

Décembre 2022

Suivi Environnemental ICPE

PARC ÉOLIEN DE COULANGES

COMMUNE DE BRINAY (18)

ANNÉE DE SUIVI 3

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 deux 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 BRINAY ENERGIE pour réaliser ce suivi environnemental ICPE dès 2020.

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

SOMMAIRE

1	Cadre général de l'étude	7
1.1	Maître d'ouvrage – exploitant.....	9
1.2	Auteurs de l'étude.....	9
1.3	Présentation du parc éolien étudié.....	10
1.4	Cadre réglementaire de l'étude de suivi environnemental pour les projets éoliens	12
1.5	Les impacts potentiels d'un parc éolien en fonctionnement sur le milieu naturel.	13
1.5.1	Avifaune	13
1.5.2	Chiroptères.....	18
2	Méthodes utilisées.....	27
2.1	Méthodologie et démarche générale.....	29
2.2	Suivi d'activité des chiroptères	31
2.2.1	Objectif et paramètres à prendre en compte.....	31
2.2.2	Méthodologie et pression d'inventaire.....	31
2.3	Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées	37
2.3.1	Limites des méthodes employées.....	37
2.3.2	Difficultés rencontrées	37
2.4	Suivi de la mortalité sur l'avifaune et les chiroptères	38
2.4.1	Principes et objectif.....	38
2.4.2	Protocole utilisé	39
2.4.3	Méthodes d'estimation de la mortalité	41
2.4.4	Limites des méthodes utilisées	47
3	Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères	49
3.1	Bilan des connaissances de l'étude d'impact.....	51
3.2	Suivi de l'activité des chiroptères en 2022	53
3.2.1	Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle	53
3.2.2	Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle	63
3.3	Bilan et comparaison avec l'étude d'impact et les suivis ICPE.....	64
3.3.1	Diversité spécifique	64
3.3.2	Cumul des trois années de suivi ICPE.....	65
3.4	Principaux éléments à retenir du suivi ICPE	72
4	Résultats du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	73
4.1	Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation	75
4.1.1	Durée moyenne de l'intervalle.....	75
4.1.2	Efficacité du chercheur	75
4.1.3	Persistance des cadavres	75
4.1.4	Surfaces prospectées et correction surfacique.....	76
4.2	Mortalité de l'avifaune	77
4.2.1	Bilan des connaissances sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien	77
4.2.2	Bilan des connaissances de l'étude d'impact.....	81
4.2.3	Résultats globaux du suivi de l'avifaune en 2022	82
4.2.4	Résultats saisonniers	85
4.2.5	Résultats spatialisés par éolienne	86
4.2.6	Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien	87
4.2.7	Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune	88
4.2.8	Comparaisons des données de 2022 avec celles de 2021 et 2020	90

4.2.9 Synthèse	91
4.3 Mortalité des chiroptères	92
4.3.1 Bilan des connaissances sur la mortalité des chiroptères liée à l'éolien	92
4.3.2 Résultats globaux du suivi des chiroptères en 2022	97
4.3.3 Résultats saisonniers	100
4.3.4 Résultats spatialisés par éolienne	101
4.3.5 Causes potentielles de la mortalité engendrée sur le parc éolien	102
4.3.6 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères	103
4.3.7 Comparaisons des données de 2022 avec celles de 2020 et 2021	107
4.3.8 Synthèse	109
5 Mesures correctrices	111
5.1 Mesures correctrices pour réduire l'incidence sur les chiroptères	113
5.1.1 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence sur les chiroptères.....	113
5.1.2 Mesures correctrices proposées pour réduire l'incidence avifaune	113
Table des illustrations	115
Bibliographie.....	119
Annexes	129




1 Cadre général de l'étude

1.1 Maître d'ouvrage – exploitant

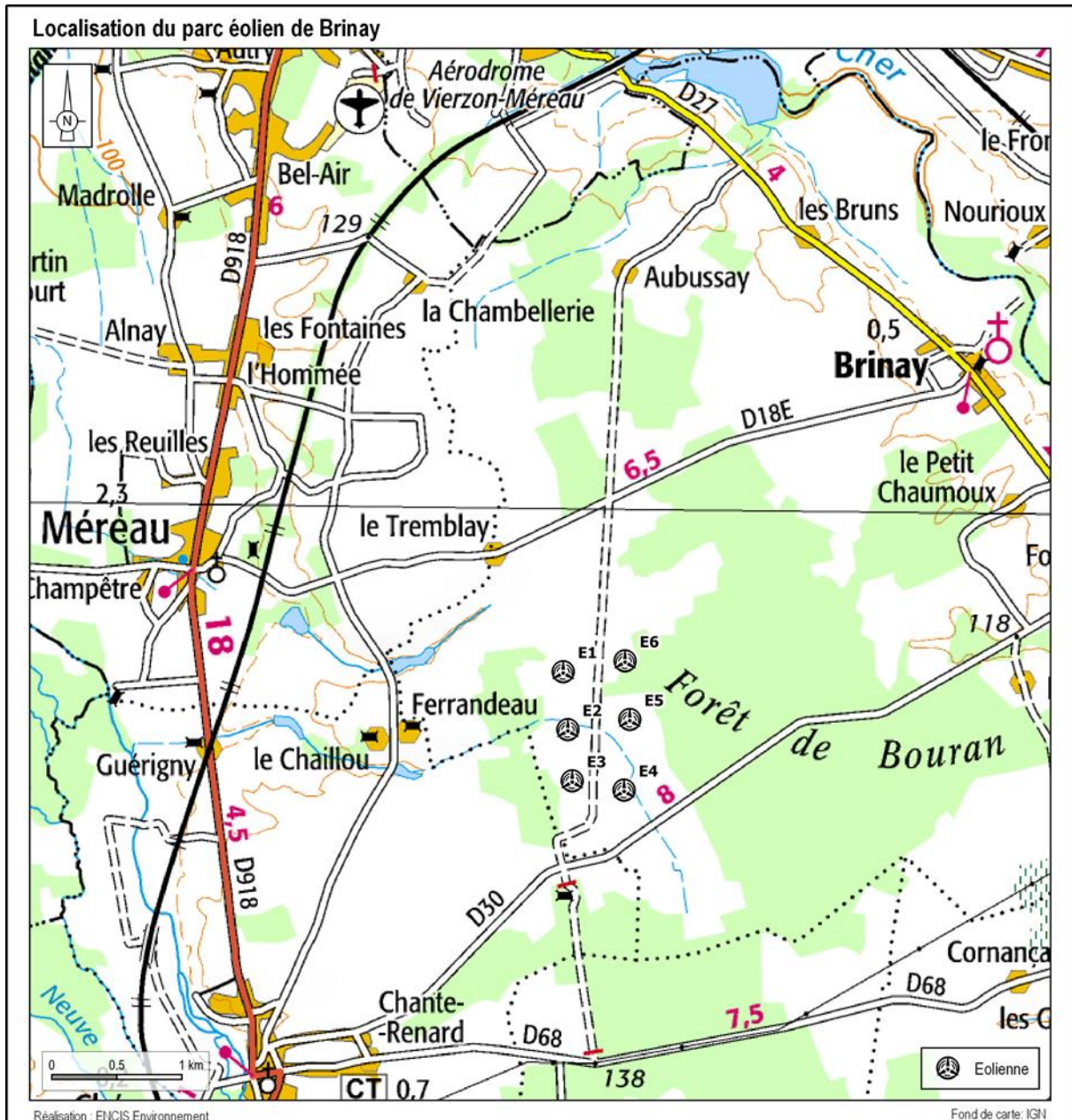
Destinataire	BRINAY ENERGIES
Adresse de l'interlocuteur	JPee 1 rue Célestin Freinet 44 200 NANTES
Interlocuteur	Anaëlle HOUVERT
Téléphone	02 14 99 11 55

1.2 Auteurs de l'étude

Structure	
Adresse	21 Rue de Columbia 87 068 LIMOGES
Téléphone	05 55 36 28 39
Coordination de l'étude	Michaël LEROY, Responsable du Pôle écologie de Limoges - Chiroptérologue
Suivi de l'activité des chiroptères	Benoît LESAGE, Chargé d'études - Chiroptérologue
Suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères	Margot FEVRIER, Chargée d'études - Écologue
Correction	Pierre PAPON, Directeur du pôle Écologie
Validation	Pierre PAPON, Directeur du pôle Écologie
Version / date	Décembre 2022

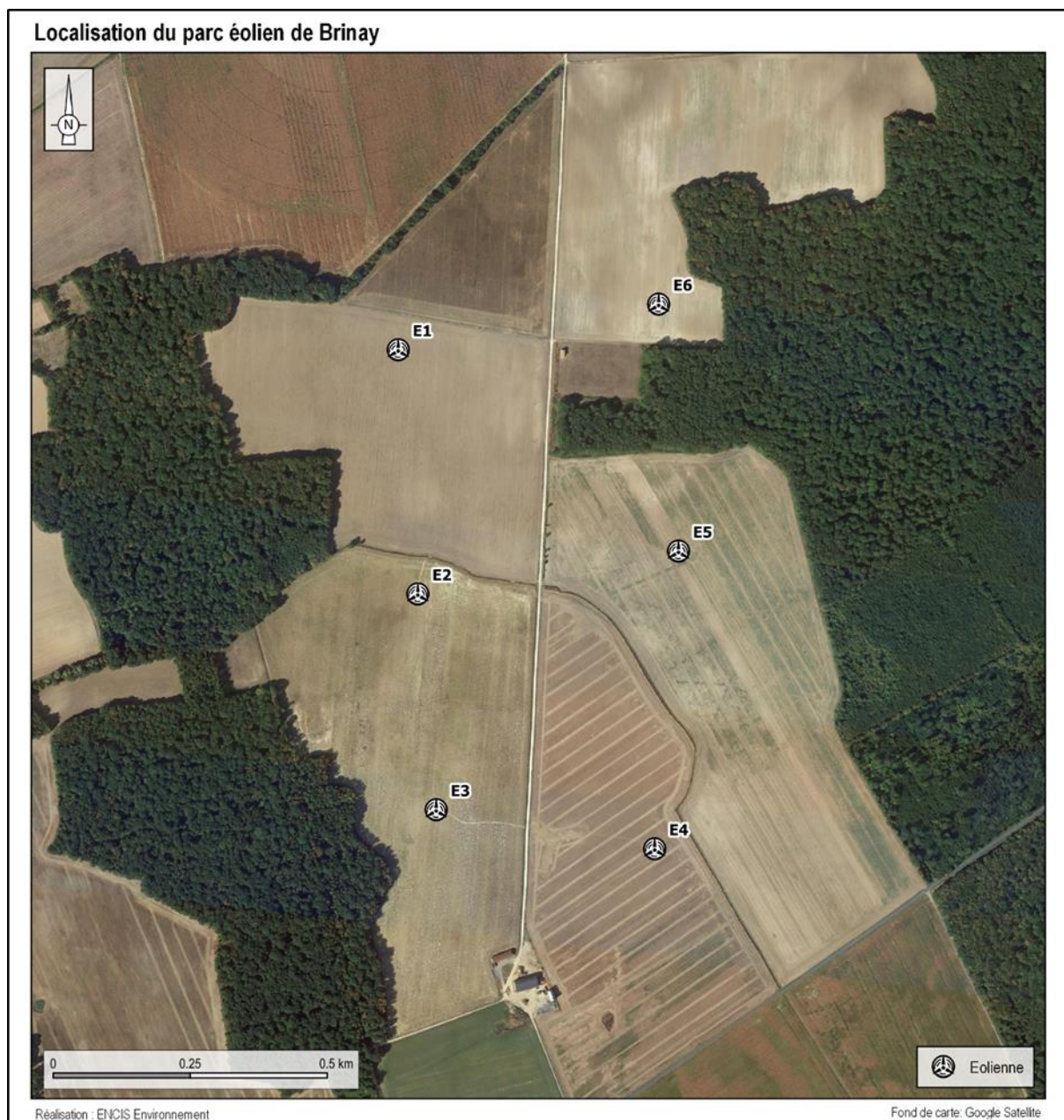
1.3 Présentation du parc éolien étudié

Le parc éolien de Coulanges, autorisé par arrêté préfectoral du 30 mai 2017 et mis en service en avril 2020, est constitué de six éoliennes N-131-3MW d'une hauteur de 180 mètres en bout de pale, d'un hub à 114 m et d'une garde au sol de 49 m. Les éoliennes sont implantées au sud-ouest de la commune de Brinay et au sud-est de Méreau, au lieu-dit Ferrandeu (carte suivante).



Carte 1 : Localisation du parc éolien de Coulanges

Implantées dans un secteur à forte dominante agricole, les six éoliennes se situent dans des parcelles cultivées (carte suivante). Des boisements, majoritairement âgés, ceinturent ces cultures à l'ouest et à l'est.



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

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

Création ou extension d'un parc éolien

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

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

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

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

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

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

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

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

1.5.1 Avifaune

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

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



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'ADEME¹, du MEEDDM², du SER-FEE³ et de la LPO⁴, 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.

¹ Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

² Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du développement Durable et de la Mer

³ Syndicat des Énergies Renouvelables – France Énergie Éolienne

⁴ 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 migrants

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 migrants ou hivernants**. Plusieurs auteurs témoignent d'une accoutumance des individus locaux à la présence de ces nouvelles structures (Dulac, 2008 ; Albouy, 2005). Faggio *et al.* (2003) indiquent une indifférence totale vis-à-vis des éoliennes pour les espèces locales ou nicheuses qui restent en permanence près du sol comme la Fauvette sarde et la Perdrix rouge.

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

Espèces des milieux aquatiques

Les oiseaux d'eau peuvent s'avérer farouches vis-à-vis de la présence des éoliennes. Hors période de reproduction, selon 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 habitude se fait au prix d'un risque accru de collision avec les éoliennes (Gaultier *et al.*, 2019).

1.5.1.2 Effet barrière et contournement

L'effet barrière correspond à des **réactions de contournement des éoliennes lors des vols** des oiseaux. Les parcs éoliens peuvent représenter une barrière **aussi bien pour les oiseaux en migration active que pour les oiseaux en 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 migrateurs** 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).

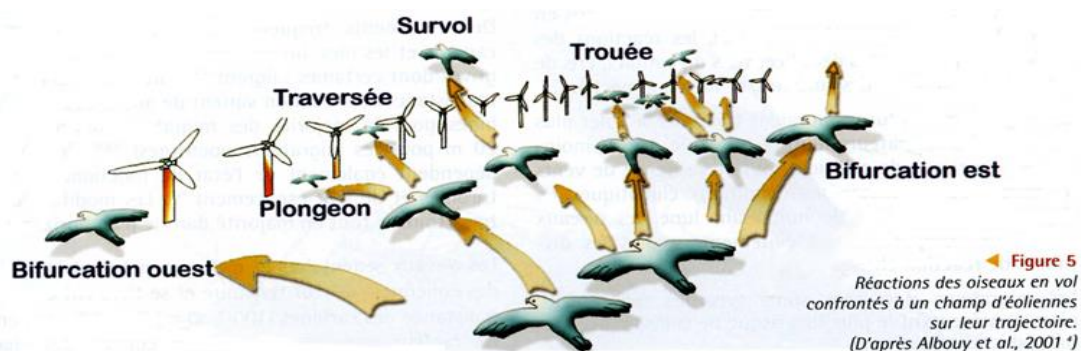


Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy *et al.*, 2001)

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 migrateurs**. 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 migrateurs 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 envergures** (faucons, éperviers, milans, Bonbrée apivore) mais **trop faible pour les oiseaux de plus grande envergure comme les cigognes ou le Circaète Jean-le-Blanc** (aucun de ces derniers n'a été observé utilisant cet espace). Également, Roux *et al.*, (2013) ont constaté que des éoliennes implantées parallèlement au couloir de migration ne semblaient pas faire barrière aux mouvements des migrateurs. La littérature recommande de **limiter l'emprise du parc sur 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 migrateurs**. 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 migrateurs est encore difficile à évaluer et nécessiterait des travaux de recherche spécifiques.

1.5.1.3 Risque de collision

La mortalité des oiseaux peut résulter de collisions avec les pales ou avec la tour de la nacelle. Les petits passereaux pourraient également subir des barotraumatismes et être projetés au sol par les turbulences créées par la rotation des pales (Gaultier *et al.*, 2019). Il faut également noter qu'un faible taux de mortalité peut générer des incidences écologiques notables, pour les espèces menacées et pour les espèces à maturité lente et à faible productivité annuelle (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 migrateurs nocturnes sont généralement considérés comme les plus exposés au risque de collision avec les turbines (Soufflot, 2010).

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

Certains rapaces, en particulier **les espèces à tendance charognarde** tels les milans, la Buse variable ou encore les busards peuvent être **attirés sur les parcelles cultivées lors des travaux agricoles**

(notamment la fauche des prairies au printemps et les moissons en été) et par **l'ouverture des milieux** liée au défrichement.



Figure 2 : 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.

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

1.5.2.1 Perte et/ou altération d'habitat

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

Les mouvements de rotation des pales entraînent un mouvement de l'air pouvant balayer les insectes (Corten and Veldkamp 2001). Cela aurait pour conséquence de raréfier les insectes par endroit

et donc de diminuer la qualité de ces habitats en tant que territoire de chasse. De façon contradictoire, la génération de chaleur au niveau de la nacelle attirerait les insectes dans ce même endroit, constituant un lieu de chasse attractif pour les chiroptères...

Par extension, un déplacement des routes de vol et un abandon des zones de chasse pourraient conduire à une augmentation des dépenses énergétiques et à une baisse des apports énergétiques. À plus long terme, le déséquilibre de ce rapport coût/bénéfice pourrait causer un abandon des gîtes de reproduction de certaines espèces (Bach 2002, 2003 ; Bach and Rahmel 2004 ; Dubourg-Savage 2005). Une baisse d'activité de la Sérotine commune a ainsi été constatée sur le parc éolien de Midlum, l'effet testé ici était la présence des éoliennes indépendamment du type de milieu.

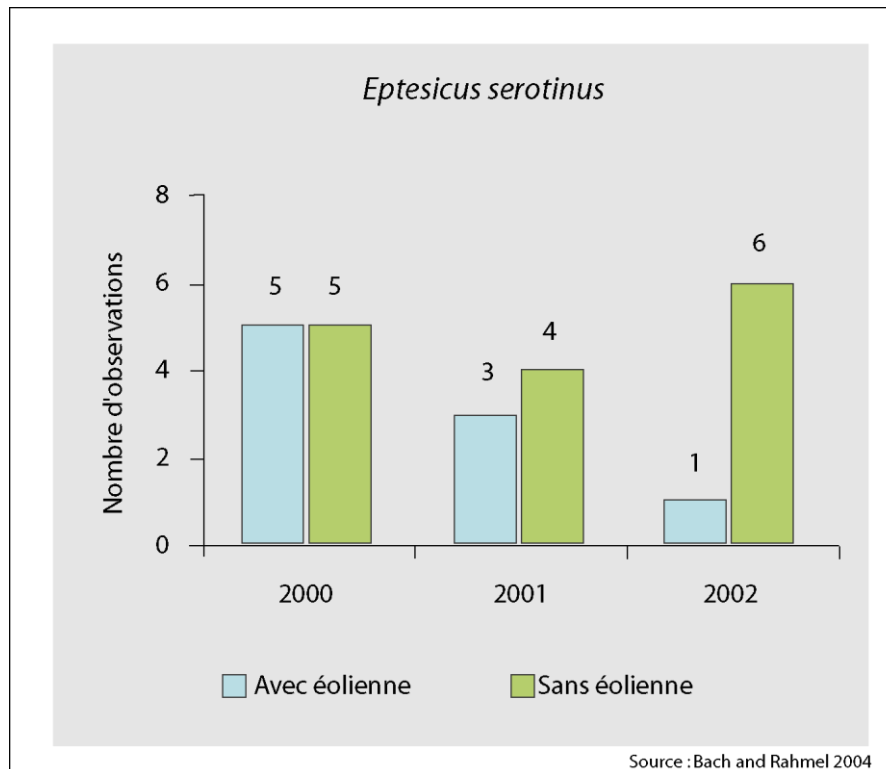


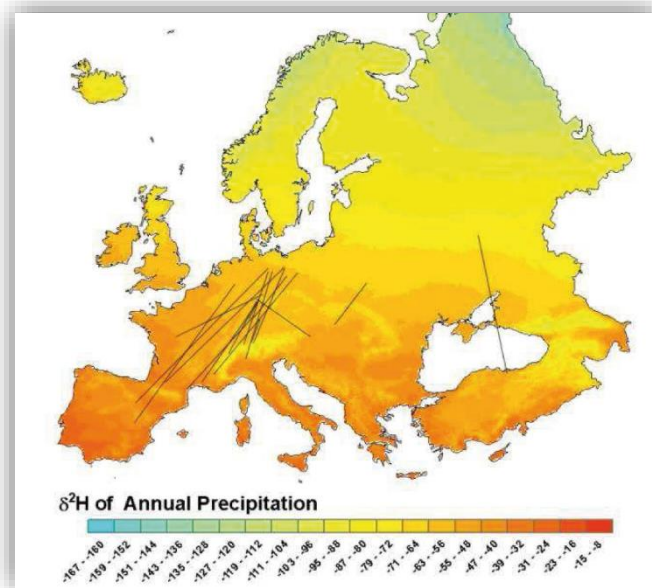
Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum

Perte des voies de migration ou des corridors de déplacement

Les parcs éoliens pourraient induire un « effet barrière » selon certains auteurs. Les aérogénérateurs pourraient gêner les déplacements des chiroptères sur leurs terrains de chasse ou leurs corridors de déplacement (Dubourg-Savage, 2005). Comme mentionné précédemment le déplacement des routes de vol pourrait avoir comme conséquence l'abandon sur le long terme des gîtes de reproduction situés à proximité du site éolien, mais cette hypothèse est moins plausible que celle de l'abandon des terrains de chasse au vu de la capacité des chiroptères à voler en milieux encombrés tels que les boisements. Bach remarque d'ailleurs que les corridors de déplacement continuent à être empruntés sur le parc de Midlum (Bach 2002 ; Bach and Rahmel, 2004).

En revanche, cet « effet barrière » pourrait également intervenir sur les voies de migration des espèces migratrices (Dubourg-Savage 2005). Le phénomène migratoire chez les chiroptères et leur

comportement face aux éoliennes lors de ces déplacements à grande échelle sont bien moins connus. Une perte ou un déplacement des voies de migration dans le cas d'un parc éolien situé sur une de ces



routes n'est donc pas à exclure.

Figure 4 : Voies migratoires de la Noctule de Leisler (Popa-Lisseanu and Voigt from Hutterer et al. 2005.)

Dérangement par émissions d'ultrasons

Un parc éolien en fonctionnement peut être cause d'émissions sonores. Schröder a par exemple montré en 1997 que certains parcs éoliens pouvaient émettre des ultrasons jusqu'à 32 kHz. Les chiroptères sont perturbés par les ultrasons lorsque leur intensité et/ou leur fréquence recoupe celles de leurs propres cris (Neuweiler 1980 ; Schmidt and Joermann 1986 ; Simmons *et al.* 1978). Les effets de certaines émissions sonores sur les chauves-souris sont peu connus. Néanmoins elles pourraient les perturber lors de leur recherche d'insectes si des éoliennes se situent entre leur gîte et leurs territoires de chasse. Ce pourrait être le cas des espèces qui, comme le Grand Murin, repèrent les insectes à leurs bruissements.

À long terme, cela pourrait entraîner un abandon des zones de chasse des espèces les plus sensibles (Bach 2001, 2002 et 2003 ; Bach and Rahmel 2004). Bach a par exemple observé, dans son étude sur les effets du parc éolien Midlum situé à Cuxhaven en Allemagne, que les sérotines communes présentes habituellement sur le site évitaient les zones à plus fortes concentrations en ultrasons ce qui aurait pour conséquence l'abandon partiel du territoire de chasse (à noter que ce phénomène ne touche pas les pipistrelles communes selon ses résultats). 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.

1.5.2.2 Mortalité directe et indirecte

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

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

La synthèse bibliographique récente 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 l'argumentaire suivant.

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** lors du passage des pales devant le mât a lieu lors de la rotation des pales. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité des pales, nommées barotraumatismes. 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). Grotsky *et al.* (2011) et Rollins *et al.* (2012) soulignent que certains facteurs environnementaux (temps écoulé après le décès, température, congélation des cadavres pour leur conservation) seraient à même de reproduire les critères diagnostiques d'une hémorragie pulmonaire concluant au barotraumatisme.

Trois autres phénomènes sont à relater bien que moins mentionnés dans la littérature scientifique. La rotation des pales d'éoliennes pourrait provoquer un **vortex** (tourbillon d'air) susceptible de piéger les chauves-souris passant à proximité (Horn *et al.* 2008). De même, les **courants d'air créés par la rotation des pales** seraient susceptibles d'entraîner des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité des pales ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grotsky *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 certain rayon autour des éoliennes puisque les cadavres se trouveraient alors à bonne distance du site.

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

La majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la **saisonnalité** joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique et donc la mortalité sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne (Arnett *et al.* 2006 ; Dürr 2002 ; Doty and Martin 2012 ; Hull and Cawthen 2013 ; Brinkmann *et al.* 2006, 2011 ; Grodsky *et al.* 2012 ; etc.). Cette observation a ainsi conduit de nombreux auteurs à considérer que la mortalité par collision est intrinsèquement liée au comportement migratoire automnal. Si ce fait est avéré, comme nous le verrons plus loin, 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). En France, une étude récente menée sur le parc éolien de Castelnau-Pegayrols en Aveyron (Beucher *et al.* 2013) a permis d'attester que les populations locales, gîtant à proximité du parc éolien et utilisant le site comme zone de chasse et de transit, étaient plus sensibles que les migratrices. Selon Cryan et Brown (2007), la période migratoire automnale impliquerait en fait une activité accrue d'individus lors des pauses migratoires destinées à reconstituer les réserves, gîter ou se reproduire, augmentant ainsi le risque de collisions. Le besoin de stocker des réserves énergétiques en vue de l'hibernation serait également la cause d'une activité accrue en automne (Furmankiewicz and Kucharska 2009).

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).

Le paramètre le plus influent semble être la vitesse de vent. Rydell *et al.* (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. 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.

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 and Barclay 2011...), 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-delà d'une hauteur de 44 m, 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 ; Kern *et al.* 2005), le rayonnement lunaire (Baerwald and Barclay 2011 ; Cryan *et al.* 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.* 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas

de la température) comme le montrent Behr *et al.* (2011), ou sur l'abondance d'insectes (Corten and 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). 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. Rydell *et al.* (2010) ont estimé des mortalités de 0-3 individus/turbine/an en openfield, 2-5 individus/turbine/an en milieu semi-ouvert et 5-20 individus/turbine/an en forêt. D'après des études américaines (Kunz *et al.* 2007), les éoliennes situées à proximité de linéaires boisés (lisières forestières) et sur des crêtes sont particulièrement mortifères car les chauves-souris les utilisent comme corridors de déplacement. En France, dans le parc de Castelnau-Pegayrols, Beucher *et al.* (2013) ont noté des mortalités bien plus importantes sous les éoliennes situées à proximité de structures arborées que sur celles situées à plus de 100 m des lisières. La mortalité a de fait été estimée à 348 individus par an pour l'ensemble des éoliennes ; 9 des 13 éoliennes de ce parc sont situées à proximité immédiate des lisières.

EUROBATS, groupe de travail constitué de scientifiques européens chargés de l'étude et de la protection des chiroptères, a effectué plusieurs travaux sur la thématique « éolien et chauves-souris ». En compilant les travaux existants sur le sujet, ce groupe conseille d'implanter des aérogénérateurs à une distance tampon évaluée à 200 m des lisières forestières, haies arborées et arbustives, plans d'eau et tout autre structure paysagère susceptible d'être le siège d'une activité chiroptérologique importante (Rodrigues *et al.*, UNEP-Eurobats, publication 6, 2014).

Des comportements à risques de collision, facteurs de mortalité

Comme nous l'avons vu 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). Néanmoins, plusieurs auteurs notent des émissions d'ultrasons au cours de la migration (Ahlén *et al.* 2009 ; Furmankiewicz and Kucharska 2009), ce qui contredit cette dernière hypothèse. Selon une étude réalisée en Allemagne (Dürr 2003), sur 82 chauves-souris mortes par collision, seuls 8,5 % des cadavres ont été trouvés lors des migrations de printemps et en période de mise-bas et d'élevage des jeunes. La majorité des cadavres a été découverte lors de la dispersion des colonies de reproduction, de la fréquentation des gîtes de transit et d'accouplement et de la migration automnale. Cela peut s'expliquer par le fait que la migration automnale a généralement lieu sur une période plus étalée que la migration printanière en raison des nombreuses pauses destinées à se réapprovisionner et à s'accoupler. Furmankiewicz et Kucharska (2009) soulignent d'ailleurs un retour rapide aux gîtes estivaux après la phase d'hibernation. Selon ces auteurs, une autre raison pourrait être que la hauteur de vol des chiroptères en migration serait inférieure en automne par rapport au printemps. Enfin, un fait

intéressant à noter est la répartition spatiale des mortalités constatée sur certains parcs éoliens. Baerwald et Barclay (2011) ont ainsi mesuré des taux de mortalité supérieurs au nord des parcs, ce qui suggère que les aérogénérateurs au nord seraient les premiers rencontrés par les espèces migrant en automne selon un axe nord-est/sud-ouest.

Les **comportements de chasse, de reproduction ou de swarming** sont vraisemblablement 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. L'analyse des contenus stomacaux a également permis de constater que le décès d'individus entrés en collision avec des pales était intervenu pendant ou après qu'elles se soient alimentées (Rydell *et al.* 2010 ; Grodsky *et al.* 2011).

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 contexte 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. Des cas de gîtage dans des interstices de la nacelle ont d'ailleurs été mis en évidence en Suède et en Allemagne (Dürr 2002 *in* Hensen 2003 ; Rodrigues *et al.* UNEP-Eurobats, publication 6, 2014). Cryan *et al.* (2014) suggèrent une approche de ces structures par la vue et l'écholocation, mais également par l'appréciation des courants d'air. Des pales immobiles ou tournant lentement induiraient des courants d'air similaires à ceux induits par des arbres de grande taille, ce qui expliquerait que les chiroptères n'approcheraient ces structures que par vitesses de vent réduites.

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 et 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. Cela paraît évident au vu de la fréquence de mortalité de certaines espèces face aux éoliennes. 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 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. 184 cadavres de chauves-souris ont été récoltés au pied des éoliennes d'un parc éolien dans le Minnesota (Johnson *et al.* 2000) et 80 % de ces chiroptères étaient des espèces de haut vol ou au vol rapide. 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.

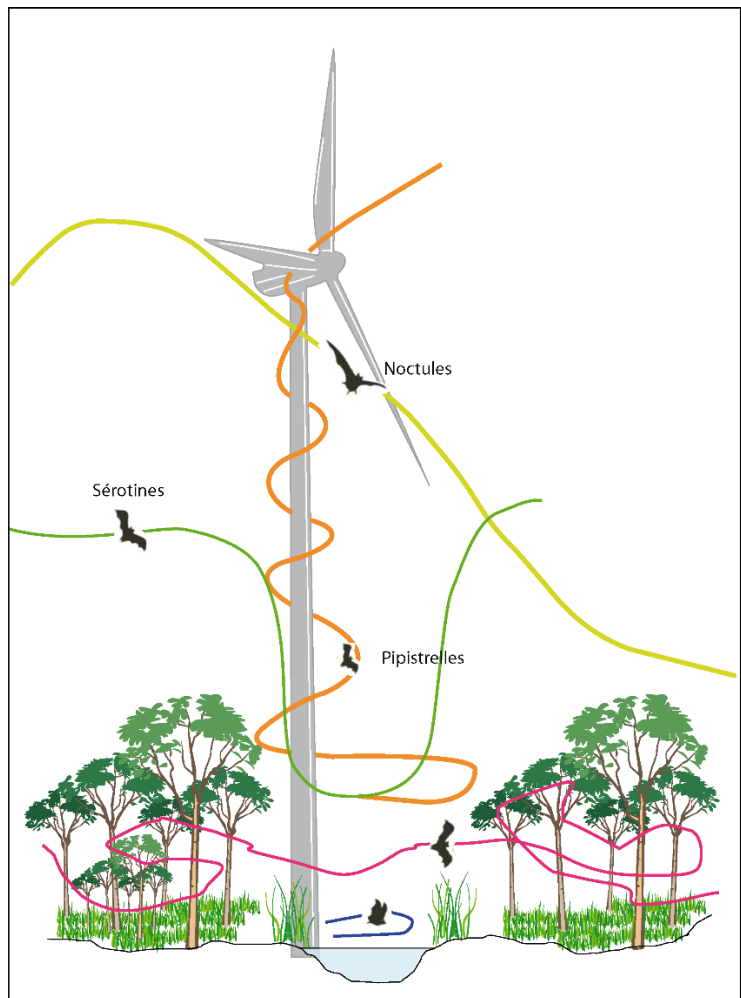


Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne

L'attraction des éoliennes, un facteur de mortalité

Comme nous l'avons abordé précédemment, les éoliennes peuvent elles-mêmes attirer les chiroptères. Les aérogénérateurs peuvent être confondus avec des arbres pouvant potentiellement comporter des gîtes (cf. *Mortalité par collision coïncidente*) ; 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. La **production de chaleur** pourrait concentrer les insectes et ainsi attirer les chiroptères en chasse et donc augmenter le risque de mortalité par collision (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.

Il est connu que nombre d'espèces de chauves-souris utilisent les structures paysagères (haies, lisières, ripisylve) pour se déplacer et chasser, non seulement parce qu'elles représentent un repère spatial mais également en raison du **rôle de coupe-vent** de ces éléments paysagers. Des concentrations d'insectes pourraient s'y former pour la même raison et donc encourager la recherche de proies le long de ces structures. Les chiroptères utiliseraient donc les aérogénérateurs de la même façon en volant à l'opposé de la direction du vent pour y rechercher les essaimages d'insectes (Cryan *et al.* 2014). Un autre facteur possible d'attractivité, selon Ahlén *et al.* (2003), serait l'**émission de basses fréquences** par la rotation des pales des éoliennes. Cela dit, comme il a été traité précédemment, beaucoup d'auteurs considèrent plus ces émissions ultrasonores comme une gêne que comme un attrait.

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 agissant 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 indices (sensibilité, vulnérabilité, note de risques, etc.), basés sur le croisement de différents paramètres, tels que le statut de conservation UICN, le nombre de cas de mortalité recensés en Europe, la taille et/ou la dynamique de population, la sensibilité au dérangement, etc.

Avifaune

L'indice utilisé est l'**indice de vulnérabilité**. Cet indice de vulnérabilité, compris entre 0,5 et 4,5, est le croisement entre la sensibilité au risque de collision et le statut de conservation UICN national. 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 UICN national et le taux de mortalité en Europe. **Cet indice inclus ainsi la sensibilité et définit un risque pour les populations d'espèces**. Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluation des populations européennes ou nationales assez fiables, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Un premier suivi environnemental a été réalisé en 2020 à la mise en service du parc éolien, conformément à son arrêté préfectoral (mortalité d'avril à octobre et écoutes d'août à novembre). Ce premier suivi ayant mis en évidence une mortalité de chiroptères nécessitant le renforcement du bridage des machines, un deuxième suivi a été préconisé en 2021 (mars à novembre). Ce dernier a également mis en évidence une mortalité trop importante, notamment avec la mise en place tardive du bridage le 7 septembre 2021. Un troisième suivi a donc été réalisé en 2022.

Le présent rapport comprend les résultats des suivis réalisés en 2022. Les résultats des suivis précédents seront également présentés afin d'être comparés à ceux de 2022.

2.2 Suivi d'activité des chiroptères

2.2.1 Objectif et paramètres à prendre en compte

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

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

2.2.2 Méthodologie et pression d'inventaire

2.2.2.1 Inventaires ultrasoniques 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.

D'après l'étude d'impact de la ferme éolienne de Coulanges, un suivi comportemental des chiroptères est nécessaire suite à la mise en place du parc éolien.

En novembre 2015, l'État a publié un protocole standardisé permettant de réaliser les suivis environnementaux des parcs éoliens terrestres. Ce protocole guidait la définition des modalités du suivi des effets du projet sur l'avifaune et les chiroptères. Suite à la publication d'un nouveau protocole de suivi environnemental en 2018, le document de 2015 est abrogé. La révision de mars 2018 privilégie le suivi de la mortalité (oiseaux et chiroptères) et le suivi du comportement des chiroptères, à hauteur de nacelle. Les suivis environnementaux devront être conformes à la réglementation de l'étude d'impact et au protocole évoqué ci-dessus. Ils seront en conséquence mis en place dès la première année de mise en service du parc. L'éolienne équipée sera l'éolienne E6 conformément aux prescriptions de l'autorisation environnementale.

Ainsi, le parc éolien de Coulanges fait l'objet d'un suivi comportemental des chiroptères à hauteur de nacelle depuis la première année de mise en service du parc (août 2020). Suite au constat d'une mortalité significative constatée, il a été décidé d'appliquer une mesure correctrice en 2021 et de vérifier son efficacité par un nouveau suivi de la mortalité en 2022.

2.2.2.1.1 Protocole d'inventaire sur site

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



Figure 6 : 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.

2.2.2.1.2 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.

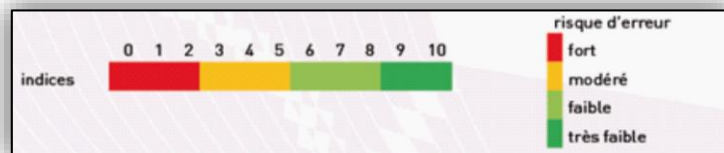


Figure 7 : Indices de confiance établis par Sonochiro® et risques d'erreurs associés

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 identifiées au genre afin de limiter les marges d'erreur. À défaut de la connaissance de l'espèce pour certains enregistrements, le nombre de contacts enregistrés constitue une donnée permettant de quantifier l'activité chiroptérologique.

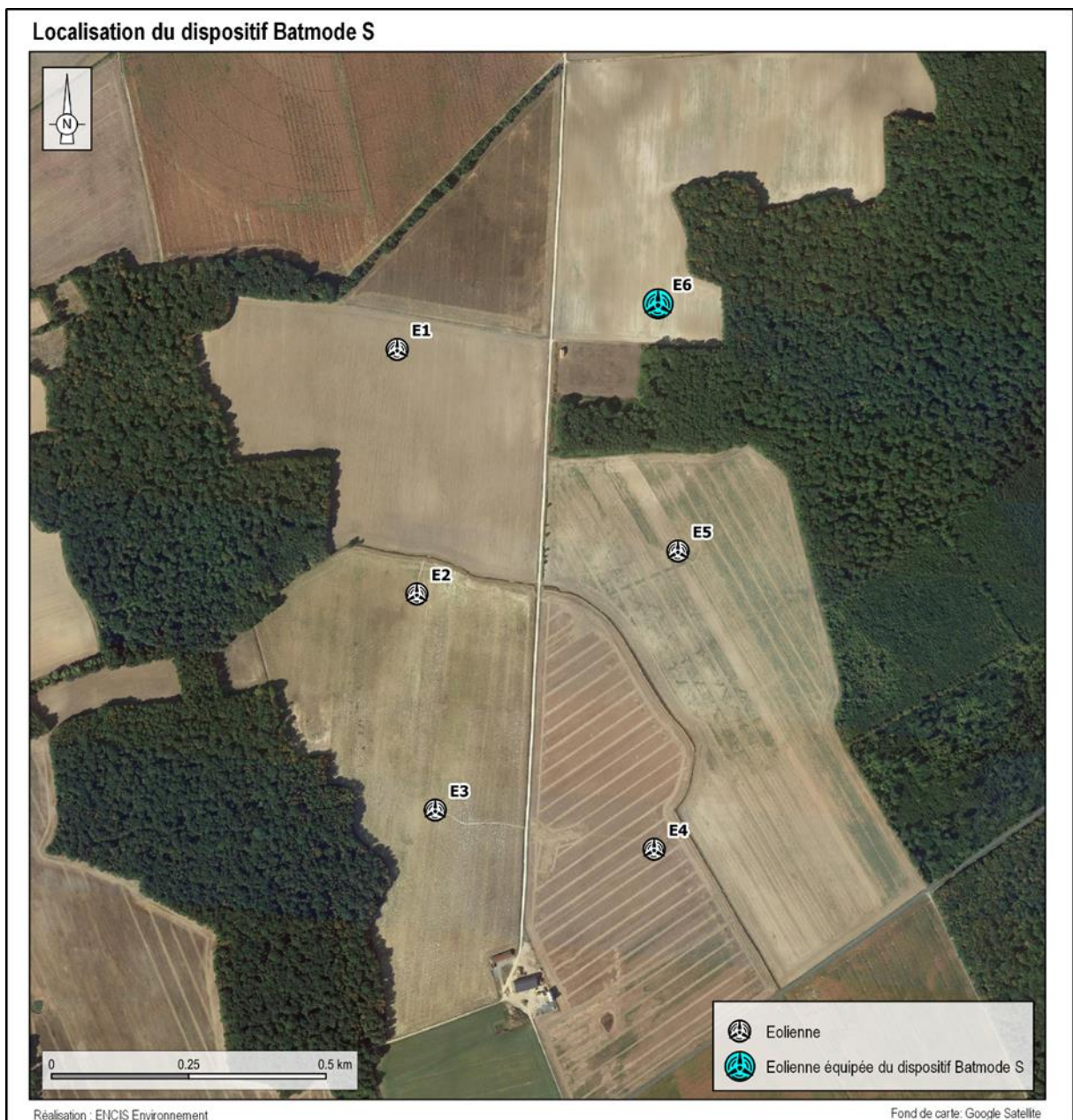
Corrélation des données chiroptérologiques, météorologiques et astronomiques

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

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

2.2.2.1.3 Localisation du dispositif Batmode S

La cartographie suivante permet de localiser la position du dispositif Batmode S en fonction de l'éolienne associée. L'éolienne E6 a ainsi été équipée conformément aux prescriptions. Le gabarit de cette éolienne est de 49 m en bas de pale avec une nacelle à 114,5 m et un bout de pale à 180 m. La distance entre le bout de pale et la canopée est de 49 m.



Carte 3 : Localisation du dispositif Batmode S



Figure 8 : Disque micro (premier plan), disque antenne et sonde (deuxième plan)



Figure 9 : BATmode et système d'alimentation à l'intérieur de la BATbox

2.2.2.2 Calendrier des inventaires en nacelle

Concernant les écoutes sur nacelle d'éolienne, la période de présence du dispositif va du 29 avril 2022 au 12 septembre 2022. Les analyses des écoutes sont 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, ce qui a été le cas ici.

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

Pour Coulanges, le dispositif ne présente aucun dysfonctionnement lors des inventaires 2022.

Inventaires et méthodes employées	Nombres de sorties	Dates des campagnes	Horaires des inventaires	Conditions météorologiques d'observation			Personne ayant réalisé les inventaires
				Couverture du ciel	Température	Vent	
Enregistrements automatiques en nacelle (Batmode S)	136 nuits	Du 29 avril au 12 septembre 2022	De 1h avant le coucher à 1h après le lever du soleil	-	-	-	Benoît LESAGE

Tableau 1 : Dates et conditions météorologiques des inventaires des chiroptères en nacelle d'éolienne

2.3 Limites des méthodes utilisées et difficultés rencontrées

2.3.1 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.

2.3.1.1 Limites des méthodes employées pour le suivi des chiroptères

Les inventaires réalisés *in situ* (acoustiques) 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.

2.3.2 Difficultés rencontrées

2.3.2.1 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 les BATmodes, des problèmes techniques peuvent occasionnellement survenir. Ils peuvent amener une perte d'information par arrêt temporaire des enregistrements de chauves-souris, cela n'a pas été le cas pour cet inventaire.

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

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 Coulanges.

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

2.4.1 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 » rédigé en novembre 2015 et révisé 2018, ainsi que sur les « suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères », document actualisé en 2016 par la SFPEM.

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

La mortalité 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 prédation par d'éventuels charognards).

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

Compte tenu des nombreux facteurs aléatoires régissant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité, il est par ailleurs nécessaire d'être vigilant aux limites des 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. Seules des mesures simples et nécessaires à l'identification des espèces (principalement chiroptères) sont réalisées sur le terrain. Les spécimens sont laissés en l'état à l'endroit de la découverte sans qu'aucun enlèvement, destruction ou perturbation ne soit réalisé (opérations nécessitant une demande de dérogation spécifique).

2.4.2 Protocole utilisé

2.4.2.1 Pression d'inventaires

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

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

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

L'étude d'impact ne soulève pas d'enjeux nécessitant la mise en place d'un renforcement du suivi établi par défaut d'après le protocole national (2018).

Dans le cas du parc de Coulanges, la pression d'inventaire a été définie pour répondre aux modalités prévues initialement et validées dans l'arrêté d'autorisation environnementale (n° 2017-1-0588 du 30 mai 2017 portant sur l'autorisation d'exploitation du parc). La mise en place des inventaires 2020 a finalement montré une mortalité significative et la nécessité d'appliquer des mesures correctrices (programmation préventive des éoliennes).

Ainsi, Brinay Énergies a demandé à ENCIS Environnement de lancer une deuxième année de protocoles sur l'année 2021, puis une troisième année de protocoles sur l'année 2022, afin de pouvoir produire un protocole de suivi complet et montrer l'efficacité des mesures mises en place.

Au total sur l'année 2022, 15 prospections ont été réalisées dans le cadre du suivi de la mortalité, à raison d'une prospection par semaine entre les semaines 21 et 35. Le calendrier complet des sorties est présenté en Annexe 3.

2.4.2.2 Nombre d'éoliennes prospectées

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

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

Ainsi, au sein du parc de Coulanges, chacune des six éoliennes a été prospectée lors de ce suivi.

2.4.2.3 Surface et méthode d'échantillonnage

La surface prospectée sous les éoliennes est déterminée par la zone de survol des pâles, et donc, par la longueur de ces dernières. Un quadrat théorique de prospection est fixé, formé par des côtés d'une longueur de 100 mètres au minimum, ou deux fois la longueur des pales pour les éoliennes présentant des pales de longueur supérieure à 50 mètres.

Dans le cadre de ce suivi, pour chaque éolienne, un quadrat de 130 mètres de côté a ainsi été fixé. La surface théorique d'échantillonnage couvre donc une surface de 16 900 m² par éolienne suivie.

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

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

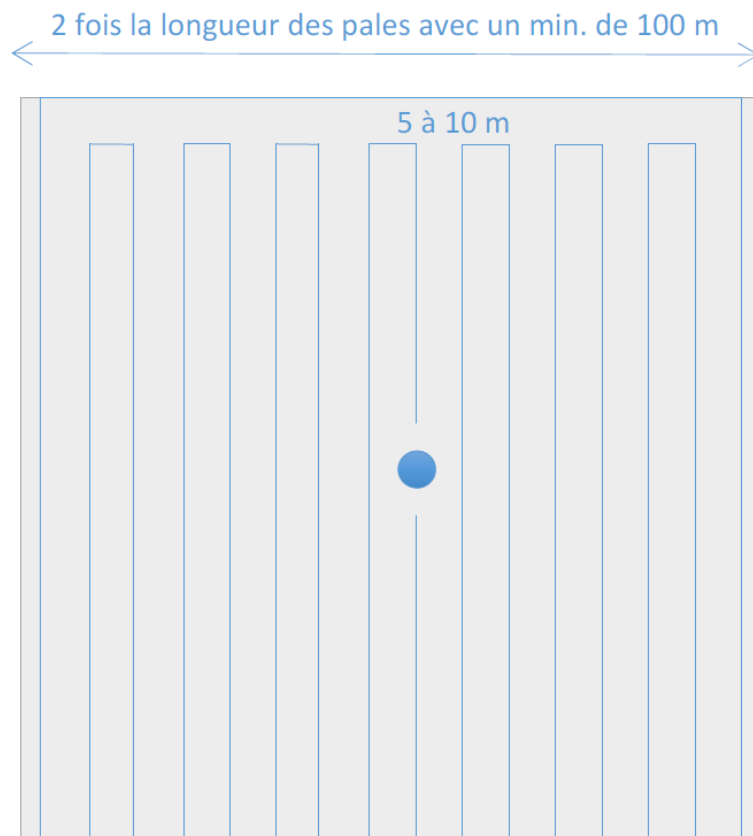


Figure 10 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne

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 2). Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées.

2.4.3 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.).

Un test a été réalisé pour mesurer l'efficacité de l'observateur et quantifier la persistance des cadavres sur le site.

2.4.3.1 Durée moyenne de l'intervalle (I)

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

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

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

2.4.3.2 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, une tierce personne (testeur) dépose entre trois et cinq cadavres (au moins) de poussins et/ou de souris de tailles variées de manière aléatoire (et localisé par GPS) sous chacune des éoliennes du parc, afin de simuler des cadavres d'oiseaux et de chiroptères. Les cadavres sont placés de manière à couvrir différents types de végétation présents, hors zones non-prospectées. 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	12 juillet 2022	18	12	30

Tableau 2 : Paramètres des tests de d'efficacité effectués sur l'année de suivi

2.4.3.3 Test de persistance

Ce test a pour but de prendre en compte le prélèvement des cadavres par les charognards dans l'estimation de la mortalité.

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, et jusqu'à la disparition totale des cadavres. Cela permet de connaître la durée de persistance des cadavres avant leur prélèvement.

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 seront détaillés dans la partie traitant des méthodes d'estimation de la mortalité (2.4.3.5 - Protocoles « Jones » et « Huso »).

2.4.3.4 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, éventuels travaux à proximité de l'éolienne, etc.

Afin de pallier ce biais, le chercheur retranscrit ainsi 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

2.4.3.5 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 :

- « 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). Ce logiciel permet de calculer la mortalité estimée selon les formules de Huso, d'Erickson, de Winkelman et de Jones, assorties de leurs intervalles de confiance à 90 % et 95 %. En accord avec les préconisations du protocole 2018, les résultats de la formule d'Huso sont utilisés, ainsi que ceux des formules d'Erickson et de Jones. Les résultats issus de la formule de Winkelman ne sont pas retenus, cette formule étant jugée obsolète, notamment par la SFPEM qui préconise l'utilisation d'au moins trois des estimateurs suivants : Huso, Jones, Erickson, Korner-Nievergelt, Limpens, Bastos.

2.4.3.5.1 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

2.4.3.5.2 Protocoles « Jones » et « Huso »

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

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

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

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

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

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

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

« Jones »

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

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

Ainsi, Jones définit le taux de persistance comme suit :

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

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

Ainsi :

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

« Huso »

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

Ainsi, Huso définit le taux de persistance comme suit :

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

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

Ainsi :

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

2.4.3.6 Postulat de chaque méthode d'estimation

Méthodes	Aire d'étude	Intervalle entre deux recherches	Persistence	Efficacité
Erickson (2000)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation suit une loi exponentielle	Pris en compte (Test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes
Jones (2009)	Pris en compte	Pas d'exigence	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation est constante dans l'intervalle entre deux recherches	Pris en compte (Test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche peut l'être aux suivantes
Huso (2010)	Pris en compte	Intervalle basé sur « i » (Le temps au-delà duquel la probabilité de persistance est inférieure à 1%)	Pris en compte (Durée de persistance) Suppose que la prédation suit une loi exponentielle	Pris en compte (Test d'efficacité) Suppose qu'un cadavre non trouvé lors d'une recherche ne peut l'être aux suivantes

Tableau 3 : 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.


2.4.4 Limites des méthodes utilisées

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



3 Résultats et analyse du suivi d'activité des chiroptères

3.1 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

Lors de l'étude d'impact de la ferme éolienne de Coulanges, réalisée en 2016 par le bureau d'étude Envol Environnement, l'ensemble du cycle annuel des chauves-souris a été étudié.

Les protocoles utilisés ont permis d'établir une liste de 14 espèces, avec des enjeux pour les espèces de lisières ubiquistes, comme la Barbastelle d'Europe, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl. Des sensibilités fortes sont détectées pour plusieurs espèces comme la Noctule commune ou encore la Pipistrelle de Nathusius. Les suivis comportementaux des précédentes études et de la présente cible précisent l'activité des chiroptères au niveau des rotors. Cela a permis d'étoffer les résultats de l'étude d'impact, en particulier sur le groupe des espèces de haut vol, comme les noctules.

Les conclusions de l'étude d'impact sont présentées dans les figures suivantes.

Figure 107 : Tableau de calcul des sensibilités chiroptérologiques vis-à-vis de l'éolien (espèces recensées sur le site)

Espèces	Mortalité connue en Europe	Score relatif à la mortalité	Présence à 50 mètres de hauteur	Enjeux			Sensibilités		
				Milieux ouverts	Milieux semi-ouverts	Milieux fermés	Milieux ouverts	Milieux semi-ouverts	Milieux fermés
Barbastelle d'Europe	0,06%	10	0	13	20	19	23	30	29
Grand Murin	0,07%	10	0	0	7	6		17	16
Murin à moustaches/Brandt	0,06%	10	0	0	0	7			17
Murin de Daubenton	0,13%	10	0	7	13	0	17	23	
Murin de Natterer	0,00%	0	0	0	4	4		4	4
Noctule commune	15,79%	40	0	7	7	0	47	47	
Noctule de Leisler	6,36%	30	0	0	6	0		36	
Oreillard gris	0,10%	10	0	7	0	4	17		14
Oreillard roux	0,10%	10		5	0	0	15		
Pipistrelle commune	20,77%	40	0	14	14	14	54	54	54
Pipistrelle de Kuhl	3,61%	20	0	7	9	10	27	29	30
Pipistrelle de Nathusius	14,37%	40	0	0	14	8		54	48
Pipistrelle pygmée	2,71%	20	0	0	4	4		24	24
Sérotine commune	1,32%	20	0	5	9	7	25	29	27
TOTAL				39	90	71	225	347	263

Légende :

Mortalité	Ecoute en altitude	Sensibilité par espèce	Sensibilité par habitat
0 = Aucune mortalité	0 = Espèce non détectée en hauteur	Très fort 60 ≤ x	Très fort 350 ≤ x
10 = 0,5% ≤ mortalité connue < 0,5%	40 = Espèce détectée en hauteur	Fort 45 ≤ x < 60	Fort 230 ≤ x < 350
20 = 0,5% ≤ mortalité connue < 3,7%		Modéré 30 ≤ x < 45	Modéré 150 ≤ x < 230
30 = 3,7% ≤ mortalité connue < 9,1%		Faible 15 ≤ x < 30	Faible 70 ≤ x < 150
40 = 9,1% ≤ mortalité connue		Très faible x < 15	Très faible x < 70

Figure 11 : Tableau de synthèse des enjeux et des sensibilités chiroptérologiques (Envol Environnement, 2016)

7.2.2. Analyse des sensibilités chiroptérologiques

Nous déterminons deux types de sensibilité chiroptérologique :

- La sensibilité spécifique par espèce.
- La sensibilité chiroptérologique du site.

1- La sensibilité spécifique par espèce :

Une sensibilité forte est définie pour la **Pipistrelle de Nathusius**. Cette sensibilité s'explique surtout par l'exposition élevée de la Pipistrelle de Nathusius aux risques de barotraumatisme et de collisions avec les éoliennes en Europe (958 cas référencés en Europe à fin 2015, soit 14,37% des cas de mortalité connus, selon T. Dürr, 2015). L'espèce est peu présente dans l'aire d'étude rapprochée. Elle n'a été contactée qu'en période de mise-bas et depuis un seul point d'écoute. Il est aussi possible qu'elle ait été contactée en faible nombre en période des transits printaniers (l'identification de l'espèce n'a pu être certaine).

Est aussi définie une sensibilité forte pour la **Pipistrelle commune** dans l'ensemble des milieux échantillonnés dans l'aire d'étude rapprochée. L'espèce est très commune et très répandue en France et en région mais demeure le chiroptère le plus couramment victime de barotraumatisme et de collisions avec les éoliennes en Europe (1 385 cas référencés en Europe à fin 2015, soit 20,77% des cas de mortalité connus, selon T. Dürr, 2015). Elle est très active sur l'ensemble du site, surtout au niveau des lisières de boisements.

La **Noctule commune** présente une forte sensibilité. En termes de collisions, c'est l'espèce la plus touchée en Europe après la Pipistrelle commune alors qu'elle est largement moins répandue. Rappelons que c'est une espèce quasi-menacée en France. Elle n'a été détectée qu'en mise-bas en trois points. Son activité a été plus forte en lisière de boisement.

Un niveau de sensibilité modéré est défini pour la **Noctule de Leisler**. Elle n'a été contactée qu'en mise-bas, depuis un seul point d'écoute: le long d'une lisière. Il s'agit d'une espèce qui présente une exposition relativement élevée aux risques de collisions/barotraumatisme.

Une sensibilité modérée est également définie pour la **Barbastelle d'Europe** en milieu semi-ouvert et pour la **Pipistrelle de Kuhl** au sein des boisements. La Barbastelle est très présente au sein de ces milieux semi-ouverts mais peu exposée aux collisions/barotraumatisme.

Notons qu'aucune espèce n'a été détectée en altitude lors des protocoles altitude.

2- La sensibilité chiroptérologique du site :

La sensibilité chiroptérologique de la zone du projet s'établit à un niveau **fort au niveau des lisières et des boisements**. La sensibilité nettement supérieure des milieux semi-ouverts est fortement influencée par la diversité supérieure des espèces recensées dans ces milieux et la présence des trois chiroptères jugés les plus sensibles à l'éolien dans ces territoires : la **Noctule commune**, la **Pipistrelle commune** et la **Pipistrelle de Nathusius**. Ainsi, nous préconisons de respecter une distance de 100 mètres vis-à-vis des lisières (canopée-bas de pale) et de respecter une distance de 50 mètres vis-à-vis de la haie qui traverse le site du Nord-ouest au Sud-est (canopée-bout de pale). Un niveau de sensibilité chiroptérologique modéré est attribué aux espaces ouverts de l'aire d'étude.

Figure 12 : Espèces sensibles au risque de collision et synthèse des enjeux (Envol Environnement, 2016)

D'après l'étude d'impact de 2016, les sensibilités en phase d'exploitation du parc éolien de Coulanges sur les chiroptères sont considérées comme fortes pour la Pipistrelle commune, modérées pour la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule commune et faibles pour les autres espèces.

Les résultats des suivis réalisés sont comparés aux résultats de l'étude d'impact afin d'observer les impacts réels du parc. De plus, les trois suivis sont comparés entre eux afin d'observer l'évolution des impacts sur les espèces.

3.2 Suivi de l'activité des chiroptères en 2022

3.2.1 Suivi ultrasonique automatique permanent en nacelle

Les résultats présentés dans cette partie correspondent aux inventaires réalisés à l'aide d'un détecteur automatique d'ultrasons de type Batmode S, 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 29 avril 2022 au 12 septembre 2022.

Le dispositif est donc resté installé durant 136 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).

Pour rappel, le bridage sur le parc éolien de Coulanges a été mis en place en septembre 2021. Les analyses en hauteur des mois de septembre et octobre 2021 ont déjà été réalisées.

3.2.1.1 Diversité et activité spécifique enregistrée

3.2.1.1.1 Résultats obtenus sur l'ensemble du cycle

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

Genre	Espèces	Total estimé
<i>Eptesicus</i>	Sérotine commune	1
<i>Nyctalus</i>	Noctule commune	4 420
	Noctule de Leisler	2 147
<i>Pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	267
	Pipistrelle de Kuhl	954
	Pipistrelle de Nathusius	53
	Pipistrelle pygmée	6
Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce		
Sérotine / Noctule sp.		82
Total	7 espèces	7 930

Tableau 4 : Répartition du nombre de contacts par espèce

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

En hauteur, on constate une cohérence avec la bibliographie disponible, avec la présence des espèces dites de haut-vol ou généralistes (Noctule de Leisler, Noctule commune, Sérotine commune et pipistrelles) qui totalisent toute l'activité.

Ainsi, la Noctule commune regroupe la majorité des contacts avec 56 %, suivie de la Noctule de Leisler avec 27 %, ce qui représente 83 % de l'activité totale pour les noctules. Cette proportion d'activité est très élevée pour ce groupe d'espèces sensible à l'éolien et spécialisé dans le vol en hauteur. De plus, ce sont également des espèces migratrices.

La Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle commune suivent avec respectivement 12 % et 3 % de l'activité en hauteur. Les autres espèces sont bien moins représentées.

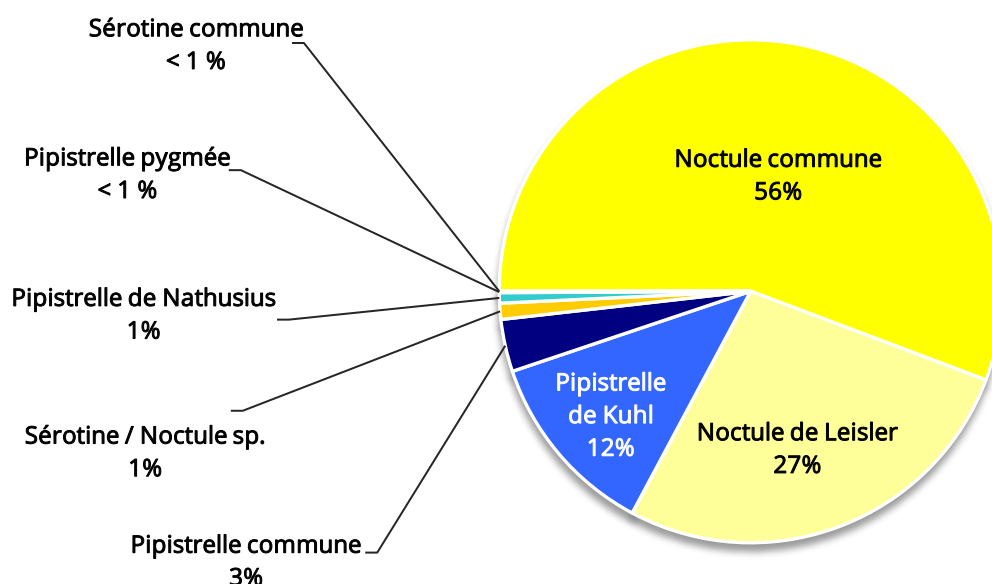


Figure 13 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

3.2.1.1.2 Résultats obtenus en fonction du cycle biologique des chiroptères

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

	Transits printaniers et gestation	Mise-bas et élevage des jeunes	Transits automnaux et swarming	Cycle complet
Nombre de contacts	1 145	4 516	2 269	7 930
Nombre de nuits d'enregistrements	32	76	28	136
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	20 %	34 %	46 %	100 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	36	59	81	59

Tableau 5: Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques

On constate que la période de transits automnaux et swarming (seulement 28 nuits d'inventaire) est la phase avec le plus d'activité, devant la période mise-bas et d'élevage des jeunes puis de la période des transits printaniers et gestation (seulement 32 nuits). La période automnale concentre 46 % des

contacts totaux, suivie de la période estivale avec 34 % des contacts, puis de la phase printanière avec 20 % des contacts.

Il est à noter que les phases printanière et automnale n'ont pas été inventoriées au complet. En ramenant cependant au nombre moyen de contacts par nuits d'enregistrement, on constate que ces phases sont bien celles avec les activités les plus forte (automne) et faible (printemps).

3.2.1.1.3 Résultats obtenus en fonction du mois d'inventaire

En comparant les mois entre eux, on note une forte prédominance du groupe des noctules et notamment de la **Noctule commune** à l'exception des mois de mai où les pipistrelles sont plus souvent contactées, et de juin où l'activité est répartie de manière équitable entre les pipistrelles et les noctules.

Les mois de juillet et d'août concentrent la grande majorité des contacts enregistrés sur le site, soit plus de 5 700 contacts sur ces deux mois. C'est durant cette période que l'activité est la plus intense avec une large proportion de Noctule commune et de Noctule de Leisler, probablement composée d'individus locaux (adultes et émancipations des jeunes faisant suite à la mise-bas des mois de mai et juin). Dans un second temps, le mois de mai et les 12 nuits d'inventaire du mois de septembre, apparaissent également comme particulièrement fréquentées par les chiroptères avec respectivement 37 et 34 contacts par nuit. Durant le mois de mai, la proportion de Pipistrelle de Kuhl est bien supérieure, tandis que le mois de septembre est plus représenté par les noctules. Le mois de juin affiche une activité inférieure aux autres mois avec seulement 21 contacts par nuit. Ceci peut être expliqué par les fortes chaleurs survenues durant ce mois, et par conséquent une limitation des déplacements des chauves-souris durant leur période de mise-bas.

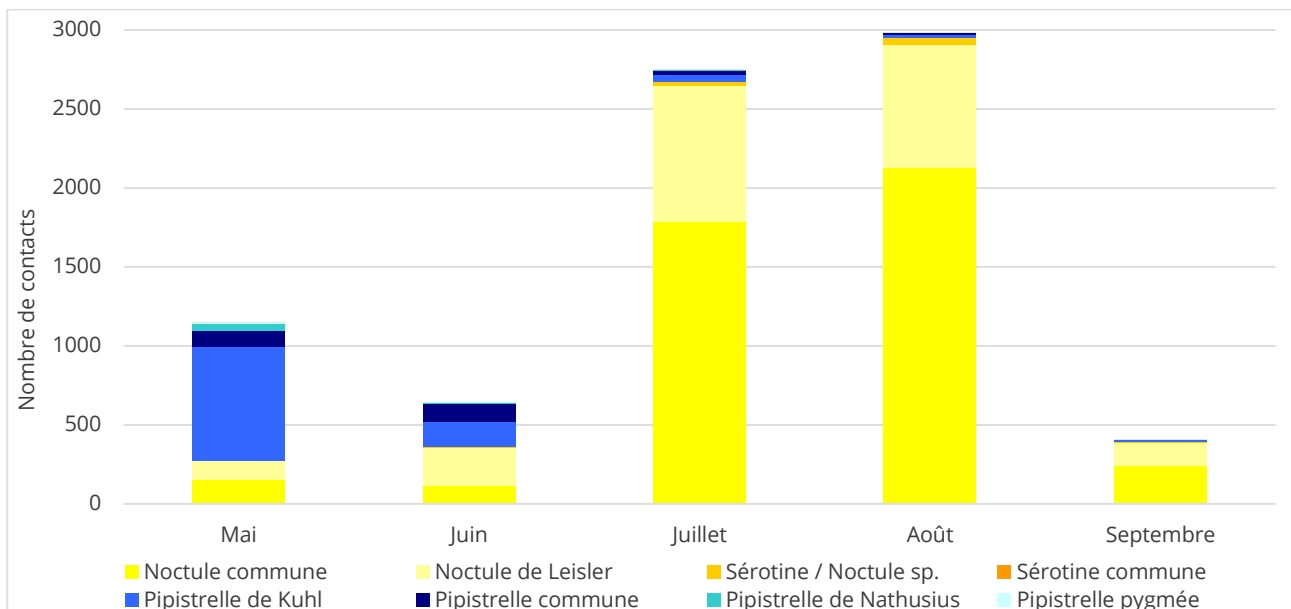


Figure 14 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement

	Avril	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.
Nombre de contacts	0	1 145	644	2 747	2 986	408
Nombre de nuits d'enregistrements	1	31	30	31	31	12
Pourcentage du nombre de contacts par nuit	0 %	13 %	8 %	32 %	35 %	12 %
Moyenne du nombre de contacts par nuit	0	37	21	89	96	34

Tableau 6: Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires

3.2.1.1.4 Résultats obtenus en fonction de la nuit d'inventaire

Le graphique suivant illustre l'activité chiroptérologique par nuit d'inventaire. Ainsi, l'activité inter-journalière des chauves-souris est très irrégulière. Le nombre de contacts enregistré par nuit varie de 0 à 688 contacts. **Cette variabilité journalière reste particulièrement complexe à anticiper, dépendant de multiples facteurs à l'exemple des conditions météorologiques ou de la présence de ressource alimentaire, etc.** Il est, dans l'état des connaissances actuelles très difficile de comprendre ces variations mais une hypothèse de migration peut être formulée sur ce site. En effet, des pics d'activités très forts et concentrés sur certaines nuits peuvent survenir brusquement, comme au mois de juillet et août, ce qui correspond aux périodes de mise-bas, d'élevage et d'émancipation des jeunes.

Pour rappel, le dispositif fut opérationnel depuis le 29 avril 2022, et l'arrêt des écoutes dans le cadre des analyses suivantes a été fixé au 12 septembre 2022. Les premiers contacts de chauves-souris ont été recensés le 9 mai 2022.

Plusieurs nuits ont donc enregistré un nombre de contacts conséquent. En effet, alors que la plupart des nuits ne dépassent pas la centaine de contacts enregistrés, il y a eu 688 contacts le 22 juillet, 449 le 24 juillet et plus de 350 contacts les 23 juillet et 18 août. D'autres nuits de mai, juillet et août rencontrent un nombre de contacts plus fort que la moyenne, avec plus de 200 contacts enregistrés. Ces contacts concernent majoritairement la Noctule commune.

Le nombre de contacts important sur le site pour l'espèce plaide surtout en faveur de phénomènes locaux, étant donné la forte activité pendant les mois estivaux. La présence de colonies dans le secteur est donc probable.

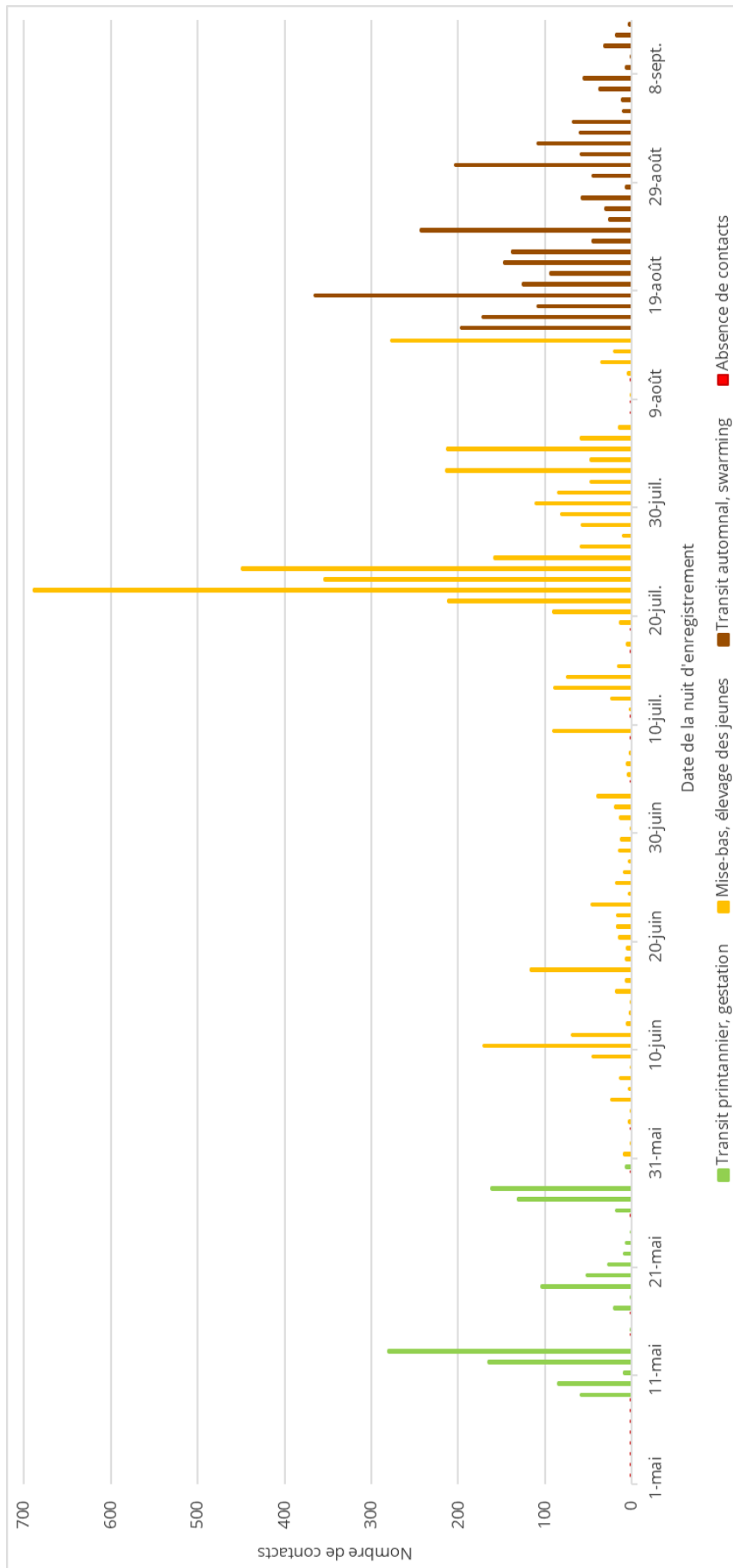


Figure 15: Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire

3.2.1.2 Activité chiroptérologique en fonction des facteurs astronomiques et météorologiques

3.2.1.2.1 Activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

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.

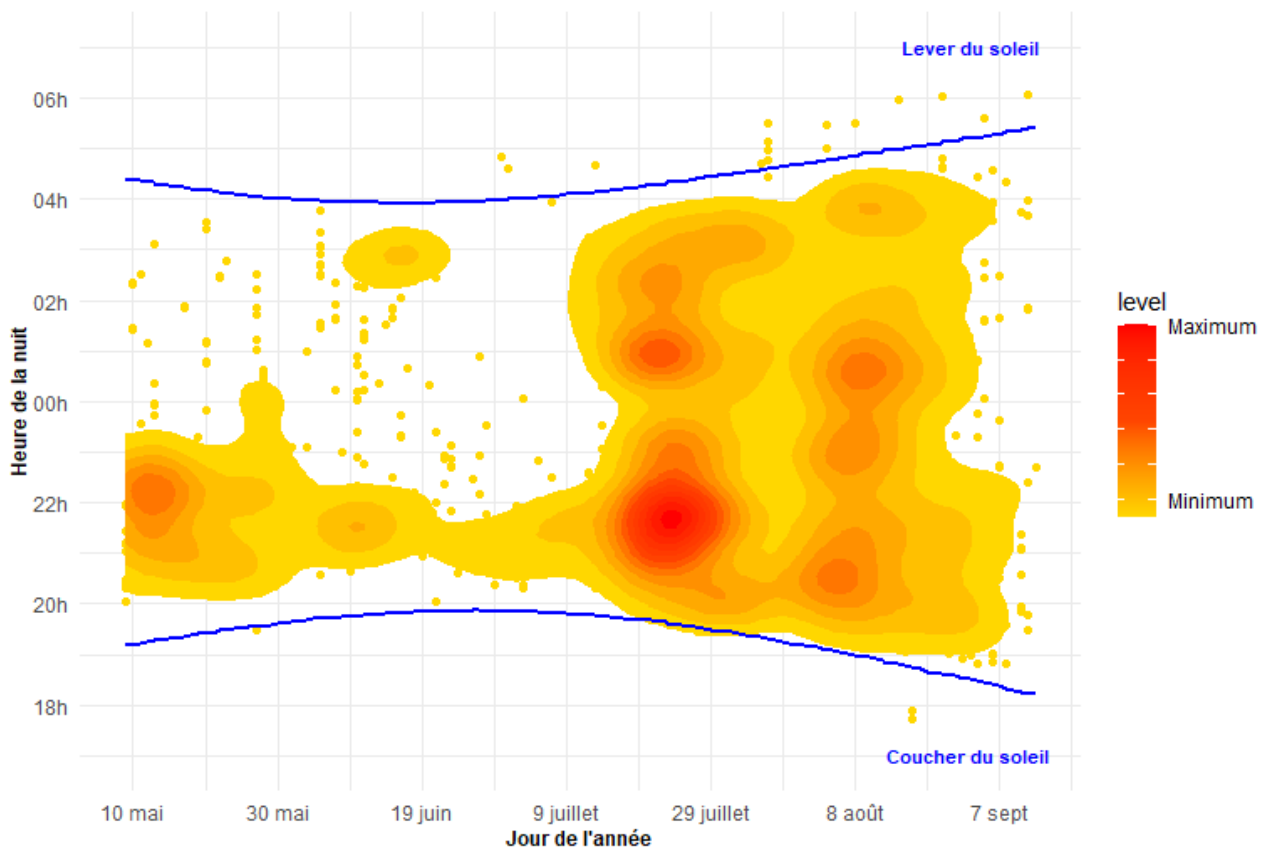


Figure 16: Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

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

Sur la période analysée, cette tendance n'est observée que pour les mois de mai et de juin. En effet, l'activité chiroptérologique est importante en début de nuit, puis diminue fortement quelques heures après le coucher du soleil. Pour les mois de juillet, août et début septembre, l'activité est présente toute la nuit et est plutôt homogène, avec tout de même un pic élevé au mois de juillet en début de nuit. L'activité en deuxième partie de nuit est fréquemment observée en présence de noctules, comme c'est le cas sur le site. Ainsi, plusieurs études suggèrent la présence d'un regain d'activité à l'aube pour certaines espèces de chiroptères. C'est le cas par exemple de la Noctule commune, dont une activité de

retour au gîte relativement importante à l'aube a pu être mise en évidence dans les forêts de Slovaquie (Kanuch, 2007). Deux pics d'activité (crépuscule et aube) avaient déjà été mis en évidence pour cette même espèce dans la forêt de Białowieża en Pologne (Rachwald A., 1992), trois selon Arthur et Lemaire (2015). Les pipistrelles montrent également un pic d'activité au crépuscule et au lever du soleil. Ces deux périodes correspondent en effet aux pics d'activité des insectes nocturnes, et donc des chiroptères pour leur activité de chasse (Swift, 1980).

À partir de début juillet, des contacts isolés sont enregistrés avant le coucher et après le lever du soleil.

3.2.1.2.2 Activité chiroptérologique en fonction de la température

La température semble jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre l'augmentation de la température et l'activité (Redell et al. 2006 ; Arnett et al. 2006, 2007 ; Baerwald and Barclay 2011...), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant indépendamment sur l'activité chiroptérologique (Horn et al. 2008 ; Kerns et al. 2005). Arnett et al. 2006 ont en outre observé qu'au-dessus de 44 m d'altitude, l'activité n'était en rien affectée par la température. Les opinions sur les autres paramètres météorologiques, sont d'autant plus mitigées. La pression atmosphérique (Cryan and Brown 2007 ; Cryan et al. 2014) et l'hygrométrie (Behr et al. 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr et al. (2011), ou sur l'abondance d'insectes (Corten and 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.

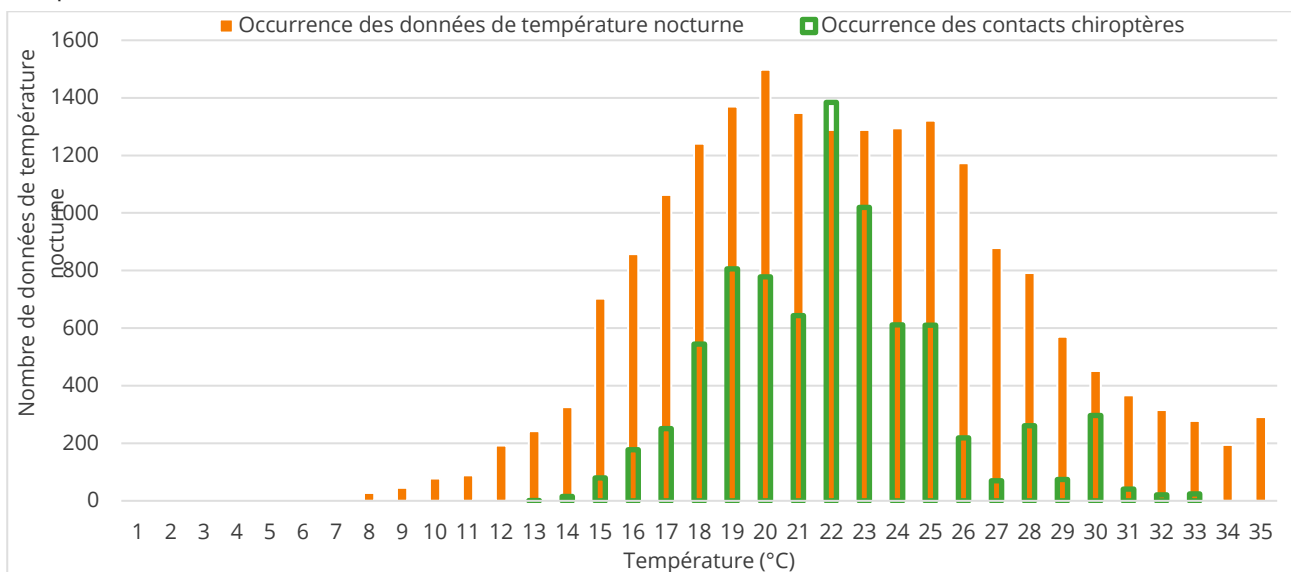


Figure 17: Activité des chiroptères en fonction de la température

Les inventaires réalisés sur le site montrent ainsi que les chiroptères semblent concentrer leur activité entre 13 et 33 °C, en correspondance avec les températures nocturnes « disponibles » qui se situent entre 8 et 35 °C. **L'activité chiroptérologique semble démarrer réellement dès 15 °C, et diminue assez fortement à partir de 31 °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 15 °C et jusqu'à plus de 30 °C de température. On voit clairement sur ce graphique la forte activité en juillet et août avec une plage de températures principale allant de 20 à 24 °C, utilisée par les chiroptères.

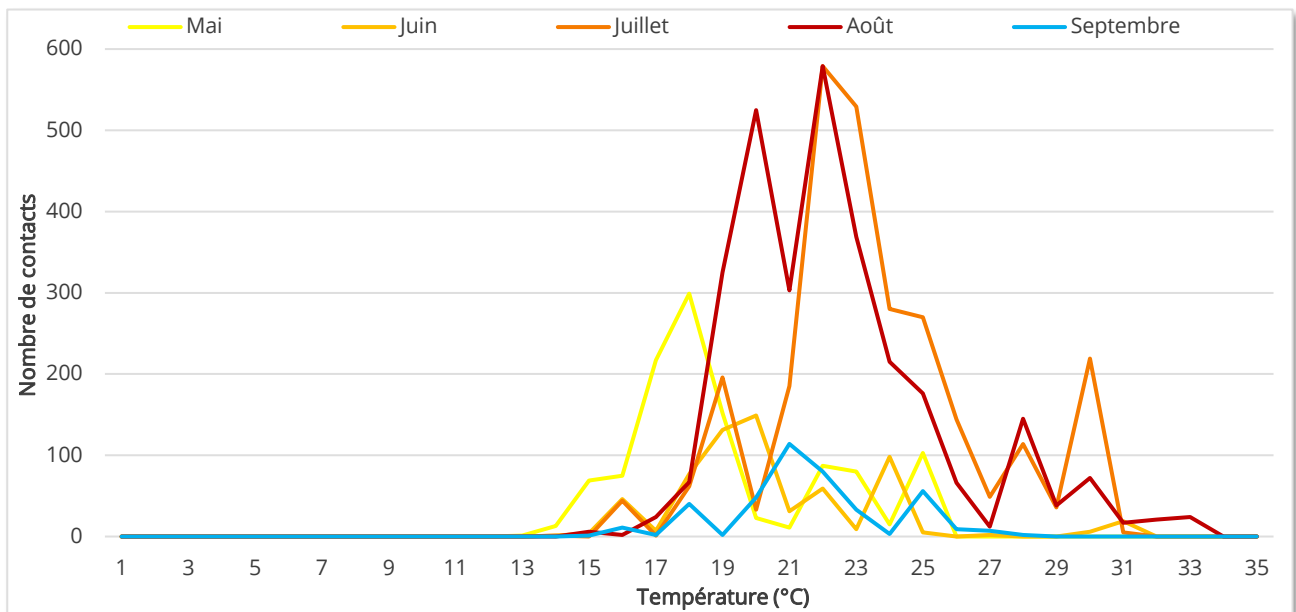


Figure 18 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température

3.2.1.2.3 Activité chiroptérologique en fonction de la vitesse du vent

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

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

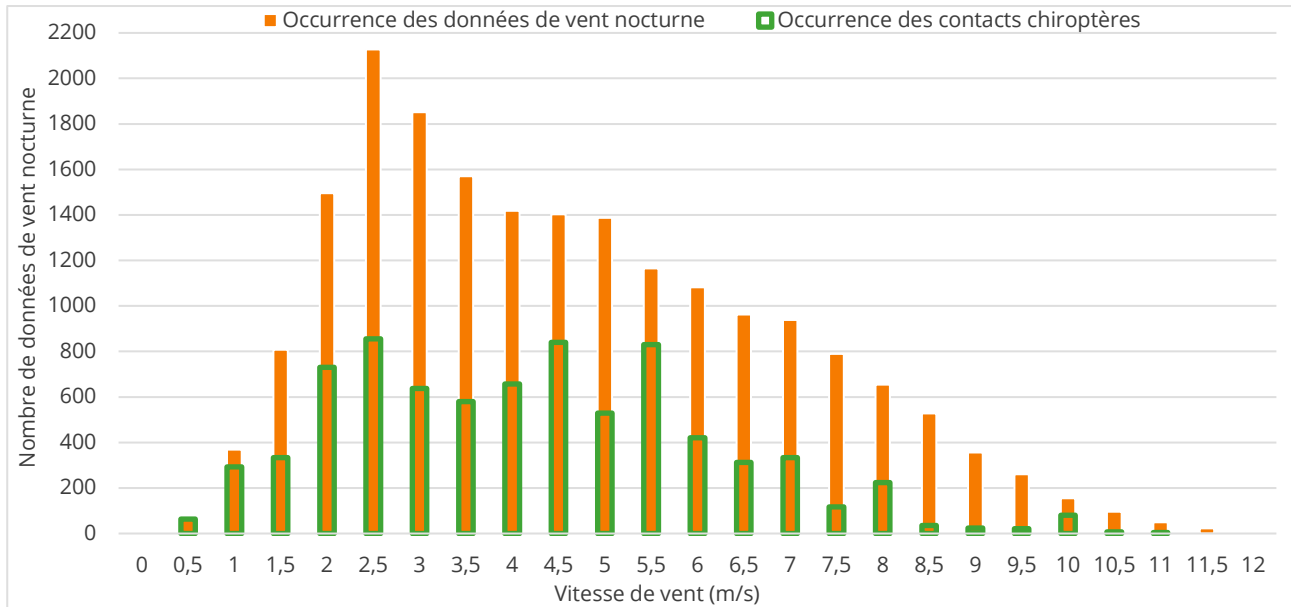


Figure 19: Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

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 nocturnes.

L'activité chiroptérologique semble s'étaler entre des valeurs de vent comprises entre 0,5 et 11 m/s à hauteur de nacelle avec une importance accrue entre 1 et 8 m/s. Au-delà de ce seuil, l'activité chute effectivement et devient plus sporadique. À noter tout de même la présence de 81 contacts de chauves-souris à une vitesse de vent de 10 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 8 m/s à hauteur de nacelle. On observe bien la chute à partir de ce seuil mais l'on note que l'activité ne devient pas pour autant négligeable, notamment à 10 m/s en juillet.

Ce dernier mois enregistre les plus fortes valeurs avec notamment ce pic à 10 m/s et quelques contacts à 11 m/s. Les espèces responsables de vol à ces vitesses de vent sont la Noctule commune et la Noctule de Leisler. Ces chauves-souris n'hésitent effectivement pas à évoluer sous des vitesses de vents relativement fortes.

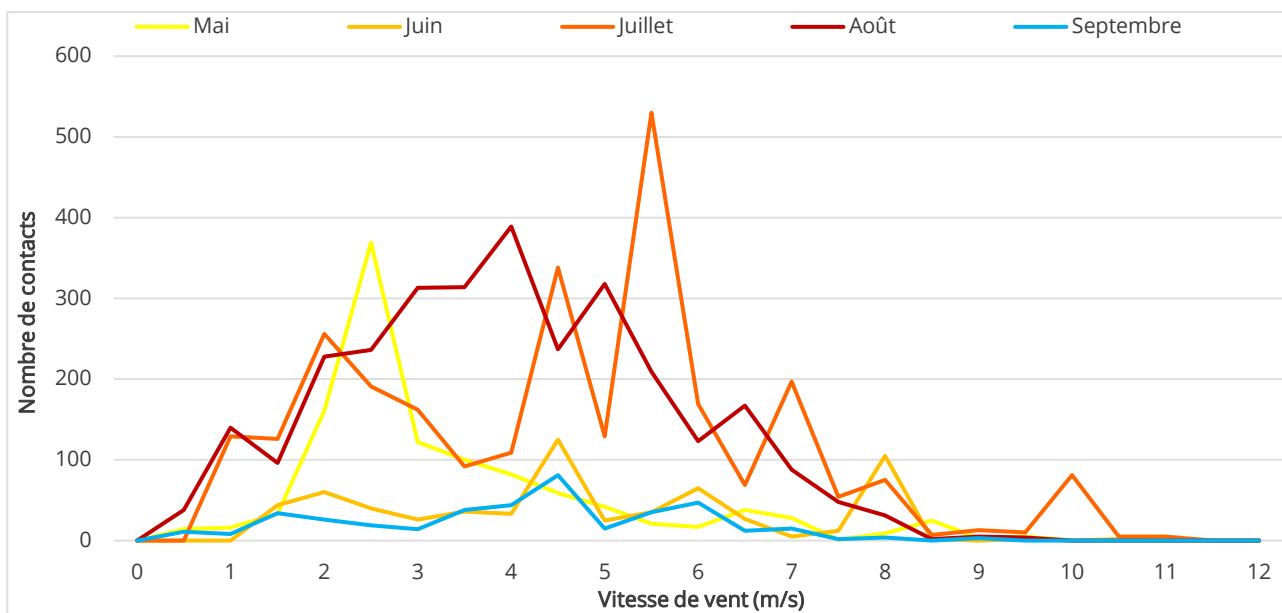


Figure 20: Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent

3.2.2 Synthèse des résultats du suivi comportemental des chiroptères en nacelle

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

- la diversité spécifique est de sept espèces confirmées, avec la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, la Pipistrelle pygmée et la Sérotine commune ;

- on retrouve au sein des espèces inventoriées, essentiellement des espèces pouvant évoluer en hauteur, en cohérence avec les connaissances bibliographiques. À noter les plus fortes proportions de Noctule commune et de Noctule de Leisler, comparativement aux autres espèces présentes ;

- l'activité chiroptérologique est plus importante en juillet et août. Ces deux mois correspondent à la phase de mise-bas, d'élevage et d'émancipation des jeunes. Ainsi, des activités de chiroptères locaux sont fortement probables. De plus, la présence de colonies arboricoles au sein des boisements environnants sont possibles ;

- l'activité chiroptérologique en hauteur est concentrée dans les premières heures de la nuit lors des mois de mai et juin, et est présente tout au long de la nuit et de manière assez homogène lors des mois de juillet, août et septembre. Quelques contacts ont été enregistrés avant le coucher et après le lever du soleil ;

- l'activité chiroptérologique en hauteur est marquée surtout à partir de 15 °C ;

- l'activité chiroptérologique en hauteur est principalement concentrée entre des vitesses de vent de 0,5 et 8 m/s. L'activité présente après ce seuil est plus sporadique, on note cependant des passages de Noctule de Leisler jusqu'à 11 m/s ;

- l'enjeu principal sur le site semble concerner la période estivale, traduisant potentiellement une activité locale. Les proportions remarquables de Noctule commune et de Noctule de Leisler présentent également des enjeux 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, ce qui présente un risque accru de collision ou de mortalité.

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			
		Étude d'impact de 2016	Suivi post-implantation août - novembre 2020	Suivi post-implantation 2021	Suivi post-implantation avril - septembre 2022
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastellus barbastellus</i>	X			
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	X			
Murin à moustaches	<i>Myotis mystacinus</i>	X			
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	X			
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	X			
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	X	X	X	X
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	X	X	X	X
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	X			
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>	X			
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	X	X	X	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	X	X	X	X
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	X	X	X	X
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	X		X	X
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	X	X	X	X
<i>Recensements n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce</i>					
Sérotine/Noctule sp	<i>Eptesicus/Nyctalus sp.</i>		X	X	X
Pipistrelle sp.	<i>Pipistrellus sp.</i>		X		
Chiroptères sp.	<i>Chiroptera sp.</i>		X		
Total des espèces	14	14	6	7	7
<i>Espèce présente durant l'étude d'impacts et au moins un suivi post-implantation</i>					

Tableau 7: Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le site

L'étude d'impact de 2016, incluant les résultats des inventaires chiroptérologiques, a permis de recenser 14 espèces certaines, contre six pour les inventaires de 2020, et sept pour ceux de 2021 et 2022.

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

En 2016 : le cortège chiroptérologique plus large inventorié est lié à un plus grand nombre d'espèces évoluant à proximité du sol qu'à hauteur de nacelle.

En 2020, 2021 et 2022 : les inventaires sur nacelle permettent de détecter seulement les espèces de chauves-souris susceptibles d'évoluer en hauteur.

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

Cinq espèces sont communes à la période d'inventaire, ce qui atteste de leur occupation régulière du site. Ces espèces sont assez communes en Europe : la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune et la Noctule de Leisler. Ce sont toutes des espèces qui sont capables de voler en hauteur.

Parmi les espèces présentes, des cortèges plus forestiers sont présents en 2016 avec les protocoles au sol (Barbastelle d'Europe, Murin de Natterer, Murin de Daubenton, Oreillard roux, etc.), contre davantage d'espèces de haut-vol avec les protocoles d'écoute sur nacelle de 2020, 2021 et 2022 (noctules, Sérotine commune et pipistrelles). Ces différences s'expliquent par les protocoles utilisés.

Si l'on compare ce qu'il est possible d'analyser, à savoir des inventaires avec les mêmes protocoles, il y a une forte cohérence des espèces présentes. En effet, les espèces généralistes et/ou de haut-vol (pipistrelles, sérotines et noctules) sont contactées lors des trois années d'inventaire. Seule la Pipistrelle pygmée n'est contactée qu'en 2021 et 2022. Ceci peut être expliqué par la plus courte période d'inventaire en 2020 (d'août à novembre).

3.3.2 Cumul des trois années de suivi ICPE

Résultats obtenus sur le cycle complet

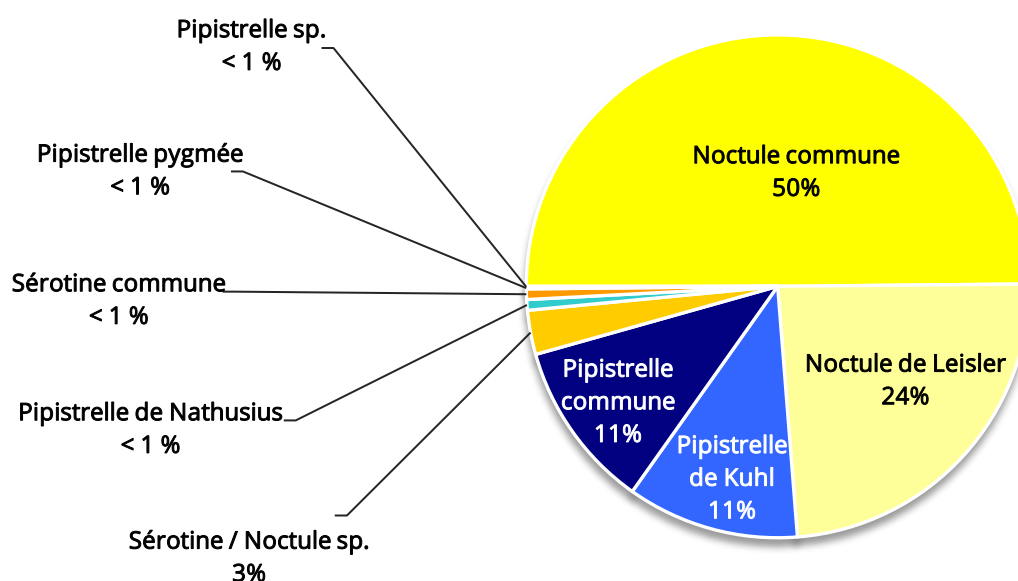


Figure 21 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les trois années de suivi ICPE

Sur trois années de suivi, le cortège qui domine est le genre Nyctalus devant le genre Pipistrellus, On note bien que l'espèce la plus présente sur ces trois années est la Noctule commune avec la moitié des contacts recensés.

Résultats obtenus par analyse mensuelle

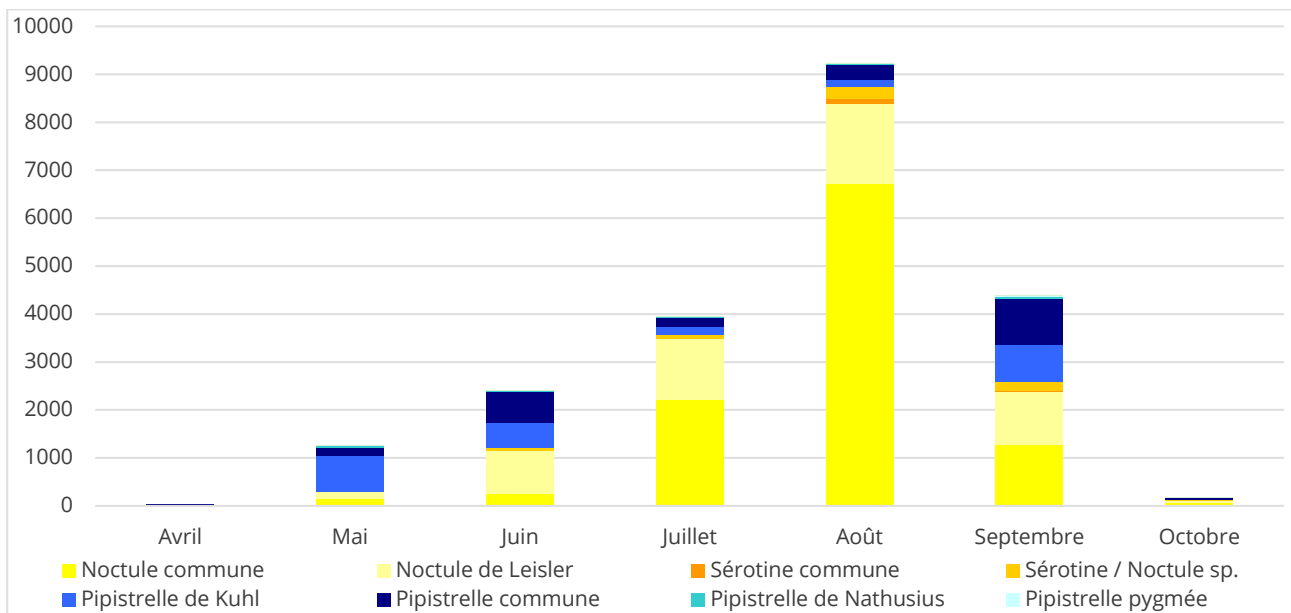


Figure 22: Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les trois années d'études

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

Les résultats par mois pour chacune des années de suivi sont présentés ci-après.

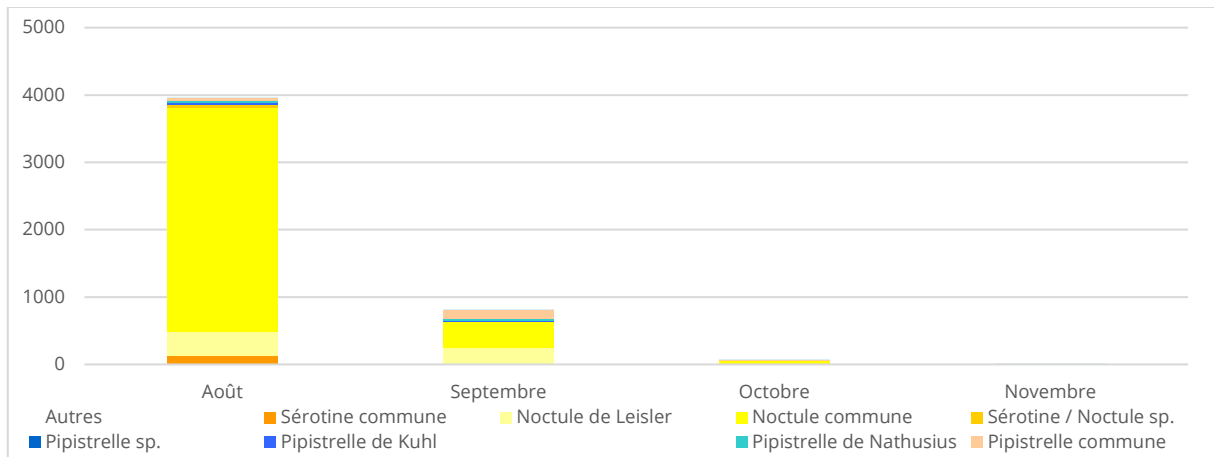


Figure 23 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement en 2020

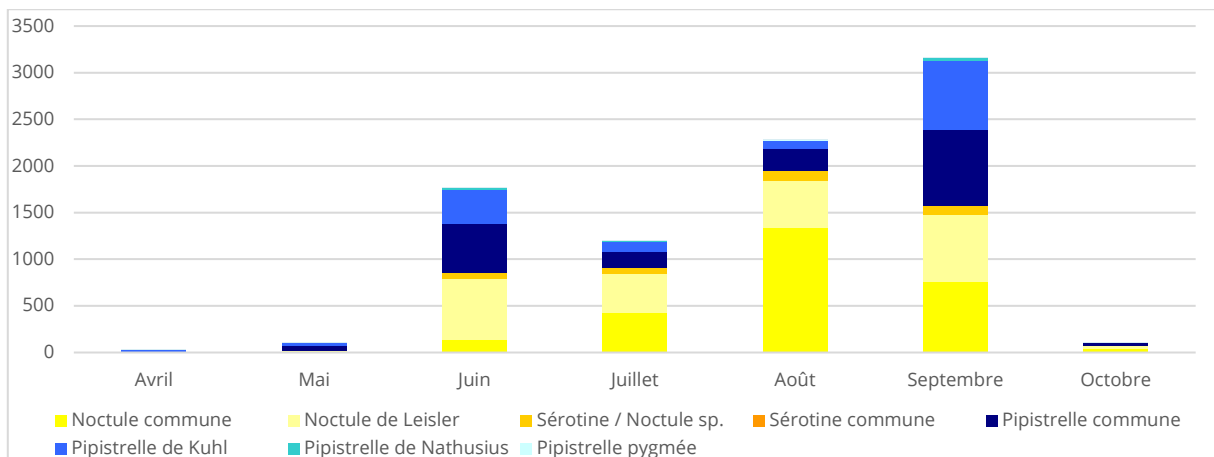


Figure 24 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement en 2021

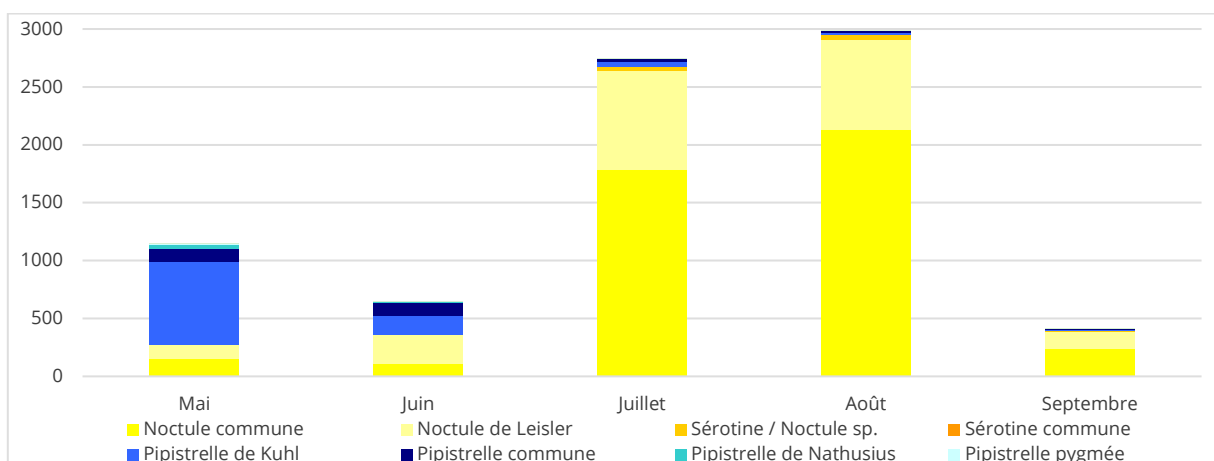


Figure 25 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement en 2022

Seul le mois d'août a été inventorié sur les trois années de suivi. On peut remarquer une activité importante sur ce dernier. Les mois de juin, juillet et septembre 2021 présentent également un nombre de contacts élevé, tout comme les mois de mai et juillet 2022.

Résultats obtenus sur l'activité par nuit

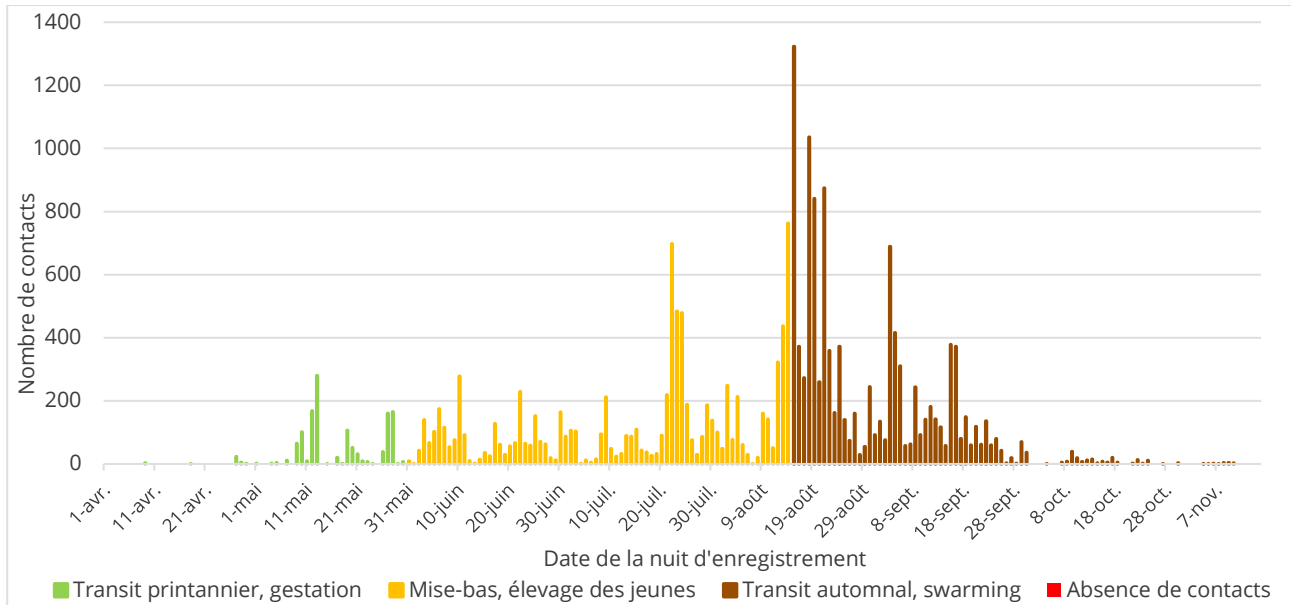


Figure 26: Répartition du nombre de contacts par jours sur les trois périodes d'études

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

Les résultats par jour pour chacune des années de suivi sont présentés ci-après.

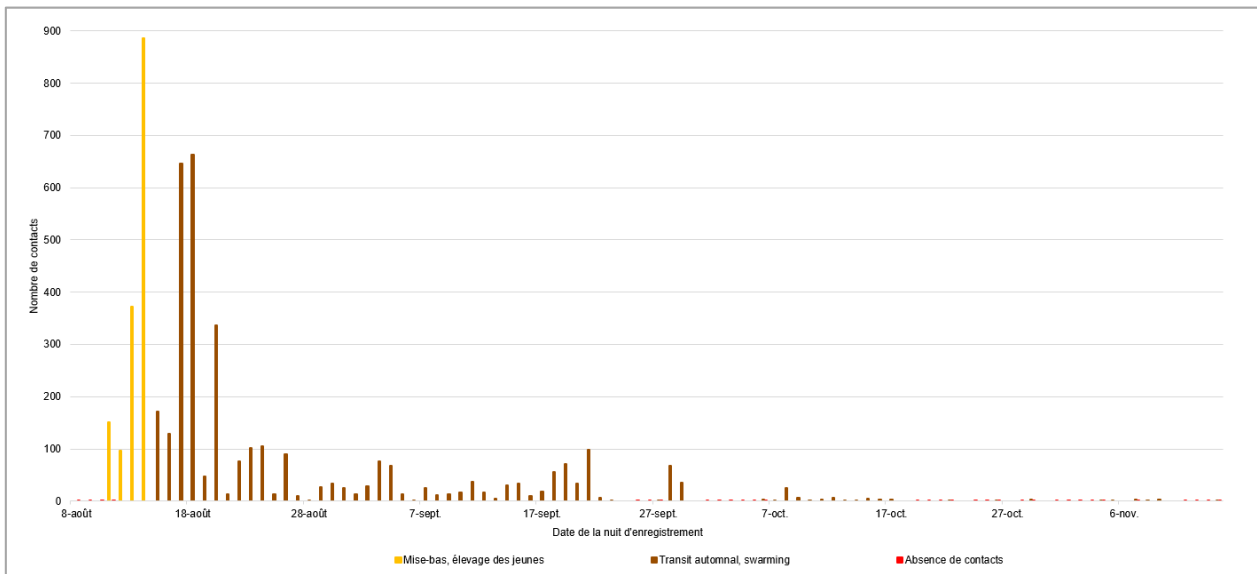


Figure 27: Répartition du nombre de contacts par jours en 2020

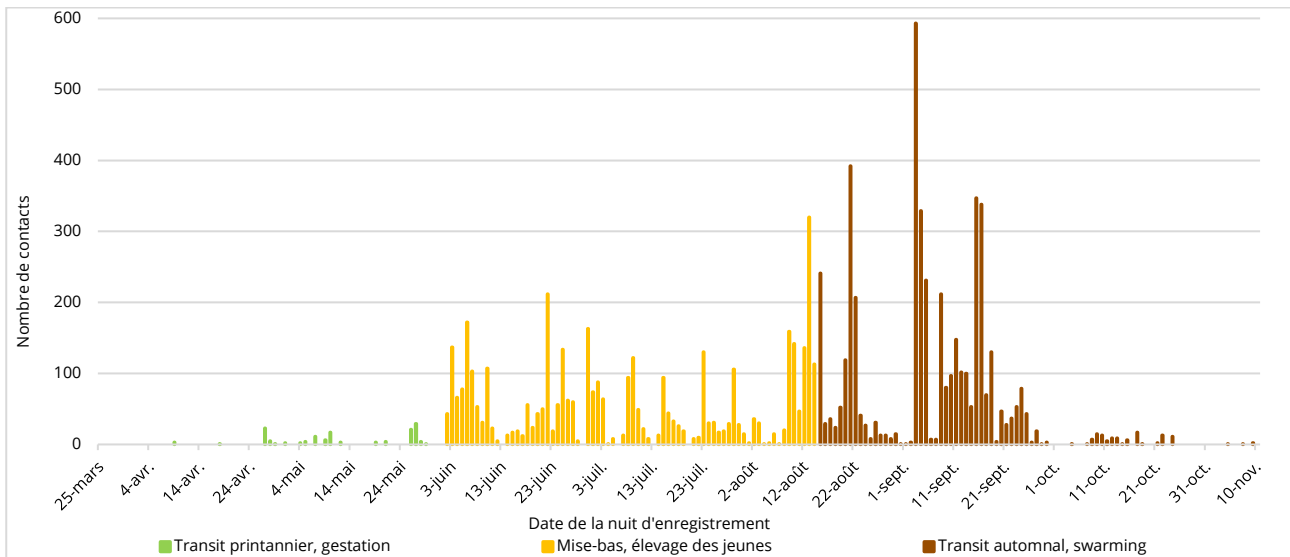


Figure 28: Répartition du nombre de contacts par jours en 2021

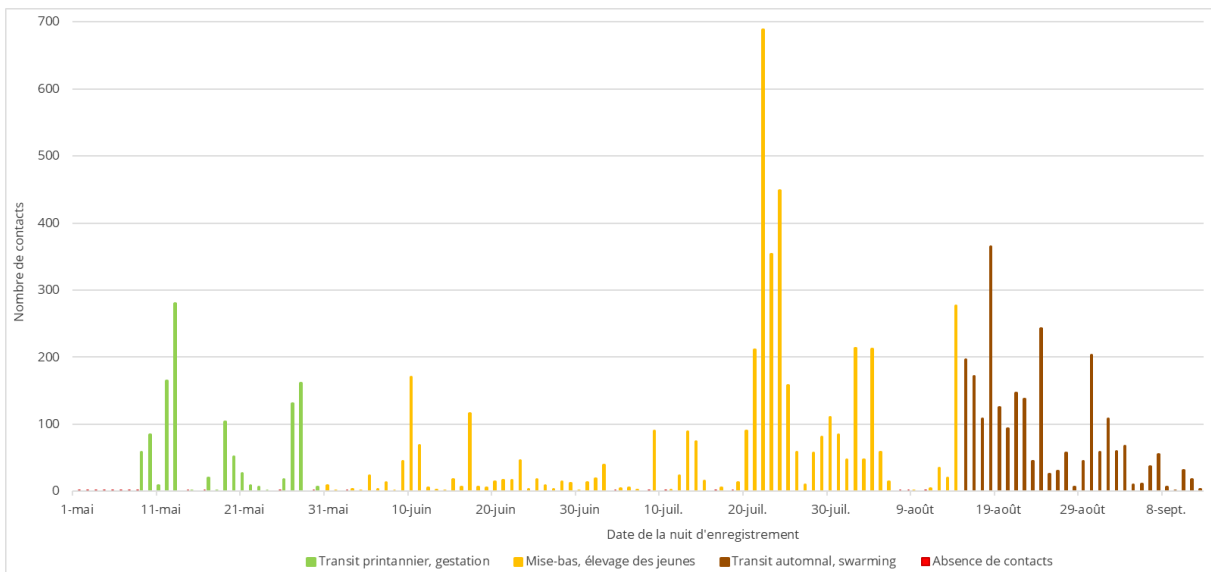


Figure 29: Répartition du nombre de contacts par jours en 2022

Sur les trois années de suivi, on peut observer que les pics d'activité journaliers sont concentrés sur les mois de juillet (2022), août (2020, 2021 et 2022) et septembre (2021).

Résultats obtenus sur l'activité en fonction du cycle circadien

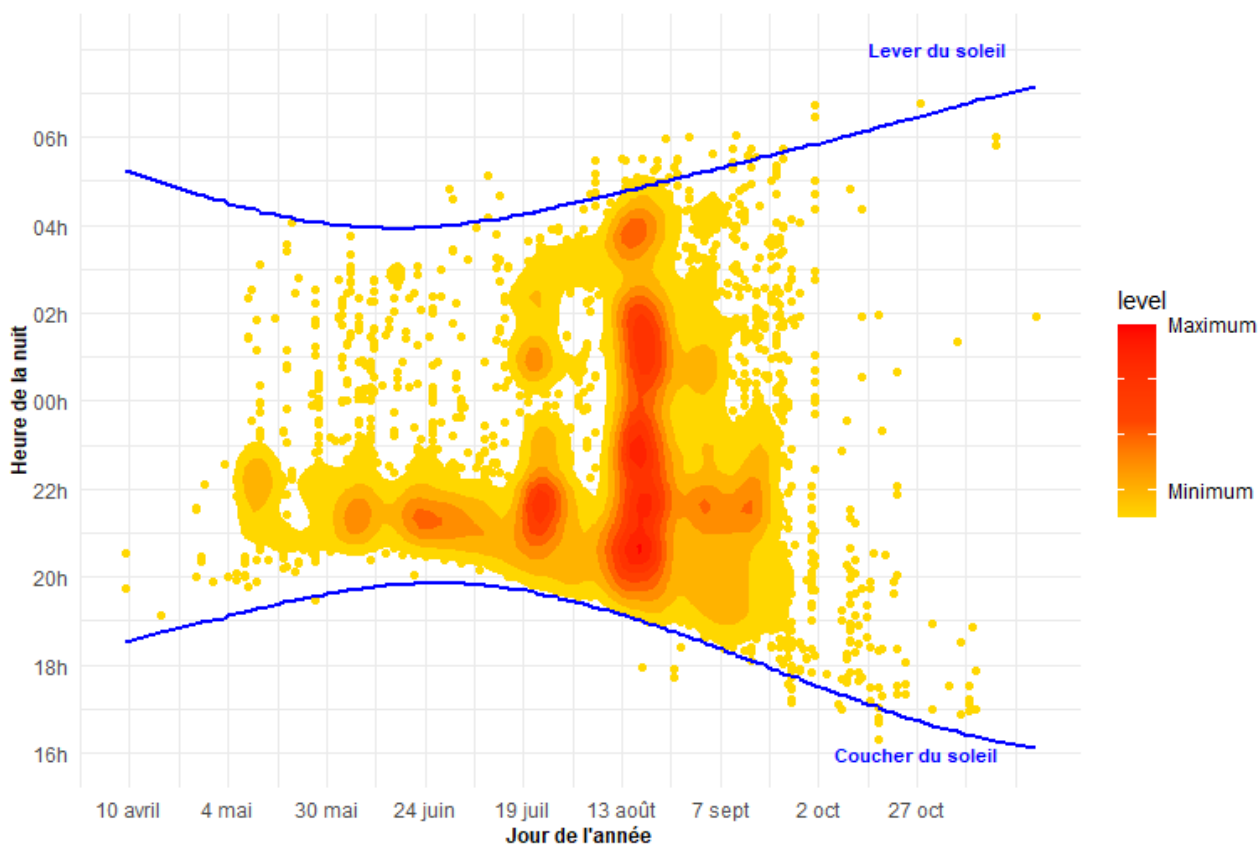


Figure 30: Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien

L'activité en fonction des heures de la nuit est particulièrement forte de début mai à fin juin sur les quatre premières heures de la nuit, et de début juillet à fin septembre sur l'ensemble de la nuit, lors des trois années de suivi. Il faut retenir que sur cette période, les chauves-souris sont capables de voler sur l'ensemble des heures de la nuit, voir même d'augmenter leur activité au cours de cette dernière (juillet, août, septembre, octobre).

Résultats obtenus sur l'activité en fonction de la température

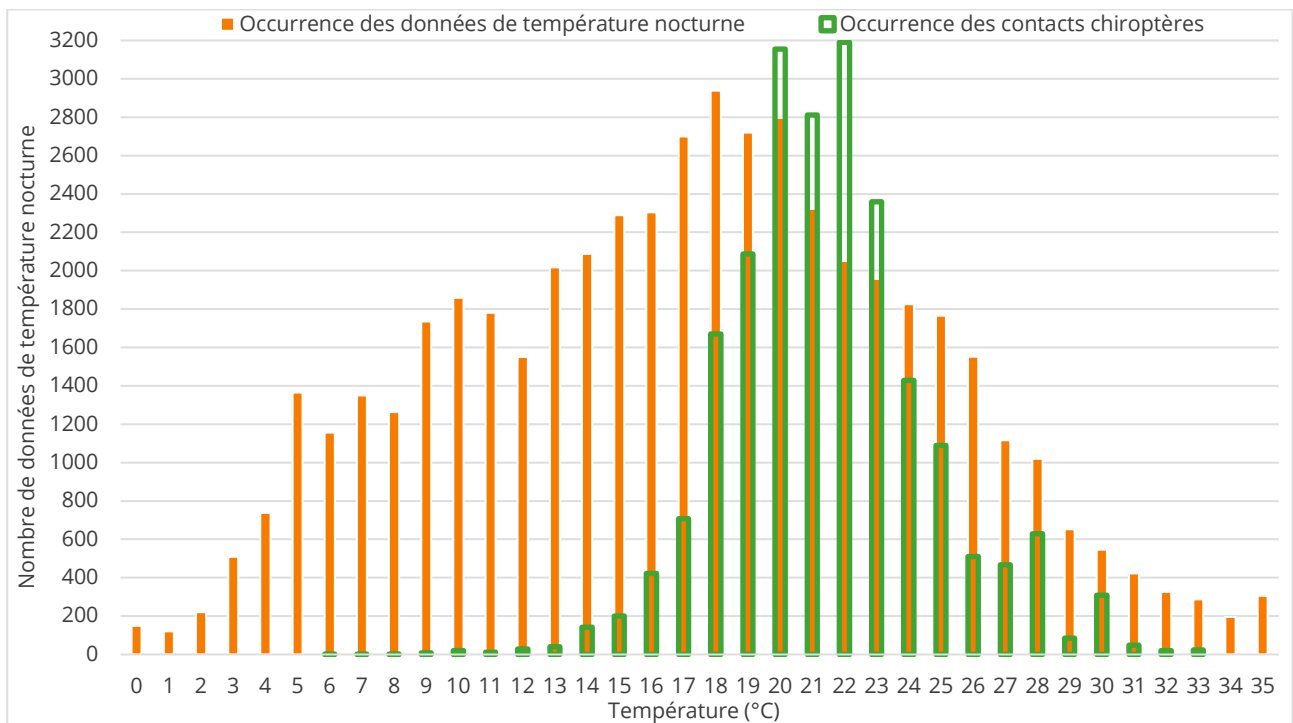


Figure 31: Activité des chiroptères en fonction de la température

Sur les trois années de suivi, l'activité commence dès 6°C et s'arrête à 33 °C. Elle devient importante à partir de 14 °C et jusqu'à 30 °C.

Résultats obtenus sur l'activité en fonction de la vitesse de vent

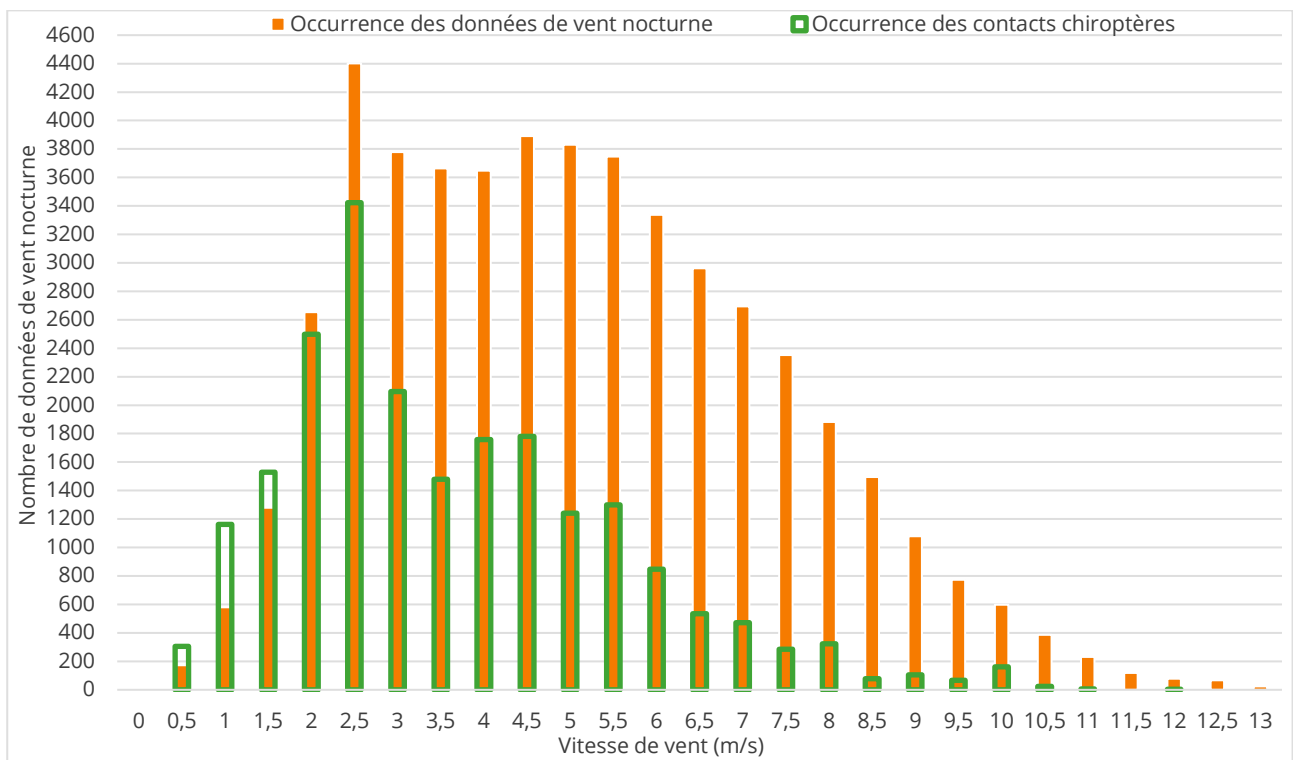


Figure 32: Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent


L'essentiel de l'activité des chiroptères sur les trois années de suivi s'étale de 0,5 m/s jusqu'à 7 m/s (95 % des contacts).

3.4 Principaux éléments à retenir du suivi ICPE

Le cortège des espèces de haut-vol ou capables d'évoluer en hauteur, est bien présent sur le site. Au vu de la concordance des résultats de l'étude d'impact de 2016 avec ceux de la présente étude, nous pouvons conclure que le site reste bien fréquenté par les chiroptères.

*Si l'on se concentre sur le cumul des trois années de suivi en nacelle (2020, 2021 et 2022), on note une activité élevée avec près de 21 500 contacts de chauves-souris recensés. L'activité peut varier d'une année sur l'autre en fonction des conditions météorologiques et d'un panel d'autres facteurs non mesurables (proies, migrations, naissances, etc.). Il est néanmoins important de retenir que le site est très utilisé par deux espèces du genre *Nyctalus*, la Noctule commune et la Noctule de Leisler. Cette dernière regroupe près d'un quart des contacts recensés contre plus de la moitié pour la Noctule commune. Il est également important de souligner que ces deux espèces sont très sensibles à l'éolien.*

Par ailleurs, l'activité des chiroptères peut s'étendre sur l'ensemble de la nuit (notamment en juillet, août et septembre) et peut dépasser les 7 m/s la nuit.



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

4.1 Résultats des tests et paramétrage des méthodes d'estimation

4.1.1 Durée moyenne de l'intervalle

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

La durée moyenne de l'intervalle est : $I = 7,33$ jours

4.1.2 Efficacité du chercheur

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

Test	Chercheur	Date	Nombre de cadavres déposés	Nombre de cadavres trouvés
T1	Margot Février	12 juillet 2022	30	14

Tableau 8 : Résultats des tests d'efficacité

Le coefficient d'efficacité du chercheur est : $d = 0,47$

4.1.3 Persistance des cadavres

Le test de persistance a pour but de déterminer différents coefficients liés à la durée de persistance des cadavres. Ces paramètres sont ensuite inclus dans les méthodes d'estimation de la mortalité. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Date	Nombre de cadavres déposés	Nombre de cadavres restant					
		J+1	J+3	J+6	J+9	J+13	J+15
Juillet 2022	30	17	8	4	3	2	2

Tableau 9 : Résultats des tests de persistance

La durée moyenne de persistance des cadavres est : $t = 3,1$

4.1.4 Surfaces prospectées et correction surfacique

La correction surfacique appliquée à l'estimation de la mortalité est calculée d'après les surfaces prospectées sur le terrain (tableau suivant). Celle-ci varie au cours du suivi, notamment en fonction de l'occupation des sols et de leur gestion. Pour rappel, la surface théorique de prospection est de 16 900 m² par éolienne soit 101 400 m² par prospection pour l'ensemble du parc.

Sortie	Date	Surface prospectée / éolienne (m)							% surf prospecté
		1	2	3	4	5	6	Total	
1	24/05/2022	2 580	3 361	2 441	3 811	2 341	1 998	16 532	16,30
2	02/06/2022	2 580	3 361	2 441	3 209	2 341	1 998	15 930	15,71
3	08/06/2022	2 580	3 361	2 441	2 588	2 341	1 998	15 309	15,10
4	15/06/2022	2 580	3 361	2 441	2 588	2 341	1 998	15 309	15,10
5	20/06/2022	2 580	3 361	2 441	2 588	2 341	7 399	20 710	20,42
6	29/06/2022	2 580	3 361	2 441	8 580	2 341	8 929	28 232	27,84
7	05/07/2022	2 580	3 361	2 441	8 580	2 341	2 750	22 053	21,75
8	12/07/2022	16 330	16 412	10 884	8 580	2 341	11 350	65 897	64,99
9	21/07/2022	16 330	16 412	16 797	8 580	2 341	11 350	71 810	70,82
10	25/07/2022	16 330	16 412	16 797	8 580	2 341	11 350	71 810	70,82
11	04/08/2022	16 330	16 412	16 797	2 553	2 341	11 350	65 783	64,87
12	11/08/2022	16 330	16 412	16 797	6 788	2 341	11 350	70 018	69,05
13	19/08/2022	16 330	16 412	16 797	6 788	2 341	11 350	70 018	69,05
14	25/08/2022	11 899	16 412	16 797	6 788	2 341	11 350	65 587	64,68
15	01/09/2022	9 992	9 283	7 355	8 522	2 341	6 941	44 434	43,82
Moyenne sur l'ensemble du suivi		9 195	9 846	9 074	5 942	2 341	7 564	43 962	43,36
A		1,84	1,72	1,86	2,84	7,22	2,23	0,38	2,31

Tableau 10 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés

**La proportion moyenne de surface prospectée sur l'ensemble du suivi est de 0,43 (soit 43 %).
Le coefficient de correction surfacique moyen sur l'ensemble du parc et des prospections est de :
A = 2,31.**

4.2 Mortalité de l'avifaune

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

4.2.1.1 Les principaux facteurs de mortalité de l'avifaune

À l'exception des parcs éoliens denses et situés dans des zones particulièrement riches en oiseaux, la mortalité par collision est généralement faible par rapport aux autres activités humaines (tableau suivant). Le taux de mortalité varie selon les parcs de 0 à 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 11 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE)

Les différentes espèces interagissent différemment face à un parc éolien :

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

4.2.1.1.1 Situations et facteurs à risques

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

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

4.2.1.1.2 Sensibilité 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, 2021) 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. Treize 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 UICN national. Cette méthode est synthétisée dans la figure suivante, 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 remplissant 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'UICN, **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 33 : Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015)

4.2.1.1.3 Espèces les plus impactées

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

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

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

4.2.1.2 Bilans national et européen de la mortalité de l'avifaune

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

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

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

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

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

Pour finir, huit parcs ont fait l'objet d'estimation selon les quatre méthodes préconisées soit 1,38 % des éoliennes françaises. Ces parcs possèdent tous une sensibilité particulière : proximité d'une ZPS, de

forêts de feuillus ou présence d'une mosaïque de milieux. Les estimations sont comprises entre 0,3 et 26,8 oiseaux/éolienne/an. Toutefois, une fois exclu des calculs un parc comprenant une forte mortalité de pigeons (présence d'un silo à grain à proximité), la mortalité estimée est de 0,3 à 7,6 oiseaux/éolienne/an, soit une moyenne de 4,2 et une médiane de 3,6.

D'un point de vue qualitatif (figure suivante et 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, 2021).

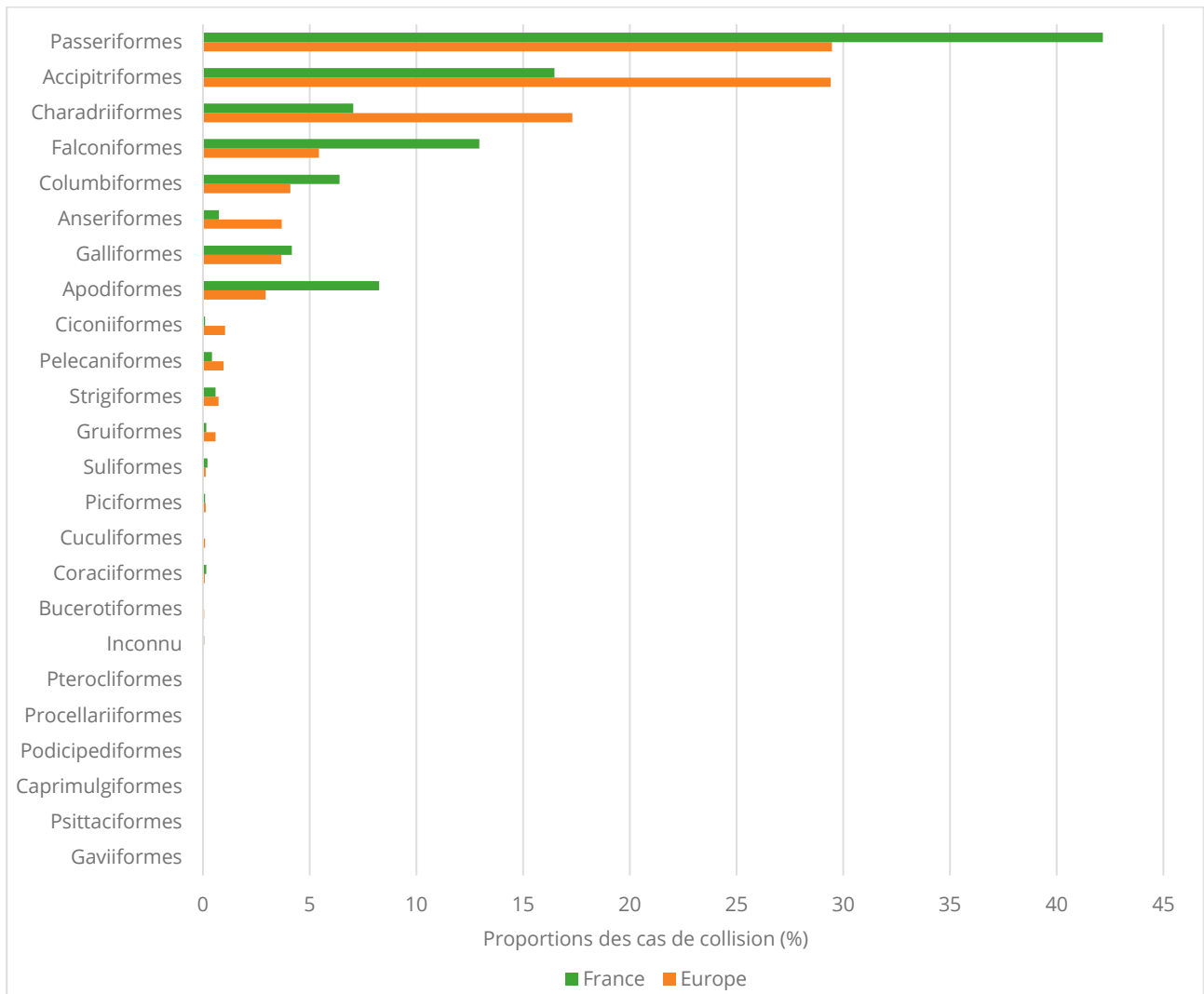


Figure 34 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2022)

4.2.2 Bilan des connaissances de l'étude d'impact

L'étude d'impact, réalisée en 2016 par le bureau d'étude Envol Environnement, a mis en évidence la présence de cinq espèces à enjeu et sensibles au risque de collision dont il conviendra de surveiller l'apparition d'éventuels cas de mortalité (figure suivante) :

- le Busard des roseaux ;
- le Busard Saint-Martin ;
- le Faucon crécerelle ;
- la Grue cendrée ;
- le Milan royal.

Parmi l'ensemble des espèces inventoriées, la sensibilité la plus forte est attribuée au Milan royal. Cette espèce est particulièrement sensible au fonctionnement des éoliennes au niveau européen. Pour autant, un seul individu a été contacté en période hivernale. Bien qu'il s'agisse d'une espèce sensible à l'éolien, le risque de collision est donc réduit en considérant sa très faible fréquentation du site.

La Grue cendrée présente une sensibilité modérée. Elle ne niche pas sur le site. Les contacts de l'espèce se réfèrent à des survols migratoires de l'espèce à très haute altitude (plus de 150 mètres).

Une sensibilité faible est définie pour le Busard Saint Martin, la Buse variable et le Faucon crécerelle. Le Busard des roseaux est marqué par une très faible sensibilité selon le document de référence mais le nombre de cas y est estimé à 0 alors que les données actuelles de 2015 font mention de 42 cas de mortalité. Sa sensibilité est donc équivalente à celle du Busard Saint-Martin.

Les autres espèces observées sont très faiblement sensibles à l'implantation d'un parc éolien dans l'aire d'étude rapprochée.

Figure 35 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2016 (Envol Environnement)

4.2.3 Résultats globaux du suivi de l'avifaune en 2022

4.2.3.1 Mortalité brute

Sur le parc de Coulanges, trois cadavres d'oiseaux appartenant à trois espèces ont été retrouvés en 2022 (tableau suivant). Deux cadavres ont été découverts lors du protocole de suivi de la mortalité, et un en dehors de ce suivi. Ce dernier n'est pas pris en compte dans les estimations de mortalité et pour les analyses comparatives. La mortalité brute est de 0,33 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de fin mai à début septembre, soit 15 prospections, à raison d'une prospection par semaine. Cette mortalité brute est ainsi équivalente à 0,022 individu / éolienne / sortie.

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

Date	Espèce	Éolienne	Statut biologique	Sexe	Âge	Source
11/05/2022	Alouette des champs	E4	Reproducteur	-	-	Hors protocole
29/06/2022	Buse variable	E6	Reproducteur	-	-	Protocole de suivi
04/08/2022	Faucon crécerelle	E2	Reproducteur	-	Juvenile	

Tableau 12 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité

Avec deux cadavres d'oiseaux recensés dans le cadre du protocole de suivi, la mortalité brute observée sur le parc de Coulanges est de 0,33 individu / éolienne sur la période de suivi s'étalant de mai à septembre.

4.2.3.2 Mortalité estimée

Le tableau suivant compile les résultats de la mortalité estimée pour l'ensemble du parc éolien sur la période de suivi, selon les différentes méthodes retenues (estimations calculées via le logiciel EolApp du CEFE 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	31,96	5,32	2,13	0,36	2 – 126,44
Huso	34,50	5,75	2,3	0,38	2 – 167,37
Jones	54,63	9,10	3,6	0,61	2 – 452,81

Tableau 13 : 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 31,96 à 54,63 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 452,81 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

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

Les paramètres correcteurs peuvent avoir un impact fort. Pour le parc de Coulanges, la correction surfacique est assez élevée étant donné le grand nombre de zones non prospectables autour des éoliennes, dû notamment à la présence des cultures.

4.2.3.3 Analyse par groupes taxonomiques

Les trois cadavres d'oiseaux trouvés appartiennent à l'ordre des passériformes (un individu trouvé hors protocole), à celui des accipitriformes (un individu) et à celui des falconiformes (un individu). Il convient de considérer que cette mortalité observée n'est pas nécessairement représentative de la mortalité réelle par groupe taxonomique.

Les passériformes et les accipitriformes font effectivement partie des groupes les plus impactés en France et en Europe (cf. 6.2.1.2 : bilan national de la mortalité avifaune). Les falconiformes sont cependant plus rarement découverts. Une comparaison entre ces résultats doit cependant être étudiée avec prudence étant donné le faible nombre de données issues du parc de Coulanges et donc de la faiblesse statistique qui en découle.

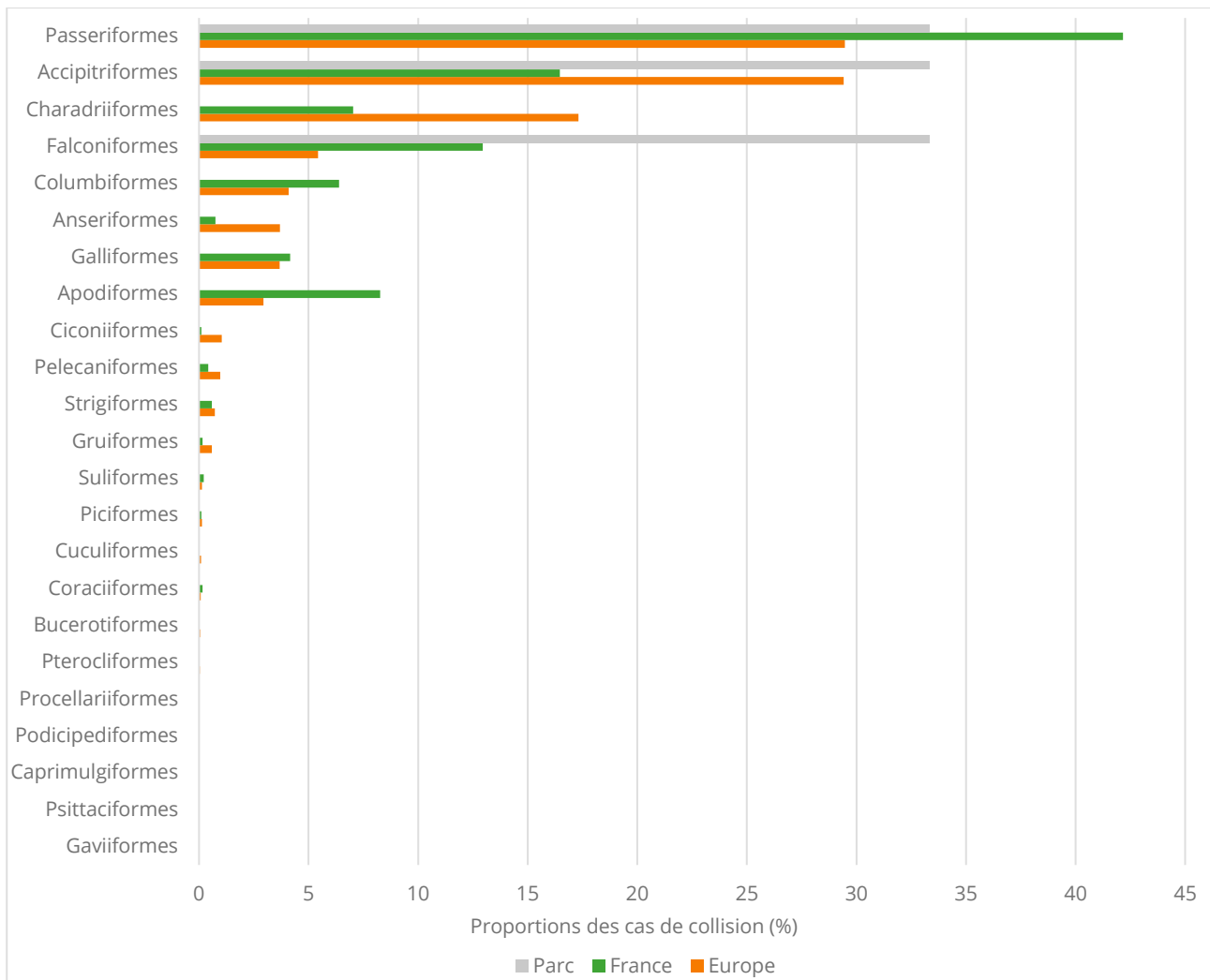


Figure 36 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes par ordre taxonomique, en France, en Europe et sur le parc de Coulanges

Sur le parc de Coulanges, en 2022, les cadavres retrouvés appartiennent aux groupes des accipitriformes et des falconiformes. Le cadavre trouvé hors protocole fait partie du groupe des passeriformes.

Ces trois groupes font partie de ceux les plus représentés dans les cas de collision avec les éoliennes, avec les charadriiformes.

4.2.4 Résultats saisonniers

4.2.4.1 Mortalité brute

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

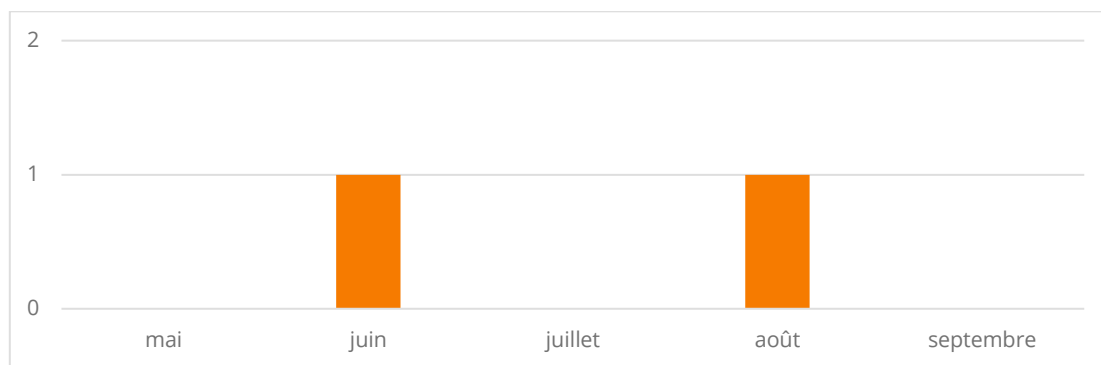


Figure 37 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

Les cadavres retrouvés correspondent à des individus nicheurs.

Étant donné le calendrier de prospection sur cette troisième année de suivi (fin mai à début septembre), les périodes de migration pré-nuptiale et post-nuptiale ont été très peu prospectées.

Le faible nombre de données ne peut pas permettre de dégager une tendance claire. De plus, étant donné 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.

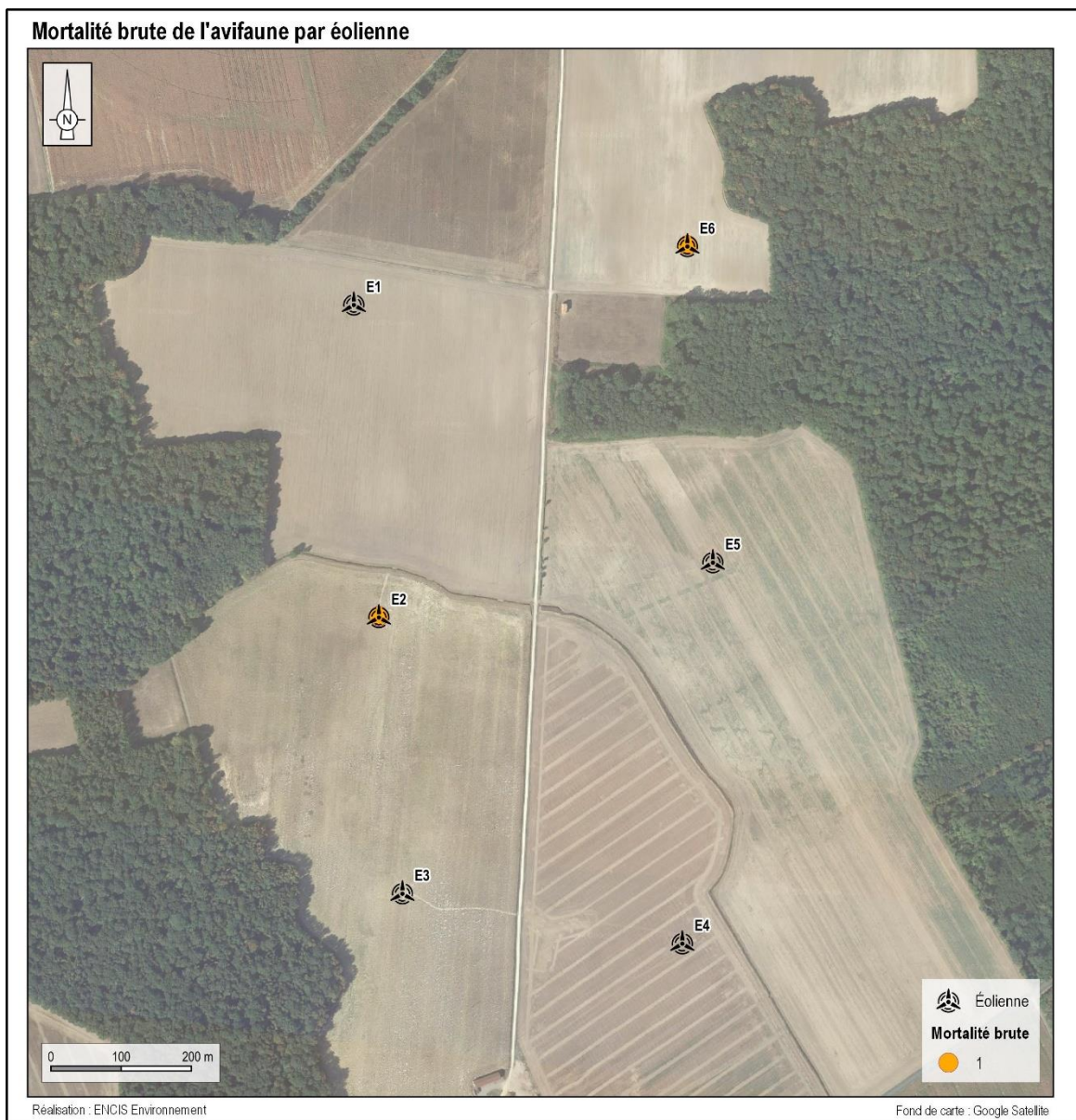
4.2.5 Résultats spatialisés par éolienne

4.2.5.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, les deux cadavres d'oiseaux ont été retrouvés sous les éoliennes E2 et E6 (carte suivante). Celui d'Alouette des champs retrouvé hors protocole se situait à proximité de l'éolienne E4. Étant donné les facteurs tels que, la prédation notamment, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.

Le parc de Coulanges est implanté dans un milieu de cultures et à proximité de zones boisées. Cela peut être une des raisons expliquant les cas de mortalité sur le site.

Par ailleurs, les cas de mortalité sont répartis de manière homogène sur le parc.



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

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 oiseaux avec les turbines :

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

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

D'après les caractéristiques des individus retrouvés, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, aucune cause récurrente n'a pu être identifiée comme étant à l'origine de la mortalité sur le parc de Coulanges. Les cas de mortalité recensés, peu nombreux, pourraient avoir pour origine l'occurrence ponctuelle de facteurs à risques (phénologie, comportement, conditions météorologiques, etc.).

Le parc est implanté proche de zones boisées, qui correspondent aux habitats fréquentés par des espèces comme la Buse variable, espèce ayant fait l'objet d'un cas de mortalité cette année. Il est possible que la mortalité de l'avifaune sur le parc de Coulanges résulte de la présence de tels milieux à proximité des éoliennes. Des suivis complémentaires permettraient de surveiller l'évolution de la mortalité sur le parc.

La cause principale de la mortalité sur le parc pourrait être liée à l'emplacement du parc en bordure de boisements, pouvant engendrer un risque accru sur l'avifaune, les milieux boisés étant généralement riches et densément peuplés en oiseaux. Toutefois, aucune cause récurrente n'a pu être clairement identifiée. La mortalité estimée sur ce parc est considérée comme faible.

4.2.7 Incidences spécifiques du parc éolien sur l'avifaune

4.2.7.1 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 Coulanges, ainsi que leur sensibilité et leur vulnérabilité face au risque de collision avec les éoliennes.

Ordre	Espèce	Statuts réglementaires		Statut de conservation national et régional (UICN)			Risque de collision*		Effectifs
		Directive Oiseaux	Protection nationale	Nich.	Migr.	Nich (région)	Sensibilité	Vulnérabilité*	
Passeriforme	Alouette des champs	Annexe II/2	-	NT	LC	NT	-	0,5	1 (HP)
Accipitriforme	Buse variable	-	Article 3	LC	NA	LC	2	2	1
Falconiforme	Faucon crécerelle	-	Article 3	NT	NA	LC	3	3	1

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

* Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015

Tableau 14 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées

Au regard des statuts de conservation correspondant à la phase du cycle biologique des individus découverts et des indices de sensibilité et de vulnérabilité au risque de collision, une espèce est à considérer avec vigilance sur le parc de Coulanges. Il s'agit du Faucon crécerelle.

L'Alouette des champs, dont un cadavre a été retrouvé hors protocole, présente également un état de conservation défavorable. Il sera nécessaire de rester attentif à une éventuelle récurrence de mortalité pour cette espèce.

Deux espèces sur les trois découvertes présentent un état de conservation défavorable à l'échelle nationale en période de reproduction : l'Alouette des champs (NT) et Faucon crécerelle (NT). Par ailleurs, le Faucon crécerelle est sujet à une sensibilité (3/4) et une vulnérabilité (3/4) élevées face au risque de collision.

Avec un cadavre retrouvé pour chacune de ces espèces, la mortalité est considéré comme faible.

4.2.7.2 Incidences sur les populations des espèces concernées

Parmi les espèces portant des enjeux, et/ou des sensibilités élevés, ciblées lors de l'étude d'impact de 2016 (Busard des roseaux, Busard Saint-Martin, Faucon crécerelle, Grue cendrée, Milan royal), un cas de mortalité de Faucon crécerelle a été avéré en 2022.

Le Faucon crécerelle est classé « Quasi menacée » en période de reproduction à l'échelle nationale et présente un indice de sensibilité élevé face au risque de collision. Sans récurrence de la mortalité observée chez cette espèce, l'impact du parc de Coulanges peut être qualifié comme faible. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent, afin de pouvoir éventuellement en limiter les causes.

La Buse variable présente une sensibilité moyenne face au risque de collision. Le cas de mortalité recensé en 2022 est le second depuis le début du suivi car un individu a été découvert en 2021. Cette espèce n'est pas menacée. L'impact du parc peut, aujourd'hui, être qualifié comme faible et non significatif. Il sera néanmoins nécessaire de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent, afin de pouvoir éventuellement en limiter les causes.

Les populations européennes d'Alouette des champs accusent un déclin modéré de long terme (-29 % entre 1990 et 2011), et la population nationale est considérée comme « Quasi menacée », notamment en raison d'une baisse des effectifs nicheurs de 30 % entre 1989 et 2013.

L'Alouette des champs présente un indice de sensibilité faible face au risque de collision, et a fait l'objet d'un cas de mortalité recensé (en dehors du protocole de suivi) sur le parc de Coulanges en 2022. Deux cadavres d'Alouette des champs ont été recensés en 2020 et quatre en 2021. En tenant compte de ces paramètres et des statuts de conservation de l'espèce, l'impact du parc est qualifié comme faible et non-significatif. Compte tenu de la récurrence de la mortalité observée, il conviendra tout de même de surveiller si d'éventuels nouveaux cas surviennent.

Parmi les espèces à enjeux ciblées lors de l'étude d'impact, seul le Faucon crécerelle a fait l'objet d'un cas de mortalité sur le parc de Coulanges.

Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Coulanges ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce en particulier. Toutefois, il sera nécessaire de surveiller avec attention l'évolution des cas de mortalité sur le Faucon crécerelle et l'Alouette des champs durant les potentielles prochaines années de suivi.

4.2.8 Comparaisons des données de 2022 avec celles de 2021 et 2020

4.2.8.1 Comparaison des résultats globaux

4.2.8.1.1 Mortalité brute

La durée de suivi est différente entre les années 2020 et 2021 (avril à octobre) et l'année 2022 (mai à septembre). La comparaison de la mortalité sur le parc de Coulanges est basée sur les sorties effectuées entre fin mai et début septembre en 2020, 2021 et 2022, qui représentent la période prospectée de la même manière sur les trois années de suivi.

Sur ce parc, aucun oiseau n'a été retrouvé en 2020, deux en 2021 et deux en 2022 soit quatre individus au total (tableau suivant). En plus des individus de Buse variable et de Faucon crécerelle, une Alouette des champs a été retrouvée hors protocole pendant la dernière année. Elle ne sera pas prise en compte pour ces comparaisons.

La mortalité brute de 2022 semble similaire à celle de l'année précédente mais supérieure à celle de la première année de suivi.

Espèce	Année		
	2020	2021	2022
Alouette des champs	0	1	1 (HP)
Buse variable	0	1	1
Faucon crécerelle	0	0	1

Tableau 15: Mortalité brute observée par espèce sur le parc de mai à septembre en 2020, 2021 et 2022

L'Alouette des champs a également fait l'objet de deux cas de mortalité en avril 2020, un en avril 2021 et un autre en mai 2021 (mois non prospectés en 2022). Cela en fait l'espèce la plus impactée sur le parc de Coulanges.

La mortalité reste faible au cours des trois années de suivi, avec une légère augmentation depuis 2020. Néanmoins, le nombre de données est trop faible pour en déduire une tendance claire.

L'Alouette des champs est l'espèce la plus souvent sujette à des cas de mortalité, aussi bien en nombre qu'en récurrence entre 2020 et 2022.

Compte-tenu de la différence du nombre de prospections réalisées ainsi que de la durée du suivi, il n'est pas possible d'établir de comparaison plus précise entre les résultats des différentes années de suivi.

4.2.8.1.2 Mortalité estimée

Compte-tenu de la différence du nombre de prospections réalisées, de la durée du suivi, de la faible précision des estimations réalisées, ainsi que de l'utilisation de logiciels différents entre les années (2021 et 2022 sous Eolapp contrairement à 2020), il n'est pas possible de comparer les calculs de mortalité estimée des trois années de suivi.

4.2.9 Synthèse

- *La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi (mai à septembre 2022) est de deux individus (une Buse variable et un Faucon crécerelle).*
- *Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 31,96 à 54,63 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 452,81, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur). Ici, les estimations sont très peu précises (intervalles très larges).*
- *Par ailleurs, un individu a été retrouvé en dehors du protocole de suivi (Alouettes des champs).*
- *La mortalité de l'avifaune sur le parc de Coulanges pourrait être liée à la présence de milieux boisés favorables à l'avifaune à proximité des éoliennes.*
- *Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Coulanges 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 le Faucon crécerelle et l'Alouette des champs.*

4.3 Mortalité des chiroptères

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

4.3.1.1 Les principaux facteurs de la mortalité des chiroptères

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

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

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

4.3.1.1.1 Mortalité indirecte

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

- un **phénomène de pression/décompression** se produit lors de la rotation des pales et de leur passage devant le mat. La chute brutale de la pression de l'air pourrait impliquer de sérieuses lésions internes des individus passant à proximité des pales, nommés barotraumatismes ;
- la rotation des pales d'éoliennes pourrait provoquer **un vortex** (tourbillon d'air) susceptible de piéger les chauves-souris passant à proximité (Horn *et al.*, 2008) ;
- les **courants d'air créés par la rotation des pales** seraient susceptibles d'entraîner des torsions du squelette des chiroptères passant à proximité, ce qui pourrait aboutir à des luxations ou des fractures des os alaires (Grotsky *et al.*, 2011) ;
- les **collisions sublétales** où des individus percutés par des pales pourraient survivre pendant un temps. Ce type de collision aboutit potentiellement au décès des individus mais pourraient ne pas être comptabilisé lors des suivis si ceux-ci ont pu s'éloigner du rayon de recherche entre-temps.

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

La majorité des auteurs s'accordent sur le fait que la **saisonnalité** joue un rôle prépondérant sur la mortalité des chiroptères par collision avec des aérogénérateurs : l'activité chiroptérologique et donc la mortalité sont les plus élevées en fin d'été-début d'automne (Arnett *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002 ; Doty & Martin, 2012 ; Hull & Cawthen, 2013 ; Brinkmann *et al.*, 2006, 2011 ; Grotsky *et al.*, 2012 ; etc.).

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

Le paramètre le plus influent semble être la vitesse du vent. Rydell *et al.* (2010) ont noté des activités maximales pour une vitesse de vent entre 0 et 2 m/s, puis, de 2 à 8 m/s, une activité diminuant pour devenir inexistante au-delà de 8 m/s. Behr *et al.* (2007) arrivèrent aux mêmes conclusions pour des vitesses de vent supérieures à 6,5 m/s.

La température semble également jouer un rôle sur l'activité chiroptérologique. Si plusieurs auteurs concluent à une corrélation positive entre augmentation de la température et activité (Redell *et al.*, 2006 ; Arnett *et al.*, 2006, 2007 ; Baerwald & Barclay, 2011 ; etc.), d'autres ne considèrent pas ce paramètre en tant que facteur influant de manière indépendante sur l'activité chiroptérologique (Horn *et al.*, 2008 ; Kerns *et al.*, 2005). La pression atmosphérique (Cryan & Brown, 2007 ; Kern *et al.*, 2005), le rayonnement lunaire (Baerwald & Barclay, 2011 ; Cryan *et al.*, 2014) et l'hygrométrie (Behr *et al.*, 2011) pourraient également influencer sur l'activité chiroptérologique. Il semble toutefois plus vraisemblable que ces paramètres influent de manière concomitante sur l'activité des chiroptères (ce qui serait aussi le cas de la température) comme le montrent Behr *et al.*, (2011) ou sur l'abondance d'insectes (Corten & Veldkamp, 2001).

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

4.3.1.1.3 Des comportements à risques de collision, facteurs de mortalité

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

Lors des **migrations**, les chauves-souris traversent des zones moins bien connues que leurs territoires de chasse et/ou n'émettent que peu ou pas d'émissions sonar lors de ces trajets, elles seraient ainsi moins à même de repérer les pales en mouvement (Bach, 2001 in Behr *et al.*, 2007 ; Johnson *et al.*, 2003).

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

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

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

La **morphologie et les spécificités écologiques** de certaines espèces semblent être un facteur important dans le risque de collision. Hull et Cawthen (2013) et Rydell *et al.* (2010) ont ainsi mis en évidence des similarités entre espèces sensibles à l'éolien telles que les noctules, les pipistrelles et les sérotines en Europe. Il s'agit d'espèces glaneuses de plein air aux ailes longues et effilées, adaptées à ce type de vol et utilisant des signaux à faible largeur de bande et à forte intensité. Rydell *et al.* (2010) ont conclu que 98 % des espèces victimes de mortalité par collision sont des espèces présentant ces caractéristiques morphologiques et écologiques.

4.3.1.1.4 Sensibilité et vulnérabilité des espèces

La sensibilité et la vulnérabilité sont regroupées sous la forme d'un seul coefficient pour les chiroptères. L'indice utilisé est ainsi la **note de risque**. Cette note, comprise entre 1 et 4, correspond au croisement entre le statut de conservation UICN national et le taux de mortalité en Europe. **Cet indice inclus ainsi la sensibilité et définit un risque pour les populations d'espèces.** Concernant les chiroptères, il n'existe effectivement pas d'évaluation des populations européennes ou nationales assez fiables, la vulnérabilité ne peut être définie avec précision d'où l'indice de risque utilisé.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Statuts de protection	Statuts Listes rouges (UICN)			Mortalité de DURR par éoliennes 2022**					Note de risque***	
			Monde	Europe	France	0	1	2	3	4		% de mortalité européenne connue
		Directive Habitats				0	1-10	11-50	51-499	>500		
Rhinolophe de Mehely**	<i>Rhinolophus mehelyi</i>	Annexe II & IV	VU	VU	CR = 5		X				0,01	3*
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Annexe II & IV	NT	NT	VU = 4			X			0,12	3*
Murin de Capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Annexe II & IV	VU	VU	NT = 3	X					0	1,5
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Annexe II & IV	NT	VU	LC = 2	X					0	1
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Annexe II & IV	LC	NT	LC = 2		X				0,01	1,5*
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Annexe II & IV	NT	VU	NT = 3		X				0,01	2*
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	Annexe II & IV	LC	NT	NT = 3		X				0,07	2*
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	6,7	3,5
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	LC	LC	VU = 4					X	14,6	4
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	LC	LC	NT = 3					X	15	3,5

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

DD : Données insuffisantes

LC : Préoccupation mineure (espèce pour laquelle le risque de disparition de France est faible)

NT : Quasi menacée (espèce proche du seuil des espèces menacées ou qui pourrait être menacée si des mesures de conservation spécifiques n'étaient pas prises)

VU : Vulnérable

EN : En danger

CR : En danger critique d'extinction

NA : Non applicable (espèce non soumise à évaluation car introduite dans la période récente ou présente en métropole de manière occasionnelle ou marginale)

* Arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection

** Espèce faisant partie de la liste des vertébrés protégés menacés d'extinction et dont l'aire de répartition excède le territoire d'un département (Arrêté di 9 juillet 1999)

* : Surclassement possible localement pour les espèces forestières si implantation en forêt, et les espèces fortement grégaires (proximité d'importantes nurseries ou de sites d'hibernation majeurs)

**Mortalité de DURR par éoliennes 2022 (Europe) : informations reçues au 17/06/2022
***Note calculée par ENCIS sur la base de la SFPEM 2015 avec la mise à jour de la mortalité de DURR : mise à jour le 17/06/2022

Tableau 16 : Sensibilité et note de risque des chiroptères vis-à-vis des éoliennes

4.3.1.2 Bilan national et européen de la mortalité des chiroptères

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 identifiées. 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.

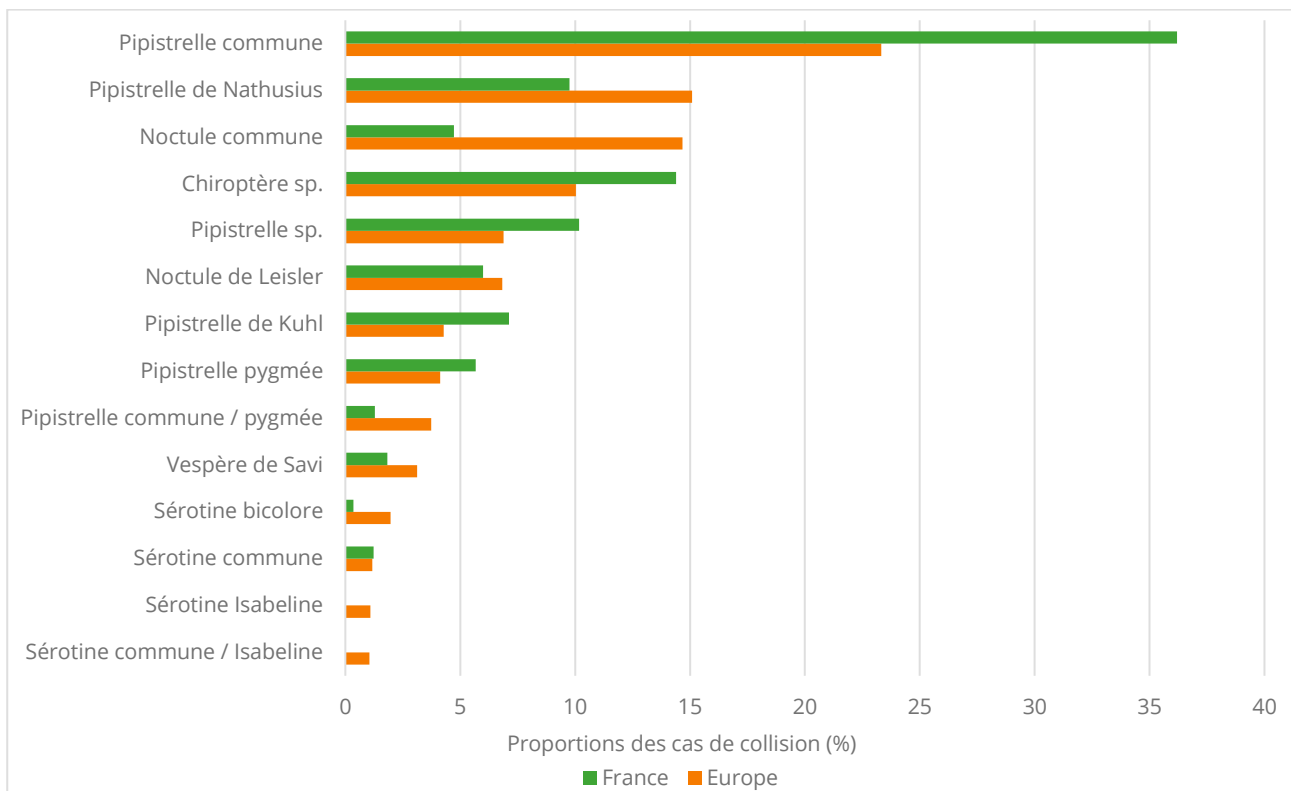


Figure 38 : Proportions des cas de collision avec les éoliennes en fonction des espèces, en France et en Europe (espèces représentant plus de 1% des cas de mortalité en Europe, d'après Dürr, 2022)

4.3.2 Résultats globaux du suivi des chiroptères en 2022

4.3.2.1 Mortalité brute

Sur le parc de Coulanges, deux cadavres de chiroptères ont été retrouvés dans le cadre du protocole de suivi (tableau suivant). La mortalité brute est de 0,33 individu / éolienne durant la période de suivi s'étalant de fin mai à début septembre, soit 15 prospections, à raison d'une prospection par semaine. Cette mortalité brute est ainsi équivalente à 0,022 individu / éolienne / sortie.

Les individus trouvés n'ont pu être identifiés précisément (état de décomposition trop avancé). Il a néanmoins été possible d'affirmer que les deux appartenaient au groupe des pipistrelles.

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

Date	Espèce	Éolienne	Statut	Sexe	Âge	Source
24/05/2022	Pipistrelle sp.	E6	Transits printaniers	-	-	Protocole de suivi
02/06/2022	Pipistrelle sp.	E6	Mise-bas / Élevage des jeunes	-	-	

Tableau 17: Mortalité brute recensée pour les chiroptères durant le suivi sur l'ensemble du parc

4.3.2.2 Mortalité estimée

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

Méthodes	Mortalité estimée				Intervalle de confiance à 95 % (mortalité globale)
	Globale	/éolienne	/sortie	/éolienne/sortie	
Erickson	31,96	5,32	2,13	0,36	2 – 126,44
Huso	34,50	5,75	2,3	0,38	2 – 167,37
Jones	54,63	9,10	3,6	0,61	2 – 452,81
<ul style="list-style-type: none"> • Intervalle de temps entre les passages : 7,33 • Durée moyenne de persistance : 3,1 jours • Coefficient d'efficacité du chercheur : 0,47 • Pourcentage de la surface prospectée : 0,43 (43 %) 					

Tableau 18 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées

Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 31,96 à 54,63 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 452,81 individus, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).

La précision des estimations est jugée insuffisante pour pouvoir interpréter les résultats (intervalles de confiance). Les paramètres correcteurs peuvent avoir un impact fort. La correction surfacique est assez élevée étant donné le grand nombre de zones non prospectables autour des éoliennes (57 %), dû notamment à la présence des cultures. De plus, l'intervalle entre les sorties est lui aussi élevé (7,33) en le comparant à celui de la persistance des cadavres qui est faible (3,1 jours). Enfin, le coefficient d'efficacité du chercheur est relativement moyen (47 %).

Au vu des résultats des calculs de mortalité estimée, l'impact du parc de Coulanges est jugé non-significatif sur la période prospectée en 2022.

4.3.2.3 Analyse taxonomique

Les deux cadavres de chiroptères trouvés correspondent à deux Pipistrelles sp. Il convient de considérer que cette mortalité observée n'est pas nécessairement représentative de la mortalité réelle par espèce.

N'ayant pas été identifiés précisément, ces individus pourraient être des Pipistrelles commune ou de Nathusius, espèces les plus touchées par la mortalité liée aux parcs éoliens. Mais il est aussi possible qu'il s'agisse de Pipistrelle de Kuhl, globalement moins impactée par cette problématique.

Il est très rare d'observer des Pipistrelles pygmées dans cette zone géographique. Les probabilités sont donc beaucoup plus faibles pour que les individus trouvés sur le parc de Coulanges soient des représentants de cette espèce. Une comparaison entre ces résultats doit cependant être étudiée avec prudence étant donné le faible nombre et le manque de précision des données issues du parc de Coulanges et donc de la faiblesse statistique qui en découle.

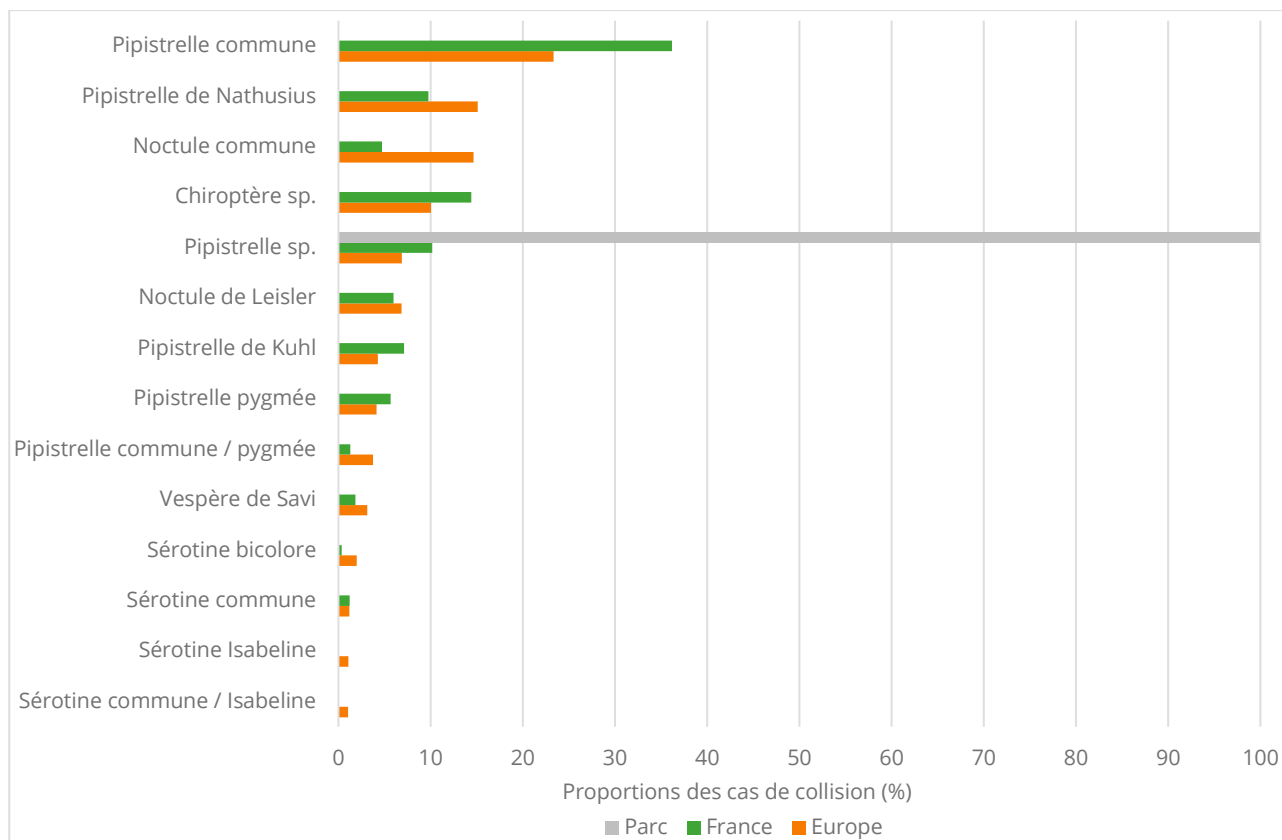


Figure 39 : Proportions (%) des cas de mortalité avec les éoliennes par espèce, en France, en Europe et sur le parc de Coulanges

Les Pipistrelles commune et de Nathusius sont les deux espèces les plus fréquemment concernées par des cas de mortalité. La Pipistrelle de Kuhl est plus rarement recensée.

Les deux pipistrelles trouvées sur site n'ont pas été identifiées précisément. Elles appartiennent potentiellement à l'une de ces trois espèces.

4.3.3 Résultats saisonniers

4.3.3.1 Mortalité brute

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



Figure 40 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi

Compte tenu des caractéristiques des individus retrouvés (date, critères morphologiques), la période concernée correspond à celle du transit printanier et de mise-bas et d'élevage des jeunes.

Par ailleurs, une absence de mortalité est constatée durant les mois d'août et de septembre, qui correspondent à la période de transit automnal. Néanmoins, il manque plusieurs semaines de prospection pour couvrir cette phase dans son intégralité.

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

4.3.3.2 Mortalité estimée

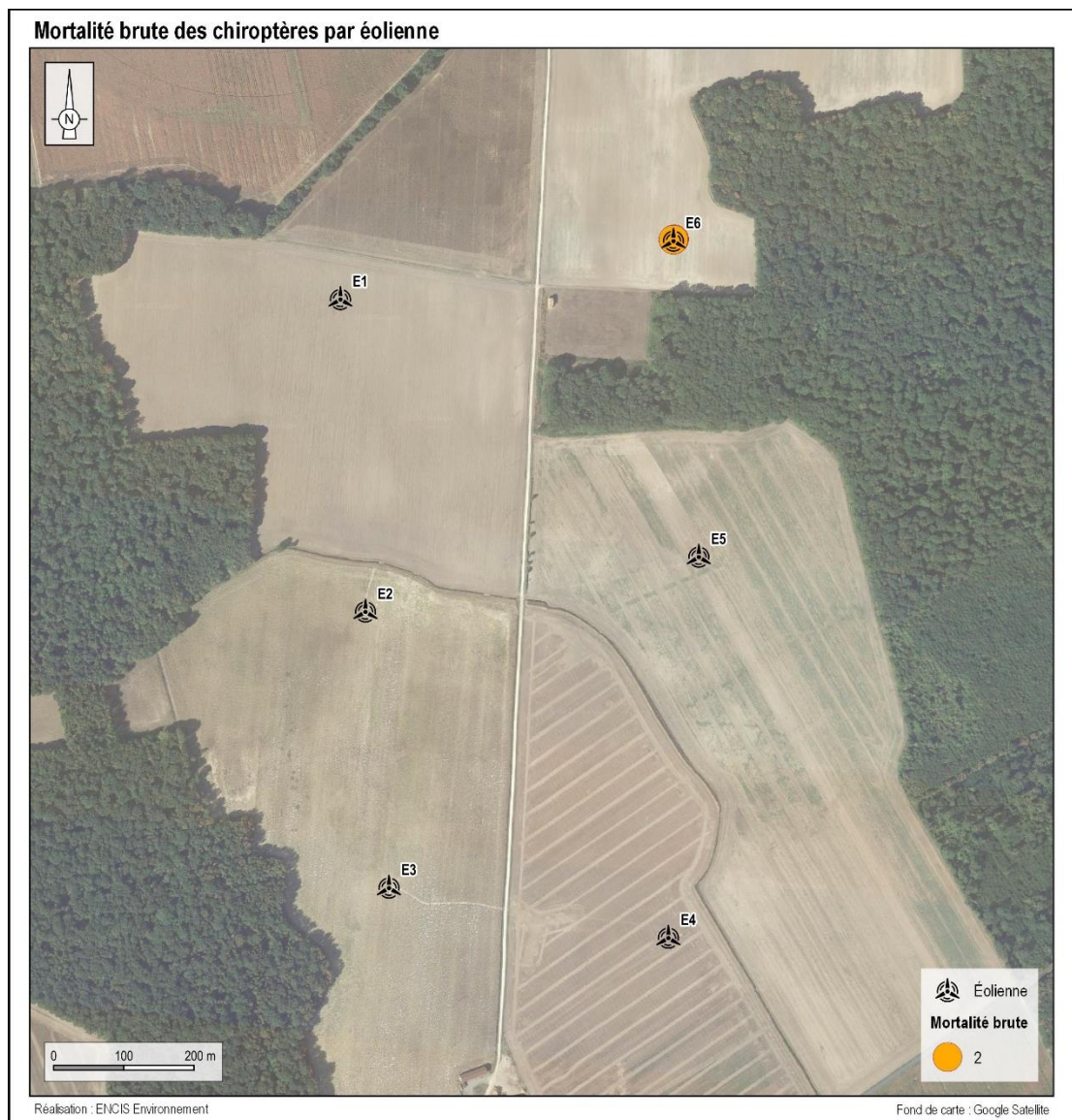
Compte-tenu du faible nombre de données et de l'absence d'hypothèse biologique expliquant les variations constatées, le calcul d'une mortalité estimée par période biologique n'apparaît pas pertinent ici.

4.3.4 Résultats spatialisés par éolienne

4.3.4.1 Mortalité brute

Durant ce suivi, les deux cadavres de chiroptères ont été retrouvés sous l'éolienne E6 (carte suivante). Étant donné les facteurs tels que la prédation ou la proportion de surfaces prospectées, il n'est pas impossible que d'autres éoliennes aient provoqué une mortalité non observée lors du suivi.

Des boisements sont présents à l'Est et au Sud de cette éolienne, en limite de quadrat de prospection. Ils peuvent constituer un milieu présentant un intérêt particulier pour les chiroptères. Les lisières étant très proches de l'éolienne, il est possible que la proximité de ces zones boisées soit la cause des cas de mortalité observés à cet endroit.



Carte 5 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne

4.3.4.2 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 par éolienne n'apparaît pas pertinent ici.

4.3.5 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 relief, de couloir de migration, de zones d'intérêt pour l'alimentation ou le repos, etc.) ;
- les **caractéristiques des éoliennes** (nombre d'éolienne, agencement, taille et hauteur du rotor, etc.) ;
- les **conditions météorologiques** (brouillard, vent, etc.).

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

D'après les caractéristiques des individus retrouvés, ainsi que des analyses spatiales et saisonnières effectuées précédemment dans ce rapport, aucune cause récurrente n'a pu être identifiée comme étant à l'origine de la mortalité sur le parc de Coulanges.

La proximité du parc avec des zones boisées, notamment au niveau de l'éolienne E6, pourrait être liée à la mortalité des chiroptères.

La cause principale de la mortalité sur le parc pourrait être liée à l'emplacement de l'éolienne E6 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 cette éolienne reste faible.

4.3.6 Incidences spécifiques du parc éolien sur les chiroptères

4.3.6.1 Patrimonialité et risque pour les populations d'espèces

Le tableau suivant synthétise les statuts réglementaires et de conservation des différentes espèces de Pipistrelles ayant pu être impactées par le parc de Coulanges, ainsi que leur sensibilité et leur vulnérabilité face au risque de collision avec les éoliennes.

Espèce	Statuts réglementaires		Statut de conservation national (UICN)	Statut de conservation régional (UICN)	Note de risque éolien	Effectifs
	Directive Habitat-Faune-Flore	Mammifères protégés France				
Pipistrelle commune	Annexe IV	Article 2	NT	LC	3,5	-
Pipistrelle de Nathusius	Annexe IV	Article 2	NT	NT	3,5	-
Pipistrelle de Kuhl	Annexe IV	Article 2	LC	LC	2,5	-

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

Tableau 19 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées

Au regard des statuts de conservation correspondant à la phase du cycle biologique des trois espèces de Pipistrelle auxquelles pourraient appartenir les individus trouvés sous les éoliennes et le risque pour les espèces concernées face aux éoliennes, deux espèces présentent un état de conservation défavorable à l'échelle nationale (NT) : La Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune.

Monographie de la Pipistrelle commune

La Pipistrelle commune est classée « Quasi menacée » au niveau national. C'est l'espèce la plus rencontrée en France et il est probable que des colonies vivent à proximité du parc. Possédant la faculté de voler en hauteur tout comme en rase-motte, il ne serait donc pas étonnant de retrouver des cadavres de cette espèce sur le parc en 2022. Elles présentent 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'espèce⁵. Ainsi, un nombre important de cas de collision pourrait représenter un impact non négligeable sur la population locale.

⁵ Arthur L. & Lemaire M. 2015. Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg & Suisse. Biotope Editions, Mèze, Publications scientifiques du Muséum, Paris

Monographie de la Pipistrelle de Nathusius

La Pipistrelle de Nathusius est classée « Quasi menacée » aux niveaux national et régional. Elle se déplace et chasse généralement entre 3 m et 20 m de hauteur, le long de structures linéaires (lisière de boisement notamment). Elle affectionne les milieux forestiers quasi naturels et structurés (forêt de feuillus, boisement humide) pour ses déplacements et la chasse et utilise très souvent les écorces et cavités d'arbres pour son gîte. C'est une espèce migratrice qui est capable de voler jusqu'à 2 000 km à des altitudes assez élevées, et utilise généralement les vallées pour ses déplacements migratoires. L'espèce présente donc des comportements à risques vis-à-vis de l'éolien, notamment à proximité des vallées et des boisements de feuillus.

Parmi trois espèces auxquelles pourraient appartenir les deux individus découverts sur le parc de Coulanges, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius présentent un état de conservation défavorable à l'échelle nationale (NT).

Par ailleurs, ces deux espèces ainsi que la Pipistrelle de Kuhl sont sujettes à un risque élevé (2,5/4 et 3,5/4) pour les populations face aux impacts de collision.

4.3.6.1 Corrélation avec le suivi comportemental

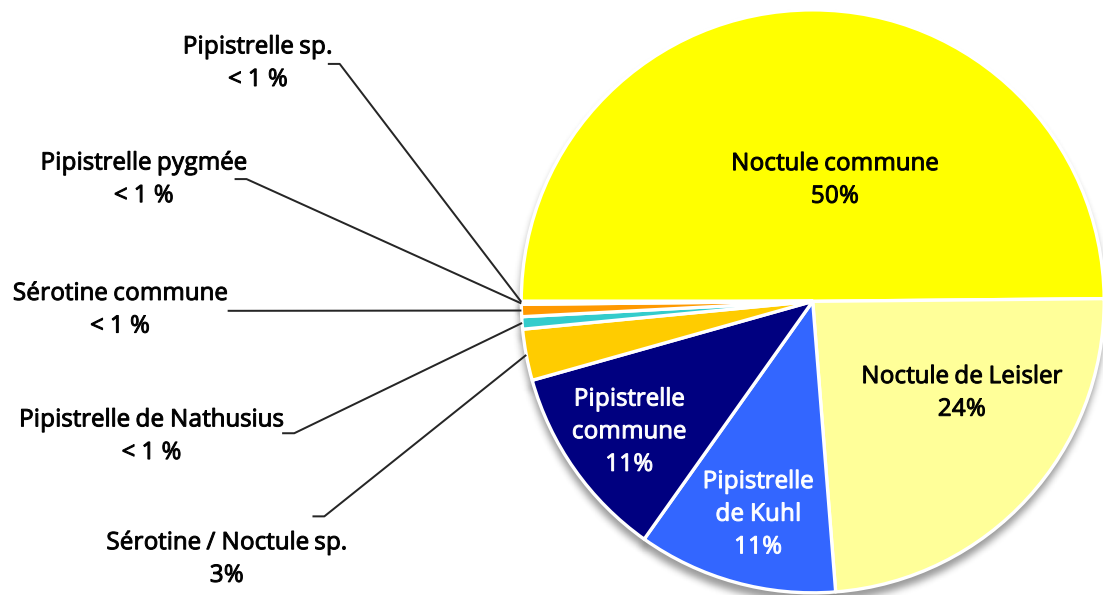


Figure 41 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude

Il est intéressant de noter que l'activité chiroptérologique recensée sur le parc est essentiellement due à celle des noctules (74 % des contacts dont 50 % pour la Noctule commune). Les autres espèces contactées sont principalement la Pipistrelle de Kuhl (11 % des contacts) et la Pipistrelle commune (11 % des contacts). Ces résultats ne sont pas vraiment en adéquation avec les espèces retrouvées sous les éoliennes du parc, à savoir deux cadavres de pipistrelles sp. En effet, les pipistrelles ne couvrent que 22 % de l'activité totale sur le site, contre 74 % pour les noctules où aucun cadavre de ce groupe d'espèces n'a été découvert. Néanmoins, en raison de faiblesse de l'échantillon de cadavres retrouvés, il apparaît difficile de mettre en exergue une véritable corrélation entre l'activité relevée par les enregistrements et la mortalité avérée.

Le suivi comportemental montre une forte activité des chiroptères, principalement pour les mois de juillet, août et septembre. Par ailleurs, la mortalité observée sur cette dernière année de suivi n'est présente qu'au mois de mai et juin, mais reste faible.

4.3.6.2 Incidences sur les populations des espèces concernées

Parmi les espèces portant des enjeux élevés, ciblées lors de l'étude d'impact réalisée en 2016 (Pipistrelle commune et Pipistrelle de Nathusius), aucune n'a été recensée au cours du suivi de 2022. Néanmoins, deux cadavres ont été identifiés comme faisant partie du groupe des Pipistrelles. Il est donc possible que ces deux cas de mortalité concernent la Pipistrelle commune et/ou la Pipistrelle de Nathusius.

La Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius sont classées « Quasi menacée » en période de reproduction à l'échelle nationale et présente une note de risque élevée face à l'éolien.

Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Coulanges ne présente pas, à l'heure actuelle, d'impact significatif sur une espèce en particulier.

4.3.6.3 Comparaison de la mortalité avec les écoutes à hauteur de nacelle

On peut observer que les nuits présentant une forte activité ne coïncident pas avec les périodes durant lesquelles une mortalité est apparue. En effet, aucun cadavre n'a été découvert pendant les mois où l'activité est forte, à savoir les mois de juillet et août. À contrario, les cadavres de pipistrelles ont été découverts pendant les deux mois où ces espèces sont plus actives sur le parc éolien de Coulanges.

Les premières conclusions du suivi comportemental à hauteur de nacelle montrent une activité chiroptérologique importante sur le site, notamment des noctules. Toutefois, aucune mortalité de noctule n'a été mise en évidence.

La mortalité chiroptérologique estimée sur le parc de Coulanges a été considérée comme faible, en comparaison d'autres parcs éoliens français.

4.3.6.4 Analyse de l'efficacité du bridage

La programmation préventive des machines appliquée en fin d'année 2021 et définie en fonction des résultats des écoutes en nacelle de 2021, a couvert 75,6 % des contacts en 2022. Cette programmation a ainsi moins couvert l'activité chiroptérologique qu'en 2021 (91,6 %), notamment pendant les mois de mai et de juin, ce qui pourrait expliquer la mortalité survenue lors de ces deux mois. En effet, d'une année sur l'autre, les conditions climatiques sont différentes et les chiroptères s'adaptent en volant parfois à de plus hautes valeurs de vent et de plus faibles valeurs de température lors des années plus ventées et plus froides. Cela peut potentiellement expliquer la couverture plus faible du bridage en 2022. Cependant, la mortalité sur le parc éolien de Coulanges reste faible.

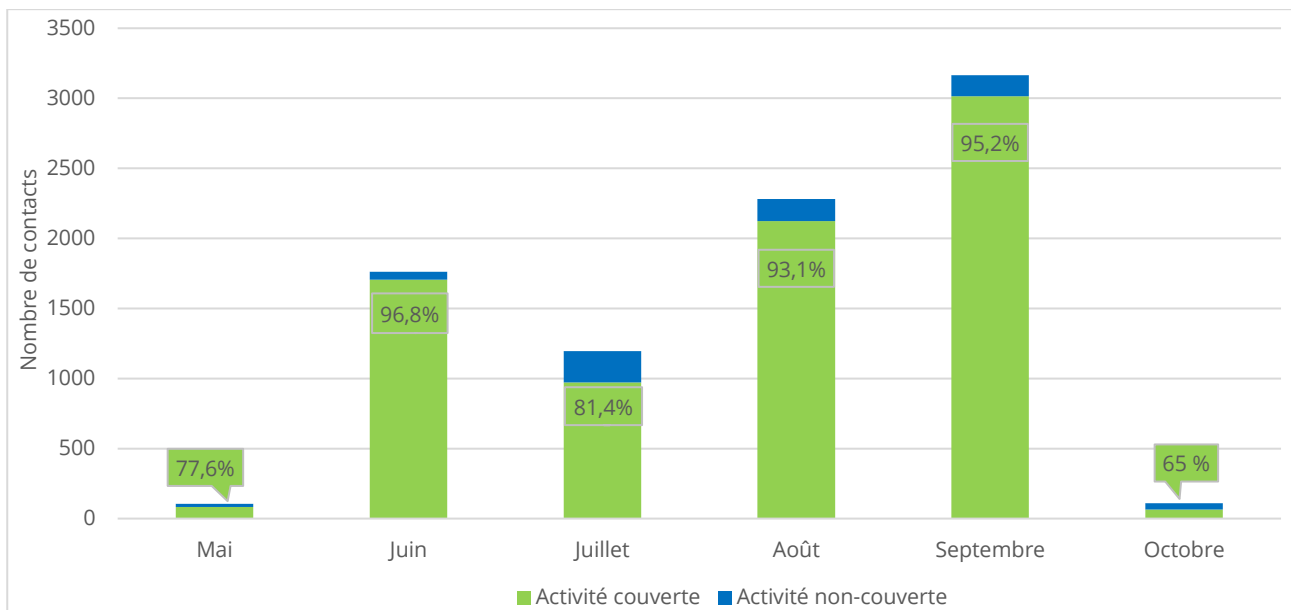


Figure 42: Recouvrement des contacts de chiroptères pour chaque mois d'inventaire par le bridage en 2021

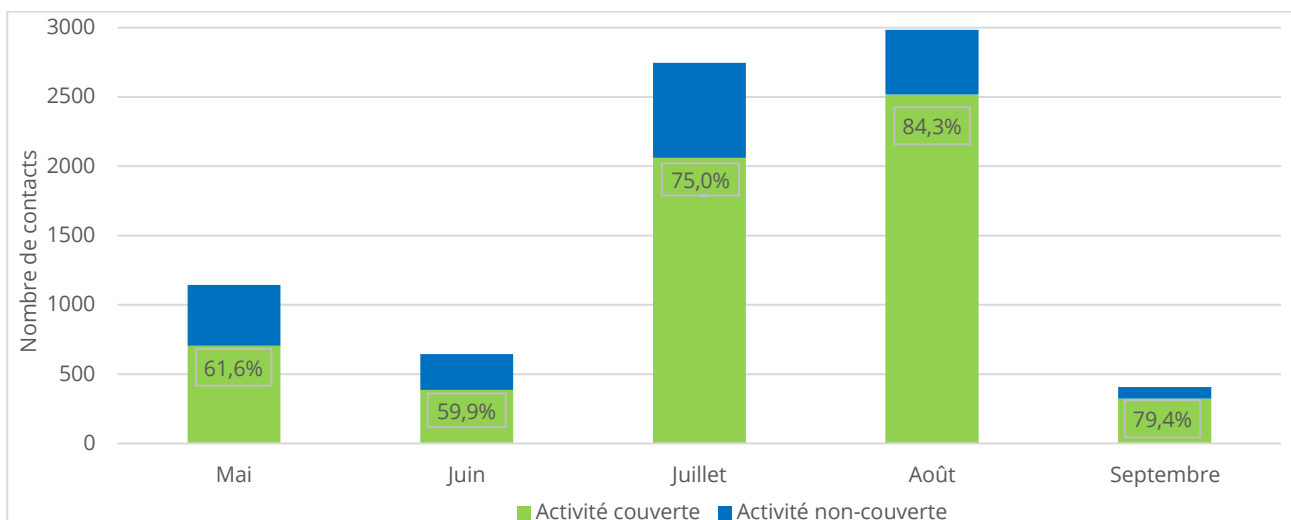


Figure 43: Recouvrement des contacts de chiroptères pour chaque mois d'inventaire par le bridage en 2022

4.3.7 Comparaisons des données de 2022 avec celles de 2020 et 2021

4.3.7.1 Comparaison des résultats globaux

4.3.7.1.1 Mortalité brute

La durée de suivi est différente entre les années 2020 et 2021 (avril à octobre) et l'année 2022 (mai à septembre). La comparaison de la mortalité sur le parc de Coulanges est basée sur les sorties effectuées entre fin mai et début septembre en 2020, 2021 et 2022, qui représentent la période prospectée de la même manière sur les trois années de suivi.

Les espèces les plus impactées au cours des trois années de suivi sont la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl (tableau suivant). Ce constat pourrait appuyer l'hypothèse selon laquelle les deux individus trouvés en 2022 seraient des représentants d'au moins une de ces deux espèces.

La mortalité brute a diminué de manière significative entre le suivi de l'année 2021 et celui de 2022 (neuf individus en 2020 et en 2021 pour deux en 2022). Cela s'explique par la mise en place du bridage sur les éoliennes en septembre 2021.

Espèce	Année		
	2020	2021	2022
Pipistrelle de Kuhl	5	3	0
Pipistrelle Commune	0	6	0
Noctule de Leisler	1	0	0
Noctule commune	1	0	0
Pipistrelle sp.	1	0	2
Chiroptère sp.	1	0	0

Tableau 20: Mortalité brute observée par espèce sur le parc de fin mai à début septembre en 2020, 2021 et 2022

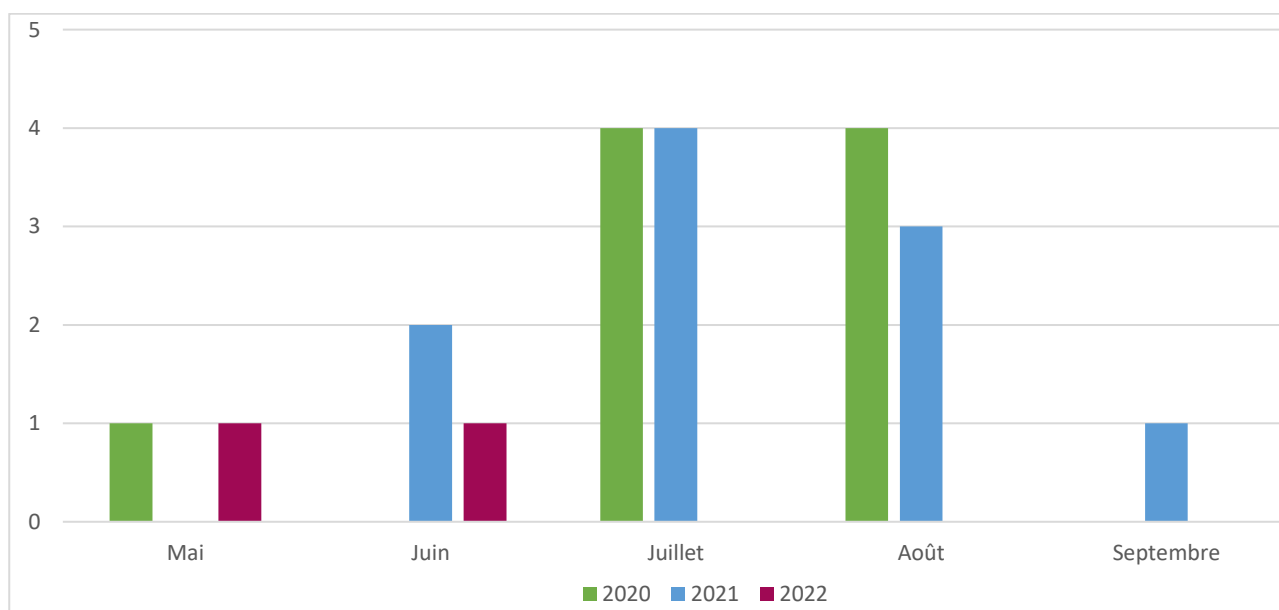


Figure 44: Mortalité brute observée sur le parc de mai à septembre 2020, 2021 et 2022

Les données récoltées sur les deux années précédentes permettent de dégager une tendance nette concernant l'impact sur la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl qui semble plus important que pour les autres espèces concernées.

La mortalité brute des chiroptères en 2022 est nettement inférieure à celle observée lors des deux années précédentes, et montre l'efficacité du bridage mis en place, notamment pour les mois de mai à septembre.

4.3.7.1.2 Mortalité estimée

Compte-tenu de la différence du nombre de prospections réalisées ainsi que de la durée du suivi, il n'est pas possible de comparer les calculs de mortalité estimée des trois années de suivi.

4.3.8 Synthèse

- *La mortalité brute relevée sur l'ensemble du suivi de l'année 2022 (mai à septembre) est de deux individus (Pipistrelles sp.).*
- *Selon les estimateurs, la mortalité estimée varie de 31,96 à 51,63 individus pour l'ensemble du parc sur la période de suivi, et la mortalité réelle devrait se situer entre 2 et 452,81, avec un risque d'erreur de 5 % (pour chaque estimateur).*
- *La mortalité résiduelle des chiroptères sur le parc de Coulanges pourrait être liée à un bridage moins couvrant surtout en mai et en juin. En outre, des milieux favorables aux chiroptères (zones boisées, lisières) sont présents à proximité des éoliennes, notamment pour l'éolienne E6.*
- *La mortalité des chiroptères semble concentrée en fin de printemps et début d'été, une période de forte activité des chiroptères. Cela correspond aux périodes de transit printanier et de mises-bas et d'élevage des jeunes.*
- *Deux individus de Pipistrelles sp. ont été découverts. Néanmoins, aucune identification à l'espèce n'a pu être effectuée.*
- *Compte tenu de la mortalité observée et des effectifs concernés, le parc de Coulanges ne présente pas d'impact significatif sur une espèce en particulier.*
- *Le bridage mis en place en septembre 2021 montre son efficacité par une mortalité brute en nette diminution lors de ce suivi 2022. Après corrélation du bridage actuel et des résultats en nacelle de 2022, le bridage a couvert une proportion inférieure de contacts de chiroptères, notamment pour les mois de mai et de juin. Cette observation pourrait expliquer qu'une mortalité est survenue lors de ces deux mois.*



5 Mesures correctrices

5.1 Mesures correctrices pour réduire l'incidence sur les chiroptères

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

Le bilan des mesures mises en place et de leur efficacité sur les trois années de suivi montre une nette diminution de la mortalité des chiroptères. Toutefois, notons que le bridage mis en place en septembre 2021 permettait de couvrir 91,6 % de l'activité chiroptérologique de l'année 2021, alors qu'il couvre 75,6 % des contacts de l'année 2022. Les mois qui ont subi ce plus faible recouvrement de l'activité sont notamment les mois de mai et de juin, sur lesquels une mortalité est survenue. C'est pourquoi l'exploitant souhaite mettre en place **un bridage dynamique de type ProBat à partir du 1er mai 2023. Ce bridage dynamique permettra de couvrir annuellement 90% de l'activité des chiroptères.**

5.1.2 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

Figure 1 : Réactions des oiseaux en vol confrontés à un champs d'éoliennes sur leur trajectoire (d'après Albouy et al, 2001).....	15
Figure 2 : Exemple de situation à risque : brouillard en hauteur masquant tout ou partie des pales.	18
Figure 3 : Diminution de l'activité de la Sérotine commune sur le parc éolien de Midlum	19
Figure 4 : Voies migratoires de la Noctule de Leisler (Popa-Lisseanu and Voigt from Hutterer et al. 2005.)	20
Figure 5 : Représentation schématique des comportements de vols de chauves-souris à proximité d'une éolienne.....	25
Figure 6 : Dispositif installé dans la nacelle d'éolienne (copyright : B.A.T.).....	32
Figure 7 : Indices de confiance établis par Sonochiro® et risques d'erreurs associés	33
Figure 8 : Disque micro (premier plan), disque antenne et sonde (deuxième plan)	35
Figure 9 : BATmode et système d'alimentation à l'intérieur de la BATbox	35
Figure 10 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne.....	40
Figure 11 : Tableau de synthèse des enjeux et des sensibilités chiroptérologiques (Envol Environnement, 2016)	51
Figure 12 : Espèces sensibles au risque de collision et synthèse des enjeux (Envol Environnement, 2016)	52
Figure 13 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude.....	54
Figure 14 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement	55
Figure 15: Répartition du nombre de contacts par jours durant l'ensemble de la période d'inventaire .	57
Figure 16: Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien.....	58
Figure 17: Activité des chiroptères en fonction de la température.....	59
Figure 18 : Activité mensuelle des chiroptères en fonction de la température	60
Figure 19: Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent.....	61
Figure 20: Activité mensuelle des chiroptères en fonction du vent.....	62
Figure 21 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur les trois années de suivi ICPE	65
Figure 22: Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement sur les trois années d'études	66
Figure 23 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement en 2020	67
Figure 24 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement en 2021	67
Figure 25 : Répartition du nombre de contacts par mois complet d'enregistrement en 2022	67
Figure 26: Répartition du nombre de contacts par jours sur les trois périodes d'études	68
Figure 27: Répartition du nombre de contacts par jours en 2020	69
Figure 28: Répartition du nombre de contacts par jours en 2021	69

Figure 29: Répartition du nombre de contacts par jours en 2022	69
Figure 30: Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction du cycle circadien	70
Figure 31: Activité des chiroptères en fonction de la température	71
Figure 32: Activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent.....	71
Figure 33 : Indice de vulnérabilité de l'état de conservation des espèces (Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, 2015)	78
Figure 34 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes en fonction des ordres, en France et en Europe (d'après Dürr, 2022).....	80
Figure 35 : Espèces à enjeu et sensibles au risque de collision, inventoriées durant l'étude d'impact réalisée en 2016 (Envol Environnement)	81
Figure 36 : Proportions (%) des cas de collision avec les éoliennes par ordre taxonomique, en France, en Europe et sur le parc de Coulanges.....	84
Figure 37 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi	85
Figure 38 : 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).....	96
Figure 39 : Proportions (%) des cas de mortalité avec les éoliennes par espèce, en France, en Europe et sur le parc de Coulanges.....	99
Figure 40 : Mortalité brute observée sur le parc en fonction de chaque mois suivi	100
Figure 41 : Répartition des contacts par espèces ou groupes d'espèces sur l'ensemble de la période d'étude.....	104
Figure 42: Recouvrement des contacts de chiroptères pour chaque mois d'inventaire par le bridage en 2021	106
Figure 43: Recouvrement des contacts de chiroptères pour chaque mois d'inventaire par le bridage en 2022	106
Figure 44: Mortalité brute observée sur le parc de mai à septembre 2020, 2021 et 2022.....	107

Tableaux

Tableau 1 : Dates et conditions météorologiques des inventaires des chiroptères en nacelle d'éolienne	36
Tableau 2 : Paramètres des tests de d'efficacité effectués sur l'année de suivi	42
Tableau 3 : Postulats de chaque méthode d'estimation.....	46
Tableau 4 : Répartition du nombre de contacts par espèce	53
Tableau 5: Répartition du nombre de contacts au sol et en hauteur en fonction des phases biologiques	54
Tableau 6: Répartition du nombre de contacts en fonction des mois d'inventaires	56
Tableau 7: Résultats de la diversité spécifique en fonction des études menées sur le site	64
Tableau 8 : Résultats des tests d'efficacité	75
Tableau 9 : Résultats des tests de persistance	75
Tableau 10 : Synthèse des surfaces prospectées et des facteurs de correction surfacique associés	76

Tableau 11 : Cause de mortalité des oiseaux (Guide de l'étude d'impact des parcs éoliens 2010, d'après les données issues de la LPO, AMBE).....	77
Tableau 12 : Oiseaux découverts lors du suivi mortalité.....	82
Tableau 13 : Estimations de la mortalité de l'avifaune pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées	83
Tableau 14 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées	88
Tableau 15: Mortalité brute observée par espèce sur le parc de mai à septembre en 2020, 2021 et 2022	90
Tableau 16 : Sensibilité et note de risque des chiroptères vis-à-vis des éoliennes	95
Tableau 17: Mortalité brute recensée pour les chiroptères durant le suivi sur l'ensemble du parc.....	97
Tableau 18 : Estimations de la mortalité des chiroptères pour l'ensemble du parc sur la période de suivi selon les méthodes utilisées	97
Tableau 19 : Statuts des différentes espèces impactées et nombre de collision observées	103
Tableau 20: Mortalité brute observée par espèce sur le parc de fin mai à début septembre en 2020, 2021 et 2022	107

Cartes

Carte 1 : Localisation du parc éolien de Coulanges.....	10
Carte 2 : Localisation du parc éolien de Coulanges sur photographie aérienne	11
Carte 3 : Localisation du dispositif Batmode S.....	34
Carte 4 : Répartition des cadavres d'oiseaux trouvés par éolienne	86
Carte 5 : Répartition des cadavres de chiroptères trouvés par éolienne	101

Bibliographie

- Actes du séminaire citoyen Lucéole (2012). Coexistence Milan royal et parc éolien – pour une compréhension ouverte d'un problème complexe.
- Albouy, S., Dubois, Y. & Picq, H. 2001. Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue-Haute (Aude). Rapport final, octobre 2001. ABIES/LPO Aude/ADEME, Gardouch – Gruissan. 56 p + annexes.
- Alcalde, J.T. (2003): Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. *Barbastella* 2: 3-6.
- Ahlén, I. (1997): Migratory behaviour of bats at south Swedish coasts. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 62: 375-380.
- Ahlén, I. (2002): Fladdermöss och fåglar dödade av vindkraftverk. *Fauna och Flora* 97 (3): 14-22.
- Alhen I Bach L. Baagoe H.J. & Pettersson J. 2007. Bats and offshore wind turbines studied in southern Scandinavia. The Swedish Environmental Protection Agency, Report 5571.
- Amorim F. Rebelo H. Rodrigues L. 2012. Factors influencing bat activity and mortality at a wind farm in the Mediterranean region. *Acta Chiropterologica* 14(2): 439-457.
- André, Y. (2005): Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. LPO, Rochefort, 21 pages.
- Arnett, E.B., technical editor (2005): Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: an Assessment of Fatality Search Protocols, Pattern of Fatality, and Behavioral Interactions with Wind Turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 187 pp.
- Arnett E.B. Barclay R.M.R & Hein C.D. 2013a. Thresholds for bats killed by wind turbines. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 171–171. doi:10.1890/15409295-11.4.171 & 2013a.
- Arnett E.B. Huso M.M.P. Reynolds D.S. & Schirmacher M. 2007. Patterns of preconstruction bat activity at a proposed wind facility in northwest Massachusetts. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. 35 p.
- Arnett, E.B., M.M.P. Huso, J.P. Hayes & M. Schirmacher (2010): Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA.
- Arnett E.B. Huso M.M.P. Schirmacher M. & Hayes J.P. 2011. Altering turbine speed reduces bat mortality at wind-energy facilities. *Front Ecol. Environ.* 2011, 9(4): 209– 214.
- Arnett, E.B., G.D. Johnson, W.P. Erickson & C.D. Hein (2013c): A synthesis of operational mitigation studies to reduce bat fatalities at wind energy facilities in North America. A report submitted to the National Renewable Energy Laboratory. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.
- Arnett, E.B., C.D. Hein, M.R. Schirmacher, M.M.P. Huso & J.M. Szewczak (2013b): Evaluating the Effectiveness of an Ultrasonic Acoustic Deterrent for Reducing Bat Fatalities at Wind Turbines. *PLoS ONE* 8(6): e65794.

- Arnett E.B. Brown W.K. Erickson W.P. Fiedler J. Hamilton B.L. Henry T.H. Jain A. Johnson G.D. Kerns J. Koford R.R. Nicholson C.P. O'Connell T. Piorkowski M. & Takersley R. 2008. Patterns of fatality of bats at wind energy facilities in North America. *Journal of Wildlife Management* 72: in press.
- Arnett, E.B., Baerwald, E.F., Mathews, F., Rodrigues, L., Rodriguez-Durán, A., Rydell, J., Villegas-Patraca, R. & Voigt, C. (2016) Impacts of wind energy development on bats: a global perspective. *Bats in the Anthropocene: conservation of bats in a changing world* (C. Voigt and T. Kingston, eds.) pp. 295–323. Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland.
- Arthur L. & Lemaire M. 2015. *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. Deuxième édition. Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- Aulagnier S. 2005. France. in : R. Hutterer, T. Ivanova, C. Meyer-Cords & L. Rodrigues : *Bat migrations in Europe. A review of banding data and literature*. *Natursch. Biol. Vielf.*, 28 : 41-43.
- AVES environnement & GCP. 2010. *Etude de la mortalité des Chiroptères*. Parc éolien du Mas de Leuze, commune de Saint-Martin-de-Crau (13), 17/03-27/11 2009. 38 p.
- Bach, L. (2002): *Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzungen von Fledermäusen am Beispiel des Windparks „Hohe Geest“, Midlum - Endbericht*. – unpubl. report for Instituts für angewandte Biologie, Freiburg/Niederelbe: 46 pp.
- Bach L. & Niermann I. 2011 & 2013. *Monitoring der Fledermausaktivität im Windpark Langwedel – Bericht 2012 – Überprüfung des Abschalt algorithmus*. Unpubl. report to PNE Wind AG, 28 pages.
- Bach, P., L. Bach, K. Eckschmitt, K. Frey & U. Gerhardt (2013b): *Bat fatalities at different wind facilities in northwest Germany*. Poster at CWE2013, Stockholm, 5-7 February 2013 (Naturvardsverket rapport 6546:117) and 3rd International Bat Meeting, Berlin, 1-3 March 2013.
- Baerwald E.F. Barclay R.M.R. 2011. Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. *The Journal of Wildlife Management* 75: 1103-1114.
- Baerwald, E.F., G.H. D'Amours, B.J. Klug & R.M.R. Barclay (2008): *Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines*. *Current Biology* 18 (16): pR 695696.
- Barataud M. & Giosa S. 2012. *Biodiversité des chiroptères et gestions forestières en Limousin : rapport*. Groupe Mamm. Herpéto. Limousin, Limoges, 32 p.
- Barclay R.M.R. 1991. Population Structure of Temperate Zone Insectivorous Bats in Relation to Foraging Behaviour and Energy Demand. *Journal of Animal Ecology* 60 (1): 165-178.
- Barclay R.M.R., Baerwald E.F., Gruber J.C. (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 SFPEM*, 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 Castelnaud-Pegayrols (12): Suivi pluriannuel des impacts sur les chauves-souris. Bilan des campagnes des 2ème, 3ème et 4ème années d'exploitation (2009-2001), 111 pages
- Bispo, R., G. Palminha, J. Bernardino, T. Marques, & D. Pestana (2010): A new statistical method and a web-based application for the evaluation of the scavenging removal correction factor. *Proceedings of the VIII Wind Wildlife Research Meeting, Denver, USA.*
- Brinkmann, R., H. Schauer-Weisshahn & F. Bontadina (2006): Survey of possible operational impacts on bats by wind facilities in Southern Germany. Final report submitted by the Administrative District of Freiburg, Department of Conservation and Landscape management and supported by the foundation Naturschutzfonds
- Brinkmann, R., O. Behr, I. Niermann & M. Reich (ed.) (2011): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4, 457 pages
- Camina, A. (2012): Bat fatalities at wind farms in northern Spain – lessons to be learned. *Acta Chiropterologica* 14(1): 205-212
- Collins J. & Jones G. 2009. Differences in bat activity in relation to bat detector height: implications for bat surveys at proposed windfarm sites. *Acta Chiropterol.*, 11(2): 343-350.
- Cornelis N, Strehler-Perrin C, Balsiger L et al. (2016). 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. Gorrensens P.M. Hein C.D. Schirmacher M.R. Diehl R.H. Huso M.M. Hayman D.T.S. Fricker P.D. Bonaccorso F.J. Johnson D.H. Hesit. H. & Dalton D.C. 2014. Behavior of bats at wind turbines. PNAS. doi: 10.1073/pnas.1406672111
- 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
- Ecosphère, (2016). Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions » (Écosphère, 2016, complété en 2017).
- Ecosphere, 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. — *Technometrics* 48: 241–251.
- Georgiakakis, P. Kret E. Cárcamo B. Doutau B. Kafkaletou-Diez A. Vasilakis D. & Papadatou E. 2012. Bat fatalities at wind farms in north-eastern Greece. *Acta Chiropterologica* 14 (2): 459-468.
- Gerell-Lundberg K. & Gerell R. 1994. The mating behaviour of the pipistrelle and the Nathusius' pipistrelle (Chiroptera) - A comparison. *Folia Zoologica* 43 (4): 315-324.
- Grindal, S.D. & R.M. Brigham (1998): Short-term effects of small-scale habitat disturbance on activity by insectivorous bats. *J. Wildl. Manage* 62 (3): 996–1003.
- Grodsky, S.M., M.J. Behr, A. Gendler, D. Drake, B.D. Dieterle, R.J. Rudd & N.L. Walrath (2011): Investigating the causes of death for wind turbine-associated bat fatalities. *Journal of Mammalogy* 92(5): 917–925.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016. – Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 17 pages.
- Grünkorn, T., A. Diederichs, B. Stahl, D. Dörte & G. Nehls (2005): Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergie-anlagen. Unpubl. report for Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein: 92 pp.
- Grünkorn T, von Rönn J, Blew J, Nehls G, Weitekamp S, Timmermann H, Reichenbach M, Coppack T (2016). Détermination des taux de collision des oiseaux (y compris rapaces) et principes fondamentaux pour prévoir et évaluer le risque de collision dans la conception des projets éoliens (projet de recherche PROGRESS). (p27).
- Hayes, M.A. (2013): Bats Killed in Large Numbers at United States Wind Energy Facilities. *BioScience* 63(12): 975-979.
- Hayes, M. A., L. A. Hooton, K. L. Gilland, C. Grandgent, R. L. Smith, S. R. Lindsay, J. D. Collins, S. M. Schumacher, P. A. Rabie, J. C. Gruver, and J. Goodrich-Mahoney. (2019) A smart curtailment

- approach for reducing bat fatalities and curtailment time at wind energy facilities. *Ecological Applications* 00(00):e01881.
- Hedenström A. 2009. Optimal migration strategies in bats. *Journal of Mammalogy*, 90(6):1298–1309, 2009
- Heim, O., Schröder, A., Eccard, J., Jung, K. & Voigt, C.C. (2016) Seasonal activity patterns of European bats above intensively used farmland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 130–139.
- Hensen, von F. (2004): Gedanken und Arbeitshypothesen zur Fledermausverträglichkeit von Windenergieanlagen. *Nyctalus (N.F.)* 9 (5): 427-435.
- Hodos W (2003). Minimization of Motion Smear: Reducing Avian Collisions with Wind Turbines. (p43).
- Horn J.W. Arnett E.B. & Kunz T.H. 2008. Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *The Journal of Wildlife Management* 72(1): 123-132
- Holzhaider J. & Zahn A. 2001. Bats in the Bavarian Alps : species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Z. Säugetierk.*, 66(2) : 144-154.
- 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. Kerbirou (2011): Chirotech, A Multi-Factorial Mitigation process to reduce Bat fatalities at wind energy facilities. In: Hutson A.M., P.H.C. Lina (eds.): XII European Bat Research Symposium - Programme, abstract, list of participants: 33.
- Lagrange, H., P. Rico, Y. Bas, A-L. Ughetto, F. Melki & C. Kerbirou (2013): Mitigating bat fatalities from wind-power plants through targeted curtailment: results from 4 years of testing of CHIROTECH®. Presentation at the CWE in Stockholm 5-7 February 2013 and at the 16th International Bat Research Conference, Costa Rica.
- Le Campion T. & Dubos T. 2017. Etude la migration des chauves-souris en Bretagne 2013-2016 : rapport final mai 2017. G.M.B., 52 p.
- Lebreton, J.-D. et al. 1992. Modelling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. — *Ecol. Monogr.* 62: 67–118.
- Lehnert, L.S., Kramer-Schadt, S., Schönborn, S., Lindecke, O., Niermann, I. & Voigt, C.C. (2014) Wind farm facilities in Germany kill noctule bats from near and far. *PLoS ONE*, 9, e103106.
- Limpens H.J.G.A. Boonman, M. Korner-Nievergelt F. Jansen E.A. Van der Valk M. La Haye M.J.J. Dirksen S. & Vreugdenhil S.J. 2013. Wind turbines and bats in the Netherlands - Measuring and predicting. Report 2013. 12, Zoogdiervereniging & Bureau Waardenburg.
- Long, C. V., J.A. Flint & P.A. Lepper (2011): Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Research* 57 (2), 323-331.
- Loss SR, Will T, Marra PP (2013). Estimates of bird collision mortality at wind facilities in the contiguous United States. (p9).
- Madders M, Whitfield DP (2006). Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. (p14).
- Martin, C.M., Arnett, E.B., Stevens, R.D. & Wallace, M.C. (2017) Reducing bat fatalities at wind facilities while improving the economic efficiency of operational mitigation. *Journal of Mammalogy*, 98, 378–385.
- Marx G., (2017). Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015. Juin 2017, actualisé en septembre 2017, 92 p.
- McAney C.M. & Fairley J.S. 1990. Observations at summer roosts of the lesser horseshoe bat in Co. Clare. *Ir. Nat. J.* 23(1).
- MRNF. 2008. Protocole de suivi des mortalités d'oiseaux de proie et de chiroptères dans le cadre de projets d'implantation d'éoliennes au Québec – 8 janvier 2008. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Secteur Faune Québec. 18 pages.
- Natural England (2007): Disturbance and protected species: understanding and applying the law in England and Wales. Natural England, 24/8/07, 30 pages. Available:

- http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20140605090108/http://www.naturalengland.org.uk/Images/esisgd_tcm6-3774.pdf
- Niermann, I., O. Behr & R. Brinkmann (2007): Methodische Hinweise und Empfehlungen zur Bestimmung von Fledermaus-Schlagopferzahlen an Windenergiestandorten. *Nyctalus* (N.F.) 12 (2-3): 152-162.
- Niermann I. Brinkmann R. Korner-Nievergelt F. Behr O. 2011. Systematische Schlagopfersuche - Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (ed.): Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. *Umwelt und Raum* 4: 40-115
- Norberg U.M. Rayner J.M.V. 1987. Ecological morphology and flight in bats (Mammalia; Chiroptera): wing adaptations, flight performance, foraging strategy and echolocation. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 316: 335-427.
- Parsons S. & Jones G. 2000. Acoustic identification of twelve species of echolocating bat by discriminant function analysis and artificial neural networks. *J. exp. Biol.* 203: 2641±2656.
- Parsons, K.N., G. Jones, I. Davidson-Watts & F. Greenaway (2003): Swarming of bats at underground sites in Britain - implications for conservation. *Biol. Conservation* 111 (1): 63-70.
- Péron, G., J.E. Hines, J.D. Nichols, W.L. Kendall, K.A. Peters & D.S. Mizrahi (2013) Estimation of bird and bat mortality at wind-power farms with superpopulation models. *Journal of Applied Ecology* 50(4): 902-911.
- Pollock, R. 2007. Recommended formulas for adjusting fatality rates. California guidelines for reducing impacts to birds and bats from wind energy development. Final commission report. C. E. C. a. C. D. o. F. a. Game. — California Energy Commission, Renewables Committee, and Energy Facilities 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 Publication Serie N° 6 (Version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133p.

- Rollins, K.E., D. K. Meyerholz, G.D. Johnson, A.P. Capparella & S.S. Loew (2012): A Forensic Investigation Into the Etiology of Bat Mortality at a Wind Farm: Barotrauma or Traumatic Injury? *Veterinary Pathology* 49 (2): 362-371
- Russ J.M. 1999a. The bats of Britain and Ireland. Echolocation calls, sound analysis and species identification. Newtown: Alana Books. 102
- Russ J.M. 1999b. The Microchiroptera of Northern Ireland: community composition, habitat associations and ultrasound. Unpubl. PhD thesis, The Queen's University of Belfast
- Rydell J. Bach L. Dubourg-Savage M-J. Green M. Rodrigues L. & Hedenström A. 2010a. Bat mortality at wind turbines in northwestern Europe. *Acta Chiropterologica* 12(2): 261-274
- Rydell J. Bach L. Dubourg-Savage M-J. Green M. Rodrigues L. & Hedenström A. 2010b. Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *Eur. J. Wildl. Res.*, 56(6) : 823-827.
- Sané, F. (2012): Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : Bilan de 3 années de suivi (2008-2009-2010). ALEPE, unpublished report for EDF EN, 111 pages.
- Sattler T. & Bontadina F. 2005. Bases pour l'évaluation écologique de deux secteurs d'installations éoliennes en France sur la base de la diversité et l'activité des chauves-souris. – 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

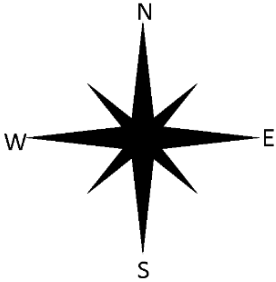
Annexe 1 : Fiche de données remplie à chaque sortie mortalité

Date	Observateur	Parc éolien	Heure début	Heure fin	Température	Temps	Vent	Eol. en marche (O/N)	Orientation éolienne	Autres remarques :
Notes météo jours précédents :										

Type (O/C)	N°	Espèce	Sexe	Age	Point GPS		Etat sex	Mesure AB	Etat cadavre	Blessure	Codes photos	Végétation
					X	Y						
Remarque :												
Remarque :												
Remarque :												
Remarque :												

Age : Adulte (Ad) ; immature (Imm) ; juvénile (juv)
Etat sex : Post-lactante (PL= télines visibles); Epididymes et/ou gonades gonflées (EG/GG); Non reproductrice (NR); Epididymes/gonadess non gonflées (ENG/GNG)
Etat cadavre : Frais (F); Avancé (Av); Décomposé (Déd); Sec (S)

Annexe 2 : Présentation de la fiche de saisie standardisée de la mortalité

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

Annexe 3 : Sorties mortalité réalisées en 2021

Chercheurs	Date	Heure début	Heure fin	Température début	Température fin	CN (%)	Pluie	Vent
Margot FEVRIER	24/05/2022	10:24	12:24	19	19	50%	absente	faible
Margot FEVRIER	02/06/2022	10:48	12:52	25	25	0%	absente	faible
Margot FEVRIER	08/06/2022	13:42	15:21	18	24	70%	absente	faible
Margot FEVRIER	15/06/2022	9:50	11:22	26	30	20%	absente	absent
Margot FEVRIER	20/06/2022	13:21	14:54	26	28	90%	absente	absent
Margot FEVRIER	29/06/2022	14:10	15:45	27	28	10%	absente	faible
Margot FEVRIER	05/07/2022	10:12	11:52	22	28	0%	absente	moyen à fort
Margot FEVRIER	12/07/2022	9:20	12:25	22	32	10%	absente	faible
Margot FEVRIER	21/07/2022	9:53	12:27	22	24	90%	absente	faible
Margot FEVRIER	25/07/2022	12:39	14:52	27	27	70%	absente	moyen à fort
Margot FEVRIER	04/08/2022	10:55	12:59	27	33	30%	absente	faible
Margot FEVRIER	11/08/2022	8:11	10:36	19	29	0%	absente	faible
Margot FEVRIER	19/08/2022	10:09	12:40	20	24	100%	absente	faible
Margot FEVRIER	25/08/2022	10:17	12:26	25	31	60%	absente	absent
Margot FEVRIER	01/09/2022	10:13	11:57	22	27	40%	absente	absent



Annexe 4 : Cas de collision avec des chiroptères recensés en France et en Europe au 17 juin 2022 (d'après Dürr, 2022)



Espèces	Europe	France
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 Isabeline	120	0
Sérotine commune / Isabeline	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 mustaches	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 5 : 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
Pterocliiformes	0	6
Caprimulgiformes	0	3
Podicipediformes	0	3
Procellariiformes	0	3
Gaviiformes	0	1
Psittaciformes	0	1



Annexe 6 : Fiches des cadavres retrouvés

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ OISEAUX			
Nom du parc éolien : BRINAY			
Point n° 0	Date 24/05/2022	Heure 10:22	Nom du découvreur Margot FEVRIER
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude :2,093135130937219 Longitude :47,1471728652049 Numéro de l'éolienne la plus proche : E4 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 45m Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche :0 Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : labours, bordure de champs			
N° de photos :00_01 ; 00_02 ; 00_03 ; 00_04 ; 00_05 ; 00_06 ; 00_07 ; 00_08 ; 00_09			
Description et identification			
Taille de l'oiseau (aile déployées) : Particularités (couleur, forme quelconque) : Identification (famille, espèce si possible) :Alouette des champs			
État de l'individu			
Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Mort <input checked="" type="checkbox"/> Fragment <input type="checkbox"/>			
État du cadavre			
<input type="checkbox"/> Frais <input checked="" type="checkbox"/> Avancé <input type="checkbox"/> Décomposé <input checked="" type="checkbox"/> Sec			
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) : Collision			
COMMENTAIRES : Cadavre trouvé hors protocole			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ CHAUVES-SOURIS			
Nom du parc éolien : BRINAY			
Point n° 2	Date 24/05/2022	Heure 12:09	Nom du découvreur Margot FÉVRIER
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 2,0937454036929743 Longitude : 47,15575738652098 Numéro de l'éolienne la plus proche : E6 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 50 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : S Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Plateforme			
N° de photos : C1_1 ; C1_2 ; C1_3 ; C1_4 ; C1_5 ; C1_6 ; C1_7 ; C1_8 ; C1_9 ; C1_10 ; C1_11			
Description et identification			
Taille de la chauve souris (aile déployées) : Particularités (couleur, forme quelconque) : avant bras 31mm Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle sp.			
État de l'individu			
Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Blessure apparente <input type="checkbox"/>		Mort <input checked="" type="checkbox"/> Sans blessure visible <input checked="" type="checkbox"/>	
État du cadavre			
<input type="checkbox"/> Frais		<input checked="" type="checkbox"/> Avancé	
		<input type="checkbox"/> Décomposé	
		<input type="checkbox"/> Sec	
Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...) : Barotraumatisme			
COMMENTAIRES : Pas de blessure visible			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ CHAUVES-SOURIS			
Nom du parc éolien : BRINAY			
Point n° 3	Date 02/06/2022	Heure 12:40	Nom du découvreur Margot FÉVRIER
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude : 2,09372726387008 Longitude : 47,15574060264126 Numéro de l'éolienne la plus proche : E6 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 52 Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : S Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : Plateforme			
N° de photos : C2_1 ; C2_2 ; C2_3 ; C2_4 ; C2_5 ; C2_6 ; C2_7 ; C2_8 ; C2_9 ; C2_10			
Description et identification			
Taille de la chauve souris (aile déployées) : Particularités (couleur, forme quelconque) : avant bras 29 mm Identification (famille, espèce si possible) : Pipistrelle sp.			
État de l'individu			
Vivant (blessé) <input type="checkbox"/> Blessure apparente <input type="checkbox"/>		Mort <input checked="" type="checkbox"/> Sans blessure visible <input checked="" type="checkbox"/>	
État du cadavre			
<input checked="" type="checkbox"/> Frais		<input type="checkbox"/> Avancé	
		<input type="checkbox"/> Décomposé	
		<input checked="" type="checkbox"/> Sec	
Cause présumée de la mort (collision avec pale, barotraumatisme...) : Barotraumatisme			
COMMENTAIRES : Pas de blessure visible			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ OISEAUX			
Nom du parc éolien : BRINAY			
3	Point n°	Date 29/06/2022	Heure 15:31
		Nom du découvreur Margot FEVRIER	
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude :2,0943640565807664 Longitude :47,156673110608466 Numéro de l'éolienne la plus proche : E6 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 75m Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche :NE Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : prairie			
N° de photos :O3_01 ; O3_02 ; O3_03 ; O3_04			
Description et identification			
Taille de l'oiseau (aile déployées) :			
Particularités (couleur, forme quelconque) :			
Identification (famille, espèce si possible) : Buse variable			
État de l'individu			
Vivant (blessé) <input type="checkbox"/>		Mort <input type="checkbox"/>	Fragment <input checked="" type="checkbox"/>
État du cadavre			
<input type="checkbox"/> Frais	<input checked="" type="checkbox"/> Avancé	<input type="checkbox"/> Décomposé	<input type="checkbox"/> Sec
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) : indeterminée			
COMMENTAIRES : Plumée			

FICHE TERRAIN STANDARDISÉE – MORTALITÉ OISEAUX			
Nom du parc éolien : BRINAY			
4	Point n°	Date 04/08/2022	Heure 11:33
			Nom du découvreur Margot FEVRIER
Localisation			
Coordonnées GPS (en WGS 84) + indication sur carte Latitude :2,088147998381901 Longitude :47,15134782000375 Numéro de l'éolienne la plus proche : E2 Distance au mât de l'éolienne la plus proche (en m) : 15m Orientation par rapport à l'éolienne la plus proche : E Couverture végétale au niveau de la découverte (type, hauteur) : labours			
N° de photos :O4_01 ; O4_02 ; O4_03 ; O4_04 ; O4_05			
Description et identification			
Taille de l'oiseau (aile déployées) :			
Particularités (couleur, forme quelconque) :			
Identification (famille, espèce si possible) : Faucon crécerelle			
État de l'individu			
Vivant (blessé) <input type="checkbox"/>		Mort <input checked="" type="checkbox"/>	Fragment <input type="checkbox"/>
État du cadavre			
<input checked="" type="checkbox"/> Frais	<input type="checkbox"/> Avancé	<input type="checkbox"/> Décomposé	<input type="checkbox"/> Sec
Cause présumée de la mort (collision avec pale, avec tour...) : collision			
COMMENTAIRES :			