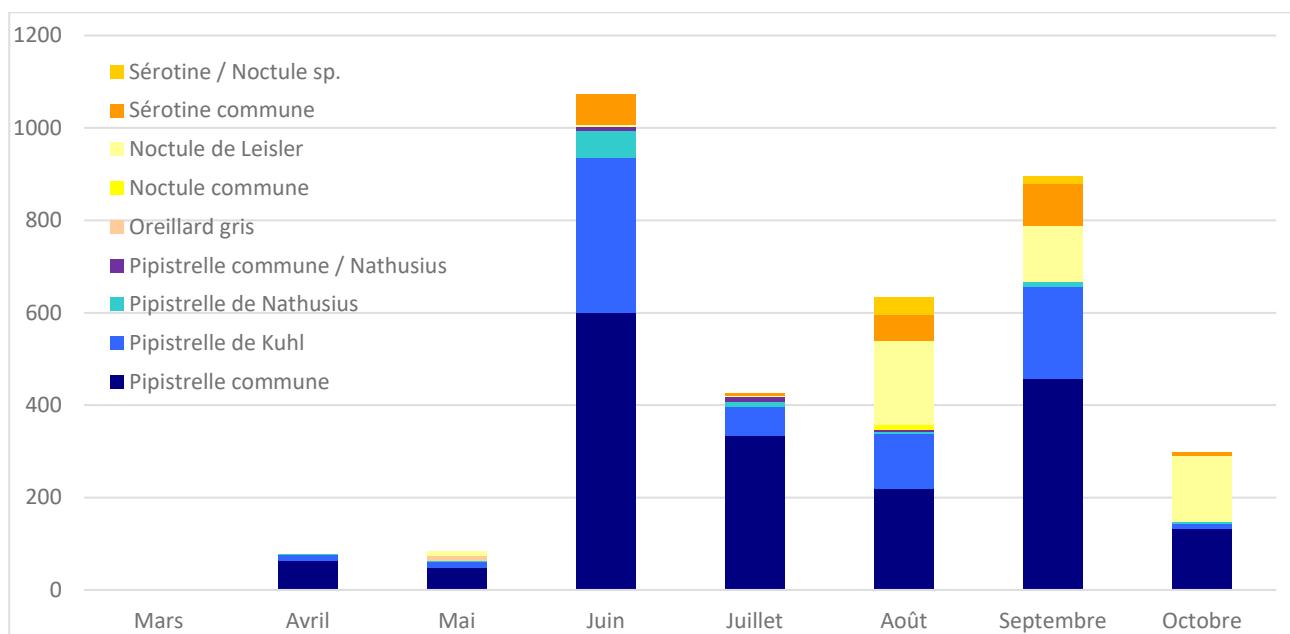


Figure 33 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement

**Ainsi les seuils de déclenchement seront choisis en corrélation avec l'activité et seront plus forts sur les saisons où se concentre la majorité de l'activité.**

#### Horaires

Pour la phase d'activité, le premier critère utilisé correspond à la tranche horaire journalière. L'activité des chiroptères étant nocturne, les arrêts se feront seulement à l'intérieur de la phase comprise entre le coucher et le lever du soleil. À l'intérieur de cette phase, les études et connaissances bibliographiques montrent que l'activité se concentre durant les premières heures de la nuit, mais peut persister également durant la nuit à certaines périodes. Sur le site la majeur partie des contacts de chiroptères ont été enregistrés lors des trois premières heures de la nuit, l'activité diminue par la suite. Celle-ci reste pour autant non négligeable tout au long de la nuit de la mi-mai jusqu'à fin octobre. On notera même un léger regain d'activité en septembre avant le lever du soleil.

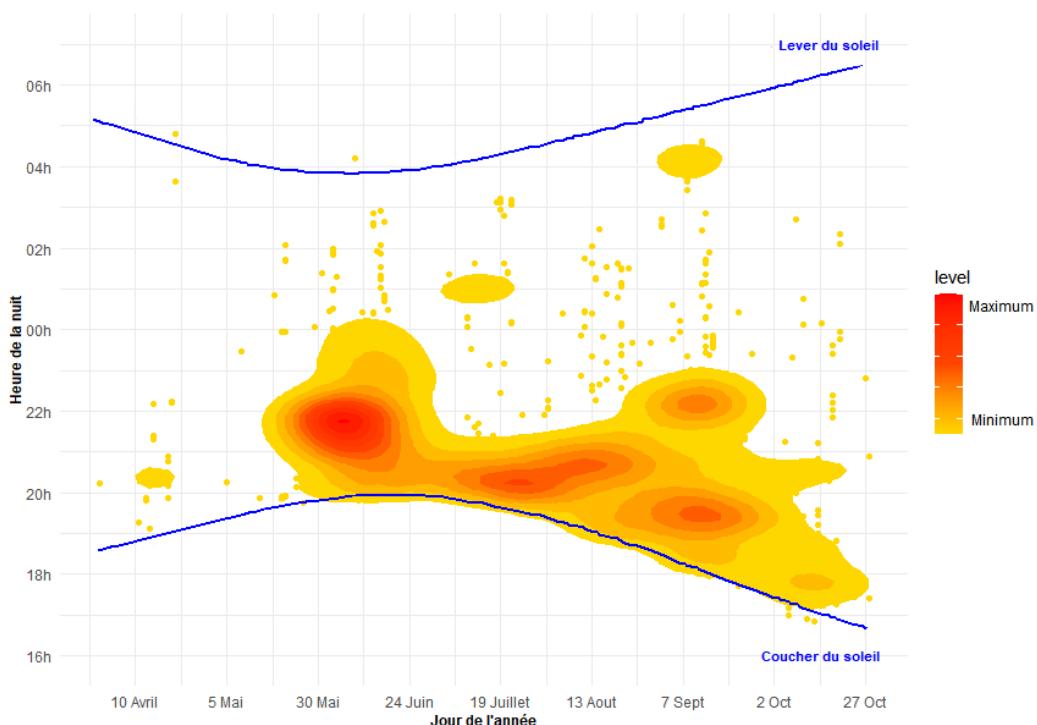


Figure 44 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien sur le site

Les périodes les plus sensibles sont situées durant le début de la période estivale et lors de la période automnale. Lors de cette période, les comportements lors des transits (vol d'altitude sur de longues distances) rendent les chauves-souris particulièrement vulnérables aux collisions. On note également qu'à ces périodes, un regain d'activité est identifié dans la première heure avant le lever du soleil (surtout en présence de Noctule Leisler).

**Ainsi, les seuils de déclenchements seront choisis en fonction de l'activité par nuit mesurée sur le site. Les périodes qui comprennent le plus de contacts et une activité chiroptérologique répartie sur l'ensemble de la nuit seront privilégiées pour la mesure d'arrêt machine la plus longue, à savoir août et septembre.**

#### Vitesses de vent

Les connaissances bibliographiques et les retours d'études montrent une corrélation entre l'activité chiroptérologique et la vitesse du vent. Plus le vent est fort, plus l'activité chiroptérologique est faible.

Les inventaires sur site ont montré que l'essentiel de l'activité des chiroptères, au cumul des deux années de suivi, s'étale entre 0 m/s jusqu'à 7 m/s (94 % des contacts). Il ne faut cependant pas négliger les contacts au-delà de ce seuil, notamment à 9 m/s.

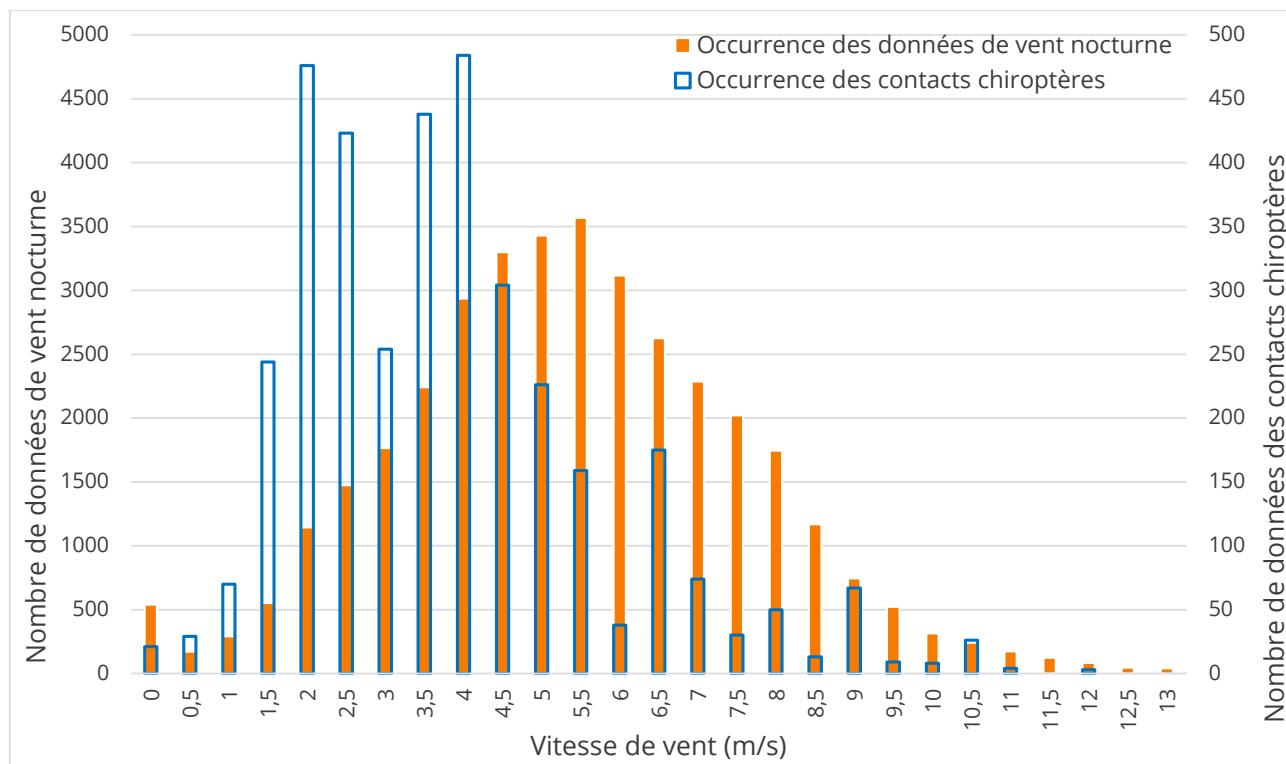


Figure 47 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent pendant les deux années de suivi

**Les seuils de déclenchements tiendront comptes des capacités des chiroptères sur le site à évoluer sous des valeurs de vents allant jusqu'à 11 m/s. Le seuil des 94 % est atteint à 7 m/s mais les chiroptères peuvent voler sous de plus fortes valeurs comme le souligne les résultats présentés ci-dessus.**

## Température

En ce qui concerne la température, son effet sur l'activité chiroptérologique est moins évident. Nos retours d'expériences montrent en effet que la corrélation entre activité chiroptérologique et température peut varier grandement en fonction des conditions locales et des années, les animaux pouvant être actifs par temps frais si la nourriture vient à manquer par exemple.

Le paramètre température est important pour l'activité des chiroptères selon MARTIN & al. (2017). Les seuils définis dans le plan de programmation sont relativement conservateurs. MARTIN & al. (2017) préconisent notamment un seuil de 9,5 °C pour les saisons fraîches (début du printemps et automne).

Sur le site, une majorité du nombre total de cris est obtenu pour des températures supérieures à 11 °C. Cette tendance peut s'expliquer par la rareté des proies lorsque les températures sont trop basses. On observe que l'activité peut cependant débuter dès 8 °C, ce qui corrobore le seuil de 9,5 °C proposé par la bibliographie.

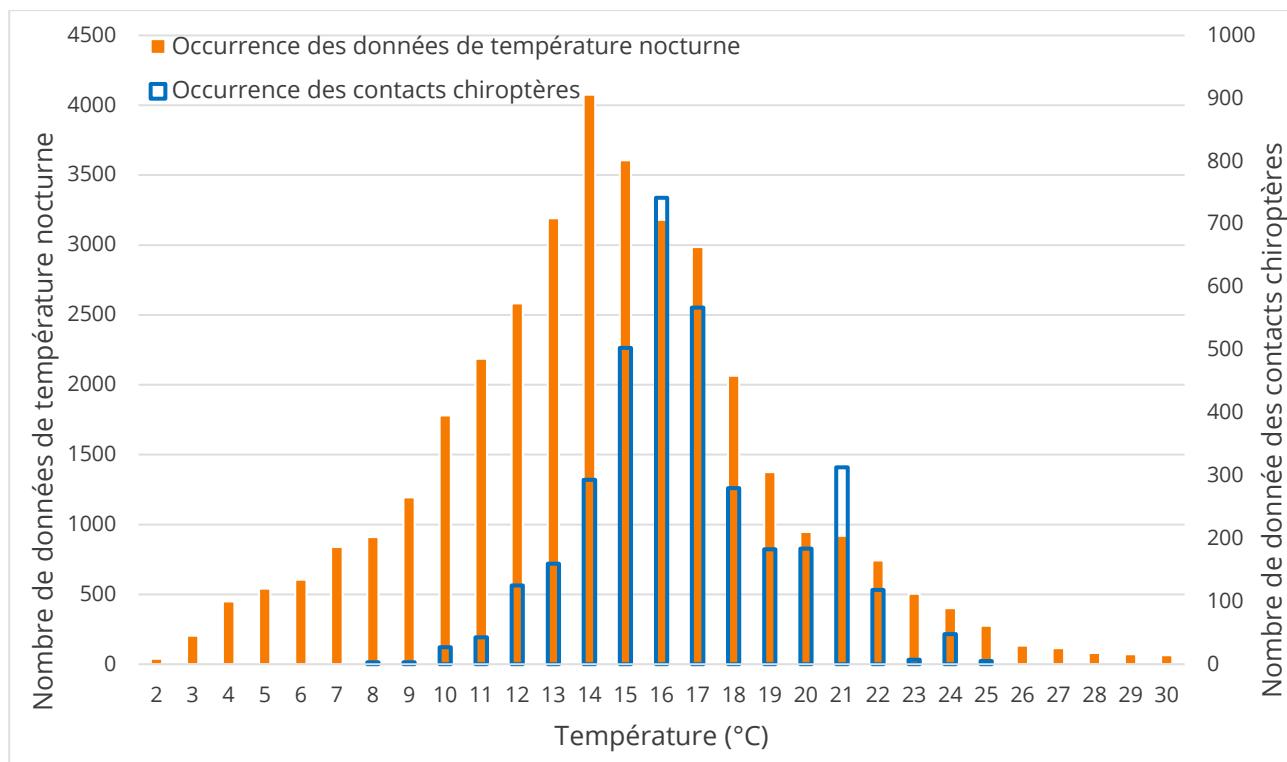


Figure 50 : Activité des chiroptères en fonction de la température pendant les deux années de suivi

**Un seuil minimal de 7 °C est retenu pour les mois les plus froids et un seuil de 12 °C pour les mois les plus chauds de la période d'activité des chiroptères, conformément à la bibliographie et aux résultats sur site.**

## Précipitations

Enfin, les précipitations seront également prises en compte pour optimiser le bridage, conformément aux préconisations de Martin et al. (2017). En effet, il est à l'heure actuelle assez bien documenté que la pluie stoppe l'activité des chauves-souris ou au moins, la diminue fortement (Brinkmann et al., 2011). Les précipitations sont donc incluses dans les modalités de redémarrage.

On notera en effet qu'au-delà de 0,02 mm/min, l'activité chiroptérologique devient inexistante.

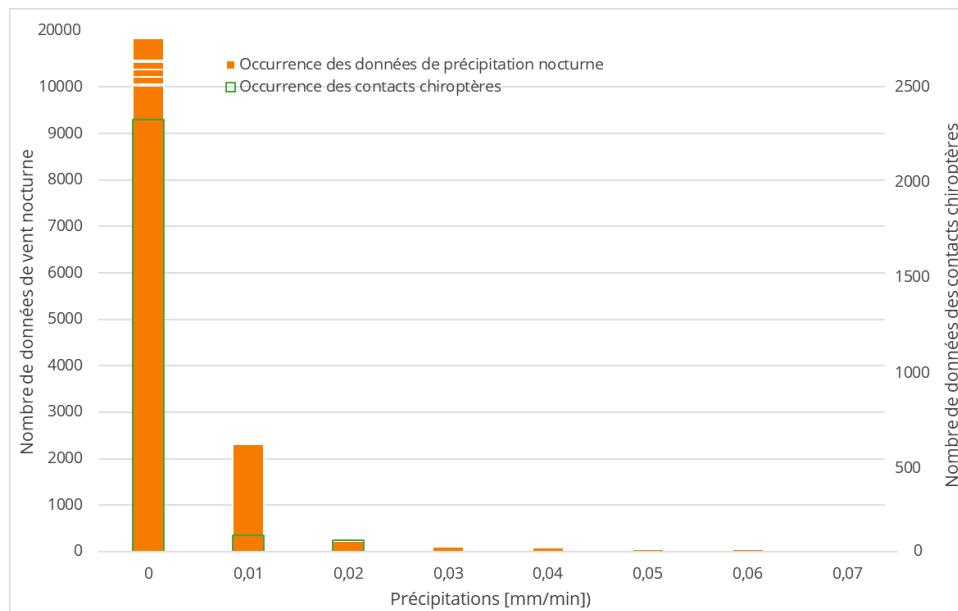


Figure 34 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction des précipitations

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

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

Un nouvel ajustement de ces mesures peut être nécessaire à la suite des prochains inventaires.

**Les critères retenus sont présentés dans le tableau suivant. Celui-ci affiche le pourcentage de l'activité chiroptérologique mensuelle couvert par la mesure, ainsi que sur l'ensemble de la période étudiée (2021-2022).**

**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.**

**À noter que pour l'année 2022, les mesures d'arrêts non put être effectives qu'à partir du 31/05/2022, expliquant en partie la mortalité constatée. Une mesure d'ajustement pour les mois du printemps est tout de même proposée afin d'ajuster au mieux avec l'activité chiroptérologique cumulée (2021-2022). La mesure devrait de fait, l'année 2023, permettre d'éviter une mortalité chiroptérologique.**

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	84	69 %	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	109	74,3 %	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	1 101	91,2 %	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	438	71,2 %	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
		Aout	656	94,2 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 12 °C
	Phase automnale	Septembre	917	88,4 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 6 m/s		Température de l'air inférieur à 11 °C
		Octobre	318	60,7 %	Toute la nuit	Vitesse de vent inférieur à 5,5 m/s		Température de l'air inférieur à 9 °C
		Novembre	0	0 %				
Total sur la période inventoriée (2021-2022)			3 625	84,9 %	Paramètres ajustés			

**Modalités de suivi de la mesure :** Suivi de mortalité et de comportement acoustique en nacelle.

**Responsable :** Maître d'ouvrage / Écologue.

#### 5.1.1.1.2 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence avifaune

Le parc n'ayant pas d'incidence significative aux vues des résultats 2022, aucune mesure spécifique n'est proposée.

# Table des illustrations

## Figures

<i>Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001)</i> .....	14
<i>Figure 2 : Tendances des populations pour six espèces de chauves-souris en France entre 2006 et 2018 (Bas et al. 2020)</i> .....	17
<i>Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum (Bach and Rahmel 2004)</i> .....	19
<i>Figure 4 : Ration du temps passé en hauteur pour chaque espèce de chiroptères (Adapté de Roemer et al. 2017)</i> .....	21
<i>Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne</i> .....	22
<i>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)</i> ....	25
<i>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)</i> .....	26
<i>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)</i> .....	28
<i>Figure 9 : Contours isolignes des déclins de population projetés après 50 ans de croissance simulée avec une mortalité proportionnelle des chauves-souris cendrées causées par les éoliennes selon des combinaisons de tailles de population initiales possibles (<math>N_i</math>) et de taux de croissance de population (<math>\lambda</math>) (Frick et al. 2017)</i> ...	30
<i>Figure 10 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.)</i> .....	40
<i>Figure 11 : Indices de confiance établis par SonoChiro® et risques d'erreurs associés</i> .....	41
<i>Figure 12 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne</i> .....	49
<i>Figure 13 : Répartition de l'activité par espèce sur l'ensemble de la période d'étude</i> .....	64
<i>Figure 14 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique</i> .....	69
<i>Figure 15 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude</i> .....	73
<i>Figure 16 : Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire</i> .....	77
<i>Figure 17 : Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien</i> .....	78
<i>Figure 18 : Activité des chiroptères en fonction de la température</i> .....	79
<i>Figure 19 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent</i> .....	81
<i>Figure 20 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent</i> .....	82
<i>Figure 21 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction des précipitations</i> .....	82
<i>Figure 22 : Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015)</i> .....	101
<i>Figure 23 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2022)</i> .....	103
<i>Figure 24 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes par ordre taxonomique, en France, en Europe et sur le parc de Broons</i> .....	106
<i>Figure 25 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi</i> .....	107
<i>Figure 26 : 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, 2022)</i> .....	120

<i>Figure 27 : Proportions (%) des cas de mortalité avec les éoliennes par espèce, en France, en Europe et sur le parc de Broons.....</i>	123
<i>Figure 28 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi .....</i>	124
<i>Figure 29 : Mortalité brute par éolienne sur l'ensemble de la période de suivi .....</i>	126
<i>Figure 30 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude .....</i>	128
<i>Figure 31 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021 et 2022... </i>	132
<i>Figure 32 : Mortalité brute par éolienne en 2021 et 2022 .....</i>	133
<i>Figure 33 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement.....</i>	139
<i>Figure 34 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction des précipitations.....</i>	143

## Tableaux

<i>Tableau 1 : Intensité d'émission, distances de détection et coefficient de détectabilité des chauves-souris .</i>	39
<i>Tableau 2 : Pression d'inventaire du suivi des chiroptère en fonction de la vulnérabilité des espèces.....</i>	40
<i>Tableau 3 : Valeurs seuils des échelles d'activité globale en fonction des différents protocoles .....</i>	43
<i>Tableau 4 : Valeurs seuils des échelles de diversité spécifique en fonction des différents protocoles .....</i>	43
<i>Tableau 5 : Habitat et type de milieu inventorié .....</i>	44
<i>Tableau 6 : Dates et conditions météorologiques des inventaires des chiroptères .....</i>	46
<i>Tableau 7 : Paramètres des tests de d'efficacité effectués sur l'année de suivi.....</i>	51
<i>Tableau 8 : Postulats de chaque méthode d'estimation.....</i>	55
<i>Tableau 9 : Dates et conditions météorologiques des inventaires du milieu naturel .....</i>	56
<i>Tableau 10 : Espèces de chiroptères inventoriées sur le site d'étude .....</i>	63
<i>Tableau 11 : Diversité spécifique et indice d'activité mesurés par point d'écoute ultrasonique .....</i>	65
<i>Tableau 12 : Activité moyenne lors des inventaires selon la phase biologique .....</i>	68
<i>Tableau 13 : Activité pondérée des chiroptères en fonction du type d'habitat et de la phase du cycle biologique .....</i>	69
<i>Tableau 14 : Répartition des contacts par type de comportement.....</i>	70
<i>Tableau 15 : Répartition du nombre de contacts par espèce.....</i>	72
<i>Tableau 16 : Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques..</i>	74
<i>Tableau 17 : Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires .....</i>	75
<i>Tableau 18 : Activité des chiroptères en fonction du type d'habitat et de l'année .....</i>	86
<i>Tableau 19 : Pourcentage d'activité des chiroptères 2021 couvert par les paramètres d'arrêts programmés</i>	92
<i>Tableau 20 : Pourcentage d'activité des chiroptères (2022) couvert par les paramètres d'arrêts programmés .....</i>	93
<i>Tableau 21 : Pourcentage d'activité des chiroptères (2021-2022) couvert par les paramètres d'arrêts programmés.....</i>	94
<i>Tableau 22 : Résultats des tests d'efficacité .....</i>	98
<i>Tableau 23 : Résultats des tests de persistance.....</i>	98
<i>Tableau 24 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés.....</i>	99
<i>Tableau 25 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE) .....</i>	100
<i>Tableau 26 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité .....</i>	104
<i>Tableau 27 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées .....</i>	105
<i>Tableau 28 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observée.....</i>	110
<i>Tableau 29 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021 et 2022.....</i>	112

<i>Tableau 30 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi et selon les méthodes utilisées, en 2021 et 2022 .....</i>	112
<i>Tableau 31 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la phase biologique en 2021 et 2022 ..</i>	113
<i>Tableau 32 : Mortalité brute par éolienne en 2021 et 2022.....</i>	113
<i>Tableau 33 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées .....</i>	122
<i>Tableau 34 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées.....</i>	127
<i>Tableau 35 : Mortalité brute observée par espèce sur le parc en 2021 et 2022.....</i>	130
<i>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 et 2022 .....</i>	130
<i>Tableau 37 : Mortalité brute sur l'ensemble du parc en fonction de la période biologique en 2021 et 2022 ..</i>	131
<i>Tableau 38 : Mortalité brute par éolienne en 2021 et 2022.....</i>	132

### Cartes

<i>Carte 1 : Localisation du parc éolien de Broons.....</i>	8
<i>Carte 2 : Localisation du parc éolien de Broons sur photographie aérienne .....</i>	9
<i>Carte 3 : Répartition des points d'écoute pour l'inventaire des chiroptères .....</i>	44
<i>Carte 4 : Localisation du dispositif BATmode S2+ .....</i>	45
<i>Carte 5 : Répartition de l'activité et de la diversité chiroptérologiques sur le cycle biologique complet .....</i>	67
<i>Carte 6 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne .....</i>	108
<i>Carte 7 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne.....</i>	125

### Photographie

<i>Photo 1 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales.....</i>	16
---	----

# 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. & Ta,kersley R. 2008. Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72: in press.
- Arnett, E.B., Baerwald, E.F., Mathews, F., Rodrigues, L., Rodriguez-Durán, A., Rydell, J., Villegas-Patraca, R. & Voigt, C. (2016) Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. Voigt and T. Kingston, eds.) pp. 295–323. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Arthur L. & Lemaire M. 2015. Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- 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.
- 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 Castelnau-Pegayrols (12): Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d'exploitation (2009-2011), 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-Weissbach & 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). Evaluation 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. Gorrensen 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): Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée/ADEME Pays de la Loire/Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon, Nantes, 106 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).
- Écosphere, 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.
- Gelman, A. and Pardoe, I. 2006. Bayesian measures of explained variance and pooling in multilevel (hierarchical) models. — *Techno metrics* 48: 241–251.
- Georgiakakis, P. Kret E. Cárcamo B. Doutau B. Kafkaleto-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. Gandler, 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.
- Hedenstrom A. 2009. Optimal migration strategies in bats. *Journal of Mammalogy*, 90(6):1298–1309, 2009
- Heim, O., Schröder, A., Eccard, J., Jung, K. & Voigt, C.C. (2016) Seasonal activity patterns of European bats above intensively used farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 130–139.
- Hensen, von F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus* (N.F.) 9 (5): 427-435.
- Hodos W (2003). Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. (p43).
- Horn J.W. Arnett E.B. & Kunz T.H. 2008. Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management* 72(1): 123-132
- Holzhaider J. & Zahn A. 2001. Bats in the Bavarian Alps : species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Z. Säugetierk.*, 66(2) : 144-154.
- Hötker 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. Kerbiriou (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. Kerbiriou (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 esptembre 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 Sitting 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 Ma 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 Plublication Serie N° 6 (Version française). UNEP/EUROBATS Secrétaire, 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). Eoliennes 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).



## Annexes

Annexe 1 : Fiche de données remplie à chaque sortie mortalité

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

Observateur | Parc |

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

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

## Annexe 4 : Sorties mortalité réalisées en 2022

<b>Chercheurs</b>	<b>Date</b>	<b>Heure début</b>	<b>Heure fin</b>	<b>Température début</b>	<b>Température fin</b>	<b>CN (%)</b>	<b>Pluie</b>	<b>Vent</b>
Läëtitia VIBERT	31/03/2022	09:10	11:35	10°C	10	80	absente	faible
Läëtitia VIBERT	05/04/2022	9:15	11:35	10°C	10	80	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	12/04/2022	9:00	11:30	11°C	11	100	absente	faible
Läëtitia VIBERT	19/04/2022	10:00	13:10	10	15	40	absente	soutenu
Läëtitia VIBERT	25/04/2022	9:10	11:25	10	15	20	absente	faible
Läëtitia VIBERT	02/05/2022	9:20	11:05	9	11	100	averses	faible
Läëtitia VIBERT	10/05/2022	8:30	10:50	15	20	0	absente	faible
Läëtitia VIBERT	16/05/2022	8:35	10:55	16	20	80	absente	soutenu
Läëtitia VIBERT	23/05/2022	9:35	11:15	12	16	100	averses	modéré
Läëtitia VIBERT	30/05/2022	8:25	10:30	12	20	10	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	06/06/2022	7:50	10:30	13	18	100	averses	modéré
Läëtitia VIBERT	13/06/2022	7:45	10:35	12	17	0	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	20/06/2022	8:20	10:35	20	20	20	absente	faible
Läëtitia VIBERT	27/06/2022	7:45	10:00	11	17	20	absente	faible
Läëtitia VIBERT	04/07/2022	8:00	10:00	11	20	0	absente	faible
Läëtitia VIBERT	11/07/2022	13:45	16:15	31	36	0	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	18/07/2022	8:05	11:00	18	30	0	absente	modéré
Thomas LEROY	25/07/2022	9:30	11:30	21	24	80	absente	faible
Romain FOUQUET	04/08/2022	9:30	11:45	19	27	20	absente	soutenu
Läëtitia VIBERT	09/08/2022	8:20	10:35	16	29	0	averses	faible
Läëtitia VIBERT	16/08/2022	9:15	11:50	17	29	100	averses	faible
Läëtitia VIBERT	22/08/2022	09:45	11:55	18	25	80	absente	faible
Läëtitia VIBERT	29/08/2022	08:15	10:50	18	24	0	absente	faible
Läëtitia VIBERT	05/09/2022	09:45	12:00	18	23	80	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	12/09/2022	09:00	11:40	17	26	0	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	19/09/2022	09:30	12:10	10	20	0	absente	faible
Läëtitia VIBERT	26/09/2022	10:10	12:25	12	12	100	averses	fort
Läëtitia VIBERT	03/10/2022	09:20	12:15	15	16	100	brume	faible
Läëtitia VIBERT	11/10/2022	09:20	12:20	9	15	20	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	18/10/2022	09:30	12:00	16	17	80	absente	modéré
Läëtitia VIBERT	24/10/2022	09:20	11:30	12	13	80	absente	moyen à fort

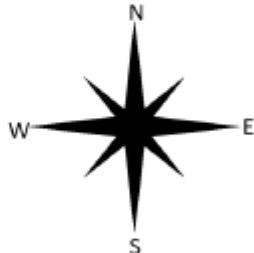
**Annexe 5 : Cas de collision avec des chiroptères recensés en France et en Europe au 17 juin 2022 (d'après Dürr, 2022)**

<b>Espèces</b>	<b>Europe</b>	<b>France</b>
Pipistrelle commune	2 569	1 124
Pipistrelle de Nathusius	1 662	303
Noctule commune	1 616	147
Chiroptère sp.	1 105	447
Pipistrelle sp.	758	316
Noctule de Leisler	753	186
Pipistrelle de Kuhl	471	221
Pipistrelle pygmée	455	176
Pipistrelle commune / pygmée	412	40
Vespère de Savi	344	57
Sérotine bicolore	217	11
Sérotine commune	130	38
Sérotine isabelline	120	0
Sérotine commune / isabelline	115	0
Molosse de Cestoni	84	2
Sérotine de Nilsson	45	0
Grande Noctule	41	10
Noctule sp.	24	3
Minioptère de Schreibers	13	7
Murin de Daubenton	11	1
Murin sp.	10	1
Oreillard gris	9	0
Oreillard roux	8	0
Grand Murin	7	3
Petit Murin	7	1
Barbastelle commune	6	4
Murin à moustaches	6	2
Murin à oreilles échancrées	5	3
Murin de Natterer	4	1
Murin des marais	3	0
Murin de Bechstein	2	2
Murin de Brandt	2	0
Grand Rhinolophe	1	0
Rhinolophe de Mehely	1	0
Rhinolophe sp.	1	0

**Annexe 6 : Cas de collision avec l'avifaune recensés en France et en Europe au 17 juin 2022 (d'après Dürr, 2022)**

Ordre	France	Europe
Passeriformes	791	4 880
Accipitriformes	309	4 871
Falconiformes	243	900
Apodiformes	155	487
Charadriiformes	132	2 866
Columbiformes	120	677
Galliformes	78	609
Anseriformes	14	611
Strigiformes	11	120
Pelecaniformes	8	160
Suliformes	4	22
Gruiformes	3	98
Coraciiformes	3	14
Ciconiiformes	2	171
Piciformes	2	22
Inconnu	1	7
Cuculiformes	0	16
Bucerotiformes	0	9
Pterocliformes	0	6
Caprimulgiformes	0	3
Podicipediformes	0	3
Procellariiformes	0	3
Gaviiformes	0	1
Psittaciformes	0	1

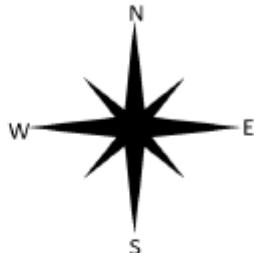
## Annexe 7 : Fiches de saisie standardisées de la mortalité du parc éolien de Broons

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX				
<b>Nom du parc éolien :</b> <b>BROONS</b>				
Point n° 1	Date : 12 avril 2022	Heure : 09:15	<b>Nom du découvreur :</b> <b>VIBERT Laëtitia</b>	
<b>Localisation :</b> Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : <b>6815947</b> Longitude : <b>314732</b> Numéro de l'éolienne la plus proche : <b>E3</b> Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : <b>15</b> Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : <b>S</b> Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : <b>labours, terre nue</b>				
 <b>N° de photos :</b> <a href="C:\Users\pcenis145\Documents\1_ENCIS\1_ETUDES\1_ECOLOGIE\14_BROONS_SUIVI_EOL_2022\18_PHOTOS\11_20220412_E3_ACCNIS &gt; Photos 1 à 8">C:\Users\pcenis145\Documents\1_ENCIS\1_ETUDES\1_ECOLOGIE\14_BROONS_SUIVI_EOL_2022\18_PHOTOS\11_20220412_E3_ACCNIS &gt; Photos 1 à 8</a>				
<b>Description et identification :</b> Taille de l'oiseau (ailes déployées) : <b>LP : 24 0mm</b> <b>LT : 66 mm</b> Particularités (couleur, forme quelconque) : ventre strié, stries relativement larges, mais régulières Rémiges largement barrées de sombre, couv sub-alaires finement striées Dos et couv alaires sup brun, liserés pâles				
<b>Identification (famille, espèce si possible) :</b> <b>Épervier d'Europe (Accipiter nisus)</b>				
<b>Etat de l'individu :</b> <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment				
<b>Etat du cadavre :</b> <input checked="" type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec				
<b>Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...):</b> <b>Collision</b>				
<b>COMMENTAIRES :</b> Individu 2CY (deuxième année civile, i.e. immature né la saison dernière), femelle Blessure patte droite (fracture ou déboîtement)				

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE CHAUVES-SOURIS			
<b>Nom du parc éolien :</b> BROONS			
<b>Point n°</b> 2	<b>Date :</b> 12 avril 2022	<b>Heure :</b> 11:10	<b>Nom du découvreur :</b> VIBERT Laëtitia
<b>Localisation :</b> Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 6815444 Longitude : 313470 Numéro de l'éolienne la plus proche : E4 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 1.5 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : N Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : plateforme			
<b>N° de photos :</b> C:\Users\pcencis145\Documents\1_ENCIS\1_ETUDES\1_ECOLOGIE\14_BROONS_SUIVI_EOL_2022\1_PHOTOS\12_20020412_E4_PIPPIP > Photos 1 à 6			
<b>Description et identification :</b> Taille de la chauve-souris (ailes déployées) : AB : 32.5 mm D3 : 55 mm D5 : 41.5 mm Particularités (couleur, forme quelconque) : /			
Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> )			
<b>Etat de l'individu :</b> <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment <input checked="" type="checkbox"/> Blessure apparente <input type="checkbox"/> Sans blessure visible			
<b>Etat du cadavre :</b> <input checked="" type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec			
<b>Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...)</b> : Collision Blessure abdomen et fracture avant-bras			
<b>COMMENTAIRES :</b>			

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE CHAUVES-SOURIS				
<b>Nom du parc éolien :</b> BROONS				
<b>Point n°</b> 3	<b>Date :</b> 19 avril 2022	<b>Heure :</b> 11:20	<b>Nom du découvreur :</b> VIBERT Laëtitia	
<b>Localisation :</b> Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 6816375 Longitude : 314290 Numéro de l'éolienne la plus proche : E1 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 1.5 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : NE Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : plateforme				
<b>N° de photos :</b> C:\Users\poenclis145\Documents\1_ENCIS\1_ETUDES\1_ECOLOGIE\14_BROONS_SUIVI_EOL_2022\8_PHOTOS 13_20220419_E1_PIPPIP > Photos 1 à 5				
<b>Description et identification :</b> Taille de la chauve-souris (ailes déployées) : AB : 31 mm D3 : 52 mm D5 : 37 mm Particularités (couleur, forme quelconque) : /  Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle commune ( <i>Pipistrellus pipistrellus</i> )				
<b>Etat de l'individu :</b> <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment <input type="checkbox"/> Blessure apparente <input type="checkbox"/> Sans blessure visible				
<b>Etat du cadavre :</b> <input checked="" type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec				
<b>Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...):</b> Collision Blessure œil gauche				
<b>COMMENTAIRES :</b>				

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE CHAUVES-SOURIS			
<b>Nom du parc éolien :</b> BROONS			
<b>Point n°</b> 4	<b>Date :</b> 20 juin 2022	<b>Heure :</b> 09:10	<b>Nom du découvreur :</b> VIBERT Laëtitia
<b>Localisation :</b>  Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte  Latitude : 6815991 Longitude : 314327 Numéro de l'éolienne la plus proche : E2 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 19 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : N Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : prairie			
<b>N° de photos :</b> C:\Users\poencis145\Documents\1_ENCIS\1_ETUDES\1_ECOLOGIE\14_BROONS_SUIVI_EOL_2022\8_PHOTOS 14_20220620_E2_PIPKUH > Photos 1 à 4			
<b>Description et identification :</b>  Taille de la chauve-souris (ailes déployées) : AB : 34 mm D5 : 48 mm  Particularités (couleur, forme quelconque) : Femelle probable (biométrie), adulte  Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii)			
<b>Etat de l'individu :</b>  <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment <input type="checkbox"/> Blessure apparente <input type="checkbox"/> Sans blessure visible			
<b>Etat du cadavre :</b>  <input checked="" type="checkbox"/> Frais <input type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec			
<b>Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...):</b>  Collision Sang sur l'abdomen			
<b>COMMENTAIRES :</b>			

FICHE DE TERRAIN STANDARDISEE – MORTALITE OISEAUX			
<b>Nom du parc éolien :</b> <b>BROONS</b>			
Point n° 5	Date : 18 octobre 2022	Heure : 09:35	Nom du découvreur : VIBERT Laëtitia
<b>Localisation :</b> Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 6815980 Longitude : 314726 Numéro de l'éolienne la plus proche : E3 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 12 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : O Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : plateforme			
 N° de photos : C:\Users\pcencis145\Documents\1_ENCIS\1_ETUDES\1_ECOLOGIE\14_BROONS_SUIVI_EOL_2022\8_PHOTOS_IS_20221018_E3_PHYCOL > Photos 1 à 3			
<b>Description et identification :</b> Taille de l'oiseau (ailes déployées) : longueur totale 125 mm LP : 65 mm LT : 22 mm Particularités (couleur, forme quelconque) : uniformément brun dessus, parties inférieures plus claires, bec fin Identification (famille, espèce si possible) : Pouillot véloce ( <i>Phylloscopus collybita</i> )			
<b>Etat de l'individu :</b> <input type="checkbox"/> Vivant (blessé) <input checked="" type="checkbox"/> Mort <input type="checkbox"/> Fragment			
<b>Etat du cadavre :</b> <input type="checkbox"/> Frais <input checked="" type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input type="checkbox"/> Sec			
<b>Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...):</b> Collision			
<b>COMMENTAIRES :</b>			