



BORALEX

BORALEX

Au-delà

DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Parc éolien de Marcillé

Commune de Marcillé-Raoul, Ille-et-Vilaine (35)

28 février 2025

**Suivi de mortalité de
l'avifaune et des
chiroptères AN1 (2024)**



Information sur le document

Citation recommandée	Biotope, 2025 – Suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères AN1 (2024) - Parc éolien de Marcillé - Commune de Marcillé-Raoul, Ille-et-Vilaine (35) - BORALEX - 92 p.		
Nom de fichier	MAR_Boralex_SuiviMortalite_2024_V3_20250228.docx		
N° de contrat	2023014-15		
Date de démarrage de la mission	18/03/2024		
Maître d'ouvrage	Boralex S.A.S. 71 rue Jean Jaures 62575 Blendecques		
Interlocuteur	Vezians DUPONT		vezians.dupont@boralex.com 06 31 22 45 86
Biotope, Responsable du projet	Marine RIU		mriu@biotope.fr 07 60 02 05 80
Version 1	Rédacteur : Alex TREMBLAIS 06/02/2025	Contrôle qualité : Marine RIU 21/02/2025	Description des modifications apportées au document : <ul style="list-style-type: none">● Création du document.
Version 2	Rédacteur : Marine RIU 27/02/2025	Contrôle qualité : /	Description des modifications apportées au document : <ul style="list-style-type: none">● Calcul des taux de protection de l'asservissement
Version 2	Rédacteur : Marine RIU 28/02/2025	Contrôle qualité : /	Description des modifications apportées au document : <ul style="list-style-type: none">● Intégration remarques client

Biotope est signataire de la « [Charte d'Engagement des Bureaux d'Études dans le domaine de l'évaluation environnementale](#) ».

Sauf mention contraire explicite, toutes les photos du rapport ont été prises sur site par le personnel de Biotope dans le cadre des prospections de terrain.

Avant-propos

Le parc éolien de Marcillé (Ille-et-Vilaine) a été mis en service en janvier 2023.

La société BORALEX a missionné Biotope pour la réalisation du suivi de mortalité du parc éolien en 2024, ainsi que pour la réalisation d'une étude des chiroptères en nacelle conformément au protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (révision 2018).

Le présent document présente les résultats des suivis réalisés en 2019 par le bureau d'études BIOTOPE. L'objectif de ce suivi est d'estimer les taux de mortalité des chauves-souris et des oiseaux, liés à l'exploitation du parc éolien de Marcillé.

Au regard des éléments fournis (volet faune de l'étude d'impact) et des échanges réalisés pour la réalisation de l'offre commerciale, un protocole adapté, issu du document validé par le Ministère « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens », fixant les modalités à suivre, notamment pour la réalisation d'un suivi de mortalité, a été mis en œuvre.

À noter que la révision du document « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » est paru en mars 2018 fixant les modalités à suivre, notamment pour la réalisation d'un suivi de mortalité. Ainsi, le protocole réalisé dans le cadre de cette étude et le rapport qui en découle tiennent compte des évolutions du protocole national.

Sommaire

1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques	5
1.1 Contexte – présentation du parc et données historiques	5
1.1.1 Présentation du parc	5
1.1.2 Rappel des enjeux de l'étude d'impact	6
1.2 Méthodologie appliquée	7
1.2.1 Généralités sur la méthode de suivi de la mortalité : cadre et protocole national	7
1.2.2 Méthodologie d'inventaire mise en œuvre et difficultés rencontrées	8
1.2.3 Conditions de réalisation du suivi de mortalité et des suivis de l'activité de l'avifaune et des chiroptères	22
1.2.1 Équipe de travail	25
2 Synthèse et analyse des résultats	26
2.1 Résultat du suivi de l'activité des chiroptères en hauteur	26
2.1.1 Espèces contactées	26
2.1.2 Abondance relative	27
2.1.3 Evaluation de l'activité en hauteur	28
2.1.4 Analyse détaillée de l'activité des chiroptères en hauteur	32
2.1.5 Comparaison avec les suivis de l'activité des chiroptères antérieures	37
2.1.6 Analyse de l'activité des chiroptères en hauteur en fonction des paramètres météorologiques	37
2.1.7 Synthèse de l'activité des chiroptères en hauteur	43
2.2 Résultats du suivi de mortalité	44
2.2.1 Résultats bruts	44
2.2.2 Analyse des résultats	54
2.2.3 Synthèse du suivi de mortalité	67
2.3 Facteurs d'impact et mesures mises en place	68
2.3.1 Analyse croisée avec l'étude d'impact	68
2.3.2 Analyse croisée de la phénologie de la mortalité et de l'activité acoustique en nacelle des chiroptères	68
2.3.3 Evaluation de l'efficacité de l'asservissement chiroptère en fonctionnement	73
3 Mesures correctives et conclusions	75
3.1 Mesures correctives	75
3.2 Conclusions	76
4 Bibliographie	77
5 Annexes	80
Annexe I : Tableau récapitulatif des observations de cadavres	80
Annexe II : Détails des arrêtés relatifs aux installations de production d'électricité	81
Annexe III : Détails sur les méthodes d'inventaires attendues à l'échelle nationale	82
Annexe IV : Détails sur les coefficients correcteurs et des méthodes statistiques	83
Annexe V : Définition de l'AIC et des intervalles de confiances à 95%	84
Annexe VI : Détails sur la méthodologie, les résultats et les biais concernant les référentiels mortalité Biotope	85
6 Index des tableaux et figures	88

1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

1.1 Contexte – présentation du parc et données historiques

1.1.1 Présentation du parc

Le parc éolien de Marcillé se situe dans le département d'Ille-et-Vilaine (35), en région Bretagne. Il est localisé à environ 35 km au Nord du centre-ville de Rennes.

Le parc, mis en service en janvier 2023, comprend 6 éoliennes Vestas V100 de 2,2 MW de puissance unitaire et d'orientation ouest-est. Ces éoliennes ont une hauteur de moyeu de 100 m et disposent d'un rotor de 100 m de diamètre.

Le parc de Marcillé se situe dans un contexte de cultures céréalier avec la présence de boisement à proximité.



Eolienne E01



Eolienne E03

Figure 1 : Plateformes des éoliennes E01 et E03 du parc éolien de Marcillé



Figure 2 : Situation et disposition des éoliennes du parc éolien de Marcillé (de gauche à droite, E01, E02, E03, E04, E05 et E06)

1.1.2 Rappel des enjeux de l'étude d'impact

L'objectif de cette partie est de résumer et de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées lors de l'étude d'impact du projet éolien réalisée en 2013 et rédigée en 2014 afin de les comparer avec les résultats des suivis post-implantation réalisés en 2024.

1.1.2.1 Présentation de l'aire d'étude initiale et des techniques employées

L'aire d'étude immédiate correspond à la ZIP (=Zone d'Implantation Potentielle) du parc éolien où ont été menées les investigations de terrain les plus poussées. Certains inventaires ont été réalisés au sein de l'aire d'étude rapprochée (périmètre de 1 km autour de la ZIP). Pour la partie « oiseaux », 8 journées d'inventaire ont été mobilisées entre janvier 2013 et octobre 2013 couvrant l'ensemble du cycle biologique annuel : migrations pré et postnuptiales, hivernage et reproduction. Les observations directes ont été réalisées en parcourant l'aire d'étude et par observation sur des points fixes. Il a également été réalisé des points d'écoutes conformément au protocole IPA. Ces méthodes ont permis d'apprécier l'utilisation du site par les oiseaux nicheurs ou en transit mais aussi de préciser les espèces hivernantes et en passage migratoire.

Pour l'étude des chauves-souris, deux techniques ont été déployées : l'utilisation d'enregistreurs automatiques et de détecteurs d'ultrasons manuels. Quatre soirées d'inventaire ont été mobilisées : 2 en mai 2013 pour l'étude du transit printanier, 1 en juillet 2013 pour l'étude de la reproduction et 1 en septembre 2013 pour l'étude du transit automnal. Les enregistreurs automatiques utilisés sont les SM2 Bat, ils ont été disposés sur des points d'échantillonnages précis et leurs emplacements sont restés identiques au cours des différentes phases du cycle biologique étudiées. Parallèlement aux enregistrements automatisés (SM2), des séances d'écoute active sont effectuées au cours de la même nuit, à l'aide d'un détecteur d'ultrasons : l'Echo-meter 3 (EM3).

1.1.2.2 Intérêts du site et de ses abords pour les oiseaux, définis par l'étude d'impact

Sur le site éolien, il n'existe pas de secteur particulièrement favorable à l'avifaune. Tous les habitats sont occupés au moins ponctuellement par des espèces patrimoniales, que ce soit pour la chasse, le repos ou l'installation d'un nid.

En hiver, les enjeux sont très faibles avec peu d'espèces patrimoniales présentes et des concentrations d'oiseaux assez faibles.

Lors des migrations, aucune voie particulière n'est empruntée par l'avifaune et les espèces migratrices peuvent survoler l'ensemble du site d'étude.

Enfin, en période de nidification, on rencontre une plus forte concentration d'oiseaux patrimoniaux dans les secteurs bocagers et à proximité du massif boisé au sud.

1.1.2.3 Intérêts du site et de ses abords pour les chiroptères, définis par l'étude d'impact

15 espèces ont été inventoriées lors des sessions d'enregistrement, sur les 21 espèces recensées à l'échelon régional. L'environnement immédiat du projet étudié abrite les 2/3 de la faune chiroptérologique bretonne.

Les potentialités de gîtes pour les chiroptères sont limitées au niveau des habitats présents sur le site d'étude. Des potentialités de gîtes existent dans les proches environs de la zone d'étude, comme les villages ou hameaux à moins de 2 km, ainsi que le vaste massif boisé au sud qui représente un secteur aux fortes potentialités de gîtes arboricoles.

Le cortège des espèces de lisières domine très nettement le niveau d'activité global mesuré sur le site d'étude. La Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl sont les deux espèces les plus communément contactées (près de 93% des contacts enregistrés).

1.2 Méthodologie appliquée

1.2.1 Généralités sur la méthode de suivi de la mortalité : cadre et protocole national

1.2.1.1 Arrêté ministériel d'août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 et protocole national

L'arrêté du 22 juin 2020 modifie l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation selon la rubrique 2980 de la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement. L'article 12 de l'arrêté de 2011 est remplacé par de nouvelles dispositions. Les différents intitulés et dispositions des arrêtés sont précisément décrits dans l'Annexe 2.

Un protocole national cadrant les objectifs et modalités de suivi des parcs éoliens en exploitation a été rédigé en 2015 puis mis à jour début 2018.

La présente étude vient répondre aux obligations induites par le protocole national ainsi que par l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.

1.2.1.2 Méthodes et pressions d'inventaire attendues à l'échelle nationale

Le protocole national précise que le suivi de mortalité sera constitué d'au minimum 20 visites réparties entre les semaines 20 et 43 en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site (Annexe 3, Figure 45). Pour le nombre d'éoliennes à surveiller, il recommande de suivre toutes les éoliennes pour les parcs de 8 éoliennes ou moins, et pour les parcs de plus de 8 éoliennes, appliquer la formule suivante : $8 + (\text{nombre d'éoliennes} - 8) / 2$.

La collecte de données implique de prospector une surface-échantillon définie, généralement un carré de 100 m de côté ou un cercle couvrant au moins un rayon égal à la longueur des pales avec un minimum de 50 m (Annexe 3, Figure 46). La méthode de recherche consiste en des transects à pied avec des espacements dépendants du couvert végétal. Les résultats sont soumis à des tests de correction, y compris un test d'efficacité de recherche et un test de persistance des cadavres.

L'analyse des résultats comprend la compilation des données brutes, l'évaluation de l'impact du parc et de l'efficacité des mesures, une analyse qualitative par éolienne, des croisements avec d'autres données, et la justification des mesures correctives proportionnelles. Il vise également à estimer la mortalité pour des comparaisons objectives, en utilisant des formules de calcul standardisées. Utiliser au moins 3 formules de calcul des estimateurs standardisés dont Huso (2010) obligatoirement, avec précision de l'intervalle de confiance de l'estimation.

1.2.1.3 Obligations réglementaires spécifiées dans l'arrêté préfectoral

Un suivi de la mortalité des chiroptères et de l'activité des chiroptères en altitude est prévu dès la première année d'exploitation pour 2 ans puis une fois tous les 10 ans. D'après l'arrêté de 2015, un mode de fonctionnement spécifique est prévu pour E1, E2, E3, E4 et E6 afin de réduire les risques de collision selon les modalités suivantes :

Les éoliennes sont arrêtées hors période de pluie, lorsque le vent est < à 5 m/s et la température > à 13°C :

- du 1^{er} avril au 30 mai de 21h à 5h du matin
- du 1^{er} aout au 30 septembre de 22h à 6h du matin

1.2.2 Méthodologie d'inventaire mise en œuvre et difficultés rencontrées

Ce chapitre décrit la méthodologie mise en œuvre dans le cadre de l'étude réalisée sur le parc éolien de Marcillé. Il présente par ailleurs en détail les principales données collectées et analyses réalisées.

1.2.2.1 Principe de l'estimation de mortalité : méthodes, calculs et des incertitudes

L'objectif de ce suivi est de proposer une estimation de la mortalité réelle des chauves-souris et des oiseaux, au sein du parc. Le protocole national révisé en 2018 demande de préciser les incertitudes de l'estimation de la mortalité.

1.2.2.1.1. Principe de l'estimation de mortalité et formules utilisées

Les suivis de mortalité par recherche de cadavres au sol représentent actuellement la technique la plus régulièrement mise en œuvre. Toutefois, cette technique est soumise à de nombreux biais (capacités de détection de l'observateur, taux de disparition des cadavres par prédatation/décomposition, activités agricoles du travail du sol) qui requièrent la définition de coefficients correcteurs à différentes périodes de l'année, sous peine de rendre potentiellement inexploitables les données issues du suivi de mortalité.

Dans le cadre de ce travail et conformément aux directives du protocole national, nous réaliserons les différentes analyses permettant d'estimer indépendamment la mortalité pour les chiroptères et les oiseaux, suivant les formules de : **Erickson et al., 2000 / Huso, 20101 / Korner-Nievergelt et al. 2011.**

1.2.2.1.2. Détermination des coefficients correcteurs

Pour déterminer les deux coefficients correcteurs que sont le **coefficent de persistance (s)** et le **coefficient d'efficacité de recherche (f)**, deux tests doivent faire l'objet d'une mise en œuvre précise :

- **Les tests de persistance** permettent de mesurer la vitesse de disparition des cadavres (prédatation, décomposition des cadavres) et donc le temps de persistance des cadavres une fois au sol. Ce facteur peut fortement varier dans le temps et l'espace. Les causes de disparition peuvent être multiples, soit par prélèvement (Renard roux, rapaces, corvidés, etc.) soit par l'action des insectes nécrophages (carabes, mouches, etc.).
- **Les tests d'efficacité des recherches** permettent de prendre en considération les difficultés des observateurs à repérer les cadavres tombés au sol. Ce coefficient est fortement influencé par l'évolution de l'occupation du sol, d'une part, ainsi que par la taille/couleur des cadavres (Barrientos et al., 2018 ; Reyes et al., 2016 ; Smallwood, 2007), d'autre part. Il est également variable en fonction des observateurs (capacités de détection propres, Ponce et al., 2010). Pour limiter l'effet observateur, il est important que les recherches soient, dans la mesure du possible, réalisées par un observateur unique. Ces tests doivent être réalisés au cours du suivi pour permettre d'évaluer la capacité de détection de l'observateur dans un maximum de modalités d'occupation du sol afin de limiter les extrapolations.

La détermination de coefficients correcteurs répétée selon les périodes de l'année constitue le principal élément permettant d'exploiter de façon fiable les résultats des suivis de mortalité par recherche de cadavres. Ces coefficients sont essentiels pour tirer des informations scientifiquement recevables du suivi de mortalité. **En l'absence de coefficients robustes, aucune conclusion ne peut être envisagée quant à la mortalité effective engendrée par le parc éolien.**

Plus d'informations concernant les coefficients correcteurs ainsi que les estimations de mortalités sont disponible en **annexe 4.**

1.2.2.1.3. Méthodes statistiques et incertitudes

- Évaluation du coefficient moyen de persistance des cadavres

Afin d'estimer au mieux le coefficient, nous avons repris la démarche développée dans le package R « carcass » (Korner-Nievergelt et al. 2015), repris également par l'estimateur de Korner-Nievergelt (2011) ou encore « GenEst » (Dalthorp et al. 2018), c'est-à-dire l'utilisation d'un modèle de survie classique pouvant utiliser comparativement quatre lois de distribution possibles parmi : "exponential", "weibull", "lognormal" et "loglogistic". Ces distributions classiques décrivent de manière différente la vitesse à laquelle disparaissent les cadavres au cours du temps. Ainsi, cela permet de s'appuyer sur une de ces distributions pour prédire au plus juste la réalité observée lors des tests de prédatation en fonction du type deurre déployé (mammifères et/ou oiseaux), de la période du test et de l'éolienne. Le modèle le plus parcimonieux est retenu par un processus classique de sélection de modèles par AIC (détails en annexe 5). Le modèle sélectionné permet d'estimer les paramètres recherchés avec leurs incertitudes (intervalles de confiance à 95%) et prédites en fonction des facteurs retenus. Ces facteurs, comme la période du test ou l'éolienne, sont retenus dès lors que ce facteur permet de mieux correspondre à la réalité observée des tests, comme une différence significative entre les tests et/ou entre éoliennes.

- Évaluation du coefficient moyen d'efficacité de recherche

Comme pour le coefficient de prédation, l'efficacité de recherche est calculée en se basant sur une approche de modélisation de l'efficacité de détection. Pour cela, nous utilisons un modèle GLM suivant une loi de distribution binomiale (comprise entre 0 et 1) et en fonction de plusieurs facteurs que sont : le type deurre (taille, couleur par exemple), la période du test, le type d'occupation du sol et la hauteur de végétation. Le modèle le plus parcimonieux est retenu par un processus classique de sélection de modèles par AIC. Si le modèle permet de faire un lien direct entre l'efficacité de recherche et la hauteur de végétation, le modèle peut prédire les cas de figures d'occupation du sol qui n'auraient pu être testés. Dans le cas contraire, il est possible de s'appuyer objectivement sur les sorties de modèle pour les situations testées et sur leurs interpolations (situations intermédiaires non testées) pour compléter les types de végétations manquantes (extrapolation en s'appuyant sur le retour de la personne qui a réalisé le suivi et qui peut comparer les situations).

- Évaluation des incertitudes

Une fois que les coefficients correcteurs moyens (s , f et a) sont calculés, une **probabilité globale de détection** c'est-à-dire $a \times P(s, f)$ est calculée pour chacune des éoliennes pour l'ensemble du suivi selon les trois méthodes d'estimation que sont : Erickson et al. (2000), Huso (2010) et Korner-Nievergelt et al. (2011). Il est alors possible de calculer la mortalité estimée la plus probable par éolienne.

Afin de déterminer les incertitudes des estimations de mortalités par éolienne, nous avons utilisé le théorème de Bayes tel qu'il est également utilisé dans le package R « carcass » (Korner-Nievergelt et al. 2015) et par Korner-Nievergelt (2011). Connaissant le nombre de cadavres trouvés ainsi que la probabilité globale de les détecter (c'est-à-dire les chances réelles de trouver un cadavre selon les différentes méthodes d'estimation), cette méthode permet de déterminer *a posteriori* l'intervalle de confiance à 95% associé.

Ce théorème a également pour avantage de pouvoir donner un intervalle de confiance à 95% même lorsque aucun cadavre n'a pu être détecté. L'intervalle de confiance, dans ce cas, correspond au nombre de cadavres pour lequel l'opérateur avait 95% de chance de ne pas les détecter du fait des différentes contraintes rencontrées au cours du suivi. Cela permet de donner une limite au nombre de collisions maximum non détectables considérant les contraintes de prospection rencontrées durant le suivi. Ainsi, dans tous les cas, il est possible de déterminer une mortalité maximum par éolienne, même en l'absence de découverte de cadavre.

Plus d'informations concernant les coefficients correcteurs ainsi que les méthodes statistiques utilisées sont disponible en **annexe 4**.

1.2.2.2 Méthode de recherche des cadavres

1.2.2.2.1. Méthode par transects circulaires

Le protocole que nous avons mis en œuvre est adapté d'après Arnett et al. (2009) et Baerwald et al. (2009). **Il s'agit d'une méthode de suivi se basant sur des transects circulaires.** Ce type de transects **cible la zone théorique principale de présence de cadavres** liés à des phénomènes de collision, sous la principale zone de survol par les pales et ses abords.

Ce protocole présente plusieurs avantages :

- **Il optimise la surface échantillonnée** (suivi traditionnel prospectant une surface carrée, sans justification statistique) ;
- Il ne nécessite pas la pose de repères sur le terrain ;
- Il permet de conserver toute la concentration de l'observateur sur la recherche de cadavres sans perte d'attention sur sa position par rapport aux repères/transects.

Les prospections s'effectuent à pied sous les éoliennes et dans un rayon de 50 m autour de chaque éolienne : 11 cercles éloignés de 5 m les uns des autres, en partant du plus éloigné du mât de l'éolienne (50 m), jusqu'au pied de l'éolienne sont alors effectués.

Pour cela, nous avons utilisé un jeu de cordes et mousquetons. La première corde, tendue le plus haut possible autour du mât de l'éolienne, sert de fixation mobile à une seconde corde longue de 50 m et disposant de repères placés tous les 5 m permettant ainsi de tourner autour de l'éolienne tout en gardant un écartement constant entre chaque cercle. Ainsi, 11 cercles de diamètre variable ont été parcourus ainsi qu'un tour au pied de l'éolienne.

Pour chaque éolienne, nous prévoyons alors de parcourir 1 866 m de transect, à une vitesse de 2 km/h environ.

1.2.2.2.2. Données collectées

Le technicien utilise un outil QGIS sur sa tablette Android de terrain pour renseigner à chaque passage l'occupation du sol et les modalités de prospection à la parcelle. Chaque découverte de cadavre est enregistrée par le biais d'un formulaire standard renseigné dans une couche shapefile géolocalisée et tel que défini par le protocole national (2018) grâce à l'outil QGIS embarqué sur tablette. Les photos des cadavres produites par tablette sont associées à chaque enregistrement ainsi générée

de la couche shapefile sous QGIS. En complément de ce rapport, cette couche pourra être transmise pour avoir tous les éléments de localisation et de conditions de découverte de chaque cadavre.

1.2.2.2.3. Détermination des cadavres

Les cadavres sont identifiés sur place par des experts ornithologues et chiroptérologues possédant une excellente connaissance de la faune locale. En cas de difficultés d'identification *in situ* (critères non visibles, traumatisme important, état de décomposition), les cadavres seront déterminés en laboratoire (loupes binoculaires), après avoir été conservés congelés. Une autorisation de transport préalable au suivi a été sollicitée auprès des services compétents.

Les ouvrages utilisés, si nécessaire, pour appuyer les déterminations complexes sont présentés en bibliographie (voir 4).

Pour limiter les risques de modification comportementale des prédateurs et éviter les doubles comptages, tous les cadavres découverts sont replacés simplement en dehors de l'aire de prospection.

1.2.2.3 Mise en comparaison des résultats avec ceux du référentiel mortalité estimée Biotope

Totalisant 158 suivis conformes au protocole national entre 2019 et 2023, sur 104 parcs éoliens (584 éoliennes) et pour un effort de prospection de 22815 recherche.éolienne, le référentiel mortalité Biotope constitue probablement la plus grande base de données compilée sur les suivis mortalité en France.

La compilation de ces nombreuses études, permet une modélisation à plus large échelle (temporelle et spatiale) des différents processus liés à la probabilité globale de détection, telle que la persistance des cadavres ou la capacité de détection de l'observateur. Il permet ainsi une prise en compte fine de la variabilité inter-sites et interannuelle. A travers la modélisation de la distribution des cadavres (densité de cadavre par anneaux concentriques), conjointement avec le calcul de la surface prospectée, le référentiel mortalité Biotope se rapproche de l'approche des DWP (Dalthrop et al., 2022).

A partir de la modélisation de chacun de ces éléments dans un framework bayésien, nous sommes capables de reproduire pour chaque site et chaque année, une réestimation de la mortalité via l'estimateur d'Huso (2010), compte tenu de la variabilité globale de l'ensemble des suivis. Cette approche permet d'estimer finement la mortalité causée par les éoliennes en corrigeant les différents biais liés à la collecte des données. Plus de détails sur la méthodologie, les résultats et les biais d'interprétation de ce référentiel sont présentés en Annexe 6.

1.2.2.1 Étude de l'activité des chiroptères

1.2.2.1.1 Localisation des dispositifs d'écoute

En 2024, le dispositif d'acquisition des données chiroptérologiques a été installé sur l'éolienne E3 du parc éolien de Marcillé.

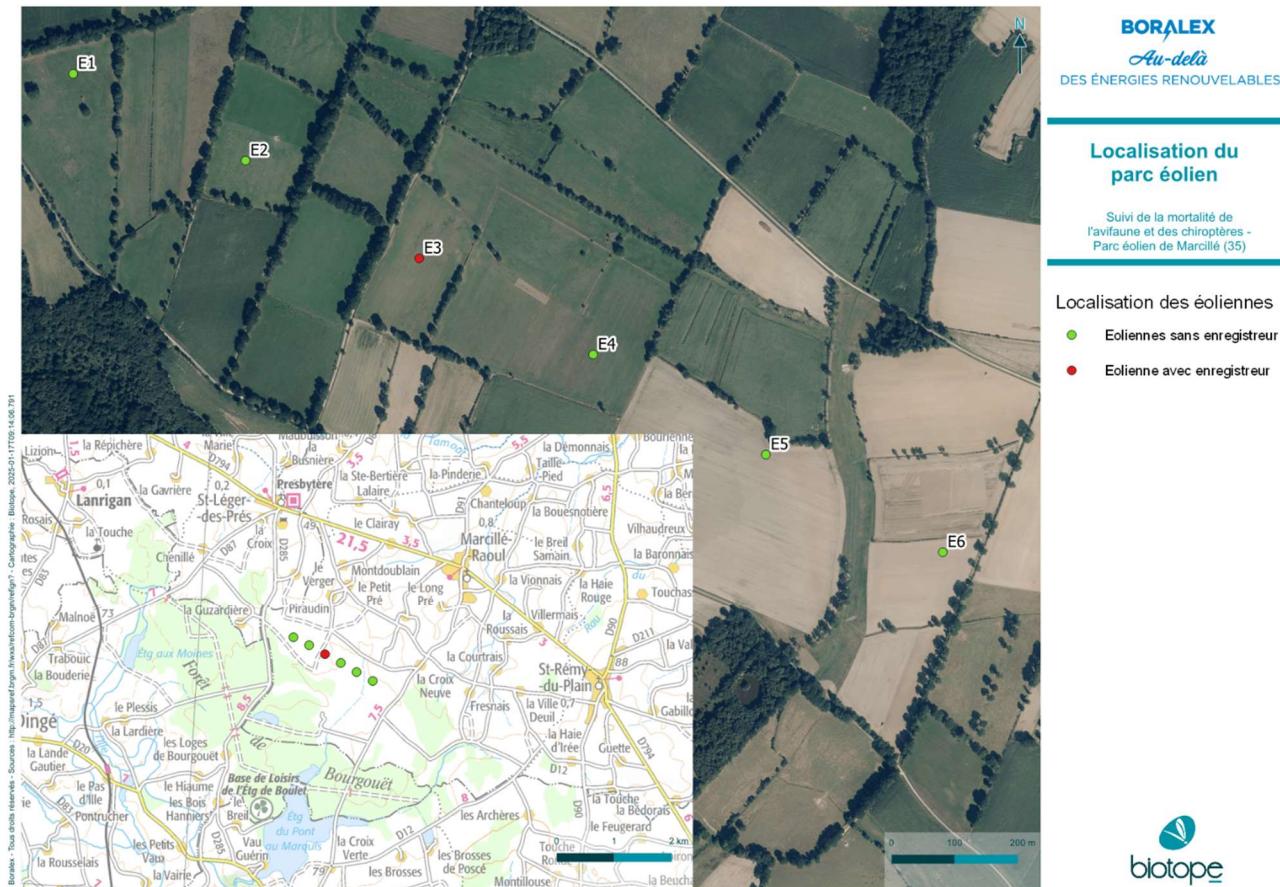


Figure 3 : Localisation des éoliennes du parc éolien de Marcillé et de l'éolienne E03 équipée de l'enregistreur

1.2.2.1.2 Collecte des données

L'étude du comportement des chauves-souris se fait grâce à la détermination de leur indice d'activité basé sur la détection des ultrasons émis par ces animaux pour se repérer et chasser.

Le système utilisé est basé sur un enregistreur d'ultrasons SM4Bat (Wildlife Acoustics) capable d'enregistrer les sons de chauves-souris suivant différent paramètre de déclenchement (cf. Tableau 2).

En 2024, le microphone a été installé sur l'éolienne E3, en nacelle, à 100 m de hauteur.

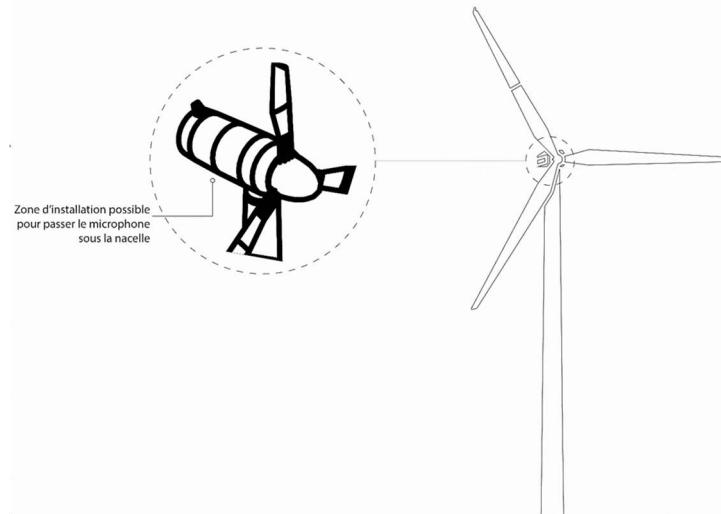


Figure 4 : Localisation de l'implantation du microphone en nacelle. © Biotope

Tableau 1 : Paramétrage de l'enregistreur en hauteur

Paramètres d'enregistrement	SM4BAT
Type de microphone utilisé	SMM-U2
Filtre Pass Haut	Off
Fréquence d'échantillonnage	256 KHz
Fréquence minimale	14 KHz
Fréquence maximale	128 KHz
Durée minimale de déclenchement	1 ms
Niveau du trigger	6 dB
Trigger maximal	5 sec.
Déclenchement avant le coucher du soleil	30 min.
Arrêt après le lever du soleil	30 min.



Photo de l'installation du microphone dans l'éolienne E3



Photo de l'enregistreur dans l'éolienne E3

Figure 5 : Microphone et enregistreur SM4 installé en nacelle E3 du parc de Marcillé

1.2.2.1.2.1. Calendrier des enregistrements

L'activité des chauves-souris en altitude a été analysée durant 9 mois, du 21 mars 2024 au 15 novembre 2024. Au total, 239 nuits ont été analysées sans interruptions.

Tableau 2 : Synthèse du nombre de nuits d'enregistrement exploitées par mois sur l'ensemble de la période

Nombre de nuits exploitable* sur le microphone	
Mars 2024	11
Avril 2024	30
Mai 2024	31
Juin 2024	30
Juillet 2024	31
Aout 2024	31
Septembre 2024	30
Octobre 2024	31
Novembre 2024	14
TOTAL	239

* Le terme « exploitable » est utilisé pour définir les nuits où les sons enregistrés ont pu être analysés.

1.2.2.1.2.2. Représentativité des inventaires

Du fait du nombre de nuits d'enregistrement, 239 nuits entre mars 2024 et novembre 2024, **ces inventaires peuvent prétendre à l'exhaustivité**. En effet, pour réunir un échantillonnage suffisant, on estime nécessaire une quinzaine de nuits d'enregistrement pour espérer contacter 90 % des espèces (sur une maille de 5x5km – Matutini, 2014). L'étude réalisée en altitude en 2024 atteint ce seuil et peut donc être considérée comme représentative.

Le graphique suivant présente la courbe d'accumulation calculée sur l'éolienne E3. Cette courbe représente le cumul des nouvelles espèces contactées en fonction de l'effort d'échantillonnage. La construction de la courbe prend en compte la saisonnalité. Ici, l'échantillonnage est réparti uniformément entre les mois.

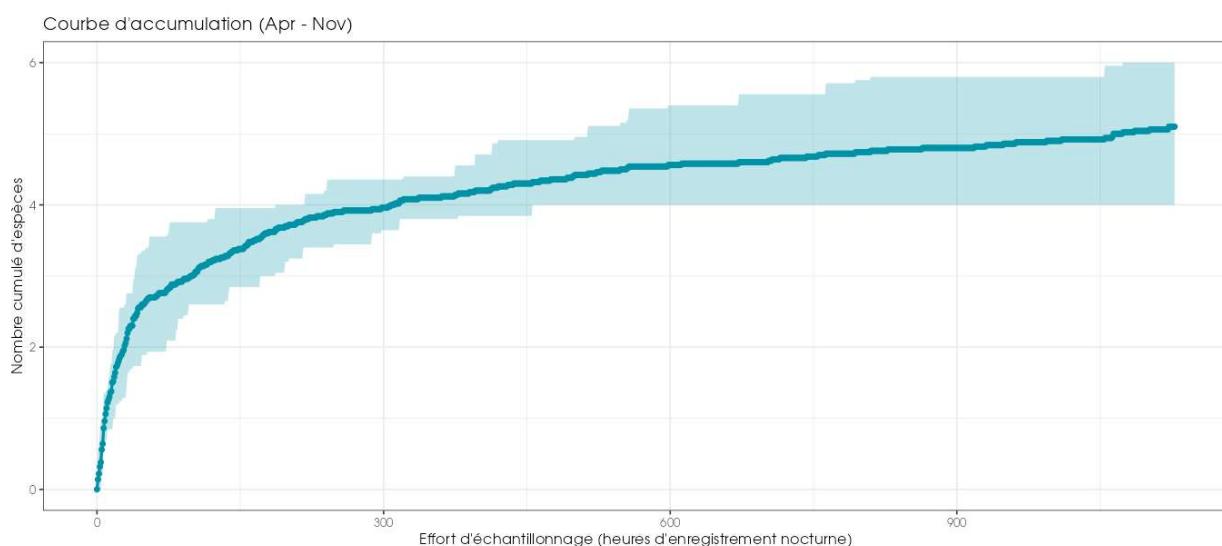


Figure 6 : Cumul des nouvelles espèces en fonction de l'effort d'échantillonnage du suivi en hauteur sur l'éolienne E3 du parc de Marcillé

1.2.2.1.3. Analyse des sons et identification des espèces

Le schéma suivant illustre le type de données recueillies lors des inventaires à l'aide d'enregistreurs et les différentes étapes menant à l'identification des espèces de chiroptères présentes sur l'aire d'étude.

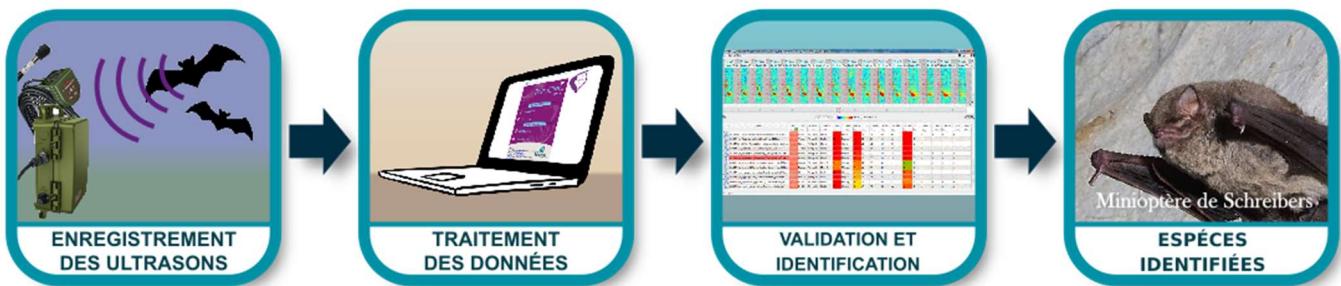


Figure 7 : Illustration du processus de validation des enregistrements ultrasonores © Biotope

1.2.2.1.4. Détermination automatique du signal et identification des espèces

Chaque espèce a des caractéristiques acoustiques qui lui sont propres. L'analyse des signaux qu'elles émettent permet donc de réaliser des inventaires d'espèces.

L'analyse des données issues de l'enregistreurs s'appuie sur le programme SonoChiro® développé par le département « Recherche & Innovation » de Biotope. Ce programme permet un traitement automatique et rapide d'importants volumes d'enregistrements.

Le programme SonoChiro® inclut :

- Un algorithme de détection et de délimitation des signaux détectés.
- Une mesure automatique, sur chaque cri, de 41 paramètres discriminants (répartition temps/fréquence/amplitude, caractérisation du rythme et ratios signal/bruit).
- Une classification des cris basée sur les mesures d'un large panel de sons de référence.
- Une identification à la séquence de cris, incluant l'espèce la plus probable et un indice de confiance de cette identification. Dans le cas où certaines espèces présentes sont peu différenciables entre elles, les séquences sont alors identifiées au groupe d'espèce également assorties d'un indice de confiance.
- Un algorithme détectant la présence simultanée de deux groupes de cris attribuables à deux espèces aisément différenciables, permettant dans ce cas de proposer une identification supplémentaire de l'espèce passant en arrière-plan.

Ainsi, les enregistrements sont analysés par ordinateur grâce à la suite de logiciel « SonoChiro® », permettant un tri et une pré-identification automatique des contacts réalisés sur la base d'1 contact = 5 secondes de séquence d'une espèce.

1.2.2.1.5. Validation et identification des espèces par un chiroptérologue

Les identifications faites par SonoNat® sont ensuite analysées et contrôlées visuellement (SonoView®) et auditivement (BatSound®, Syrinx). Les logiciels SonoView® et BatSound® permettent d'afficher des sonagrammes (= représentation graphique des ultrasons émis par les chiroptères), d'effectuer des mesures et d'écouter les séquences qui sont ensuite attribuées à l'espèce ou au groupe d'espèces selon la méthode d'identification acoustique de Michel Barataud (Barataud, 2020).

Les critères d'identification sont basés sur les variations de fréquence (entre 10 à 120 kHz), la durée du signal (quelques millisecondes), les variations d'amplitude (puissance du signal) et le rythme.

Dans l'état actuel des connaissances, les méthodes acoustiques permettent d'identifier les 36 espèces françaises. Néanmoins, les cris sonar de certaines espèces sont parfois très proches, voire identiques dans certaines circonstances de vol, c'est pourquoi les déterminations litigieuses sont rassemblées en groupes d'espèces.

Tableau 3 : Identification des espèces de chiroptères

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements très favorables	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements défavorables
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Rhinolophe euryale	
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Petit Rhinolophe	
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Grand Rhinolophe	
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>		
Petit Murin	<i>Myotis blythii</i>	Grands Myotis	
Murin du Maghreb	<i>Myotis punicus</i>		
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Murin de Daubenton	
Murin de Brandt	<i>Myotis brandtii</i>	Murin de Brandt	
Murin de Capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Murin de Capaccini	
Murin à moustache	<i>Myotis mystacinus</i>	Murin à moustache	
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Murin d'Alcathoe	
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Murin à oreilles échancrées	Petits Myotis
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Murin de Bechstein	
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Murin de Natterer	
Murin d'Escalera	<i>Myotis escalerae</i>	Murin d'Escalera	
Murin cryptique	<i>Myotis crypticus</i>	Murin cryptique	
Murin des marais	<i>Myotis dasycneme</i>	Murin des marais	
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Sérotine de Nilsson	
Sérotine bicolore	<i>Vesperilio murinus</i>	Sérotine bicolore	
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	Sérotules
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Noctule de Leisler	
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Vespère de Savi	
Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle pygmée	
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Minioptère de Schreibers	Pipistrelle / Minioptère
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	Pipistrelle de Kuhl / Natusius
Pipistrelle de Natusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de Natusius	
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>		
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>	Groupe des oreillards	
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrobularis</i>		
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Barbastelle d'Europe	
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Grande Noctule	Groupe Molosse / Grande Noctule
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Molosse de Cestoni	

1.2.2.1.6. Évaluation des niveaux d'activité

1.2.2.1.6.1. Unité de mesure de l'activité

Dans la majorité des études qui sont pratiquées jusqu'à maintenant, que ce soit avec un détecteur à main ou un enregistreur automatique en point fixe, les résultats des écoutes sont tous exprimés par une mesure de l'activité en nombre de contacts par unité de temps. Selon les opérateurs et l'appareillage, la définition d'un contact n'est pas très claire, mais correspond à une durée de séquence que l'on pense être proche d'un passage d'un chiroptère, soit de 5 secondes dans le cas des détecteurs à main. Néanmoins, pour pallier aux nombreux facteurs de variations de dénombrements liés au matériel (sensibilité du micro, modèle d'enregistreur, trigger, seuils de déclenchements, paramétrages de séquençage des fichiers...) l'unité la plus pratique de dénombrement et montrant une meilleure robustesse de comparaison avec des référentiels correspond à la « minute positive ». Une minute est dite « positive » quand au moins un chiroptère est enregistré au cours de celle-ci. Le nombre de minutes positives peut être considéré globalement ou décliné par espèce.

Dans cette étude, tout contact affiché correspond donc à une minute positive, c'est-à-dire une minute au cours de laquelle une espèce a été contactée. Qu'il y ait un fichier d'enregistrement ou 10 au cours d'une minute, l'incrémentation correspondra à 1.

Les tests statistiques ont montré que les variations liées au matériel étaient moins fortes avec cette méthode. Le dénombrement des « minutes positives » évite des écarts de 1 à 10 en cas de forte activité. En cas de faible activité, les résultats de dénombrement de minutes positives ou de fichiers d'enregistrement sont sensiblement les mêmes. Ce type de dénombrement tend à mesurer une régularité de présence d'une espèce sur un site d'enregistrement et peut donc être formulé en occurrence par heure (rapport du nombre de minutes positives sur la durée totale d'écoute en minute pouvant être exprimé en pourcentage) pour obtenir un indice d'activité. L'intérêt majeur de cette unité de comptage est de pouvoir mêler des données issues de différents matériels et de différents paramétrages de matériel.

Avec cette unité de comptage d'une minute, il n'est pas nécessaire de recourir à des coefficients de correction en lien avec la détectabilité des espèces (Haquart, 2013 ; Haquart, 2015).

1.2.2.1.6.2. Évaluation du niveau d'activité – Référentiel ActiChiro®

Avec cette méthodologie de points d'écoute prolongés sur au moins une nuit complète à l'aide d'appareils enregistreurs de type SMBAT, il fallait un référentiel d'estimation des niveaux d'activité plus objectif que le « dire d'expert ». Ainsi, des analyses statistiques basées sur un important pool de données réelles ont été réalisées par Alexandre Haquart (Biotope) dans le cadre d'un diplôme EPHE. Elles ont abouti à établir en 2013 un référentiel appelé ActiChiro®. Il propose des chiffres objectifs qui permettent d'évaluer le niveau d'activité d'une espèce ou un groupe d'espèces sur un point ou un site donné. Ces chiffres de référence sont exprimés en minutes positives par nuit.

En 2023, le référentiel ActiChiro® a été transformé et son fonctionnement a été repensé afin de disposer de deux référentiels dynamiques, un pour les points d'écoute au sol (ActiChiro-Sol) et un autre pour les suivis en hauteur (ActiChiro-Altitude). Le référentiel ActiChiro-Altitude recueille 111 sites et plus de 35 000 points-nuits, répartis sur l'ensemble de la France et sur les 10 dernières années.

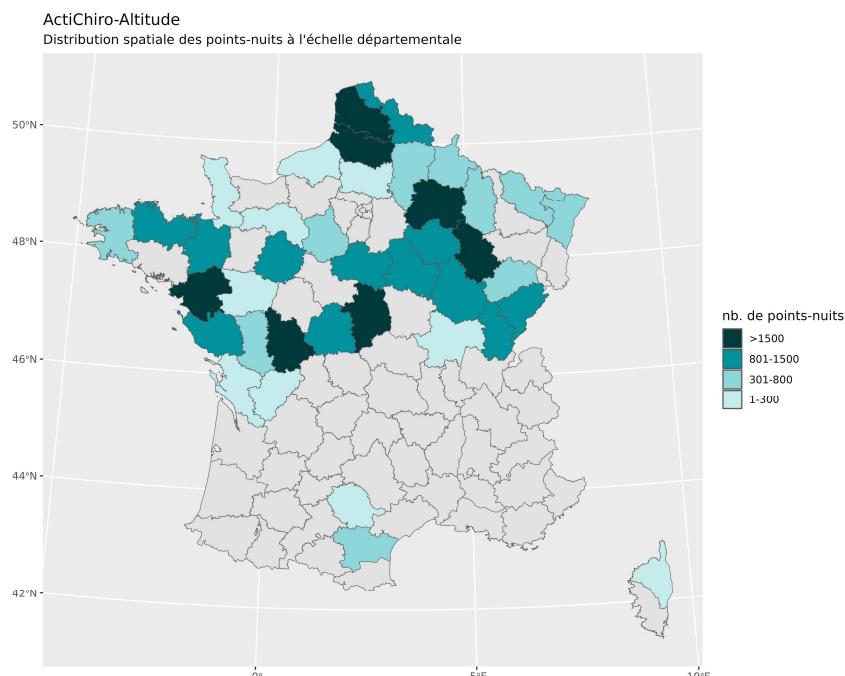
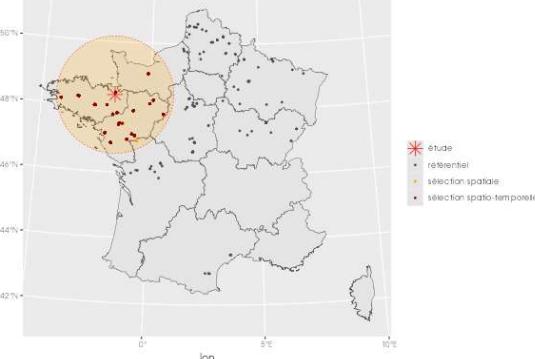
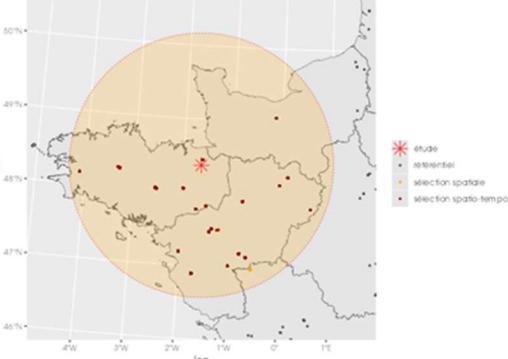
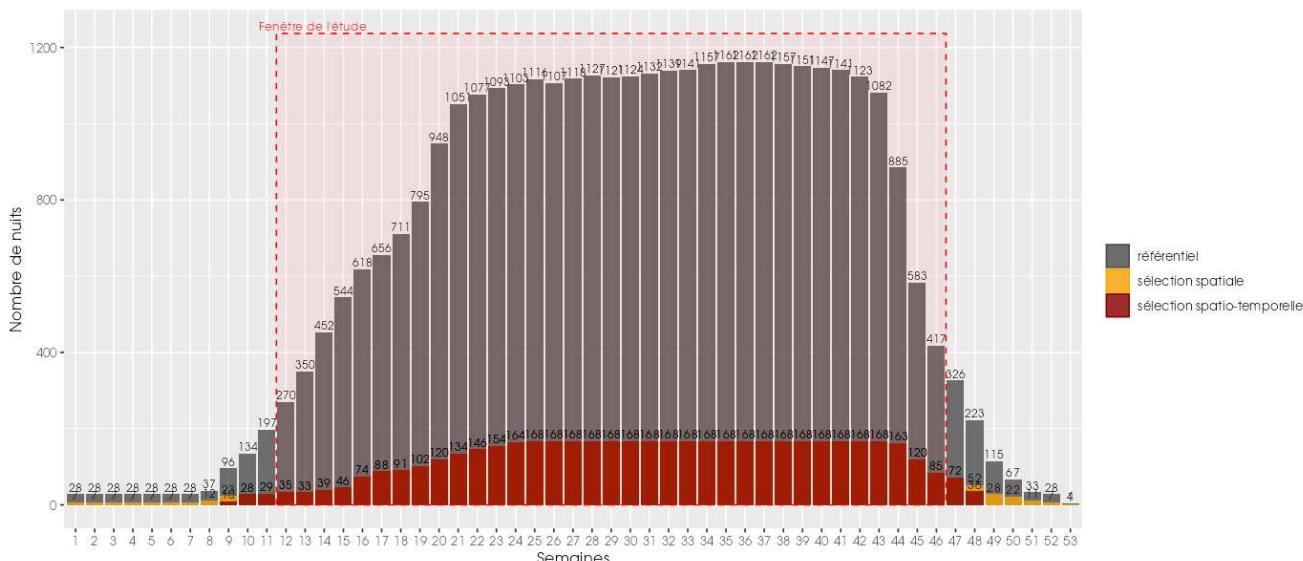


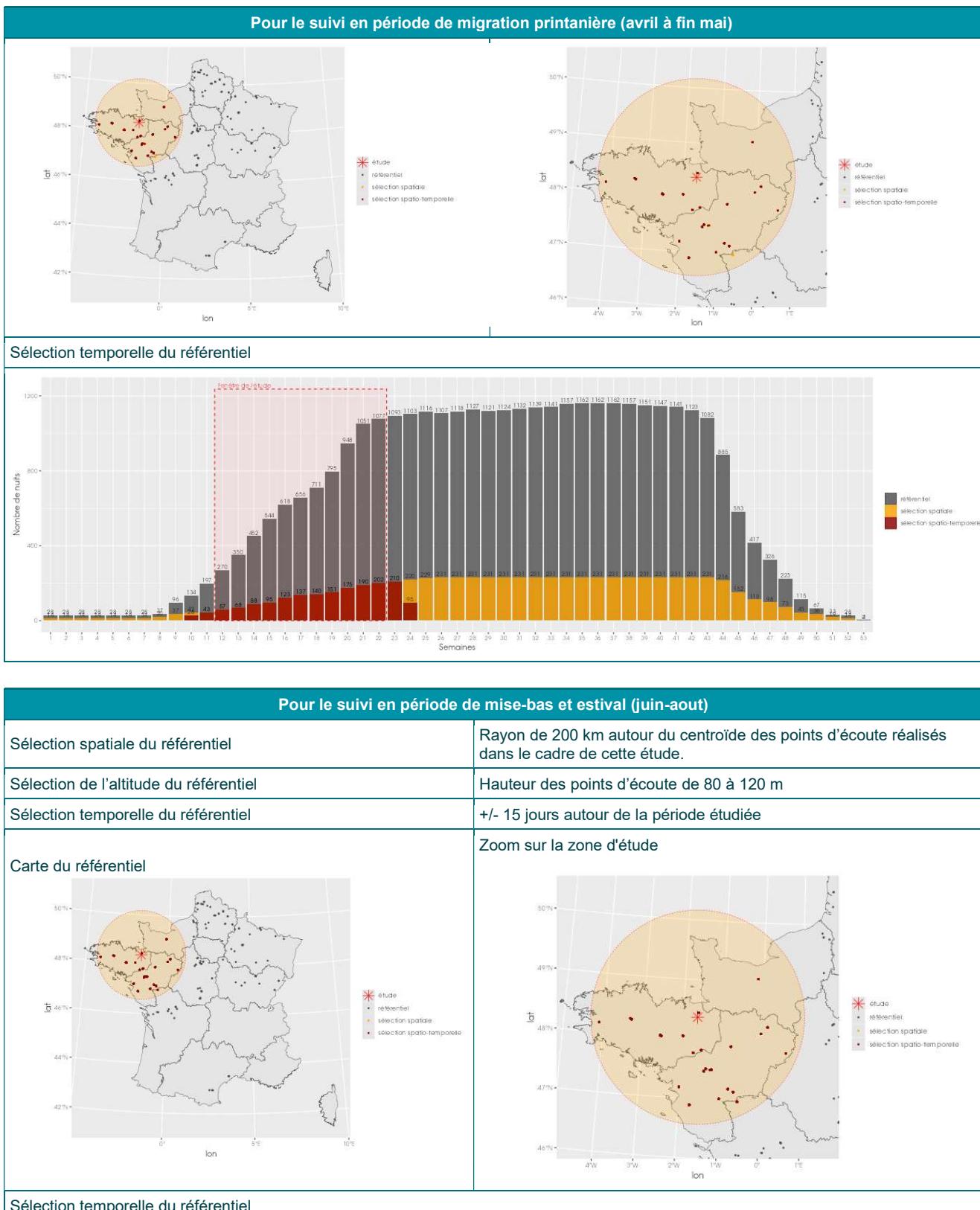
Figure 8 : Répartition spatiale des points-nuits pour le référentiel altitude

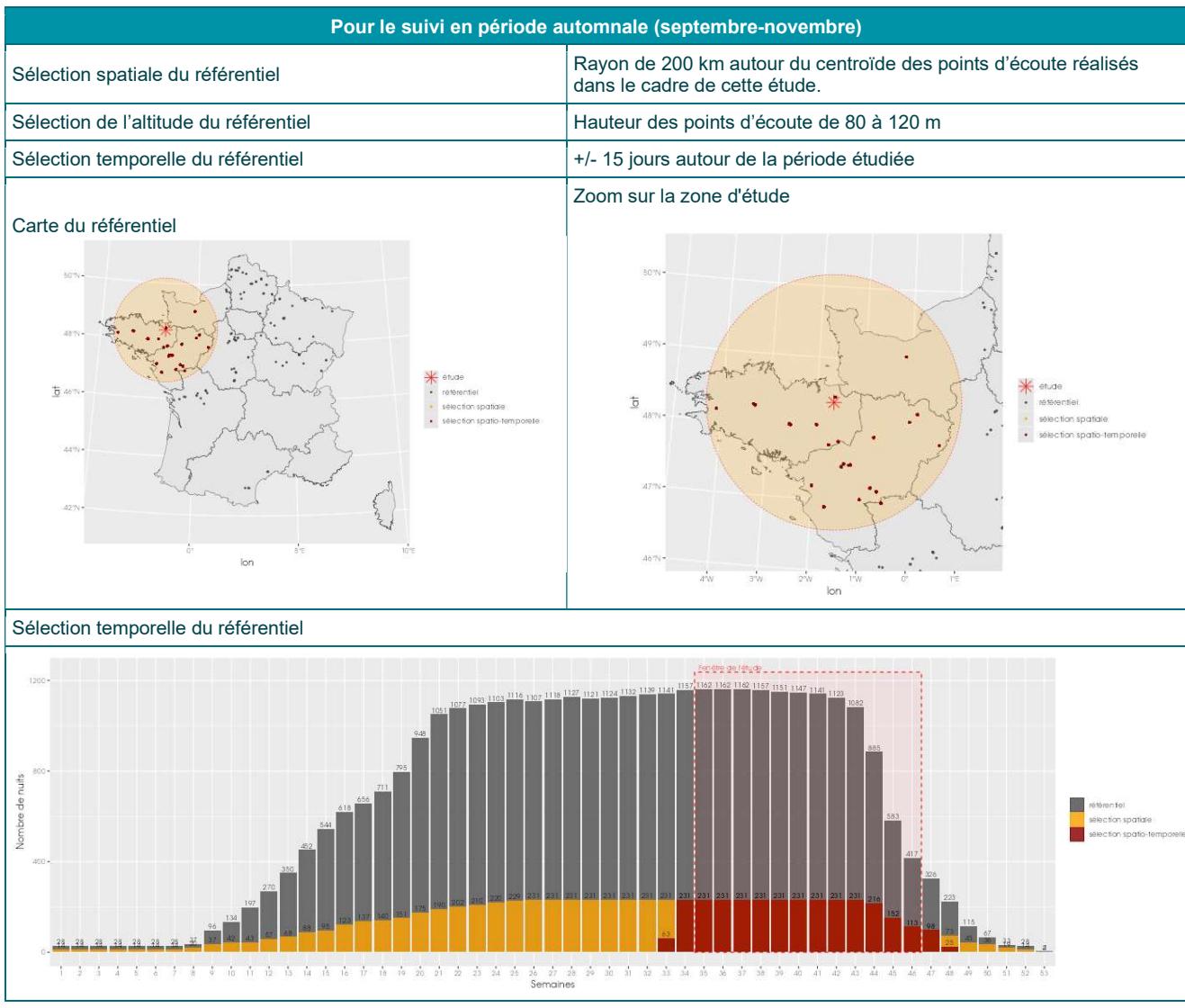
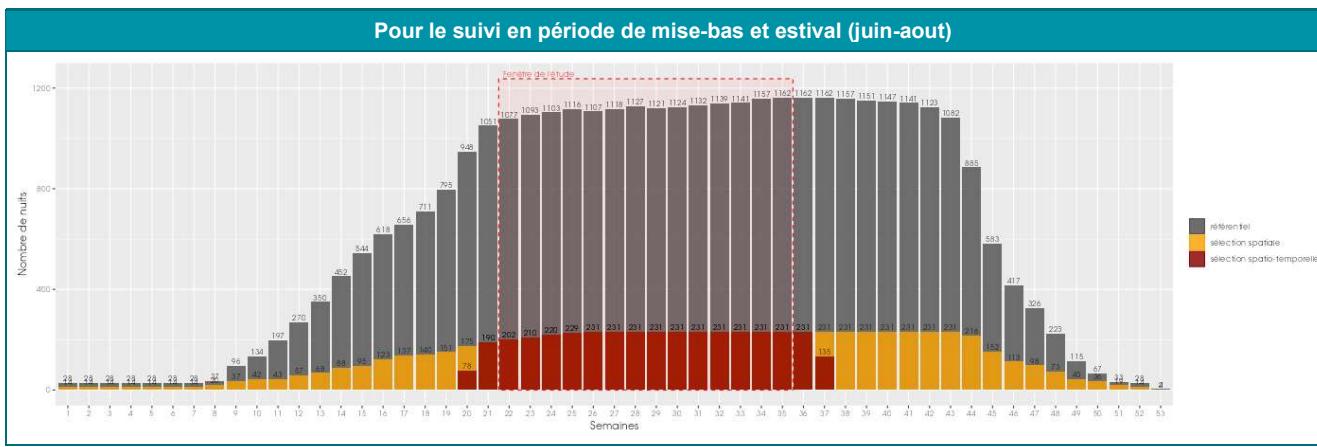
1.2.2.1.6.3. Référentiel ActiChiro® dédié à cette étude

Le nouvel ActiChiro® a été conçu pour être un référentiel dynamique. C'est-à-dire que pour chaque étude, l'emprise spatio-temporelle est adaptée au site d'étude et au type d'analyses réalisées, ce qui permet de comparer les résultats des inventaires à un jeu de données le plus pertinent. **Le nouvel ActiChiro® produit un référentiel dédié pour chaque période de l'étude.** Dans le cadre de cette étude, le référentiel ActiChiro-Altitude prend en compte les variables spatio-temporelles suivantes :

Tableau 4 : Référentiel ActiChiro-Altitude utilisé pour cette étude

Pour le suivi sur l'ensemble de l'année																																																																																																																																																																																																																									
Sélection spatiale du référentiel	Rayon de 150 km autour du centroïde des points d'écoute réalisés dans le cadre de cette étude.																																																																																																																																																																																																																								
Sélection de l'altitude du référentiel	Hauteur des points d'écoute de 80 à 120 m																																																																																																																																																																																																																								
Sélection temporelle du référentiel	01 mars – 30 novembre																																																																																																																																																																																																																								
Carte du référentiel	Zoom sur la zone d'étude																																																																																																																																																																																																																								
																																																																																																																																																																																																																									
Sélection temporelle du référentiel	 <table border="1"> <caption>Data for the bar chart (Nombre de nuits)</caption> <thead> <tr> <th>Sémaine</th> <th>Référentiel</th> <th>Sélection spatiale</th> <th>Sélection spatio-temporelle</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>25</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>37</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td>96</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>134</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td>270</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td>350</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>197</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td>452</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>16</td><td>544</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td>618</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td>656</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td>711</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td>795</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>948</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>22</td><td>1057</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>23</td><td>1093</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>24</td><td>1031</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>25</td><td>1116</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>26</td><td>1071</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>27</td><td>1271</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>28</td><td>1211</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>29</td><td>1241</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>30</td><td>1391</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>31</td><td>1157</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>32</td><td>1621</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>33</td><td>1621</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td>1571</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>35</td><td>1511</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>36</td><td>1471</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>37</td><td>1411</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>38</td><td>123</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>39</td><td>1082</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>40</td><td>885</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>41</td><td>583</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>42</td><td>417</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>43</td><td>626</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>44</td><td>350</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td>120</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>46</td><td>85</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>47</td><td>72</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>48</td><td>52</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>49</td><td>22</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>67</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>51</td><td>115</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>52</td><td>33</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>53</td><td>28</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Sémaine	Référentiel	Sélection spatiale	Sélection spatio-temporelle	1	25			2	28			3	28			4	28			5	28			6	28			7	28			8	37			9	28			10	96			11	134			12	270			13	350			14	197			15	452			16	544			17	618			18	656			19	711			20	795			21	948			22	1057			23	1093			24	1031			25	1116			26	1071			27	1271			28	1211			29	1241			30	1391			31	1157			32	1621			33	1621			34	1571			35	1511			36	1471			37	1411			38	123			39	1082			40	885			41	583			42	417			43	626			44	350			45	120			46	85			47	72			48	52			49	22			50	67			51	115			52	33			53	28		
Sémaine	Référentiel	Sélection spatiale	Sélection spatio-temporelle																																																																																																																																																																																																																						
1	25																																																																																																																																																																																																																								
2	28																																																																																																																																																																																																																								
3	28																																																																																																																																																																																																																								
4	28																																																																																																																																																																																																																								
5	28																																																																																																																																																																																																																								
6	28																																																																																																																																																																																																																								
7	28																																																																																																																																																																																																																								
8	37																																																																																																																																																																																																																								
9	28																																																																																																																																																																																																																								
10	96																																																																																																																																																																																																																								
11	134																																																																																																																																																																																																																								
12	270																																																																																																																																																																																																																								
13	350																																																																																																																																																																																																																								
14	197																																																																																																																																																																																																																								
15	452																																																																																																																																																																																																																								
16	544																																																																																																																																																																																																																								
17	618																																																																																																																																																																																																																								
18	656																																																																																																																																																																																																																								
19	711																																																																																																																																																																																																																								
20	795																																																																																																																																																																																																																								
21	948																																																																																																																																																																																																																								
22	1057																																																																																																																																																																																																																								
23	1093																																																																																																																																																																																																																								
24	1031																																																																																																																																																																																																																								
25	1116																																																																																																																																																																																																																								
26	1071																																																																																																																																																																																																																								
27	1271																																																																																																																																																																																																																								
28	1211																																																																																																																																																																																																																								
29	1241																																																																																																																																																																																																																								
30	1391																																																																																																																																																																																																																								
31	1157																																																																																																																																																																																																																								
32	1621																																																																																																																																																																																																																								
33	1621																																																																																																																																																																																																																								
34	1571																																																																																																																																																																																																																								
35	1511																																																																																																																																																																																																																								
36	1471																																																																																																																																																																																																																								
37	1411																																																																																																																																																																																																																								
38	123																																																																																																																																																																																																																								
39	1082																																																																																																																																																																																																																								
40	885																																																																																																																																																																																																																								
41	583																																																																																																																																																																																																																								
42	417																																																																																																																																																																																																																								
43	626																																																																																																																																																																																																																								
44	350																																																																																																																																																																																																																								
45	120																																																																																																																																																																																																																								
46	85																																																																																																																																																																																																																								
47	72																																																																																																																																																																																																																								
48	52																																																																																																																																																																																																																								
49	22																																																																																																																																																																																																																								
50	67																																																																																																																																																																																																																								
51	115																																																																																																																																																																																																																								
52	33																																																																																																																																																																																																																								
53	28																																																																																																																																																																																																																								
Pour le suivi en période de migration printanière (avril à fin mai)																																																																																																																																																																																																																									
Sélection spatiale du référentiel	Rayon de 200 km autour du centroïde des points d'écoute réalisés dans le cadre de cette étude.																																																																																																																																																																																																																								
Sélection de l'altitude du référentiel	Hauteur des points d'écoute de 80 à 120 m																																																																																																																																																																																																																								
Sélection temporelle du référentiel	+/- 15 jours autour de la période étudiée																																																																																																																																																																																																																								
Carte du référentiel	Zoom sur la zone d'étude																																																																																																																																																																																																																								





1.2.2.1.6.4. Estimation du niveau d'activité

À partir des données collectées pour l'étude, ActiChiro® calcule l'activité moyenne en minute positive pour chaque espèce. Elle somme donc les minutes positives et divise par le nombre de nuits. Cette valeur peut donc être supérieure à 60 puisqu'elle n'est pas calculée à l'échelle de l'heure mais à l'échelle de la nuit. L'application fait ce calcul deux fois :

- Une fois en considérant l'ensemble des points-nuits (N points-nuits), c'est-à-dire ceux où l'espèce est détectée (au moins un contact) et ceux où elle ne l'est pas. ;

- Une fois en considérant uniquement les points-nuits où l'espèce est détectée (n points-nuits avec $n \leq N$).

À partir du référentiel sélectionné pour l'étude, ActiChiro® va construire les données de comparaison du référentiel. Elle va construire deux distributions de moyenne. Dans un premier temps, pour chaque espèce, ActiChiro® va piocher 1000 fois N points-nuits (au hasard et avec remise) et va calculer l'activité moyenne en minute positive pour chacun de ces échantillons (1ère utilisation de la méthode de bootstraps). Ceci permet de construire une distribution de l'activité moyenne en minute positive pour chaque espèce (lorsque l'espèce est détectée ou non). Puis dans un second temps, ActiChiro® va piocher, pour chaque espèce, 1000 fois n points-nuits (au hasard et avec remise) parmi les points-nuits où l'espèce est détectée uniquement. ActiChiro® va pouvoir calculer l'activité moyenne en minute positive pour chacun de ces échantillons (2ème utilisation de la méthode de bootstraps). Ceci permet de construire une distribution de l'activité moyenne en minute positive pour chaque espèce (lorsque l'espèce est présente).

ActiChiro® va comparer l'activité moyenne de chaque espèce obtenue sur le site d'étude à la distribution issue du référentiel pour le cas où l'espèce est « présente et absente » et pour le cas où elle est uniquement « présente ». On obtient l'échelle de niveaux d'activité suivante :

- Activité très faible : lorsque la moyenne est inférieure ou égale au 2ème percentile de la distribution de l'activité.
- Activité faible : lorsque la moyenne est comprise entre le 2ème percentile (exclu) et le 25ème percentile (inclus) de la distribution de l'activité.
- Activité moyenne : lorsque la moyenne est comprise entre le 25ème percentile (exclu) et le 75ème percentile (inclus) de la distribution de l'activité.
- Activité forte : lorsque la moyenne est comprise entre le 75ème percentile (exclu) et le 98ème percentile (inclus) de la distribution de l'activité.
- Activité très forte : lorsque la moyenne est supérieure ou égale au 98ème percentile de la distribution.

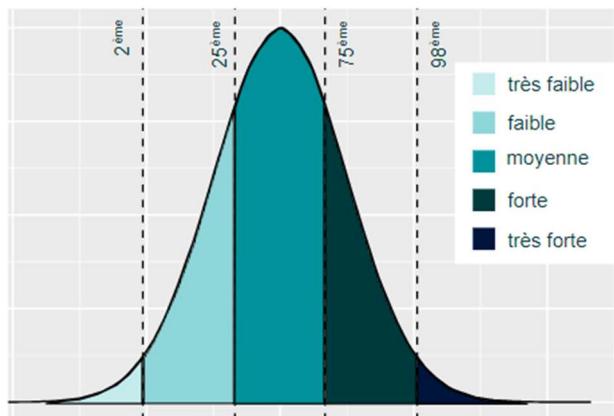


Figure 9 : Exemple de distribution des niveaux d'activité issue du référentiel dédié pour l'étude

Restitution des niveaux d'activité dans le rapport

Pour chaque saison (printemps, été et automne), l'activité des chiroptères est restituée sous forme d'un tableau, où l'unité de l'activité est la minute positive. Chaque tableau rend compte du :

- Nombre de point-nuits : le nombre total de nuits analysé quel que soit le point.
- Occurrence par point-nuit : la proportion du nombre de nuits où l'espèce a été contactée (sur le nombre total de points-nuits) ;
- L'activité moyenne (en minute positive) par point-nuit ;
- Activité moyenne (en minute positive) quand présence uniquement ;
- Le niveau d'activité obtenu par comparaison de l'activité moyenne de chaque espèce à la distribution issue du référentiel construit pour l'étude.

1.2.2.1.7. Acquisition et croisement des données météorologiques

Les données météorologiques ont été transmises par Boralex. Elles ont été acquises par les capteurs disposés sur l'éolienne E3 du parc éolien de Marcillé. La vitesse de vent et la température sont mesurées à 100 m de haut. Les données sont enregistrées toutes les 10 minutes.

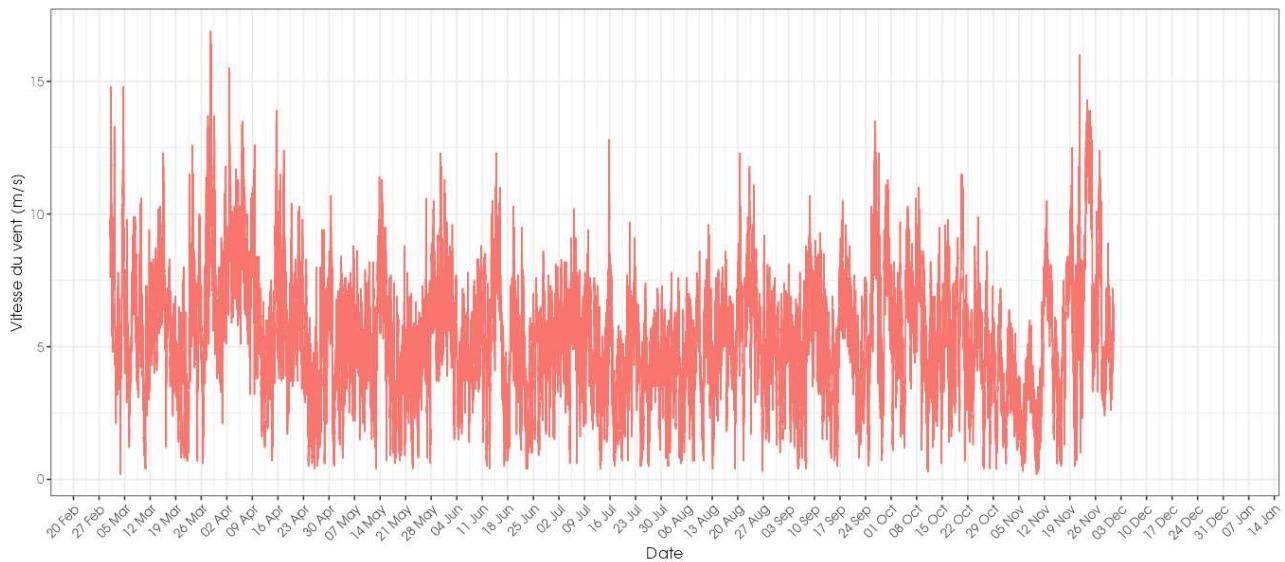


Figure 10. Schéma temporel de la vitesse du vent à 100 m sur l'ensemble du suivi mené depuis l'éolienne E3 du parc de Marcillé, entre mars et novembre 2024

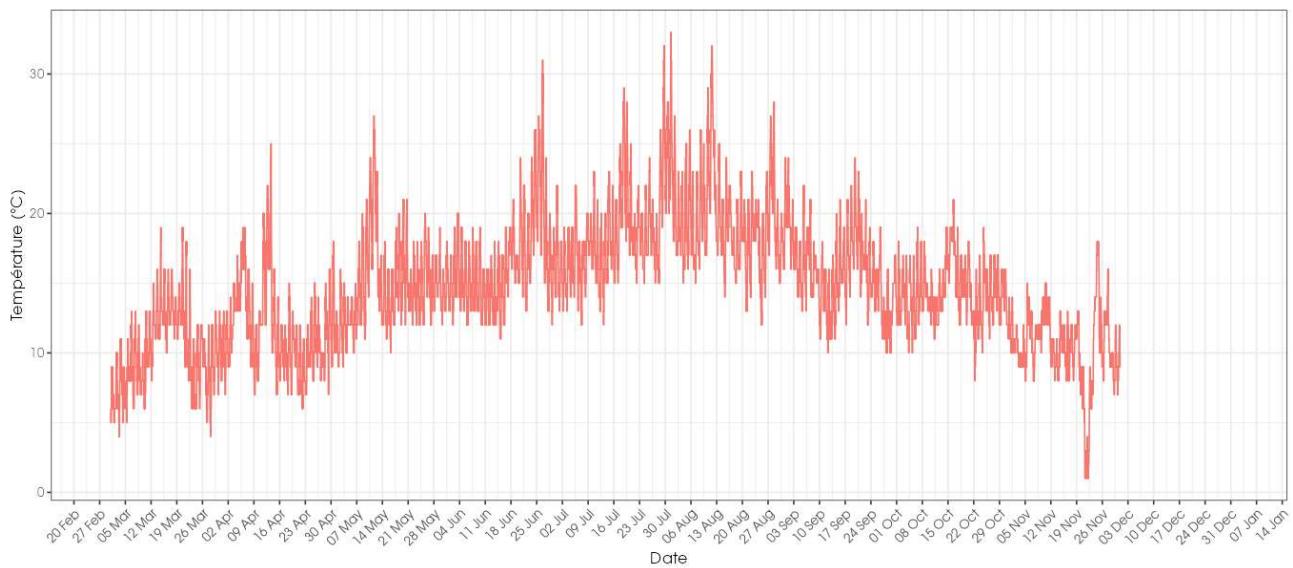


Figure 11. Schéma temporel de la température à 100 m sur l'ensemble du suivi mené depuis l'éolienne E3 du parc de Marcillé, entre mars et novembre 2024

Une jointure est ensuite réalisée entre les données météorologiques et chiroptérologiques. Ainsi, pour chaque enregistrement de chauve-souris, nous disposons de la vitesse du vent et la température à 100 m ainsi que l'heure relative du contact (temps écoulé après l'heure du coucher du soleil, celui-ci variant au cours des mois).

Il sera ainsi possible de caractériser l'effet des paramètres météorologiques sur l'activité des chiroptères et déterminé des paramètres d'asservissement des machines afin de diminuer le risque de collision.

1.2.3 Conditions de réalisation du suivi de mortalité et des suivis de l'activité de l'avifaune et des chiroptères

1.2.3.1 Prospections de terrain

Les dates de passages et les conditions météorologiques sont détaillées dans le Tableau 5.

Ainsi 25 passages ont été réalisés, à raison d'un par semaine, du 17 mai 2024 au 30 octobre 2024.

Tableau 5 : Prospections de terrain et informations météorologiques

Numéro de passage	Date	Conditions météorologiques
Suivi de mortalité (25 passages)		
1	17/05/2024	Vent moyen :11,4 km/h; Température moyenne: 15°C; Nébulosité:93%
2	22/05/2024	Vent moyen :10,8 km/h; Température moyenne: 15,8°C; Nébulosité:93%
3	30/05/2024	Vent moyen :22,3 km/h; Température moyenne: 15,9°C; Nébulosité:88%
4	06/06/2024	Vent moyen :12,1 km/h; Température moyenne: 16,6°C; Nébulosité:92%
5	11/06/2024	Vent moyen :12,6 km/h; Température moyenne: 15,5°C; Nébulosité:88%
6	20/06/2024	Vent moyen :9,2 km/h; Température moyenne: 20,1°C; Nébulosité:96%
7	27/06/2024	Vent moyen :12,2 km/h; Température moyenne: 20°C; Nébulosité:89%
8	03/07/2024	Vent moyen :13,4 km/h; Température moyenne: 17°C; Nébulosité:99%
9	11/07/2024	Vent moyen :12,4 km/h; Température moyenne: 18,3°C; Nébulosité:97%
10	18/07/2024	Vent moyen :1,3 km/h; Température moyenne: 24,7°C; Nébulosité:88%
11	24/07/2024	Vent moyen :5,3 km/h; Température moyenne: 18,9°C; Nébulosité:98%
12	01/08/2024	Vent moyen :9 km/h; Température moyenne: 23,5°C; Nébulosité:96%
13	08/08/2024	Vent moyen :7,6 km/h; Température moyenne: 21,5°C; Nébulosité:88%
14	14/08/2024	Vent moyen :12,5 km/h; Température moyenne: 20,9°C; Nébulosité:94%
15	22/08/2024	Vent moyen :19,7 km/h; Température moyenne: 20,1°C; Nébulosité:88%
16	28/08/2024	Vent moyen :6,7 km/h; Température moyenne: 24,6°C; Nébulosité:100%
17	04/09/2024	Vent moyen :6,3 km/h; Température moyenne: 16,1°C; Nébulosité:98%
18	12/09/2024	Vent moyen :12,4 km/h; Température moyenne: 13,6°C; Nébulosité:99%
19	20/09/2024	Vent moyen :9,4 km/h; Température moyenne: 20,3°C; Nébulosité:94%
20	26/09/2024	Vent moyen :24,6 km/h; Température moyenne: 17,6°C; Nébulosité:93%
21	04/10/2024	Vent moyen :5,4 km/h; Température moyenne: 13,4°C; Nébulosité:75%
22	10/10/2024	Vent moyen :12,4 km/h; Température moyenne: 14,6°C; Nébulosité:91%
23	15/10/2024	Vent moyen :15,9 km/h; Température moyenne: 18°C; Nébulosité:97%
24	23/10/2024	Vent moyen :6,8 km/h; Température moyenne: 12,7°C; Nébulosité:100%
25	30/10/2024	Vent moyen :14,1 km/h; Température moyenne: 15,2°C; Nébulosité:100%

Numéro de passage	Date	Conditions météorologiques
Tests de prédation (2 tests)		
Test 1	10/07/2024	Dépôt de 60 rats (puis suivi à j+1, j+2, j+4, j+7, j+9, j+14)
Test 2	16/09/2024	Dépôt de 60 rats (puis suivi à j+1, j+2, j+4, j+7, j+10, j+14)
Tests d'efficacité de recherche (2 tests)		
Test 1	11/06/2024	Dépôt de 60 leurres
Test 2	03/10/2024	Dépôt de 60 leurres
Suivi de l'activité des chiroptères		
	Du 21/03 au 15/11/2024	Enregistrements en continu depuis l'éolienne E03, avec un microphone placé au niveau de la nacelle à 100 m de hauteur, du 21 Mars au 15 Novembre 2024, soit pendant 239 nuits.

1.2.3.1 Réalisation des tests de prédation

Les deux tests de prédation ont été réalisés sur 14 jours sous l'ensemble des éoliennes du parc. Les tests de prédation ont été réalisé par l'opérateur en charge du suivi de mortalité. La pose (J0), a été réalisée en début de semaine en dehors du cadre habituel d'un passage hebdomadaire « suivi de mortalité ». 60 cadavres de jeunes rats (fraîchement décongelés, catégories « Petit rats 25 – 50g ») ont été disposés de manière aléatoire (localisations générées seulement une fois par SIG puis réutilisées pour chaque test) sur l'ensemble des zones de prospections (tampon de 50 m autour des éoliennes). Les visites de contrôle ont été menées lors de différents jours (J+1, J+2, J+4, J+7, J+9/J+10, J+14), tôt le matin, pendant deux semaines. L'opérateur avait la charge de noter la présence de tous les cadavres avec identification et localisation des cadavres disparus à chaque passage dédié.

1.2.3.2 Réalisation des tests d'efficacité de l'observateur

Pour les secteurs prospectés, ce coefficient varie en fonction du couvert végétal (densité, hauteur) et, donc, de la période de l'année. Celui-ci a été évalué en plaçant des leurres à l'insu de l'observateur. Au minimum, 15 leurres par grand type d'habitat observé à chaque test ont été disposés aléatoirement (soit de 60 leurres disposés par test, Tableau 6). La pose est réalisée tôt le matin avant le lancement du suivi. Des leurres non organiques ont été déployés (pas de risques de disparition par les prédateurs). La position de chaque leurre est enregistrée au GPS. Le test se déroule pendant la réalisation du suivi de mortalité par l'observateur selon le protocole habituel des transects circulaires. L'observateur a noté et localisé les leurres retrouvés et l'opérateur en charge du test, contrôle à la fin du suivi de mortalité, le nombre de leurres découverts par catégorie d'occupation du sol testée.



Figure 12 : Type de leurres utilisés dans le cadre des tests d'efficacité de recherche © Biotope

Tableau 6 : Nombre total de leurres disposés par éolienne en fonction de l'occupation du sol sur l'ensemble du suivi (poses cumulées des 2 tests).

	E01	E02	E03	E04	E05	E06	Parc ensemble
Occupations du sol							
Friche	-	-	1	-	-	-	1
Labour	8	5	19	11	12	3	58
Plateforme	4	7	8	4	4	4	31
Semis	-	-	-	-	-	15	15
Terrassement	-	-	15	-	-	-	15
Hauteurs de végétation							
0	4	7	23	8	12	22	76
5	8	-	-	-	4	-	12
7	-	5	-	-	-	-	5
10	-	-	-	7	-	-	7
30	-	-	16	-	-	-	16
55	-	-	4	-	-	-	4
Dates de tests							
11/06/2024	8	5	30	4	8	5	60
03/10/2024	4	7	13	11	8	17	60
Total	12	12	43	15	16	22	120

1.2.3.1 Limites propres à la mise en œuvre du suivi

La capacité de détection des cadavres est variable entre observateurs (Ponce et al., 2010 ; Labrosse, 2009). C'est pour cette raison que la majeure partie du suivi a été réalisée par la même personne (qui a été testée) et que son remplacement par une tierce personne n'a été que ponctuel durant le suivi (2 / 25 passages réalisés).

Il est également important de noter qu'elle est aussi variable en fonction de la hauteur de végétation et du type d'occupation du sol (Borner et al., 2017). Dans le but d'obtenir des données exploitables, la mise en place des tests s'est faite de manière à pouvoir bénéficier d'un maximum de cas de figure rencontrés par l'opérateur en charge du suivi. Au total, avec les deux tests réalisés, ce sont 5 catégories d'occupation du sol qui ont été testées ainsi que 5 hauteurs différentes de végétation.

1.2.1 Équipe de travail

Une équipe pluridisciplinaire a été constituée dans le cadre de cette étude (Tableau 7).

Tableau 7 : Équipe de travail

Domaines d'intervention	Intervenants	Qualité et qualification
Responsable du projet, coordination du suivi mortalité et contrôle qualité	Marine RIU	Cheffe de projets
- Suivi de mortalité : Récolte des données mortalité avifaune et chiroptères (1 session) - Rédaction de l'étude	Alex TREMBLAIS	Chargé de missions
Expertise des chiroptères en hauteur	Youenn FOULIARD Julien MÉROT	Expert fauniste – Chiroptérologue
Suivi de mortalité : Récolte des données mortalité avifaune et chiroptères (23 sessions)	Arnaud GUYARD	Technicien suivi de mortalité
Suivi de mortalité : Récolte des données mortalité avifaune et chiroptères (1 session)	Pierre TRUHAUD	Technicien suivi de mortalité

2 Synthèse et analyse des résultats

2.1 Résultat du suivi de l'activité des chiroptères en hauteur

2.1.1 Espèces contactées

D'après les enregistrements réalisés en hauteur, 6 espèces de chiroptères sont présentes ou considérées comme telles au niveau du parc éolien de Marcillé :

- 5 espèces contactées lors des inventaires de terrain (Cf. Annexe IV)
 - Noctule commune (*Nyctalus noctula*) ;
 - Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) ;
 - Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) ;
 - Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) ;
 - Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*).
- 1 espèce considérée comme présente :
 - Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) ;
- 2 groupes d'espèces correspondant aux contacts de chiroptères n'ayant pas pu être déterminés jusqu'à l'espèce par la méthode acoustique :
 - Groupes des « sérotules » (*Eptesicus serotinus* / *Nyctalus sp.*) ;
 - Groupe Pipistrelle de Kuhl/Nathusius (*Pipistrellus kuhlii* / *P. nathusii*).

En 2024, six espèces de chauves-souris ont été contactées, à hauteur de nacelle, au niveau de l'éolienne E3.

La richesse spécifique contactée lors de l'étude en hauteur (6 espèces) est jugée faible. Néanmoins, il s'agit d'une composition d'espèces typiquement contactées en hauteur.

Tableau 8 : Statuts de protection et de conservation des espèces de chiroptères recensées en hauteur sur le parc de Marcillé en 2024.

Nom vernaculaire Nom scientifique	Statuts réglementaires		Statuts patrimoniaux		
	Europe	France	LRN	LRR	Dét. ZNIEFF
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	An.IV	Art.2	NT	NT	DZ
Noctule commune <i>Nyctalus noctua</i>	An.IV	Art.2	VU	NT	DZ
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	An.IV	Art.2	NT	LC	-
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	An.IV	Art.2	NT	LC	-
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	An.IV	Art.2	LC	LC	-
Pipistrelle de Nathusius <i>Pipistrellus nathusii</i>	An.IV	Art.2	NT	NT	-

Légende :

- An. II/IV : espèces inscrites aux annexes II et/ou IV de la Directive N° 92/43/CEE du 21/05/92, dite « Directive Habitats ».
- Art. 2 : espèces inscrites à l'article 2 de l'arrêté ministériel du 23 avril 2007 : protection des individus et de leurs habitats de reproduction/repos.
- Art. 3 : espèces inscrites à l'article 3 de l'arrêté ministériel du 23 avril 2007 : protection des individus.
- LRN : La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine (UICN France, MNHN, SFEPM & ONCFS, 2017) : RE : disparu de France métropolitaine ; CR : en danger critique ; EN : en danger ; VU : vulnérable ; NT : quasi-menacé ; LC : préoccupation mineure ; DD : données insuffisantes ; NA : non applicable ; NE : non évalué.
- LRR : Liste rouge régionale des mammifères (2015 : RE : disparu au niveau régional ; CR : en danger critique ; EN : en danger ; VU : vulnérable ; NT : quasi-menacé ; LC : préoccupation mineure ; DD : données insuffisantes ; NA : non applicable ; NE : non évalué).
- Dét. ZNIEFF : listes d'espèces déterminantes des ZNIEFF, (2021).

2.1.2 Abondance relative

Au cours de la période d'enregistrement (239 nuits exploitables entre mars 2024 et novembre 2024), 2 840 contacts de 5 secondes ou 1 524 minutes (soit 25h) d'enregistrement avec présence de chauves-souris, communément appelées « minutes positives », ont été obtenus.

Le tableau suivant synthétise la répartition des contacts enregistrés par espèce et groupe d'espèces de chiroptères obtenue à hauteur de nacelle (100 m), pendant les 239 nuits d'écoute.

Tableau 9 : Nombre de contacts obtenus pour chaque espèce/groupe d'espèces à 100 m

Nom vernaculaire / Nom scientifique	Nombre de contacts de 5 sec.	Proportion obtenue des contacts de 5 sec. (%)	Nombre de minutes positives	Proportion obtenue des minutes positives (%)
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i>	3	0,1%	2	0,1%
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	321	11,3%	223	14,6%
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	228	8,0%	73	4,8%
Groupe Sérotine commune / Noctules indéterminées <i>Eptesicus serotinus</i> / <i>Nyctalus</i> sp.	9	0,3%	9	0,6%
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	1857	65,4%	1011	66,3%
Pipistrelle de Kuhll <i>Pipistrellus kuhlii</i>	6	0,2%	5	0,3%
Groupe Pipistrelle de Kuhl / P.de Nathusius <i>Pipistrellus kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i> .	416	14,6%	201	13,2%
Total	2840	100%	1524	100%

Sur l'ensemble de la période comprise entre mars 2024 et novembre 2024, l'analyse montre que :

- La **Pipistrelle commune** est l'espèce la plus représentée en altitude, avec 66% des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- La **Noctule de Leisler** arrive en deuxième position avec 14,6 % des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- Elle est suivie de près par la paire **Pipistrelle de Kuhl / P.de Nathusius** avec 13,5 % des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- La **Sérotine commune** représente une petite part de l'activité avec 4,8% des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- La **Noctule commune** est très peu fréquente sur site bien qu'elle fasse généralement partie des espèces les plus fréquentes en altitude. Cette noctule représente seulement 0,1% des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.

En 2024, le suivi a permis de comptabiliser 1 524 minutes positives au cours des 239 nuits de suivi effectives. Ainsi, on obtient une moyenne de 6,4 minutes positives par nuit.

2.1.3 Evaluation de l'activité en hauteur

Après détermination des espèces grâce au logiciel BatSound® et au programme SonoChiro® développé par Biotope, l'activité des chiroptères a été analysée grâce au référentiel ActiChiro® mis à jour en 2023. Le nouvel ActiChiro® a été conçu pour être un référentiel dynamique. C'est-à-dire que pour chaque étude, l'emprise spatio-temporelle est adaptée au site d'étude et au type d'analyses réalisées, ce qui permet de comparer les résultats des inventaires à un jeu de données le plus pertinent. Le nouvel **ActiChiro® produit donc un référentiel dédié pour chaque étude**. Il propose une analyse adaptée au contexte local, ce qui permet d'évaluer le niveau d'activité d'une espèce ou d'un groupe d'espèces sur un point ou un site donné. Ces chiffres de référence sont exprimés en minutes positives par nuit. Pour définir si l'activité est « Très faible », « Faible », « Moyenne », « Forte » ou « Très forte », l'analyse s'appuie sur les valeurs des centiles à 2%, 25%, 75% et 98% qui servent de valeurs seuil entre les niveaux d'activité (cf. Annexe II : Méthodes d'inventaires).

Tableau 10 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur

Espèces	Nombre de nuits	Occurrence par nuit	Activité moyenne quand présence ou absence	Activité moyenne quand présence uniquement	Niveau d'activité au printemps quand présence ou absence	Niveau d'activité au printemps quand présence uniquement
Noctule commune	239	0,42%	0,01	3,00	Activité très faible	Activité très faible
Noctule de Leisler	239	24,37%	0,94	5,53	Activité très forte	Activité très forte
Sérotine commune	239	5,88%	0,30	16,21	Activité très forte	Activité très forte
Sérotine / Noctule	239	3,36%	0,04	1,13	Activité très faible	Activité très faible
Pipistrelle commune	239	44,12%	4,18	17,15	Activité très forte	Activité très forte
Pipistrelle de Kuhl	239	0,42%	0,01	3,00	Activité faible	Activité très faible
Pipistrelle de Kuhl / Nathusius	239	18,49%	0,79	8,84	Activité très forte	Activité faible
Toutes espèces	239	52%	5.93	11.47	Activité très forte	Activité très forte

Légende :

- Nombre de nuits : Nombre de nuits d'enregistrement en altitude ;
- Occurrence par point-nuit = rapport du nombre de points-nuits où l'espèce a été contactée sur le nombre de points-nuits total d'enregistrement sur la saison ;
- Activité moyenne quand présence ou absence = Moyenne du nombre de minutes positives par point-nuit en prenant en compte les points-nuit où l'espèce est présente et absente ;
- Activité moyenne quand présence uniquement = Moyenne du nombre de contacts par point-nuit en prenant en compte uniquement les points-nuits où l'espèce est présente ;
- Niveau d'activité quand présence ou absence = Niveau d'activité issu de la comparaison avec le référentiel lorsque l'espèce est présente et absente. L'estimation du niveau d'activité est issue du référentiel ActiChiro® construit pour l'étude, basé sur un important pool de données réelles qui ont fait l'objet d'analyses statistiques (cf.Tableau 4).

Sur l'ensemble de la période suivie, trois espèces montrent une activité très forte. Il s'agit de la Noctule de Leisler, la Sérotine commune et la Pipistrelle commune. La paire Pipistrelle de Kuhl / Nathusius atteint une activité très forte à faible en fonction de la méthode de calcul. L'ensemble des autres espèces ou groupes d'espèces montrent une activité faible à très faible.

Toutes espèces confondues, des chiroptères sont identifiés dans 52 % des nuits, avec une activité très forte.

2.1.3.1 Activité en période printanière (avril à mai)

Tableau 11 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur en période printanière

Espèces	Nombre de nuits	Occurrence par nuit	Activité moyenne quand présence ou absence	Activité moyenne quand présence uniquement	Niveau d'activité au printemps quand présence ou absence	Niveau d'activité au printemps quand présence uniquement
Noctule commune	72					
Noctule de Leisler	72	0,13	0,25	2,00	Activité très forte	Activité très forte
Pipistrelle commune	72	0,17	0,78	4,67	Activité forte	Activité moyenne
Pipistrelle de Kuhl	72					
Pipistrelle de Kuhl / Nathusius	72	0,06	0,29	5,25	Activité forte	Activité moyenne
Sérotine commune	72	0,04	0,17	4,00	Activité très forte	Activité très forte
Sérotine / Noctule	72	0,01	0,01	1,00	Activité moyenne	Activité très faible
Toutes espèces	72	24%	1,42	6	Activité forte	Activité moyenne

Légende :

- Nombre de nuits : Nombre de nuits d'enregistrement en altitude ;
- Occurrence par point-nuit = rapport du nombre de points-nuits où l'espèce a été contactée sur le nombre de points-nuits total d'enregistrement sur la saison ;
- Activité moyenne quand présence ou absence = Moyenne du nombre de minutes positives par point-nuit en prenant en compte les points-nuit où l'espèce est présente et absente ;
- Activité moyenne quand présence uniquement = Moyenne du nombre de contacts par point-nuit en prenant en compte uniquement les points-nuits où l'espèce est présente ;
- Niveau d'activité quand présence ou absence = Niveau d'activité issu de la comparaison avec le référentiel lorsque l'espèce est présente et absente. L'estimation du niveau d'activité est issue du référentiel ActiChiro® construit pour l'étude, basé sur un important pool de données réelles qui ont fait l'objet d'analyses statistiques (cf.Tableau 4).

En période printanière, deux espèces montrent une activité très forte. Il s'agit de la Noctule de Leisler et de la Sérotine commune. L'ensemble des autres espèces ou groupes d'espèces montrent une activité forte à moyenne ou moyenne à très faible en prenant en compte uniquement les points-nuits où l'espèce est présente. La Noctule commune n'a pas été détectée à cette période.

Toutes espèces confondues, des chiroptères sont identifiés dans 24 % des nuits, avec une activité forte.

2.1.3.2 Activité en période estivale (juin à aout)

Tableau 12 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur en période estivale

Espèces	Nombre de nuits	Occurrence par nuit	Activité moyenne quand présence ou absence	Activité moyenne quand présence uniquement	Niveau d'activité au printemps quand présence ou absence	Niveau d'activité au printemps quand présence uniquement
Noctule commune	92	1%	0,02	2,00	Activité faible	Activité très faible
Noctule de Leisler	92	34%	1,46	4,32	Activité très forte	Activité très forte
Pipistrelle commune	92	66%	5,09	7,67	Activité très forte	Activité très forte
Pipistrelle de Kuhl	92	1%	0,02	2,00	Activité moyenne	Activité très faible

Espèces	Nombre de nuits	Occurrence par nuit	Activité moyenne quand présence ou absence	Activité moyenne quand présence uniquement	Niveau d'activité au printemps quand présence ou absence	Niveau d'activité au printemps quand présence uniquement
Pipistrelle de Kuhl / Natusius	92	28%	1,21	4,27	Activité très forte	Activité faible
Sérotine commune	92	11%	0,61	5,60	Activité très forte	Activité très forte
Sérotine / Noctule	92	8%	0,09	1,14	Activité très faible	Activité très faible
Toutes espèces	92	75%	7,85	10,46	Activité très forte	Activité très forte

Légende :

- Nombre de nuits : Nombre de nuits d'enregistrement en altitude ;
- Occurrence par point-nuit = rapport du nombre de points-nuits où l'espèce a été contactée sur le nombre de points-nuits total d'enregistrement sur la saison ;
- Activité moyenne quand présence ou absence = Moyenne du nombre de minutes positives par point-nuit en prenant en compte les points-nuit où l'espèce est présente et absente ;
- Activité moyenne quand présence uniquement = Moyenne du nombre de contacts par point-nuit en prenant en compte uniquement les points-nuits où l'espèce est présente ;
- Niveau d'activité quand présence ou absence = Niveau d'activité issu de la comparaison avec le référentiel lorsque l'espèce est présente et absente. L'estimation du niveau d'activité est issue du référentiel ActiChiro® construit pour l'étude, basé sur un important pool de données réelles qui ont fait l'objet d'analyses statistiques (cf.Tableau 4).

En période estivale, trois espèces et un groupe montrent une activité très forte. Il s'agit de la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune, la Sérotine commune et le groupe Pipistrelle de Kuhl/Natusius. L'ensemble des autres espèces ou groupes d'espèces montrent une activité moyenne à très faible.

Toutes espèces confondues, des chiroptères sont identifiés dans 75 % des nuits, avec une activité très forte.

2.1.3.3 Activité en période automnale (septembre à novembre)

Tableau 13 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur en période automnale

Espèces	Nombre de nuits	Occurrence par nuit	Activité moyenne quand présence ou absence	Activité moyenne quand présence uniquement	Niveau d'activité au printemps quand présence ou absence	Niveau d'activité au printemps quand présence uniquement
Noctule commune	74					
Noctule de Leisler	74	23%	0,88	3,82	Activité très forte	Activité très forte
Pipistrelle commune	74	42%	6,26	14,94	Activité très forte	Activité très forte
Pipistrelle de Kuhl	74					
Pipistrelle de Kuhl / Natusius	74	19%	0,74	3,93	Activité forte	Activité faible
Sérotine commune	74					
Sérotine / Noctule	74					
Toutes espèces	74	49%	7,70	15,83	Activité très forte	Activité forte

Légende :

- Nombre de nuits : Nombre de nuits d'enregistrement en altitude ;
- Occurrence par point-nuit = rapport du nombre de points-nuits où l'espèce a été contactée sur le nombre de points-nuits total d'enregistrement sur la saison ;
- Activité moyenne quand présence ou absence = Moyenne du nombre de minutes positives par point-nuit en prenant en compte les points-nuit où l'espèce est présente et absente ;
- Activité moyenne quand présence uniquement = Moyenne du nombre de contacts par point-nuit en prenant en compte uniquement les points-nuits où l'espèce est présente ;
- Niveau d'activité quand présence ou absence = Niveau d'activité issu de la comparaison avec le référentiel lorsque l'espèce est présente et absente. L'estimation du niveau d'activité est issue du référentiel ActiChiro® construit pour l'étude, basé sur un important pool de données réelles qui ont fait l'objet d'analyses statistiques (cf.Tableau 4).

En période automnale, deux espèces montrent une activité très forte. Il s'agit de la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune. La paire Pipistrelle de Kuhl / Natusius atteint une activité forte « quand présence ou absence » et faible en prenant en compte uniquement les points-nuits où l'espèce est présente.

Toutes espèces confondues, des chiroptères sont identifiés dans 49 % des nuits, avec une activité très forte.

2.1.4 Analyse détaillée de l'activité des chiroptères en hauteur

Le graphique suivant présente l'activité journalière moyenne par heure. Il permet de mettre en évidence des pics d'activités très ponctuels.

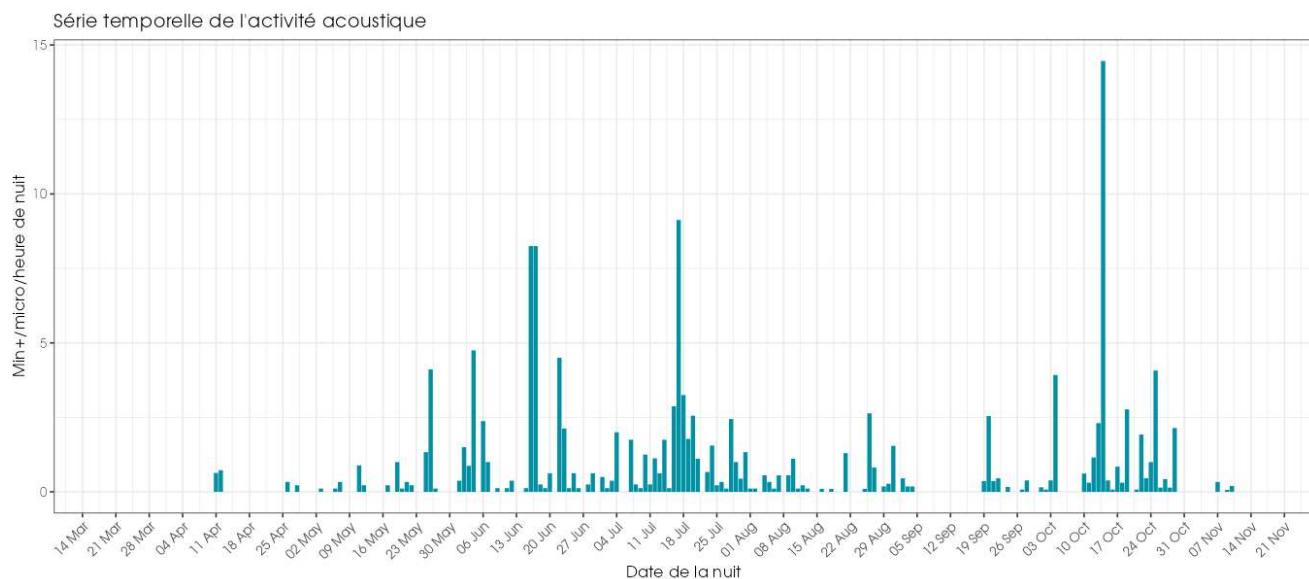


Figure 13 : Activité journalière moyenne par heure, toutes espèces confondues, enregistrée en altitude (100 m) au niveau de l'éolienne E3 de mars 2024 à novembre 2024

L'activité enregistrée à 100 m au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé montre d'importantes variations de l'activité des chauves-souris. Les chauves-souris n'ont presque pas été contactées en altitude sur ce site durant les mois d'avril et novembre. Les pics d'activité les plus importants ont été observés durant la période estivale, ainsi qu'au cours du mois d'octobre.

2.1.4.1 Activité mensuelle

Toutes espèces confondues, on observe une variation de l'activité au cours de la période de suivi.

L'activité se concentre sur trois mois : juin, juillet et octobre.

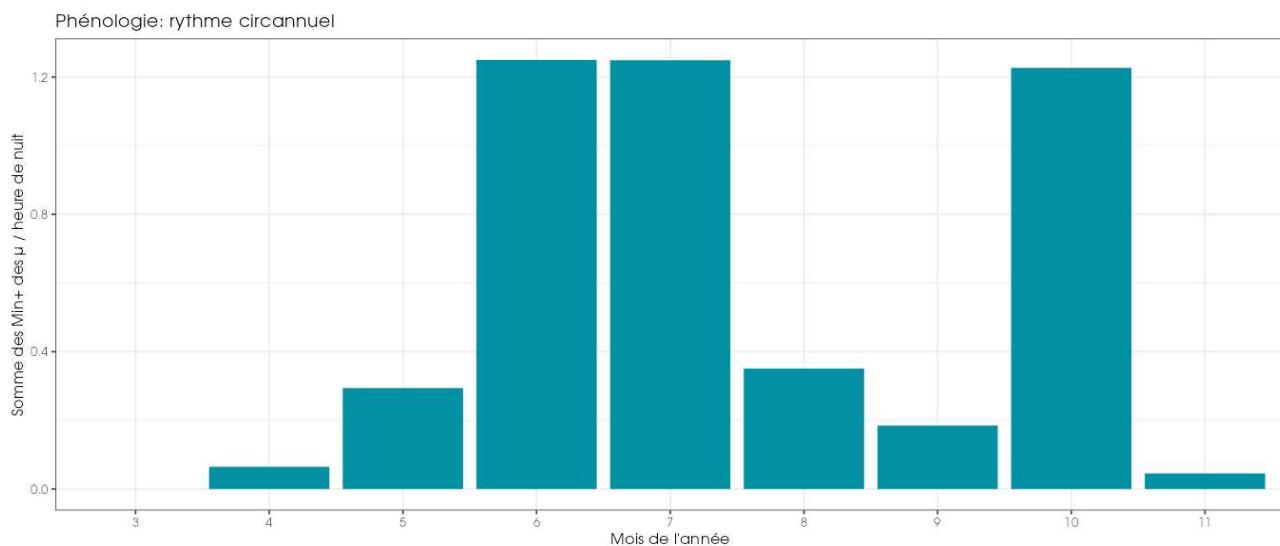


Figure 14 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure de nuit, toutes espèces confondues, enregistré en altitude (100 m) au niveau de l'éolienne E3 de mars 2024 à novembre 2024

■ Pipistrelle commune

Pour rappel, la Pipistrelle commune représente 66 % du total des minutes positives obtenues et a une activité très forte. L'activité de la Pipistrelle commune est marquée en période de mise-bas en juin et juillet puis diminue fortement en aout septembre pour connaître une activité importante en octobre.

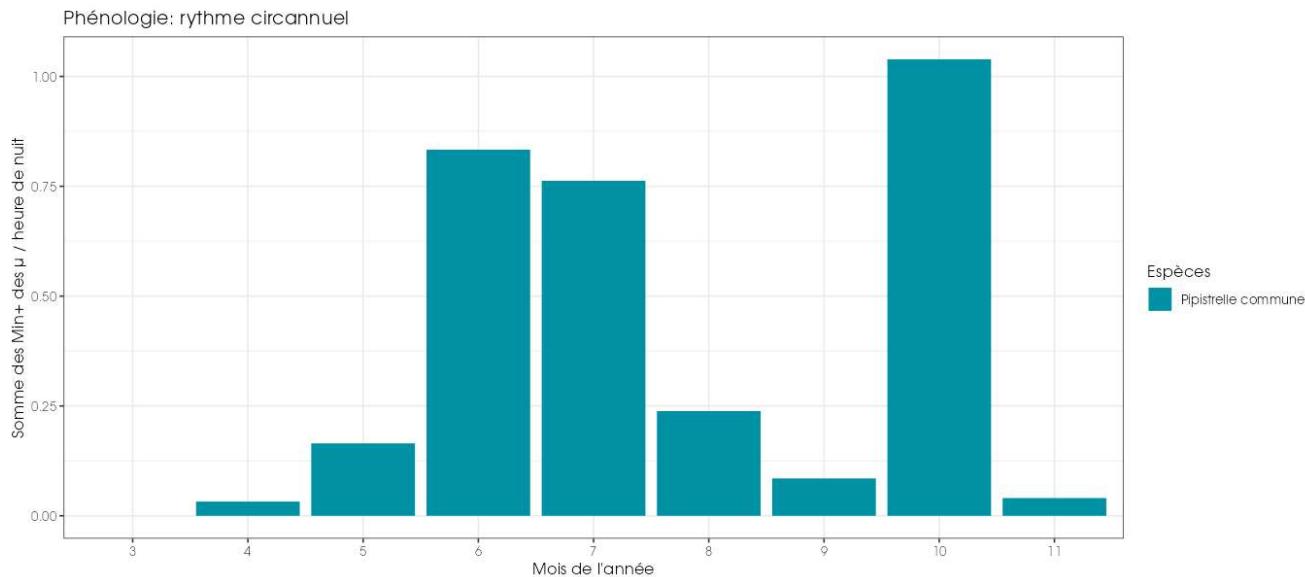


Figure 15 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure nuit, pour la Pipistrelle commune, en altitude sur l'éolienne E3 de Marcillé en 2024.

■ Groupe Pipistrelle de Kuhl / Pipistrelle de Nathusius

Pour rappel, le groupe représente 13.5 % du total des minutes positives obtenues et a une activité faible à très forte.

L'activité est marquée en période de mise-bas en juin et juillet puis diminue fortement en aout septembre pour connaître une activité plus importante en octobre. L'activité la plus importante est située en juin et il s'agit également du mois où des cris sociaux de Pipistrelle de Kuhl ont été enregistrés. Il apparaît probable que la majorité des contacts en période estivale soit des Pipistrelles de Kuhl. En période automnale, l'activité est plus faible, sauf en octobre, où il est plus difficile d'associer l'activité à l'une ou l'autre des espèces. Malgré l'absence de séquences certifiées de Pipistrelle de Nathusius, des habitats situés à quelques kilomètres du parc de Marcillé sont très attractifs pour l'espèce en migration, notamment l'Etang du Boulet.

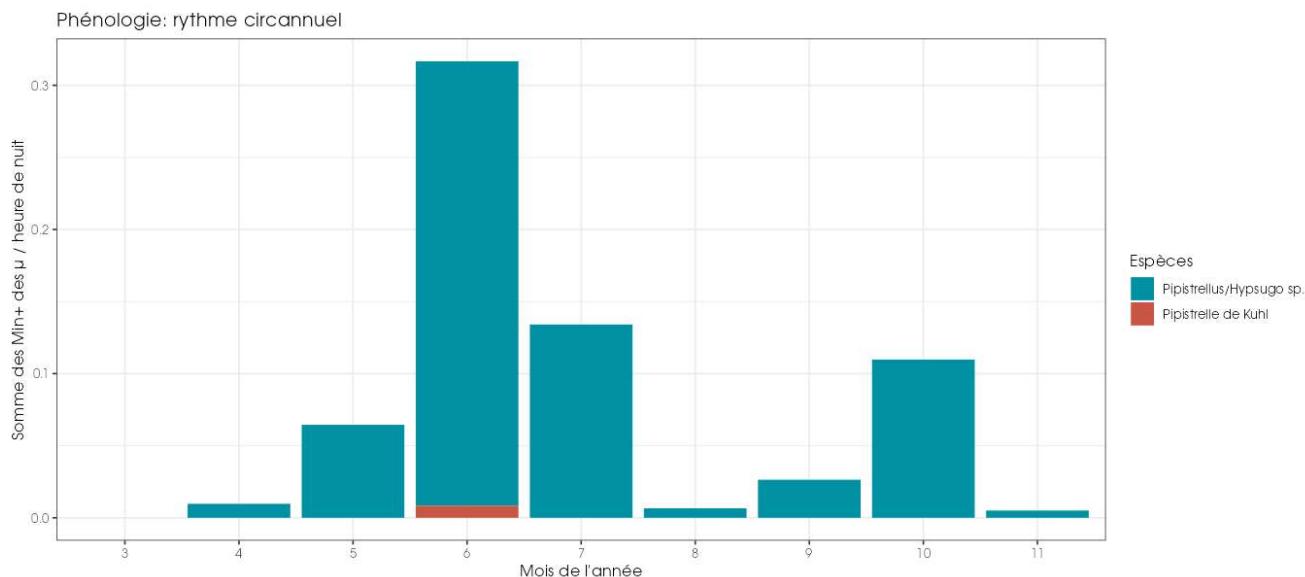


Figure 13 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure nuit, pour le groupe Pipistrelle de Kuhl / Pipistrelle de Nathusius, en altitude sur l'éolienne E3 de Marcillé en 2024.

■ Groupe Sérotine commune / Noctule de Leisler / Noctule commune

Pour rappel, le groupe représente 20.1 % du total des minutes positives. La Noctule de Leisler domine avec 14.6% suivie par la Sérotine commune avec 4.8%. La Noctule commune est quant à elle anecdotique avec seulement 0.1%. Les signaux n'ayant pas pu être déterminés à l'espèce représentent 0.6%.

La **Noctule de Leisler** atteint un pic d'activité en juillet puis garde une activité importante en aout, septembre et octobre. L'espèce est également bien présente en mai et juin. Au vu de cette activité, il est probable que le secteur de la Forêt de Bourgouët au sud du parc éolien accueille des gîtes voire une colonie de mise bas. L'activité automnale concerne en partie des individus en migration.

La **Sérotine commune** à une activité marquée en mai-juin, période de mise-bas et d'élevage des jeunes. Le reste de l'année son activité est réduite voire inexistante.

La **Noctule commune** est quasiment absente elle a été contactée uniquement en juillet. L'espèce est généralement peu fréquente dans ce secteur d'Ille-et-Vilaine.

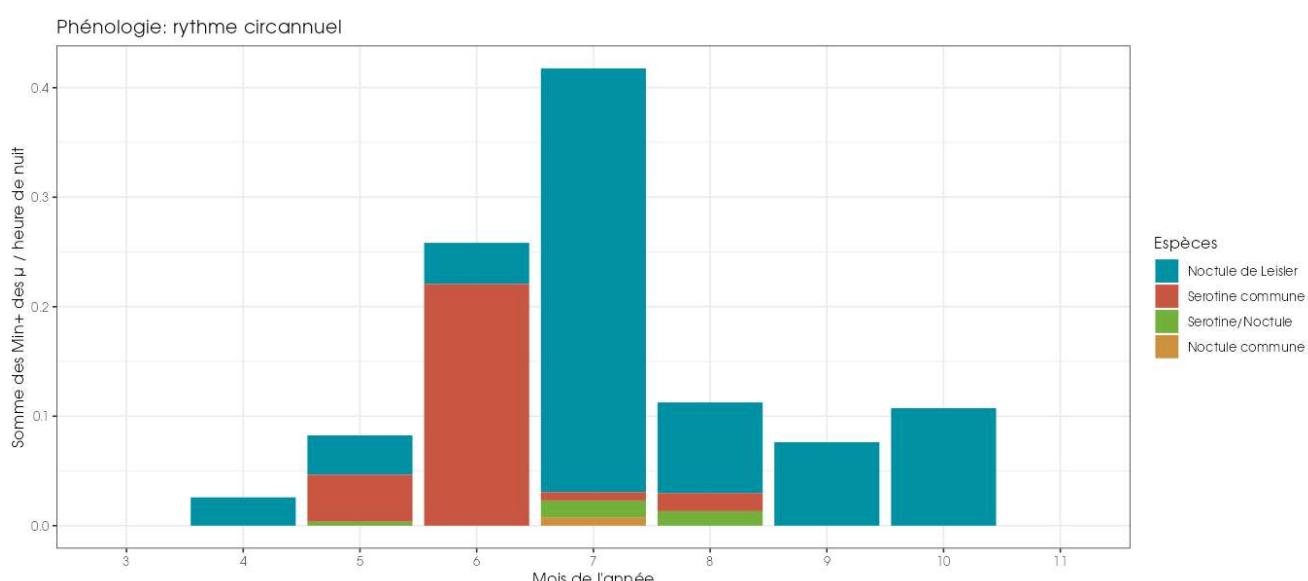


Figure 14 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure nuit, pour le groupe Sérotine commune / Noctule de Leisler / Noctule commune, en altitude sur l'éolienne E3 de Marcillé en 2024.

2.1.4.2 Activité en fonction de l'heure après le coucher du soleil

L'activité des chauves-souris, toutes espèces confondues, est globalement plus importante en début de nuit. Le pic d'activité a lieu durant les premières heures et diminue ensuite progressivement.

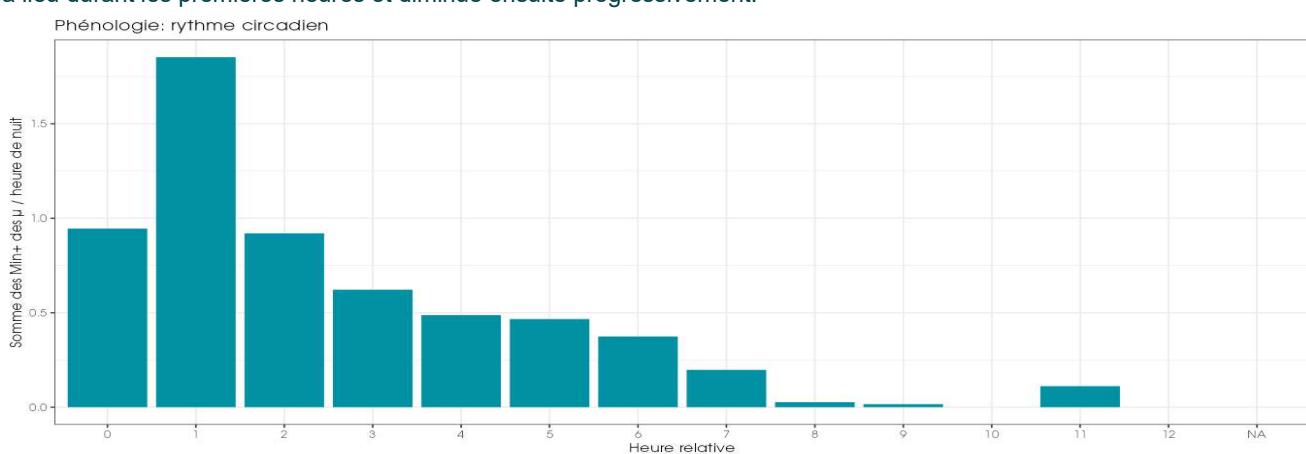


Figure 16 : Nombre de minutes positives par tranche horaire, après le coucher du soleil, en altitude (100 m), toutes espèces confondues, de mars à novembre 2024

On observe globalement le même rythme d'activité si on regarde l'activité horaire en fonction des périodes de l'année (printemps, été et fin d'été / début d'automne). Les activités horaires sur ces périodes et sur les mois présentant une activité des chauves-souris sont présentées sur les diagrammes suivants (cf. Figure 17).

On peut voir que quelque soit le mois on observe un pic d'activité durant les premières heures de la nuit. L'activité diminue ensuite. On observe toutefois plus nettement que l'activité peut remonter en fin de nuit à certaines périodes de l'année. Ceci est notamment visible au niveau du diagramme représentant l'activité horaire sur les mois d'aout et septembre 2024.

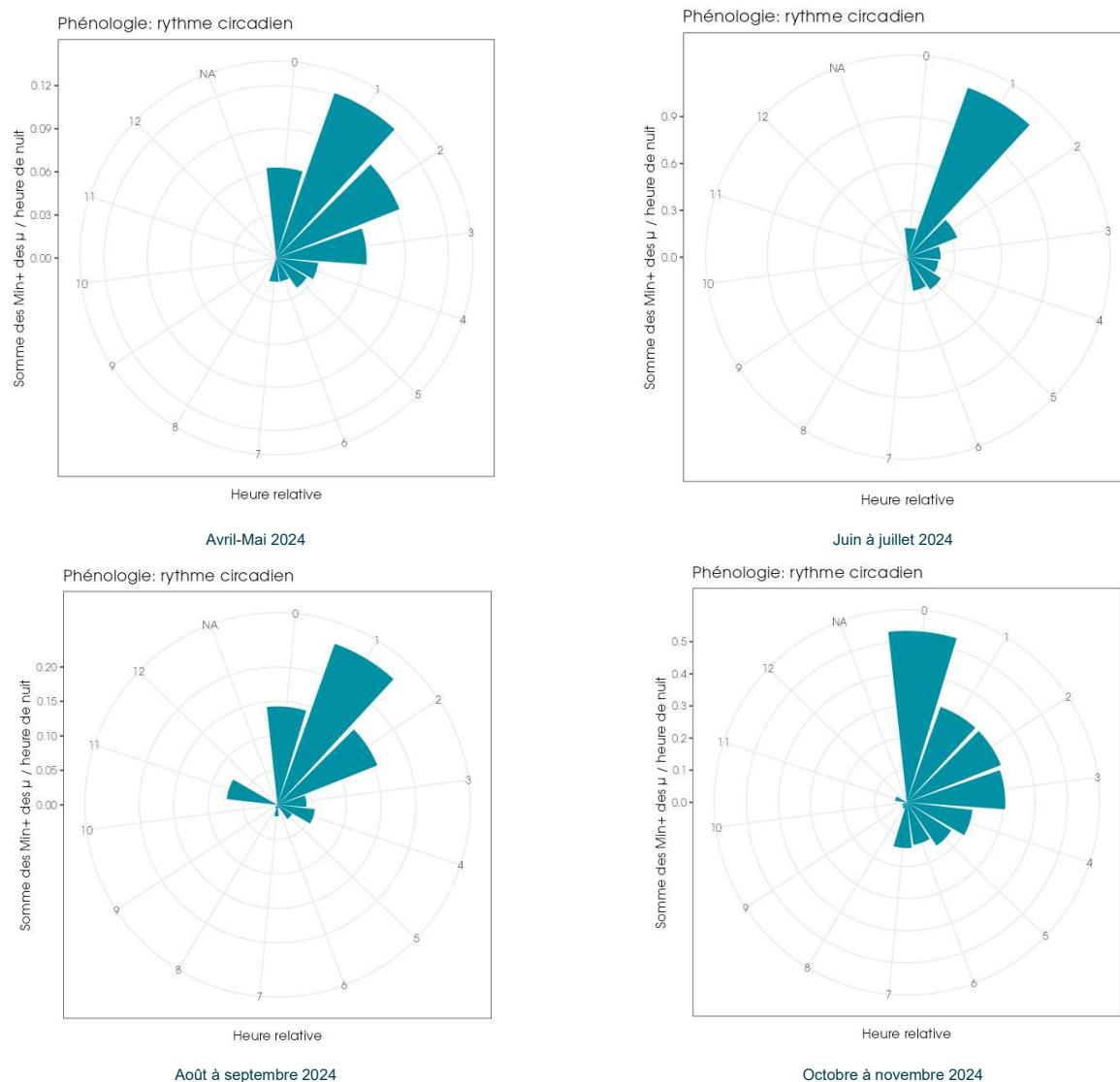


Figure 17 : Nombre de minutes positives par tranche horaire en fonction de la période de l'année, après le coucher du soleil, en altitude (100 m) et toutes espèces confondues

Le graphique suivant (actogramme) présente le détail de l'activité toutes espèces confondues. La zone en violet correspond à la nuit.

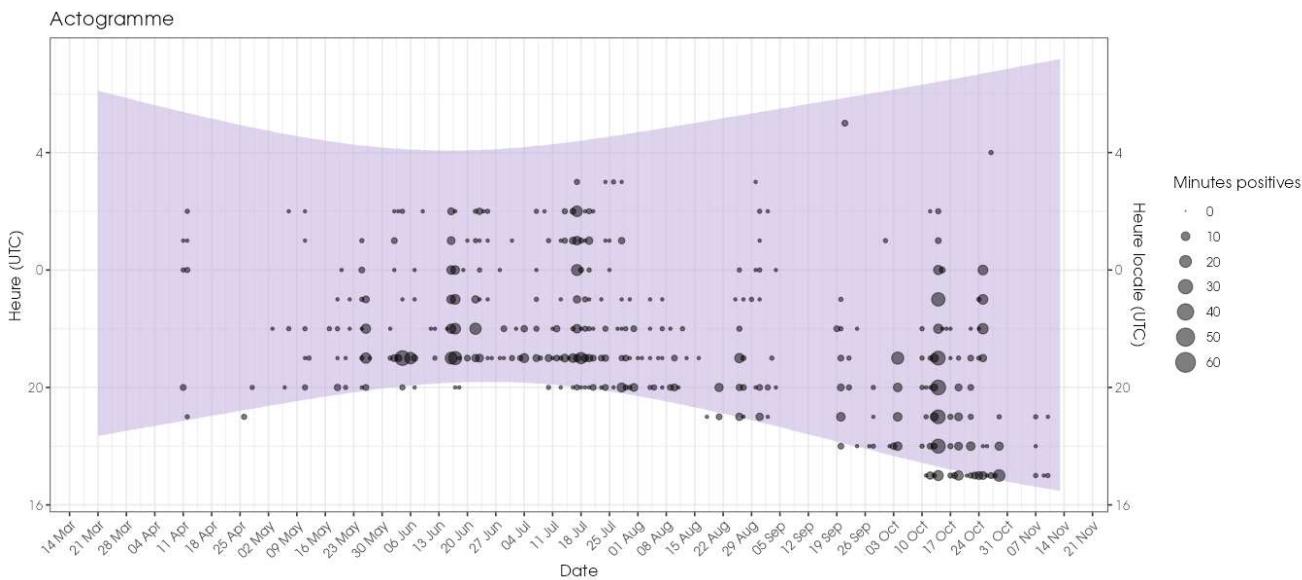


Figure 18 : Répartition des minutes positives par nuit et par tranche horaire, toutes espèces confondues, en altitude (100 m)

Cette représentation graphique montre bien que l'activité chiroptérologique est plus intensément marquée au début de la nuit. Néanmoins, elle ne disparaît pas totalement au cours de la nuit, les chauves-souris restent actives tout au long de la nuit.

Notons néanmoins que d'une année à l'autre, différents facteurs peuvent influencer l'activité des chauves-souris. Il peut donc y avoir des variations interannuelles de l'activité des chauves-souris.

Proportion d'activité en fonction de la durée après le coucher du soleil

Le tableau suivant liste les durées après le coucher du soleil en-dessous desquelles des proportions ciblées des minutes positives (toutes espèces confondues) ont été obtenues, pour l'ensemble des données en altitude.

Tableau 14 : Proportions des minutes positives obtenues en altitude en fonction de la durée après le coucher du soleil

Contacts en altitude	Durée après le coucher du soleil en-dessous de laquelle les pourcentages ciblés de contacts ont été obtenus					
	50%	75%	85%	90%	95%	99%
Toutes les périodes	2h03	4h02	5h28	6h01	6h53	7h47
Période printanière (avril à mai)	2h07	3h15	4h10	5h36	6h11	7h27
Période estivale (juin à août)	1h43	3h30	5h09	5h40	6h20	6h57
Période automnale (septembre à novembre)	2h40	4h32	5h56	6h38	7h26	9h50

Bilan de l'activité générale en altitude en fonction de la durée après le coucher du soleil

L'ensemble de l'activité en altitude, recensée pour chaque espèce en fonction de la durée après le coucher du soleil, permet de tirer les informations suivantes :

- 90% de l'activité en altitude se concentre dans les 6h01 qui suivent le coucher du soleil ;
- 75% de l'activité en altitude se concentre dans les 4h02 qui suivent le coucher du soleil ;
- 50 % de l'activité en altitude a été obtenue entre le coucher du soleil et environ 2h03 après celui-ci.

2.1.5 Comparaison avec les suivis de l'activité des chiroptères antérieures

L'année 2024 correspond à la première année de suivi de l'activité des chauves-souris en nacelle, sur le parc éolien de Marcillé.

Le tableau ci-dessous fait le bilan des espèces identifiées et des résultats obtenus lors des enregistrements réalisés en altitude lors de l'état initial en 2013 et en Nacelle en 2024.

L'effort d'échantillonnage étant très différent, la comparaison est impossible. Le tableau suivant décrit uniquement les informations disponibles.

Tableau 15 : Croisement des informations sur l'évaluation de l'activité en altitude issues de l'état initial et de la première année de suivi 2024.

	En 2013	En 2024
Localisation du dispositif d'écoute	Mat de mesure 40 m situé à proximité de E3 (SM2 Bat)	Nacelle éolienne E3 100 m (SM4 Bat)
Période de fonctionnement du dispositif	Au printemps, en été et en automne environ 36 heures	239 nuits exploitables entre le 21 ^{er} mars et le 15 novembre 2024.
Espèces identifiées	Aucun contact en altitude mais 15 espèces sur les enregistrements au sol.	Deux espèces non détectées en 2013 l'ont été en 2024 : La Noctule commune, dont la présence en 2024 reste toutefois anecdotique (2 minutes positives) La Noctule de Leisler, bien présente (223 minutes positives et 14.6% de l'activité)
Nombre de contact enregistré	<u>6-7 mai 2013</u> : Aucun contact <u>30-31 mai 2013</u> : Aucun contact <u>17-18 juillet 2013</u> : Aucun contact <u>2-3 septembre 2013</u> : Aucun contact	Uniquement à titre informatif : <u>6-7 mai 2024</u> : 1 contact de Noctule de Leisler <u>30-31 mai 2024</u> : Aucun contact <u>17-18 juillet 2024</u> : 123 contacts de Pipistrelle commune, 65 contacts de Pipistrelle de Kuhl/Nathusius, 2 contacts de Noctule de Leisler, 1 contact de Sérotinge commune <u>2-3 septembre 2024</u> : 3 contacts de Noctule de Leisler, 1 contact de Pipistrelle de Kuhl/Nathusius

La comparaison entre l'état initial et ce premier suivi post implantation n'est pas réellement possible au vu des très nombreux biais (effort d'échantillonnage, altitude d'échantillonnage, matériels, logiciels, connaissances sur l'identification des espèces).

On peut toutefois relever quelques informations :

- Une présence importante de la Noctule de Leisler en 2024 avec une activité très forte. L'espèce n'avait pas été détectée en 2013, ni en 2005. Une colonie de mise bas avait pourtant été découverte en 2006, dans le massif de Saint-Aubin-du-Cormier situé à une petite quinzaine de kilomètre du parc. L'espèce était donc déjà présente sur ce secteur d'Ille-et-Vilaine, cependant aucune donnée ne permet de connaître l'évolution des populations de cette noctule en Bretagne.
- L'absence de contact de chiroptères sur les 4 nuits d'enregistrement à 40 m en 2013, rend impossible toute comparaison de l'activité.

2.1.6 Analyse de l'activité des chiroptères en hauteur en fonction des paramètres météorologiques

Les chapitres suivants présentent les analyses des activités notées à hauteur de nacelle (100 m) en fonction de différents paramètres météorologiques : vitesse du vent et température.

Dans le cadre de cette analyse, l'unité de mesure retenue pour calculer l'activité en fonction de la vitesse du vent et de la température par classe reste la minute positive (nombre de minutes au cours desquelles il y a eu au moins un enregistrement de chauves-souris).

Il est à noter que les capteurs des paramètres météorologiques n'ont pas pu faire remonter des données pour l'ensemble des contacts de chauves-souris obtenus sur l'éolienne. Pour l'analyse de l'activité en fonction des paramètres météorologiques, le nombre total de minutes positives pour lesquelles les données météorologiques sont disponibles est de N=1 486 minutes positives sur 239 nuits de suivi, entre mars et novembre 2024.

2.1.6.1 Activité en fonction de la vitesse du vent (m/s) mesurée à 100 m

Au cours de la période d'analyse qui s'étend de mars 2024 à novembre 2024, les instruments de mesure installés sur l'éolienne E3 du parc de Marcillé ont collecté, la nuit et toutes les 10 minutes, des données correspondant à des plages moyennes de vitesse de vent allant de 0,2 à 14 m/s.

Les graphiques suivants présentent la répartition des contacts de chiroptères, toutes espèces confondues (**= conditions utilisées**), en fonction de la vitesse du vent enregistrée sur l'éolienne E3 (**= conditions disponibles**) obtenue à hauteur de nacelle 100 m et durant les 239 nuits de l'étude.

Les résultats sont présentés sous la forme de deux graphiques différents montrant :

- La densité des contacts de chauves-souris par classe de vitesse de vent (fonction de densité – pdf) ;
- La répartition des contacts de chauves-souris par classe de vitesse de vent (fonction de répartition – cdf), en considérant pour chaque classe les contacts obtenus pour une vitesse de vent inférieure ou égale à la valeur indiquée en abscisse.

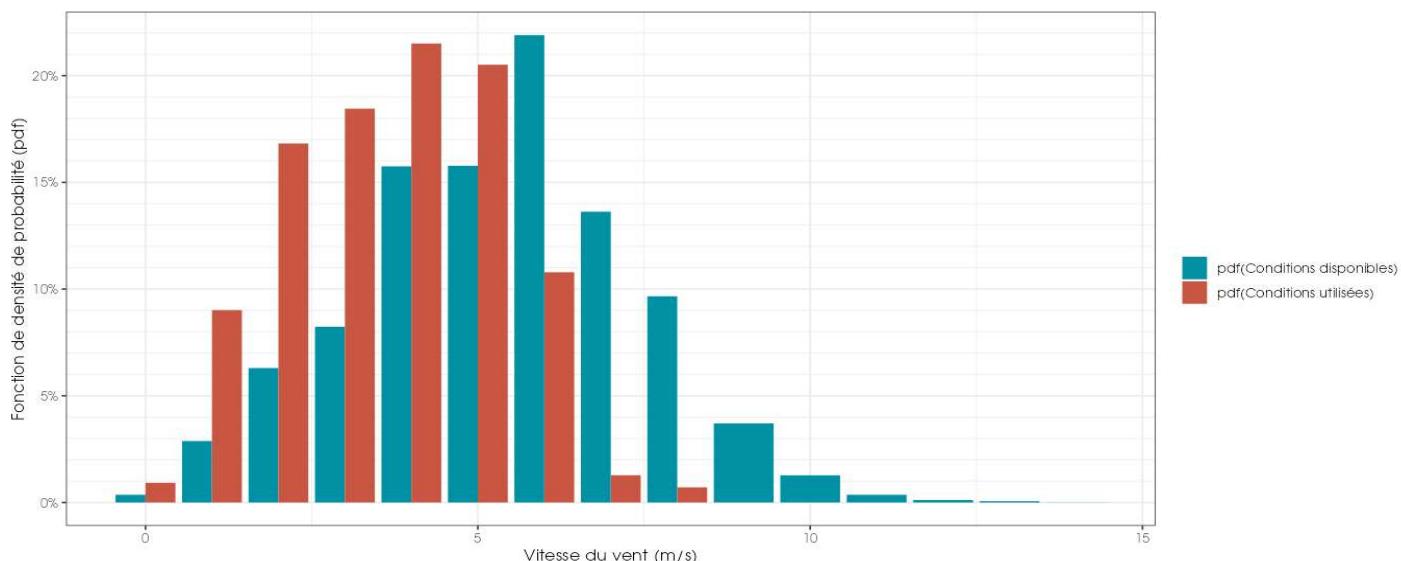


Figure 19 : Densité des contacts de chauves-souris par classe de vitesse de vent (m/s) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé

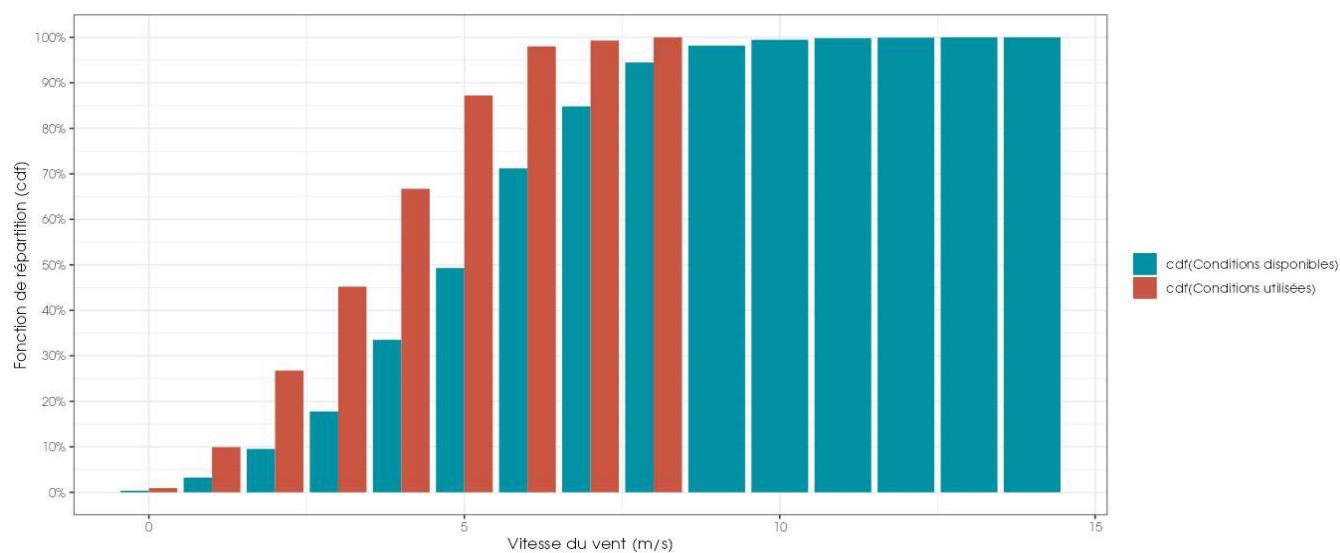


Figure 20 : Répartition des contacts de chauves-souris par classe de vitesse de vent (m/s) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé

Les graphiques montrent que :

- Toutes espèces confondues et à une altitude de 100 m, la proportion de contacts de chauves-souris en fonction de la vitesse du vent diminue de façon significative sur le site à partir de 5 m/s ;
- Les chauves-souris utilisent les conditions disponibles jusqu'à 8 m/s.

Le tableau suivant liste les vitesses de vent en-dessous desquelles des proportions ciblées des contacts (toutes espèces confondues) ont été obtenues, pour l'ensemble des données en altitude.

Tableau 16 : Proportions des contacts obtenus en hauteur (100 m) en fonction de la vitesse du vent

Contacts en altitude	Vitesse de vent (en m/s à 100m) en-dessous de laquelle les pourcentages ciblés de contacts ont été obtenus					
	50%	75%	85%	90%	95%	99%
Toutes les périodes	3,6 m/s	4,9 m/s	5,3 m/s	5,6 m/s	6 m/s	7,3 m/s
Période printanière (mars à mai)	2,9 m/s	4,6 m/s	5,4 m/s	5,4 m/s	5,9 m/s	6,6 m/s
Période estivale (juin à août)	3,7 m/s	4,9 m/s	5,2 m/s	5,4 m/s	5,8 m/s	6,4 m/s
Période automnale (septembre à novembre)	3,6 m/s	5,1 m/s	5,5 m/s	5,9 m/s	6,2 m/s	7,8 m/s

L'analyse de l'affinité permet de décrire le comportement de sélection des conditions environnementales par les chiroptères en s'affranchissant dans une large mesure des biais liés au hasard de l'échantillonnage des conditions disponibles. Une affinité égale à 1 indique qu'il n'y a pas de préférence significative. Une affinité inférieure à 1 indique que les chiroptères semblent éviter ces conditions (en bleu dans le graphique suivant). Une affinité supérieure à 1 indique que les chiroptères semblent préférer ces conditions météorologiques pour être actifs (en rouge dans le graphique suivant).

Dans le cadre de l'étude, l'analyse des résultats montre une nette préférence des chauves-souris pour des vitesses de vent inférieures à 5,5 m/s.

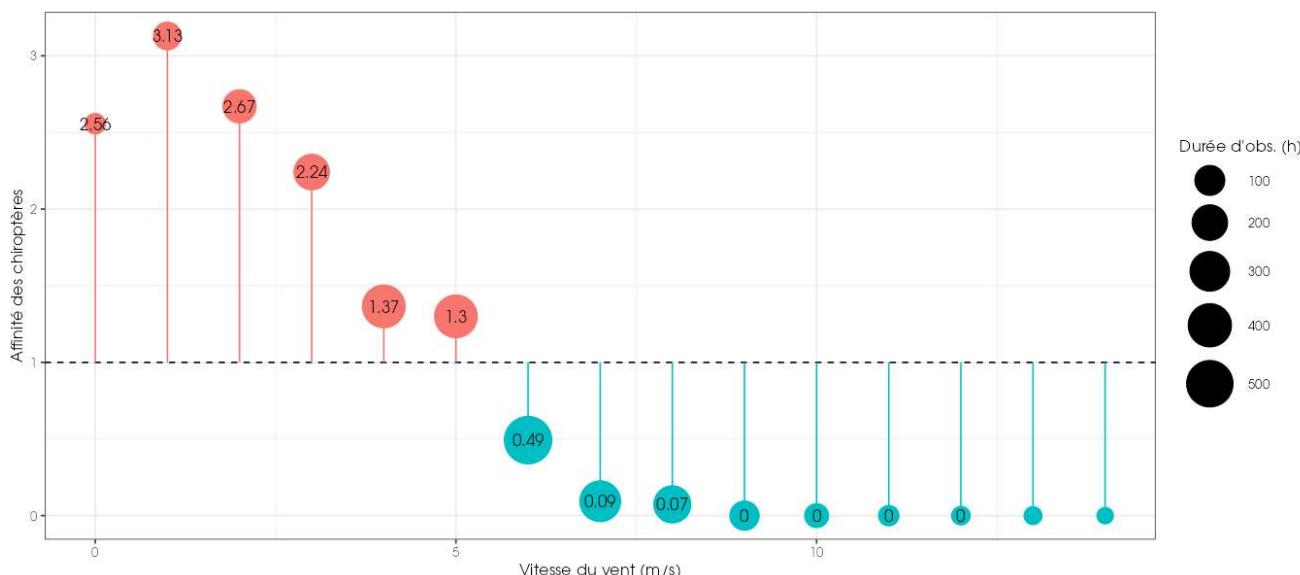


Figure 21 : Affinité des chiroptères pour les différentes classes de vitesse de vent nocturne sur le site, pour les contacts en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé

L'ensemble de l'activité en altitude, recensée pour chaque espèce en fonction de la vitesse du vent (mesurée à 100 m), permet de ressortir les principales informations suivantes :

- 90% de l'activité en altitude (considérée à risque) a été obtenue à des vitesses de vent inférieures à 5,6 m/s ;
- 75% de l'activité en altitude a été obtenue à des vitesses de vent inférieures 4,9 m/s ;
- 50% de l'activité en altitude a été obtenue à des vitesses de vent inférieures à 3,6 m/s.

2.1.6.2 Activité en fonction de la température (°C) mesurée à 100 m

Au cours de la période d'analyse qui s'étend de mars 2024 à novembre 2024, les instruments de mesure installés sur la nacelle de l'éolienne E3 ont collecté, la nuit et toutes les 10 minutes, des données correspondant à des plages de températures allant de 1 à 30°C.

Les graphiques suivants présentent la répartition des contacts de chiroptères, toutes espèces confondues (= conditions utilisées), en fonction de la température (= conditions disponibles) obtenue en altitude (100 m) et durant les 239 nuits de l'étude.

Les résultats sont présentés sous la forme de deux graphiques différents montrant :

- La densité des contacts de chauves-souris par classe de température (fonction de densité – pdf) ;
- La répartition des contacts de chauves-souris par classe de température (fonction de répartition – cdf), en considérant pour chaque classe les contacts obtenus pour une température inférieure ou égale à la valeur indiquée en abscisse.

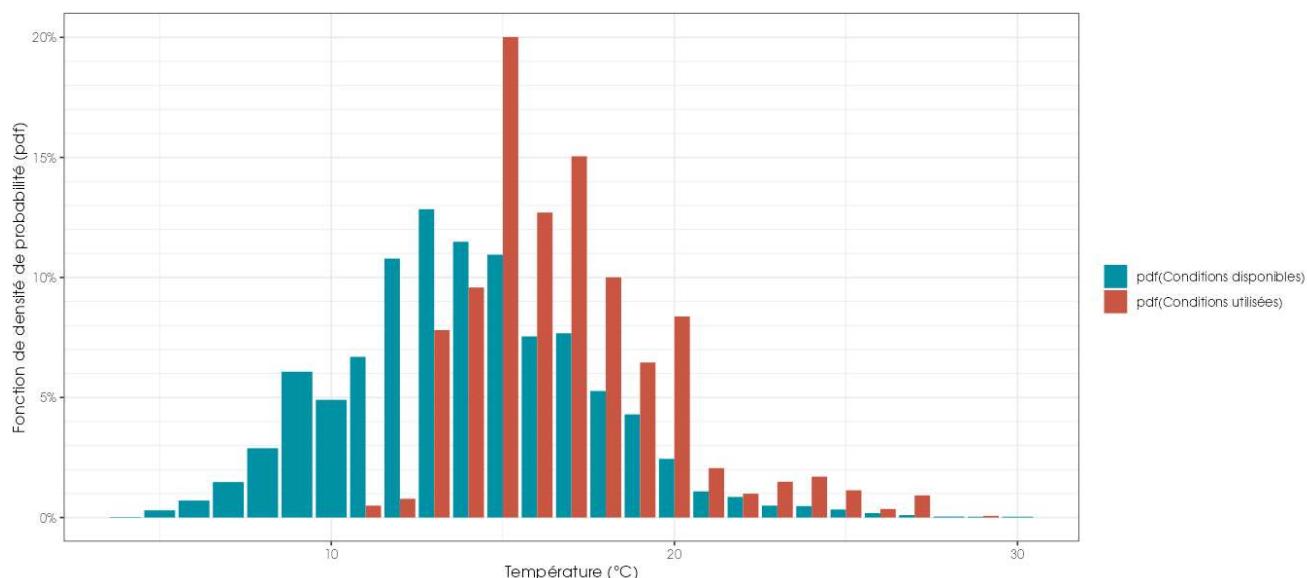


Figure 22 : Densité des contacts de chauves-souris par classe de température nocturne température (°C) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé

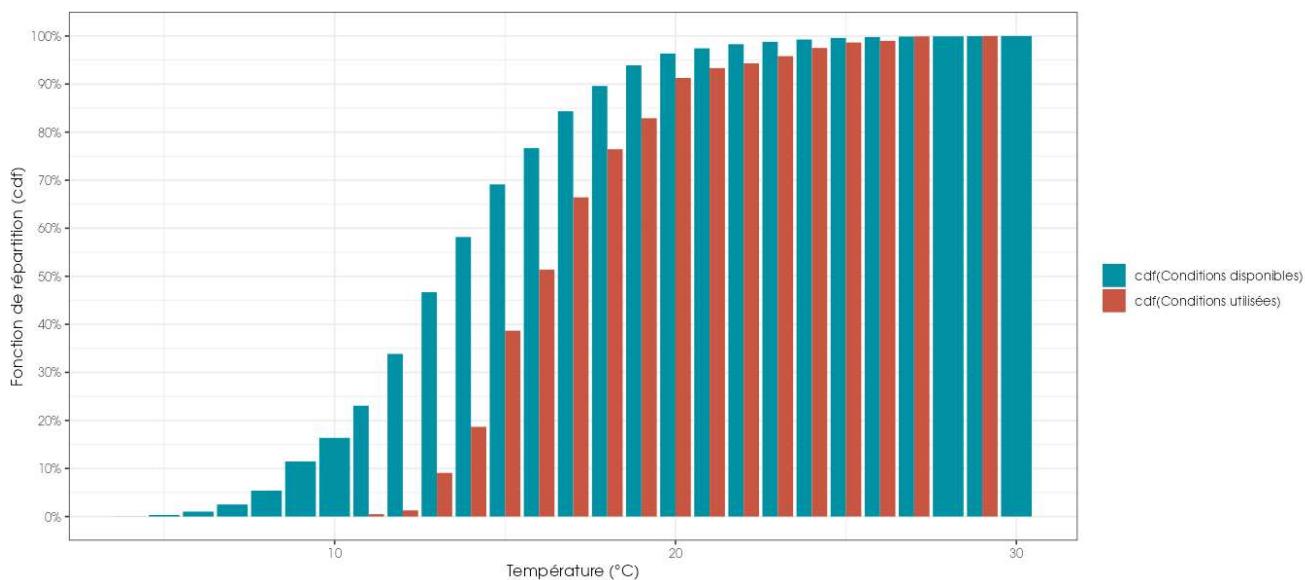


Figure 23 : Répartition des contacts de chauves-souris par classe de température nocturne température (°C) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé

Les graphiques montrent que :

- Toutes espèces confondues et à une altitude de 100 m, la proportion de contacts de chauves-souris en fonction de la température est plus importante pour des tranches de température au-dessus de 15°C ;

Les chauves-souris utilisent globalement les conditions disponibles au-dessus de 10°C.

Le tableau suivant liste les températures au-dessus desquelles des proportions ciblées des contacts (toutes espèces confondues) ont été obtenues, pour l'ensemble des données en altitude.

Tableau 17 : Proportions des contacts obtenus en hauteur (100 m) en fonction de la température

Contacts au-dessus de la médiane	Température (en °C à 100 m) au-dessus de laquelle les pourcentages ciblés de contacts ont été obtenus, et nombre de minutes positives correspondant					
	50%	75%	85%	90%	95%	99%
Toutes les périodes	16°C	15°C	14°C	14°C	13°C	12°C
Période printanière (mars à mai)	15°C	14°C	14°C	13,7°C	12°C	11°C
Période estivale (juin à août)	18°C	15°C	15°C	15°C	14°C	13°C
Période automnale (septembre à novembre)	16°C	14°C	13°C	13°C	13°C	12°C

L'analyse de l'affinité permet de décrire le comportement de sélection des conditions environnementales par les chiroptères en s'affranchissant dans une large mesure des biais liés au hasard de l'échantillonnage des conditions disponibles. Une affinité égale à 1 indique qu'il n'y a pas de préférence. Une affinité inférieure à 1 indique que les chiroptères semblent éviter ces conditions (en bleu dans le graphique suivant). Une affinité supérieure à 1 indique que les chiroptères semblent préférer ces conditions météorologiques pour être actifs (en rouge dans le graphique suivant).

Dans le cadre de l'étude, l'analyse des résultats montre une nette préférence des chauves-souris pour des températures nocturnes supérieures à 15°C.

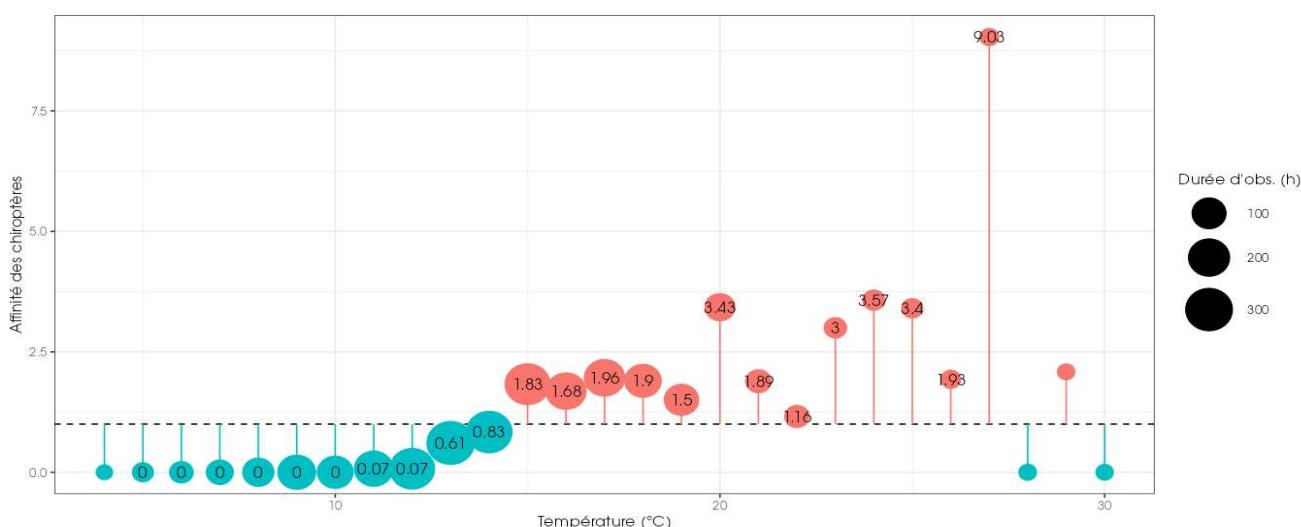


Figure 24 : Affinité des chiroptères pour les différentes classes de température nocturne sur le site, pour les contacts enregistrés en altitude (100 m)

L'ensemble de l'activité en altitude, recensée pour chaque espèce en fonction de la température (mesurée à 100 m), permet de tirer les informations suivantes :

- 90% de l'activité en altitude (considérée à risque) a été enregistrée à des températures supérieures à 14°C ;
- 75% de l'activité en altitude a été enregistrée à des températures supérieures à 15°C ;
- 50% l'activité en altitude a été enregistrée à des températures supérieures à 16°C.

2.1.6.3 Combinaison des facteurs température et vitesse de vent

L'analyse bidimensionnelle de l'activité, en fonction de la vitesse du vent et de la température à la fois, permet de tester si l'une ou l'autre de ces deux variables météorologiques est prédominante et influe donc plus fortement sur le niveau d'activité des chiroptères.

Le graphique suivant représente l'affinité bidimensionnelle, à la fois pour la vitesse du vent et la température. La couleur blanche indique l'absence de préférence par les chiroptères, le rouge indique une sélection 10 fois moins fréquente qu'en absence de préférence, et le bleu indique une sélection 10 fois plus fréquente qu'en absence de préférence. Les conditions qui figurent en bleu sont donc celles sélectionnées par les chauves-souris.

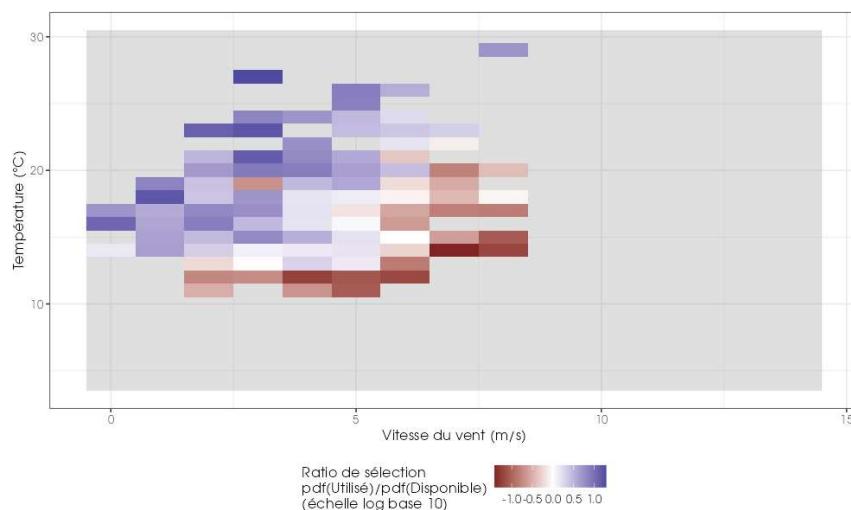


Figure 25 : Bilan des conditions météorologiques sélectionnées par les chauves-souris sur le site (2 variables : vitesse du vent et température) en altitude à 100 m. Les conditions en bleu sont celles sélectionnées par les chauves-souris

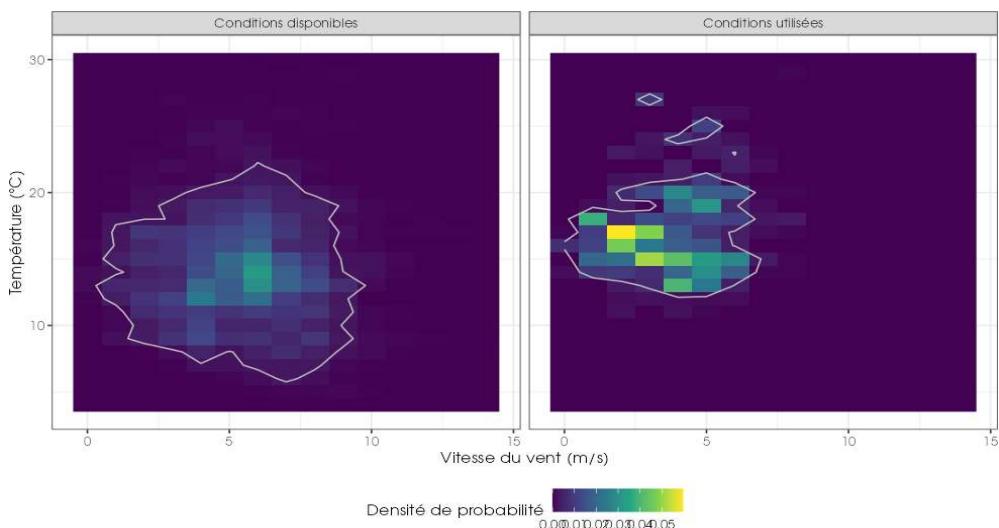


Figure 26 : Météorologie enregistrée sur les capteurs, à gauche - Conditions météorologiques utilisées par les chauves-souris, à droite. L'enveloppe délimite une proportion de 90% des conditions

Au regard des éléments météorologiques enregistrés sur le parc de Marcillé et de l'activité des chiroptères enregistrée, il ressort que l'utilisation du site par les chauves-souris est majoritaire dans une gamme de températures comprises entre 12 et 22°C et de vitesses de vent comprises entre 0 et 6 m/s.

Il convient de noter que pour des conditions de vent de 6 m/s, les chauves-souris sélectionnent des températures enregistrées plus importantes, au-dessus de 25°C. Elles sélectionnent plus facilement des températures plus faibles lorsque les vitesses de vent sont plus faibles.

2.1.7 Synthèse de l'activité des chiroptères en hauteur

Cette étude a permis de définir l'activité des chauves-souris en altitude et d'évaluer plus précisément les conditions favorables à leur activité.

Un dispositif d'enregistrement automatique (SM4BAT) équipé d'un micro a été placé à 100 m au sein de la nacelle de l'éolienne E3 du parc éolien de Marcillé en Ille-et-Vilaine (35), en 2024. Il a permis d'enregistrer l'activité des chauves-souris entre le 21 mars et le 15 novembre 2024, soit durant 239 nuits.

Les enregistrements indiquent la présence de six espèces en altitude sur l'année 2024. Il s'agit d'une diversité moyenne. Considérant que les enregistrements ont été réalisés en altitude. Il s'agit d'une composition d'espèces typiquement contactées en altitude.

Sur la période d'enregistrement de l'activité des chauves-souris, l'activité en altitude observée durant cette période peut être considérée comme **très forte** au regard du référentiel Actichiro Altitude.

Le suivi en altitude montre que :

- La **Pipistrelle commune** est l'espèce la plus représentée en altitude, avec 66% des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- La **Noctule de Leisler** arrive en deuxième position avec 14.6 % des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- Elle est suivie de près par le groupe **Pipistrelle de Kuhl / P.de Natusius** avec 13.5 % des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.
- La **Sérotine commune** représente une petite part de l'activité avec 4.8% des « minutes positives » de chauves-souris enregistrées en altitude.

La phénologie observée montre une activité plus importante sur les mois de juin et juillet (période de mise-bas) ainsi qu'en octobre 2024.

L'activité en altitude est généralement concentrée en début de nuit.

Une relation marquée entre l'activité des chauves-souris en altitude, les vitesses de vent et la température a été mise en évidence :

- 90 % de l'activité totale a été enregistré à des vitesses de vent inférieures à 5,6 m/s ;
- 90 % de l'activité totale a été enregistré à des températures supérieures à 14 °C.

2.2 Résultats du suivi de mortalité

2.2.1 Résultats bruts

2.2.1.1 Données générales concernant les cadavres découverts

Au total, 13 cadavres ont été trouvés au sein du parc éolien de Marcillé, dont 3 oiseaux (3 espèces) et 10 chauves-souris (1 espèce et un groupe d'espèces) entre le 6 juin 2024 et le 14 août 2024.

Les espèces d'oiseaux trouvés sont le Martinet noir (1 individu), le Pipit des arbres (1 individu), l'Effraie des clochers (1 individu), découvertes entre le 27 juin 2024 et le 18 juillet 2024.

L'espèce de chauves-souris trouvée est la Pipistrelle commune (9 individus), ainsi qu'un individu non déterminé du groupe des pipistrelles (1 individu) recensés entre le 6 juin 2024 et le 14 août 2024.

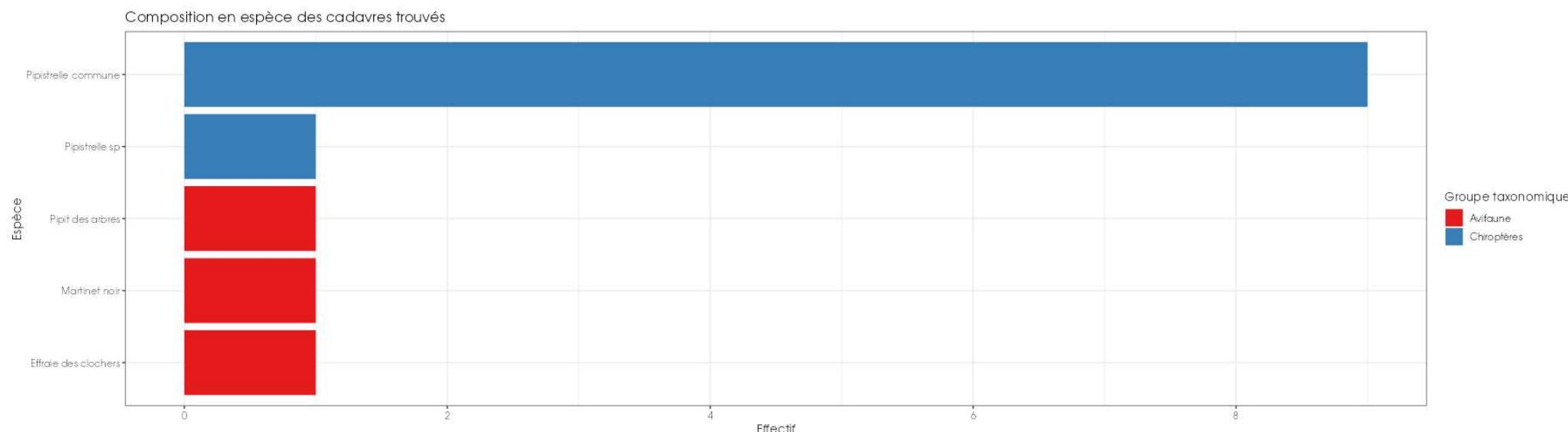


Figure 27 : Mortalité par espèce ou groupe d'espèces observée sur le parc éolien de Marcillé



Effraie des clochers



Pipistrelle commune

Figure 28 : Présentation de quelques photographies des cadavres découverts. © Biotope

Au niveau phénologique, on remarque que :

- Les cadavres d'oiseaux ont été observés sur une période de fin-juin à mi-juillet. Au regard des effectifs, il ne semble pas y avoir de pic important de mortalité qui se dégage sur la période de suivi et notamment pas en période de migration postnuptiale. Les espèces découvertes sont concernées à la fois en période de nidification (Martinet noir) et de migration/dispersion postnuptiale (Pipit des arbres) ;
- Les cadavres de chiroptères ont été observés sur deux périodes : un pic de découvertes de début-juin à fin-juin, ainsi que 2 individus en mi-août.

L'ensemble des individus découverts sont morts par barotraumatisme et/ou par collision avec les pales soit 100% des individus dont la mort est imputable aux éoliennes.

Historique de découverte des cadavres

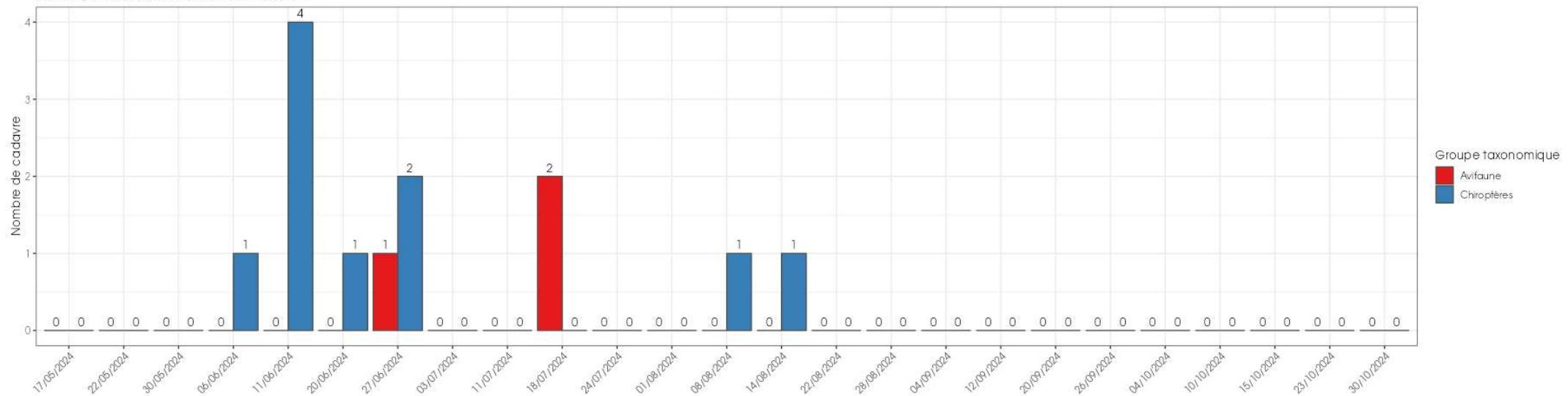


Figure 29 : Nombre de cadavres trouvés par passage sur le parc éolien de Marcillé

2.2.1.1 Suivi par éolienne

L'analyse par éolienne montre que les cadavres ont été retrouvés sous l'ensemble des éoliennes, sauf MAR05, avec des valeurs assez différentes entre elles. Pour les chiroptères, l'éolienne E01 possède le nombre de découvertes de cadavres le plus important avec 6 chiroptères. Les éoliennes MAR03 et MAR04 sont les seules éoliennes avec une mortalité d'oiseaux (respectivement 2 et 1 oiseaux). L'éolienne E05 ne présente aucun cadavre.

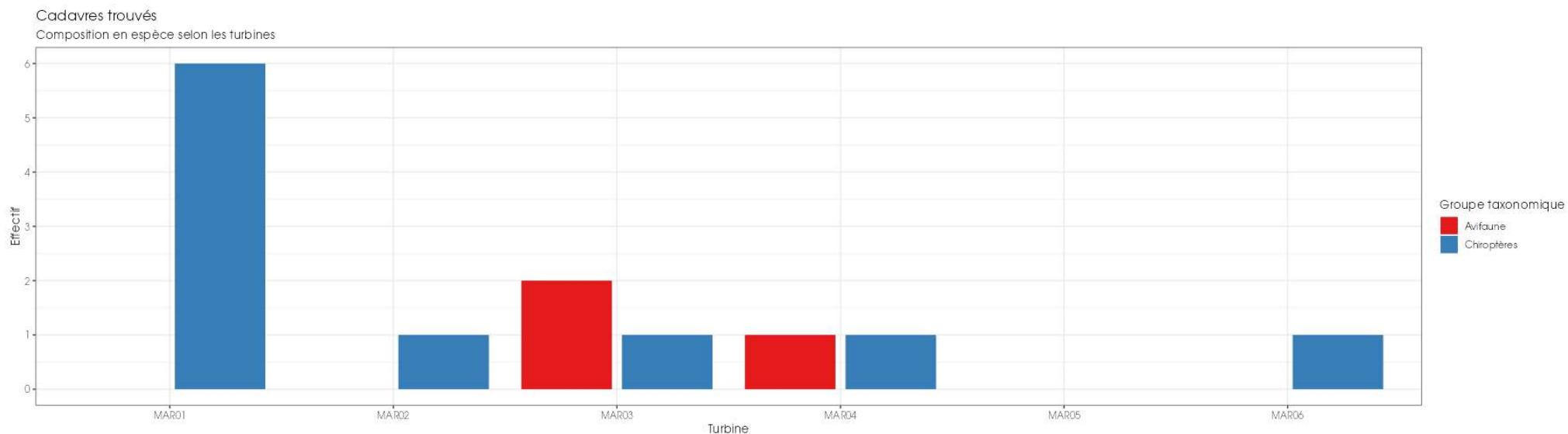


Figure 30 : Nombre de cadavres découverts par éolienne

Toutes les éoliennes sauf MAR05 présentent des cas de mortalité pour les chiroptères. MAR03 et MAR04 sont les seules éoliennes qui présentent des cas de mortalité pour l'avifaune. Les mortalités brutes recensées varient fortement entre les éoliennes, comprises entre 0 et 6 cadavres par éolienne et par groupe faunistique. La majorité des cadavres appartient au groupe des chiroptères (10 individus). L'éolienne MAR01 semble avoir un impact plus marqué que les autres machines sur la base des résultats bruts.

2.2.1.2 Répartition spatiale des observations

Les observations sont globalement réparties sur les distances prospectées. L'individu retrouvé le plus loin d'une éolienne est une Pipistrelle commune observée à 35m. Il n'y a aucune observation entre 36m et 50m qui est la distance prospectée la plus éloigné du mât des éoliennes.

Si l'on regarde la localisation des observations par rapport aux éoliennes suivies, les observations semblent équivalentes entre les deux groupes.

Les découvertes ont été plus fréquemment réalisées au Sud-Est et Nord-Ouest des éoliennes.

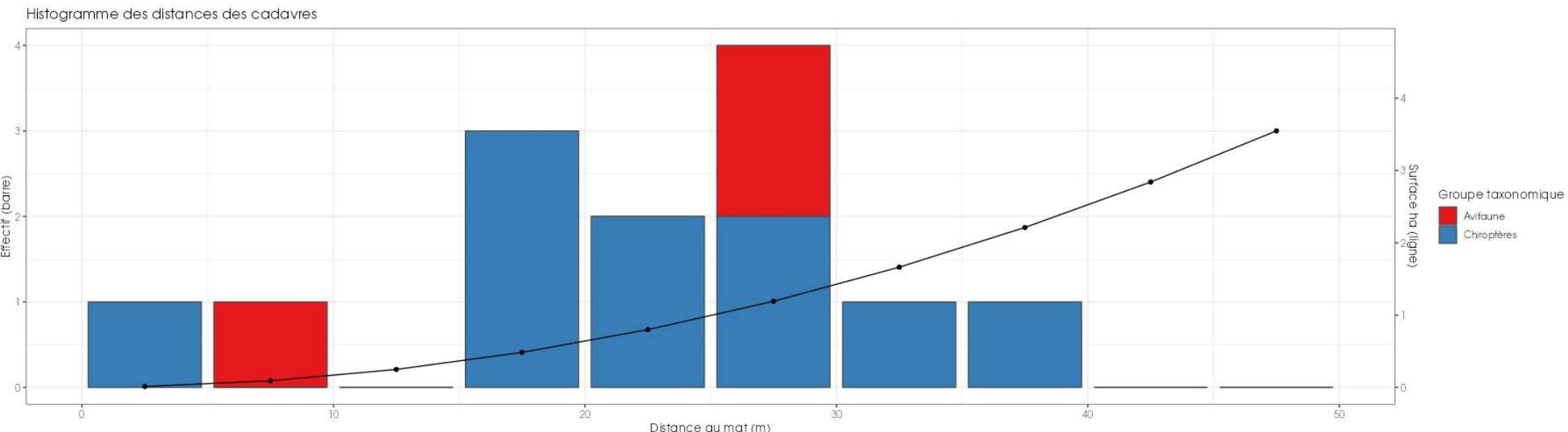


Figure 31 : Répartition spatiale (distance à l'éolienne) des cadavres retrouvés au sein du parc de Marcillé. La courbe représente l'évolution de la surface de l'aire d'étude prospectée en fonction de la distance au pied de l'éolienne.

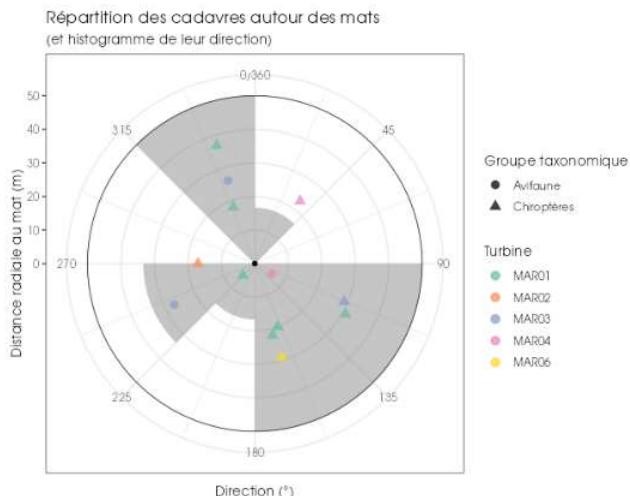


Figure 32 : Positionnement des observations par rapport au positionnement des éoliennes. En grisé, le cumul des observations en histogramme radial en fonction de l'orientation. Le cercle noir correspond au rayon de prospection maximale de la zone échantillonnée.

2.2.1.3 Description des oiseaux retrouvés

3 individus répartis au sein de 3 espèces ont été retrouvés et identifiés sous les éoliennes du parc de Marcillé : l'**Effraie des clochers** (1 individu), le **Martinet noir** (1 individu) et le **Pipit des arbres** (1 individu).

À titre de comparaison, Biotope a réalisé en 2024 un « **référentiel de mortalité brute** » cumulant l'ensemble des observations de cadavres d'oiseaux réalisées dans le cadre de suivis environnementaux au niveau métropolitain entre 2019 et 2023. Ce référentiel permet de faire un bilan des espèces a priori les plus sensibles au collision/barotraumatisme à l'échelle nationale.

On constate que le Martinet noir est une espèce fréquemment observée en France. En effet, sur les 84 espèces comptabilisées dans les suivis de mortalité réalisés par Biotope depuis 2019, elle est l'espèce la plus découverte en Métropole. Le Pipit des arbres et l'Effraie des clochers se situent respectivement au 45^{ème} et 61^{ème} rang de notre référentiel de mortalité brute.

De la même manière, la synthèse de données mise à disposition par Tobias Dürr (mise à jour le 09 août 2023) sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien en Europe permet de faire un bilan des espèces a priori les plus sensibles au collision/barotraumatisme à l'échelle européenne (base de données compilant des informations fournies de façon volontaire).

On constate que le Martinet noir est une espèce fortement impactée en Europe et en France. En effet, sur les 305 espèces comptabilisées dans les suivis de mortalité, elle fait partie des 10 espèces les plus découvertes en Europe et représente l'espèce la plus touchée en France d'après la base de Tobias Dürr. L'Effraie des clochers se situe au 66^{ème} rang européen et est assez peu commune pour la France (48^{ème} rang). Enfin, le Pipit des arbres est beaucoup moins fréquent en Europe (rang 81 pour l'Europe, 48 pour la France).

Pour rappel, les bases de données observationnelles, que ce soit celle de Biotope ou celle de Tobias Dürr présentent un intérêt comparatif qui reste toutefois limité. En effet, l'ensemble des biais et limites quant à l'effort de prospection associés à chaque découverte n'est pas intégré dans ce type de base de données. Aussi, ces observations ne représentent qu'une partie de la réalité de la mortalité réelle pour laquelle il reste impossible de vérifier leur concordance.

Par ailleurs, la base de données concernant l'avifaune mise à disposition par Tobias Dürr se base sur des observations transmises de manière volontaire. Elle permet, comme celle de Biotope, de comparer la mortalité observée sur le parc de Marcillé par rapport à celle recensée aux échelles nationale et européenne. Cependant, si elle donne une idée générale concernant les espèces touchées et leurs proportions, elle est loin d'être exhaustive. Les données françaises recueillies par Tobias Dürr proviennent d'une faible proportion de parcs Français. Il s'agit néanmoins de la synthèse Européenne la plus détaillée qui existe à ce jour et qui est confortée au niveau métropolitain par le « **référentiel de mortalité brute** » réalisé par Biotope en 2024.

Tableau 18 : Tableau de synthèse associant les données « empirique » de Dürr (mis à jour le 09/08/2023 ; Dürr, 2023) et le « Référentiel mortalité brut » de Biotope 2023 pour des oiseaux touchés par les parcs éoliens selon les pays d'Europe et en France métropolitaine. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre de cadavres brut.

Espèce/Pays	Rang Europe	Rang France	Rang FR Biotope	A	BE	D	E	NL	PT	Rang Marcillé
Martinet noir	6 (728)	1 (433)	1 (110)	7 (14)	17 (4)	7 (170)	14 (75)	17 (5)	7 (18)	1 (1)
Effraie des clochers	66 (33)	48 (8)	61 (1)			36 (15)	44 (6)	19 (3)		1 (1)
Pipit des arbres	81 (17)	48 (8)	45 (2)				48 (2)			1 (1)

Légende : A = Autriche, BE = Belgique, D = Allemagne, E = Espagne, FR = France, NL = Hollande, PT = Portugal

Si l'on se réfère à l'étude d'impact réalisée en 2013, on constate que seul le Martinet noir avait été contacté lors de l'état initial, à l'opposé des autres espèces qui n'ont pas été observées lors des inventaires réalisés et traités dans cette étude.

2.2.1.3.1. Évaluation des enjeux

Le Tableau 19 présente les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sur le parc de Marcillé à l'échelle régionale, française et européenne.

Le Martinet noir a un statut « quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs au niveau national.

Tableau 19 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces d'oiseaux touchées par le parc éolien de Marcillé

Espèces	Protection nationale	Directive Oiseaux	Liste rouge Europe (2021)	Liste rouge France nicheur (2016)	Liste rouge nicheur Bretagne (2015)	Liste rouge migrateur Bretagne (2015)
Pipit des arbres	Article 3		LC	LC	LC	LC
Effraie des clochers	Article 3		LC	LC	DD	DD
Martinet noir	Article 3		NT	NT	LC	LC

Légende :

Protection nationale

Arrêté interministériel du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection : Article 3 : protection stricte des individus et de leurs habitats de reproduction et de repos.

Directive Oiseaux

- Il s'agit de la DIRECTIVE 2009/147/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 30 novembre 2009 concernant la conservation des oiseaux sauvages. Elle vise à assurer une protection de toutes les espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen.
- Annexe I : espèces faisant l'objet de mesures spéciales de conservation en particulier en ce qui concerne leur habitat (Zone de Protection Spéciale).
- Annexe II : espèces pouvant être chassées :
 - Partie 1 (A.II.1) : espèces pouvant être chassées dans la zone géographique maritime et terrestre d'application de la présente directive ;
 - Partie 2 (A.II.2) : espèces pouvant être chassées seulement dans les États membres pour lesquels elles sont mentionnées.
- Annexe III : espèces pouvant être commercialisées :
 - Partie 1 (A.III.1) : espèces pour lesquelles la vente, le transport pour la vente, la détention pour la vente ainsi que la mise en vente ne sont pas interdites, pour autant que les oiseaux aient été licitement tués ou autrement licitement acquis ;
 - Partie 2 (A.III.2) : espèces pour lesquelles les États membres peuvent autoriser sur le territoire la vente, le transport pour la vente, la détention pour la vente ainsi que la mise en vente et à cet effet prévoir des limitations, pour autant que les oiseaux aient été licitement tués ou capturés ou autrement licitement acquis.

Listes rouges

- BirdLife International (2021) European Red List of Birds. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine (IUCN France, MNHN, LPO, SEO/FN et ONCFS, 2016).
- GIP Bretagne Environnement. Liste rouge régionale et Responsabilité biologique régionale. Oiseaux nicheurs et oiseaux migrateurs de Bretagne (2015).
- DD : non évalué, LC : Préoccupation mineure, NT : Quasi menacé, VU : Vulnérable.

Espèces déterminantes

- Espèces déterminantes de la Région Bretagne : Espèces nicheuses
- Site Internet DREAL Bretagne : http://www.bretagne.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=637

2.2.1.1 Description des chauves-souris retrouvées

10 individus répartis au sein d'une espèce et un groupe d'espèces ont été retrouvés morts sur le parc de Marcillé, la **Pipistrelle commune** (13 individus) et le **groupe des pipistrelles** (1 individu).

La Pipistrelle commune est une espèce assez sédentaire. Elle s'éloigne ainsi peu de son domaine vital. Les individus touchés sont donc probablement issus de colonies locales, proches du parc éolien (quelques kilomètres).

À titre de comparaison, Biotope a réalisé en 2024 un « **référentiel de mortalité brute** » cumulant l'ensemble des observations de cadavres de chiroptères réalisé dans le cadre de suivis environnementaux au niveau métropolitain depuis 2019. Ce référentiel permet de faire un bilan des espèces a priori les plus sensibles au collision/barotraumatisme à l'échelle nationale.

On constate que la Pipistrelle commune est l'espèce la plus fréquemment observée en France. En effet, sur les 13 espèces ou groupes d'espèces comptabilisés dans les suivis de mortalité réalisés par Biotope depuis 2019, elle est l'espèce la plus découverte en Métropole.

De la même manière, la synthèse de données disponibles de Tobias Dürr (mise à jour le 9 août 2023) sur les cadavres de chauves-souris relate que la Pipistrelle commune est l'espèce la plus touchée par les parcs éoliens à l'échelle européenne et à l'échelle française.

Pour rappel, les bases de données observationnelles, que ce soit celle de Biotope ou celle de Tobias Dürr présentent un intérêt comparatif qui reste toutefois limité. En effet, l'ensemble des biais et limites quant à l'effort de prospection associés à chaque découverte n'est pas intégré dans ce type de base de données. Aussi, ces observations ne représentent qu'une partie de la réalité de la mortalité réelle pour laquelle il reste impossible de vérifier leur concordance.

Par ailleurs, la base de données concernant les chiroptères mise à disposition par Tobias Dürr se base sur des observations transmises de manière volontaire. Elle permet, comme celle de Biotope, de comparer la mortalité observée sur le parc de Marcillé par rapport à celle recensée aux échelles nationale et européenne. Cependant, si elle donne une idée générale concernant les espèces touchées et leurs proportions, elle est loin d'être exhaustive. Les données françaises recueillies par Tobias Dürr proviennent d'une faible proportion de parcs Français. De plus, ces chiffres sont des approximations car on note une grande part d'individus indéterminés au sein de chaque genre (Pipistrelle indéterminée, Noctule indéterminée, etc.). De même, pour un grand nombre d'individus, même le genre n'a pas pu être déterminé du fait, entre autres, de leur état de décomposition avancée et/ou de la non-présence de spécialistes à proximité capables d'identifier notamment les pipistrelles grâce à leur dentition. Toutefois Il s'agit néanmoins de la synthèse Européenne la plus détaillée qui existe à ce jour et qui est confortée au niveau métropolitain par le « **référentiel de mortalité brute** » réalisé par Biotope en 2024.

Tableau 20 : Tableau de synthèse associant les données « empirique » de Dürr (mis à jour le 09/08/2023) et le « Référentiel mortalité brut » de Biotope 2024 pour des chiroptères touchés par les parcs éoliens selon les pays d'Europe et en France métropolitaine.

Espèce/ Pays	Rang Europe	Rang France	Rang FR Biotope	A	BE	D	ES	PT	Rang Marcillé (effectif)
Pipistrelle commune	1 (3401)	1 (1931)	1 (411)	4 (2)	1 (30)	3 (802)	1 (211)	1 (323)	1 (9)

Légende : A = Autriche, BE = Belgique, D = Allemagne, ES = Espagne, FR = France, PT = Portugal

Si l'on se réfère à l'étude d'impact réalisée en 2013, on constate que la Pipistrelle commune est l'une des espèces identifiées dans ce document, qui est la seule espèce observée lors du suivi réalisé en 2024.

La plupart des chauves-souris effectue des déplacements entre leurs gîtes estivaux et leurs gîtes d'hibernation, variant de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres. Quatre espèces effectuent cependant de véritables migrations, parcourant parfois plus de 1 000 km : la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine bicolore (Hutterer et al. 2005). Ces espèces se reproduisent en Europe du Nord et de l'est. Les jeunes naissent entre juin et fin juillet et s'émancipent au bout de quelques semaines. On assiste donc à une migration automnale, dès le mois d'août, d'individus qui reviennent des sites de mise-bas du nord et de l'est de l'Europe pour venir s'accoupler et hiberner en Europe de l'Ouest. Ces mouvements concernent essentiellement les femelles et les jeunes, à l'exception de la Sérotine bicolore où la majorité des données en période de migration concernent des mâles. Au printemps, les femelles retournent sur leur site de mise-bas. Des colonies de mise-bas sont également présentes en France, bien que rares. Cependant, cette rareté peut être liée à un manque de connaissances, de nouvelles colonies étant découvertes chaque année, notamment pour les noctules (Arthur & Lemaire, 2015).

La Pipistrelle commune fait partie des espèces les plus impactées par les parcs éoliens en fonctionnement (en Europe : Gaultier et al., 2020). Les chiroptères sont des animaux ayant une longue espérance de vie mais une faible fécondité,

entrant un faible renouvellement des populations. Une forte mortalité des adultes est donc particulièrement dommageable pour les populations (Arthur & Lemaire, 2015).

2.2.1.1.1. Évaluation des enjeux

Le Tableau 21 ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces de chauves-souris retrouvées sur le parc de Marcillé à l'échelle de la France et de l'Europe. La Pipistrelle commune est strictement protégée en France et dans l'Union Européenne. Elle est par ailleurs considérée comme patrimoniale en France car quasi menacée.

Tableau 21 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces de chauves-souris touchées par le parc de Marcillé

Espèce	Directive Habitats	Protection nationale	Liste rouge Europe (2012)	Liste rouge France (2017)	Liste rouge Bretagne (2015)
Pipistrelle commune	Annexe IV	Article 2	LC	NT	LC

Légende :

Protection nationale Arrêté interministériel du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection (modif. Arrêté du 15 septembre 2012) : Article 2 : protection stricte des individus et de leurs habitats de reproduction et de repos.

Directive Habitats : L'annexe IV de la directive européenne 92/43/CEE du 21 mai 1992, dite directive « Habitats / Faune / Flore », liste les espèces animales et végétales d'intérêt européen qui nécessitent une protection stricte sur le territoire des états membres de l'Union européenne.

Listes rouges Europe, France et Bretagne

- Liste rouge européenne des espèces menacées (IUCN, 2012)
- Liste rouge des espèces menacées en France, Mammifères de France métropolitaine (IUCN France & MNHN, 2017)
- GIP Bretagne Environnement (2015). Liste rouge régionale et Responsabilité biologique régionale. Reptiles et batraciens de Bretagne LC : Préoccupation mineure, NT : Quasi menacé, VU : Vulnérable

2.2.1.1 Evaluation de tendance à travers les quantiles de mortalité brute

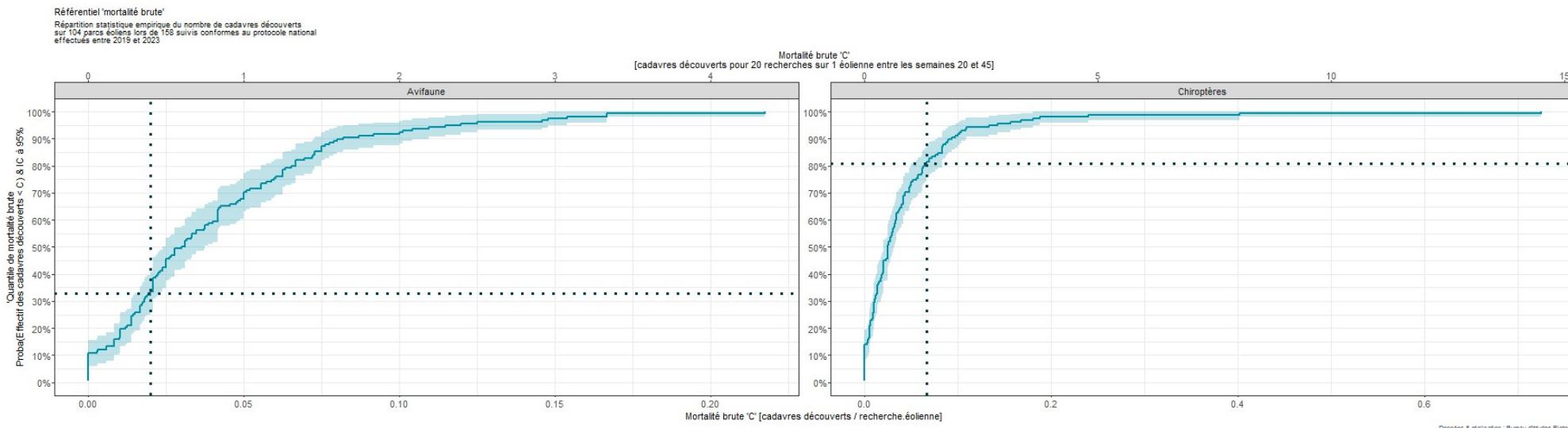


Figure 33 : Projection du ‘quantile de mortalité’ en fonction de la mortalité brute de votre parc à travers la répartition empirique du nombre de cadavres découverts sur les parcs éoliens suivis par Biotope (de 2019 à 2023).

Cette représentation graphique repose sur les données extraites du référentiel de mortalité brute élaboré par Biotope. Ce référentiel synthétise l'intégralité des informations relatives aux cadavres d'oiseaux et de chiroptères recueillis entre 2019 et 2023 dans les parcs éoliens suivis. Le graphique permet d'obtenir un « quantile de mortalité brute » en fonction de la mortalité brute 'C' calculée par recherche éolienne, correspondant au nombre de passage multiplié par le nombre d'éolienne du parc. En résulte un nombre de cadavre par recherche-éolienne pour les deux groupes taxonomiques.

Au sein du parc éolien de Marcillé, il a été observé un total de 3 cadavres d'oiseaux et 10 cadavres de chiroptères. Pendant le suivi, 6 éoliennes ont été suivies durant 25 passages. Cela conduit à une mortalité brute 'C' de 0,02 cadavres par recherche-éolienne pour les oiseaux et de 0,07 cadavres par recherche-éolienne pour les chiroptères.

En utilisant le graphique comme référence, nous déterminons un quantile de mortalité brute de 33% pour les oiseaux et de 81% pour les chiroptères. Cette analyse graphique nous permet de constater que la mortalité brute du parc de Marcillé est parmi les 19% les plus élevés du référentiel pour les chiroptères, et parmi les 33% les plus faibles pour les oiseaux.

Il est important de noter que ces valeurs ne constituent qu'une alerte sur un potentiel risque de significativité, et doivent être interprétées en conjonction avec les autres indicateurs. Cependant, il semble que le parc étudié présente une tendance à une mortalité brute plus élevée pour les chiroptères et une mortalité brute plus faible pour l'avifaune que les autres parcs surveillés par Biotope depuis 2019. Cependant, il convient de souligner une nouvelle fois que cette interprétation, prise individuellement, ne permet pas de tirer des conclusions définitives quant à la signification potentielle de l'impact du parc de Marcillé sur les populations d'oiseaux et de chiroptères.

2.2.2 Analyse des résultats

Dans le cadre de cette étude, plusieurs formules ont été utilisées pour estimer la mortalité du parc éolien. Comme recommandé dans le protocole national, il s'agit des formules de Huso (2010), Erickson et al. (2000) et Korner-Nievergelt et al. (2011). Les tableaux suivants détaillent les différents résultats des différentes étapes de calcul nécessaires aux estimations de mortalités.

2.2.2.1 Occupation du sol et zones prospectées

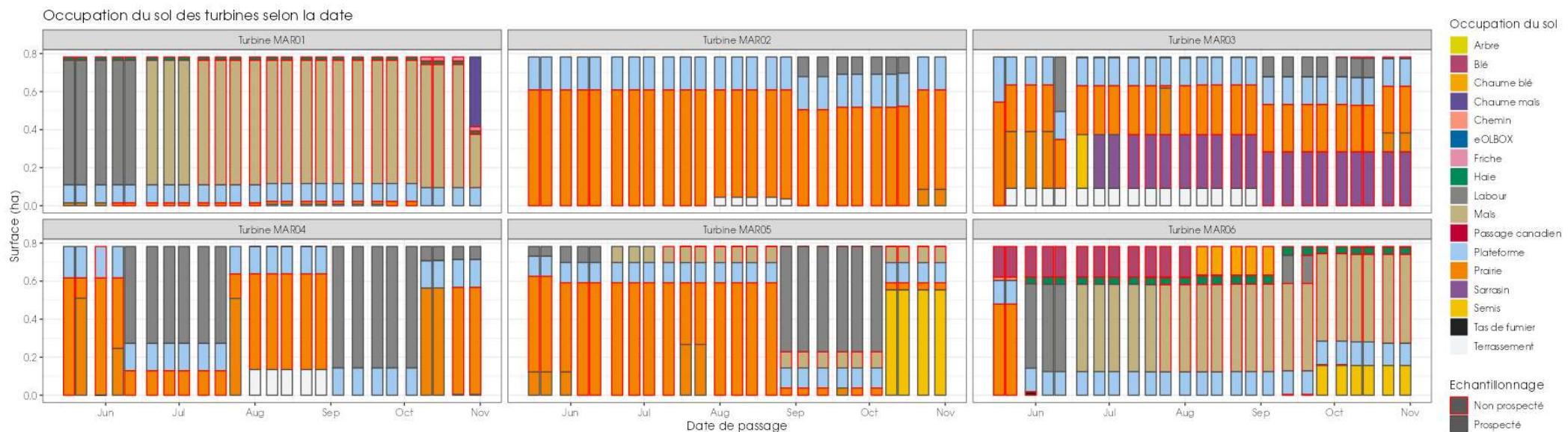
Sur l'ensemble du suivi, les zones prospectées ont subi une forte évolution de l'occupation du sol (cf. Tableau 22, Figure 34, 35 et 36). Le couvert végétal dans les zones de recherche influence directement les capacités de l'observateur à détecter les cadavres (Domínguez del Valle et al., 2020). Les milieux herbacés hauts ($> 30/40$ cm) et denses sont incompatibles avec les suivis. Ainsi, dès lors que la végétation correspondait à ce type d'occupation du sol, l'efficacité de recherche a été considérée comme nulle et les parcelles non prospectées.

Dans le cadre de cette étude, la végétation a été la seule contrainte dans la recherche de cadavres où pour certains passages, les recherches n'ont pas pu être menées sur la totalité des surfaces à prospector.

L'ensemble de ces événements a été intégré dans les modalités de calcul par 1) le coefficient correcteur de surface et 2) le coefficient d'efficacité de recherche.

Tableau 22 : Bilan de l'occupation du sol pour les six éoliennes sur l'ensemble de la période de suivi. Représentation en pourcentage des surfaces cumulées des différentes occupations du sol observées par éolienne et pour le parc sur l'ensemble de la période de suivi (25 passages). Les zones en gris foncé représentent les occupations du sol non prospectables tout ou partie du suivi (efficacité de recherche nulle), et en blanc les occupations du sol qui ont été prospectables la majeure partie de l'année de suivi (non prospectable que ponctuellement).

Milieux	E01	E02	E03	E04	E05	E06	Total
Arbre	-	-	-	-	0,0%	-	0,0%
Blé	-	-	-	-	-	9,9%	1,6%
Chaume blé	-	-	-	-	-	3,9%	0,6%
Chaume maïs	1,9%	-	-	-	-	-	0,3%
Chemin	-	-	-	-	-	0,2%	0,0%
eOLBOX	-	-	-	-	-	0,0%	0,0%
Friche	0,4%	-	0,2%	-	-	0,1%	0,1%
Haie	2,3%	-	-	-	-	4,8%	1,2%
Labour	16,8%	3,4%	5,2%	33,4%	18,8%	8,5%	14,3%
Maïs	64,7%	-	-	-	8,7%	47,0%	20,1%
Passage canadien	-	-	0,2%	0,1%	-	-	0,0%
Plateforme	12,1%	22,2%	19,1%	18,8%	13,5%	15,7%	16,9%
Prairie	1,6%	73,3%	39,4%	44,3%	47,7%	5,0%	35,2%
Sarrasin	-	-	27,5%	-	-	-	4,6%
Semis	-	-	1,4%	-	11,3%	4,8%	2,9%
Tas de fumier	-	-	-	-	-	0,1%	0,0%
Terrassement	0,3%	1,1%	7,0%	3,4%	-	-	2,0%
Total	100 %	100 %	100 %	100%	100%	100%	100%



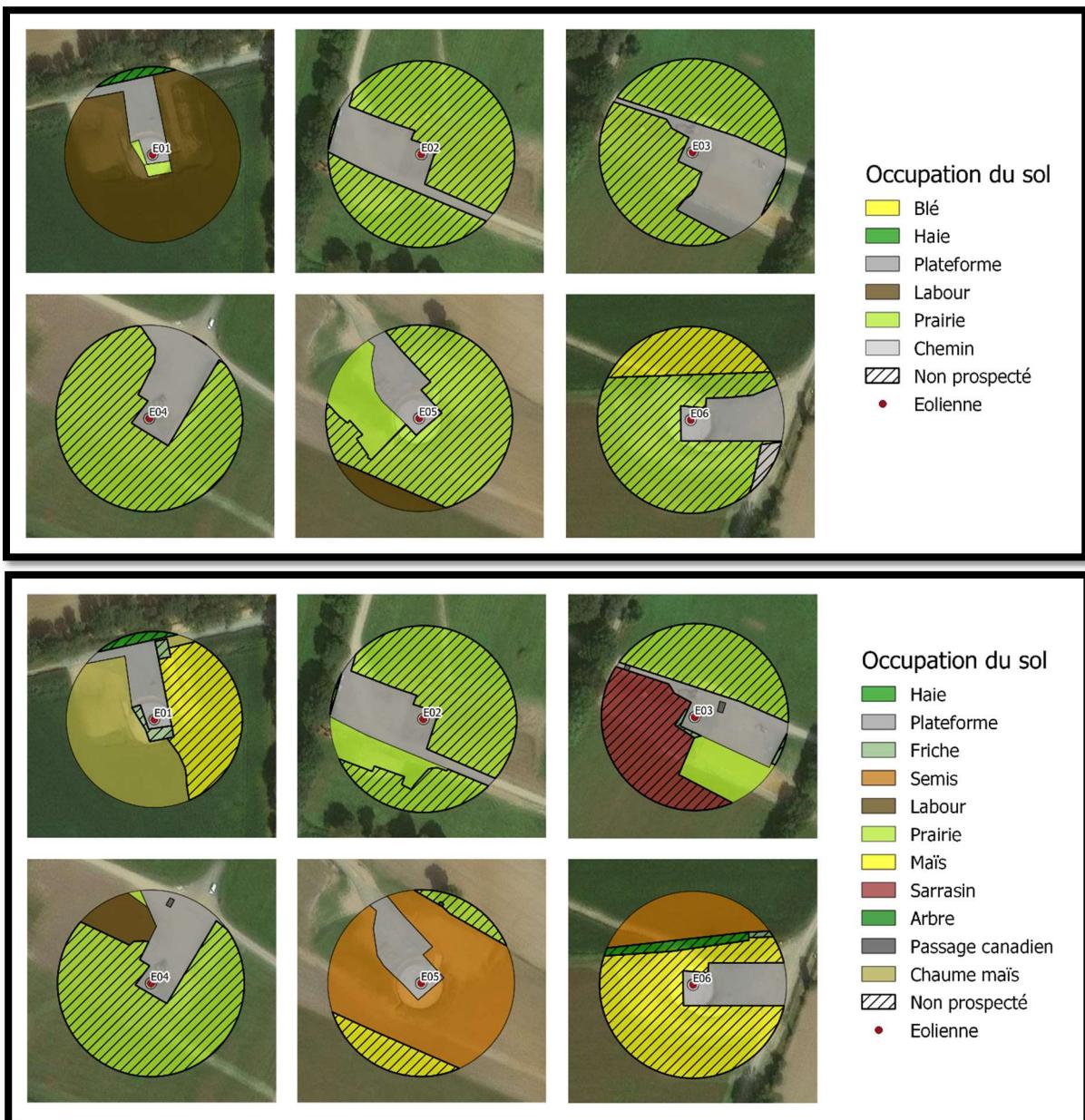


Figure 35 : Occupation du sol pour les éoliennes E01, E02, E03, E04, E05 et E06 le 17 mai 2024 (premier passage en haut) et le 30 octobre 2024 (dernier passage en bas)

2.2.2.2 Évolution du taux de surface prospectée

Du fait principalement de l'évolution de la végétation, l'ensemble des surfaces n'ont pas pu être prospectées tout au long du suivi. Ce taux de surface prospectée est variable dans le temps et différent pour chaque éolienne suivie.

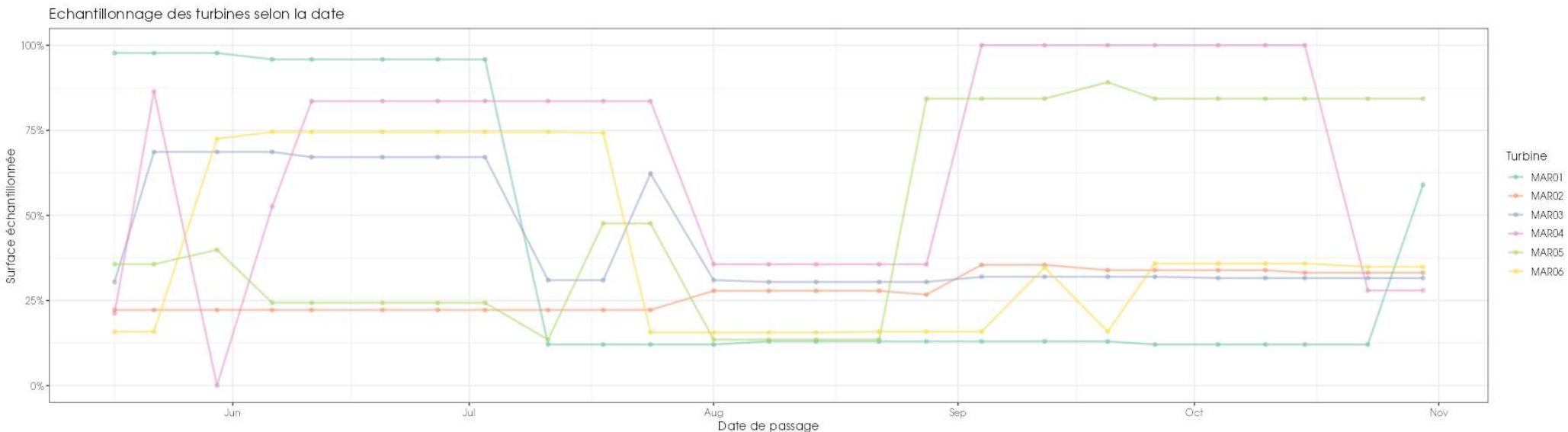


Figure 36 : Evolution du pourcentage de surface prospectée par passage

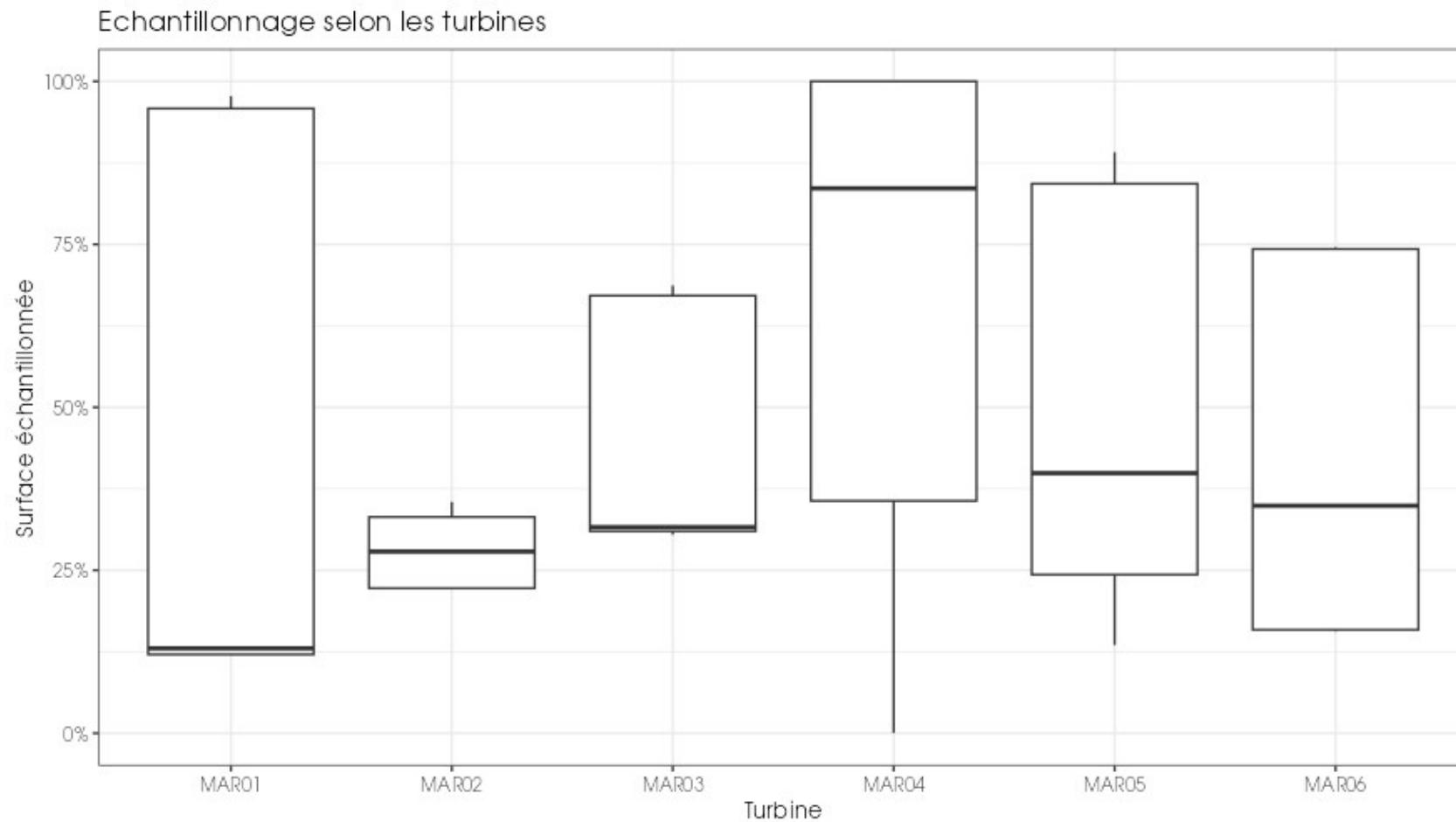


Figure 37 : Synthèse (boîte à moustache) du pourcentage de surface prospectée par passage par éolienne sur l'ensemble du suivi (de bas en haut : minimum, 1er quartile, médiane en gras, 3ème quartile, maximum)

2.2.2.3 Résultats des tests et calcul des coefficients correcteurs

2.2.2.3.1 Coefficient correcteur de surface (a)

Afin d'intégrer les surfaces non prospectées/non prospectables, nous avons calculé un coefficient de surface correspondant au taux de prospection de chaque passage de l'éolienne considérée (Tableau 23). La moyenne pondérée (par le temps entre passages) est le résultat retenu pour le calcul d'estimation de la mortalité par éolienne. Les coefficients correcteurs de surface moyens sont assez faibles (allant de 0,28 à 0,67). Ceci est lié à des périodes avec des parcelles non prospectables pour des durées et des surfaces différentes suivant l'éolienne.

Tableau 23 : Statistiques descriptives du coefficient correcteur de surface calculé sur l'ensemble des 25 passages

	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Quantile 2.5%	0,12	0,22	0,30	0,13	0,14	0,16
Premier quartile	0,12	0,22	0,31	0,36	0,24	0,16
Moyenne	0,41	0,28	0,43	0,67	0,50	0,40
Moyenne pondérée	0,38	0,28	0,43	0,68	0,50	0,41
Médiane	0,13	0,28	0,32	0,84	0,40	0,35
Troisième quartile	0,96	0,33	0,67	1,00	0,84	0,74
Quantile 97.5%	0,98	0,36	0,69	1,00	0,86	0,75

2.2.2.3.1 Coefficient de persistance (s)

À la suite des tests de persistance et aux analyses statistiques basées sur la sélection de modèles, nous avons retenu comme modèle le plus parcimonieux (AIC weight = 1) : « **Surv(time = last_present, time2 = first_absent, event = event, type = "interval") ~ Turbid + 1** » en utilisant une famille de distribution « weibull ». Cela veut dire que la durée de persistance est variable entre les différentes éoliennes.

Durées de persistances moyennes et médianes des cadavres

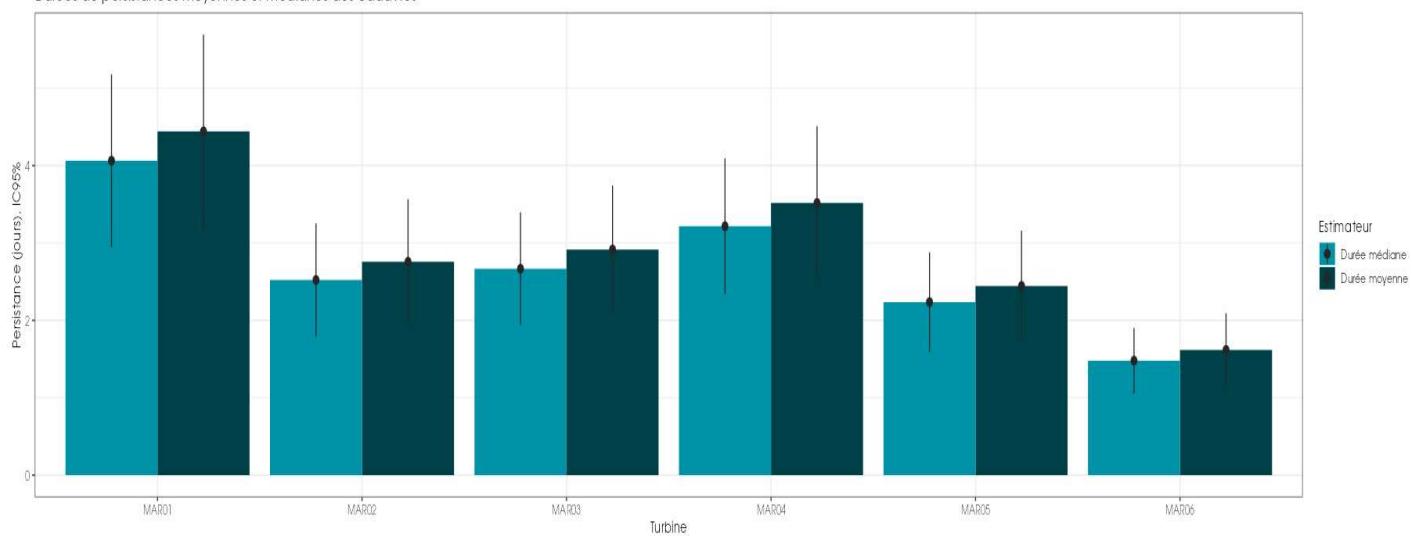


Figure 36 : Durées de persistances moyennes et médianes accompagnées des incertitudes (intervalles de confiance à 95%) des cadavres pour chaque test de prédation

Nous pouvons discerner deux éoliennes qui se démarquent de l'ensemble avec des durées de persistance relativement différentes. En effet, MAR01 a une durée de persistance moyenne, plus forte que les autres éoliennes, autour des 4.4 jours, c'est-à-dire qu'un cadavre disparaît en moyenne après 4.4 jours. Au contraire, MAR06 possède une durée de persistance bien plus faible, de 1.6 jours. Le reste des éoliennes (MAR02, MAR03, MAR04 et MAR05) ont une moyenne entre 2.4j et 3.5j. Les intervalles de confiance montrent que l'évaluation de la prédation est assez bonne en illustre une incertitude modérée, voire faible (Tableau 24 ; Figure 36).

Tableau 24 : Résultats des estimations des durées moyennes de persistance et leur intervalle de confiance à 95% pour les deux tests de persistance pour chacune des six éoliennes. Les durées moyennes de persistance sont les valeurs retenues comme coefficient correcteur pour les estimations de mortalité.

Résultats des tests de persistances	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Persistante moyenne (en jours)	4,4	2,8	2,9	3,5	2,4	1,6
Intervalle de confiance à 95%	[3,19 ; 5,69]	[1,95 ; 3,57]	[2,09 ; 3,74]	[2,53 ; 4,51]	[1,73 ; 3,16]	[1,14 ; 2,09]

2.2.2.3.2. Coefficient d'efficacité de recherche (f)

À la suite des tests d'efficacité de recherche, et aux analyses statistiques basées sur la sélection de modèles, nous avons retenu comme modèle le plus parcimonieux (AIC weight = 0.32) : « Trouve ~ Turbid + 1 » en utilisant la famille de distribution « binomial ». Nous avons ainsi pu déterminer les probabilités de détection pour toutes les éoliennes prospectées par l'observateur durant le suivi (Tableau 25).

Tableau 25 : Taux d'efficacité de recherche (et intervalles de confiance à 95%) calculés (observés) et prédis (estimations et interpolations) par éolienne.

Eoliennes	Détections prédictes	Détections observées	Type de prédiction
E01	1 [0 ; 1]	1 [1 ; 1]	Estimation
E02	0,92 [0,58 ; 0,99]	0,92 [0,75 ; 1]	Estimation
E03	0,84 [0,69 ; 0,92]	0,84 [0,72 ; 0,93]	Estimation
E04	0,6 [0,34 ; 0,81]	0,6 [0,33 ; 0,87]	Estimation
E05	1 [0 ; 1]	1 [1 ; 1]	Estimation
E06	1 [0 ; 1]	1 [1 ; 1]	Estimation

Les taux d'efficacité prédis des zones prospectées sont très variables en fonction des éoliennes. Ils sont globalement satisfaisants avec une gamme de valeurs allant de 0,6 au minimum (E04) à 1 au maximum (E1, E5 et E6) suivant les éoliennes prospectées.

2.2.2.4 Estimation de la mortalité

Les calculs d'estimation de mortalité ont été réalisés strictement à partir des cadavres trouvés et pour lesquels l'origine de la mort est imputable de façon certaine aux éoliennes. Par ailleurs, seules les observations réalisées à partir du 2^{ème} passage ont été prises en compte. En effet, les observations faites au 1^{er} passage concernent des cas de mortalité qui ne se sont pas produits pendant la période du suivi mais antérieurement à celui-ci. Ainsi, le 1^{er} passage permet d'établir un état zéro afin de garantir que toute nouvelle découverte de cadavre s'est bien produite dans l'intervalle précédent chaque passage.

La probabilité de détection P(s,f) est très faible de manière générale (entre 0.17 et 0.54 suivant les méthodes) et le coefficient surfacique (a) est assez faible également (entre 28% et 68% de surfaces prospectées). Par la combinaison des deux, les probabilités globales de détection varient de 0.07 à 0.21, c'est à dire un facteur démultiplificateur moyen de la mortalité observée allant respectivement de 4.87 à 14.35. **En ordre de grandeur, la mortalité probable de chaque éolienne est entre 5 et 14 fois plus importante que celle observée suivant les éoliennes et la méthode d'estimation sélectionnée. De plus, les intervalles de confiance sont de fait plutôt importants (détection globale faible).**

L'éolienne E06 est l'éolienne qui a la plus faible probabilité de détection globale, E01 a les probabilités de détection globale les plus fortes mais qui reste dans l'absolu assez faibles. E02, E03, E04 et E05 sont intermédiaires.

Tableau 26 : Bilan des probabilités globales de détection par méthode d'estimation

	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Probabilité détection $P(s,f)$						
Huso (2010)	0,51	0,34	0,32	0,26	0,34	0,24
Erickson et al. (2000)	0,51	0,34	0,33	0,28	0,34	0,24
Korner-Nievergelt et al. (2011)	0,54	0,31	0,3	0,26	0,29	0,17
Coefficient correcteur de surface a						
Taux surfaces prospectées pondérées par le temps	0,38	0,28	0,43	0,68	0,50	0,41
Probabilité globale de détection $a \times P(s,f)$						
Huso (2010)	0,19	0,10	0,14	0,18	0,17	0,10
Erickson et al. (2000)	0,19	0,10	0,14	0,19	0,17	0,10
Korner-Nievergelt et al. (2011)	0,21	0,09	0,13	0,18	0,15	0,07

2.2.2.4.1. Estimation de la mortalité pour l'avifaune

- **Éolienne E03**

C'est l'éolienne qui présente, à la fois, le plus de découverte de cadavres ($n=2$) et la mortalité probable la plus forte. Les estimations de mortalité, selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E03, sont de 5 individus sur une période de 166 jours de suivi. Les intervalles de confiance donnent des effectifs maximum (IC 95%) allant de 20 à 23 individus et minimum de 2 individus.

- **Éolienne E01**

L'éolienne E01 est celle qui présente les estimations de mortalité probable les plus faibles, ainsi que les plus faibles incertitudes. Le nombre maximum (IC 95%) de l'effectif impacté est de 9 oiseaux. Les estimations de mortalité, selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E01, sont de 0 individu sur une période de 166 jours de suivi.

Tableau 27 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) des oiseaux au sein du parc de Marcillé sur la période du suivi (166 jours)

Estimateurs	E01	E02	E03	E04	E05	E06	Total parc
Mortalité observée des oiseaux	0	0	2	1	0	0	3
Huso (2010) [IC 95%]	0 [0 ;9]	0 [0 ;11]	5 [2 ;22]	3 [1 ;12]	0 [0 ;9]	0 [0 ;11]	20 [6 ;52]
Erickson et al. (2000) [IC 95%]	0 [0 ;9]	0 [0 ;11]	5 [2 ;20]	3 [1 ;12]	0 [0 ;9]	0 [0 ;11]	20 [6 ;51]
Korner-Nievergelt et al. (2011) [IC 95%]	0 [0 ;9]	0 [0 ;12]	5 [2 ;23]	3 [1 ;13]	0 [0 ;10]	0 [0 ;13]	21 [6 ;57]

- **Ensemble du parc**

Sur l'ensemble du parc, la mortalité estimée totale la plus probable des oiseaux est de 20 à 21 individus sur l'ensemble du suivi. En prenant les incertitudes (IC 95%), les effectifs impactés sont de 6 individus au minimum et de 51 à 57 individus au maximum pour l'ensemble du parc, ce qui correspond à une incertitude moyenne.

Les 3 observations ont été réalisées sur 22 jours. La période d'observation des cadavres est de 3 semaines (de fin-juin à mi-juillet).

L'éolienne E03 présente la plus forte estimation probable de mortalité à l'échelle du parc, puis E04 en deuxième position. Les éoliennes E01, E02, E05 et E06 ont des incertitudes importantes ne permettent pas de distinguer facilement l'impact des éoliennes les unes des autres.

Synthèse des résultats du suivi de mortalité
Nombre d'individus morts au cours de la période d'étude (166 jours)

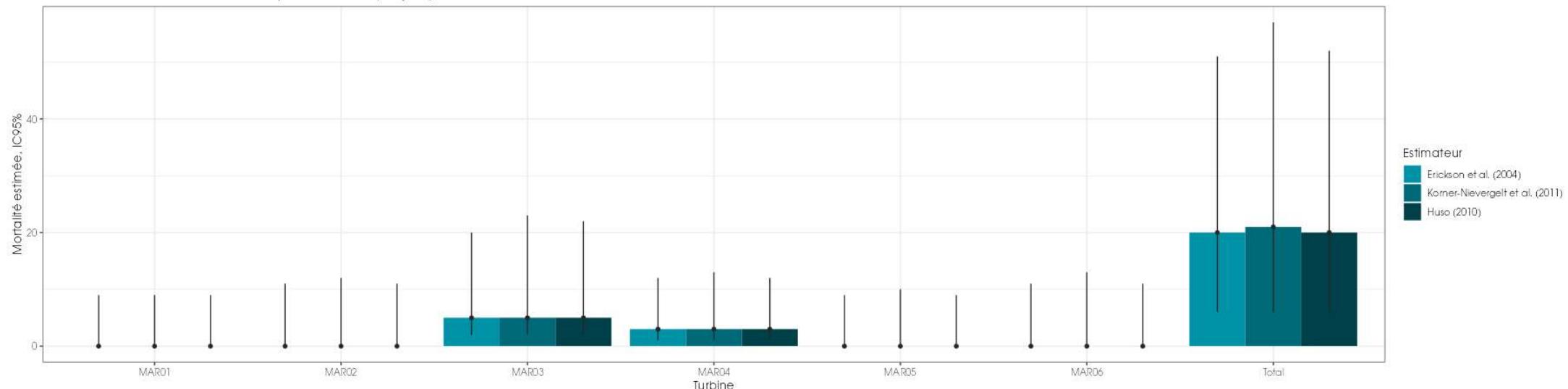


Figure 37 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les oiseaux pour le parc éolien de Marcillé au cours du suivi de 2024 sur 166 jours

2.2.2.4.2. Estimation de la mortalité des chiroptères

- **Éolienne E01**

C'est l'éolienne qui présente, à la fois, le plus de découvertes de cadavres (n=6) et la mortalité probable la plus forte. Les estimations de mortalité selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E01 sont comprises entre 18 et 19 individus sur une période de 166 jours de suivi. Les intervalles de confiance donnent des effectifs maximum (IC 95%) allant de 41 à 42 individus et minimum allant de 9 à 10 individus. Les 6 observations ont été réalisées sur une période assez étendue entre le 6 juin 2024 et le 14 août 2024.

- **Éolienne E05**

L'éolienne E05 est celle qui présente les estimations de mortalité probable les plus faibles, ainsi que les plus faibles incertitudes. Les estimations de mortalité selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E05 sont comprises entre 2 et 4 individus sur une période de 166 jours de suivi. Les intervalles de confiance donnent des effectifs maximum (IC 95%) allant de 16 à 19 individus et minimum de 0 individu.

Tableau 28 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) de chiroptères au sein du parc de Marcillé sur la période du suivi (166 jours)

Estimateurs	E01	E02	E03	E04	E05	E06	Total parc
Mortalité observée des chiroptères	6	1	1	1	0	1	10
Huso (2010) [IC 95%]	18 [9 ; 42]	8 [2 ; 28]	7 [2 ; 23]	6 [1 ; 20]	2 [0 ; 17]	9 [1 ; 26]	65 [35 ; 114]
Erickson et al. (2000) [IC 95%]	18 [9 ; 42]	9 [1 ; 26]	7 [1 ; 22]	7 [1 ; 20]	2 [0 ; 16]	9 [2 ; 27]	62 [33 ; 111]
Korner-Nievergelt et al. (2011) [IC 95%]	19 [10 ; 41]	10 [2 ; 29]	8 [2 ; 25]	7 [2 ; 21]	4 [0 ; 19]	9 [2 ; 32]	67 [37 ; 124]

- **Ensemble du parc**

Sur l'ensemble du parc, la mortalité estimée totale la plus probable des chiroptères est comprise entre 62 et 67 individus sur la durée du suivi. En prenant les incertitudes (IC 95%), les effectifs impactés sont de 33 à 37 individus au minimum et de 111 à 124 individus au maximum pour l'ensemble du parc ce qui correspond à une incertitude assez importante.

Les 10 observations ont été réalisées sur 69 jours centrés sur la période estivale (du 6 juin au 14 août : 8 découvertes en juin, 2 découvertes en août).

L'éolienne E01 présente la plus forte estimation probable de mortalité à l'échelle du parc, puis par ordre décroissant, E06, E02, E03, E04 et E05.

Synthèse des résultats du suivi de mortalité
Nombre d'individus morts au cours de la période d'étude (166 jours)

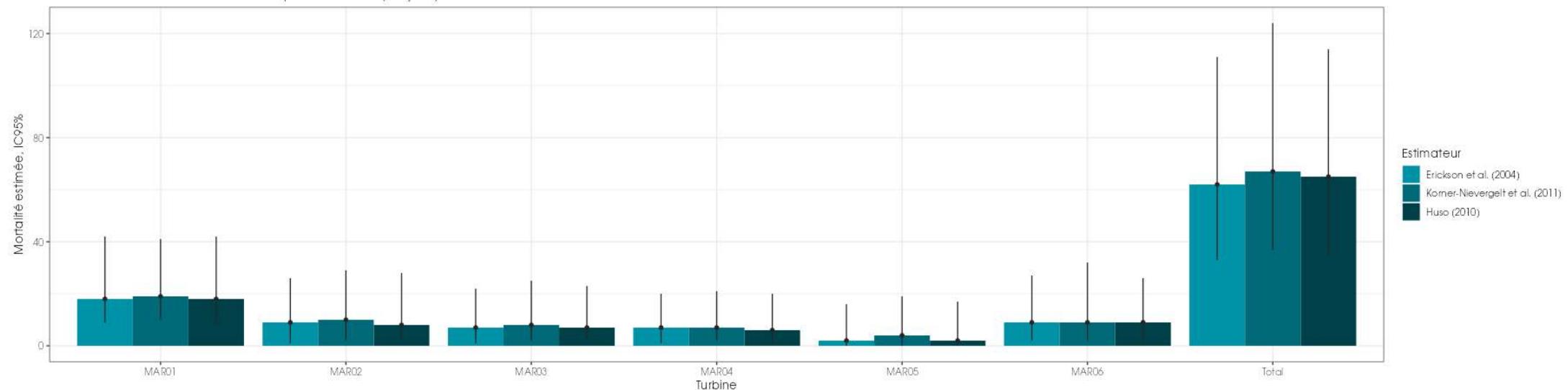


Figure 38 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les chiroptères pour le parc éolien de Marcillé au cours du suivi de 2024 sur 166 jours

2.2.2.5 Comparaison de la mortalité estimée sur le parc de Marcillé avec le référentiel mortalité corrigée Biotope

Tableau 29 : Projection de la mortalité estimée par éolienne sur les quantiles de mortalité du référentiel mortalité Biotope

Nom de l'éolienne	Oiseaux					
	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Mortalité estimée M avec Huso [IC 95%]	0 [0 ; 9]	0 [0 ; 11]	5 [2 ; 22]	3 [1 ; 12]	0 [0 ; 9]	0 [0 ; 11]
Quantile de mortalité estimée	0%	0%	61%	31%	0%	0%
Nom de l'éolienne	Chiroptères					
	E01	E02	E03	E04	E05	E06
Mortalité estimée M avec Huso [IC 95%]	18 [9 ; 42]	8 [2 ; 28]	7 [2 ; 23]	6 [1 ; 20]	2 [0 ; 17]	9 [1 ; 26]
Quantile de mortalité estimée	96 %	79 %	79 %	75 %	54%	83%

Ces résultats sont issus des données extraites du référentiel de mortalité estimée élaboré par Biotope depuis 2019. Le graphique présente un « quantile de mortalité estimée » en fonction de la mortalité estimée M par éolienne du parc de Marcillé. Ce quantile représente la projection de la valeur M observée pour chaque éolienne sur une fonction de répartition empirique cumulative (empirical cumulative distribution function, ECDF) issue du référentiel de mortalité estimée de Biotope. Ce critère permet de situer la mortalité estimée d'une éolienne par rapport à un référentiel national complet (voir 1.2.2.3).

Au sein du parc éolien de Marcillé, entre 0 et 2 cadavres d'oiseaux et entre 0 et 6 cadavres de chiroptères ont été observés par éolienne. En appliquant une correction à partir de la probabilité globale de détection, les estimations corrigées se situent entre 0 [0 ; 9] et 5 [2 ; 22] oiseaux par éolienne, et entre 2 [0 ; 17] et 18 [9 ; 42] chiroptères par éolienne. Ainsi, en utilisant de manière comparative le référentiel de mortalité estimée, le niveau de mortalité observé est classé de moyen à très fort selon l'éolienne et le groupe taxonomique (Tableau 29).

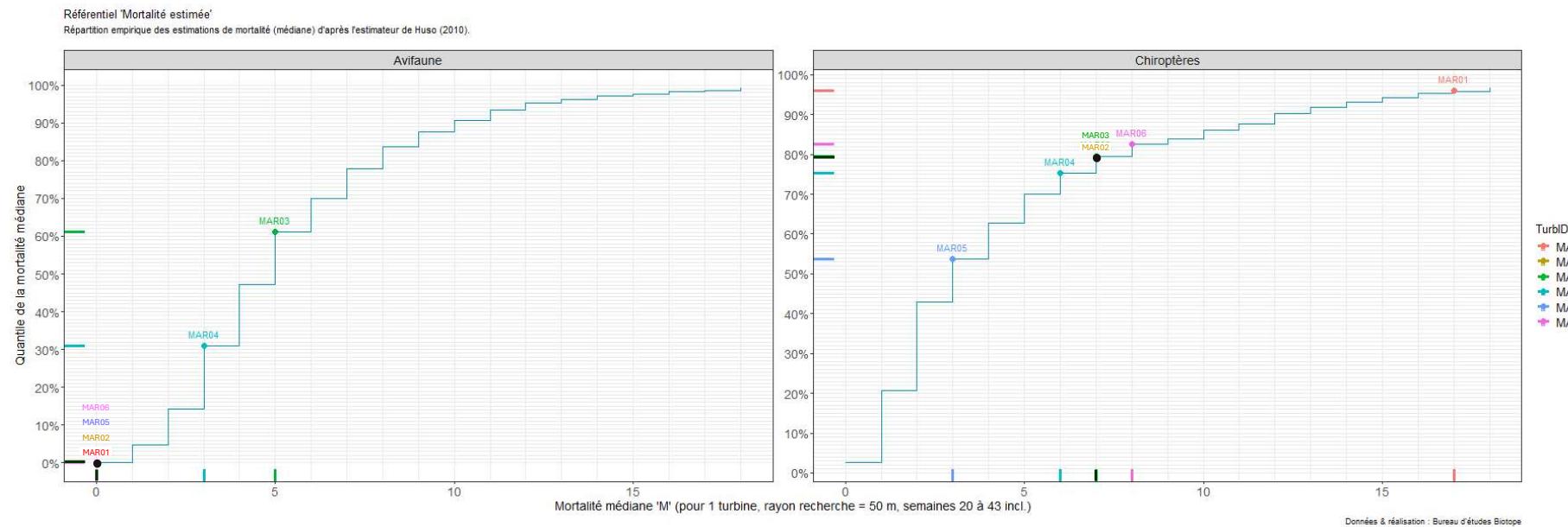


Figure 39 : Projection de la mortalité estimée par turbine issue du parc de Marcillé sur la répartition empirique des estimations de mortalité du référentiel mortalité estimée de Biotope.

En utilisant le graphique comme référence, nous déterminons un quantile de mortalité estimée par éolienne compris entre 0% et 61% pour les oiseaux et entre 54% et 96% pour les chiroptères. Cette analyse graphique nous permet de constater que la mortalité estimée du parc de Marcillé est assez hétérogène selon les éoliennes mais est tout de même parmi les plus élevés du référentiel pour les chiroptères et parmi les plus faibles pour les oiseaux.

Notons que E03 semble particulièrement mortifère pour les deux taxons, avec un quantile de mortalité estimée de 61% pour les oiseaux et de 79% pour les chiroptères, soit respectivement, une mortalité estimée plus importante que 61% et 79% des cas de mortalité par éolienne estimée sur les parcs suivis par Biotope depuis 2019 (Tableau 29).

Il est important de noter que ces valeurs ne constituent qu'une alerte sur un potentiel risque de significativité, et doivent être interprétées en conjonction avec les autres indicateurs. Cependant, il semble que le parc étudié présente une tendance à une mortalité estimée plus élevée que les autres parcs surveillés par Biotope depuis 2019. Cependant, il convient de souligner une nouvelle fois que cette interprétation, prise individuellement, ne permet pas de tirer des conclusions définitives quant à la signification potentielle de l'impact du parc de Marcillé sur les populations d'oiseaux et de chiroptères.

Rappel : Les résultats obtenus à partir de ce référentiel de mortalité estimée permettent de donner une mesure de comparaison à la mortalité estimée sur le parc de Marcillé et ainsi pouvoir situer les impacts en termes de mortalité par rapport à des résultats à plus large échelle. Néanmoins, son utilisation présente certains biais pouvant amener à une prise de recul sur les résultats des quantiles de mortalité obtenus. Le biais principal est la métrique utilisée, la mortalité estimée du référentiel est caractérisée selon la médiane, pour les résultats de ce présent rapport, c'est la valeur moyenne de mortalité estimée qui est utilisée. Il peut également exister une différence sur les périodes de suivi ou le rayon de prospection (si la temporalité de l'étude diffère de la période S20 à S43 ou pour rayon de prospection supérieur à 50m). Plus d'informations sont présentées en Annexe 6.

2.2.3 Synthèse du suivi de mortalité

Le suivi de mortalité mené sur le parc éolien de Marcillé entre le 17 mai 2024 et le 30 octobre 2024 (6 machines) a conduit à l'observation de 13 cadavres, dont 3 oiseaux (3 espèces) et 10 chauves-souris (1 espèce et un groupe d'espèces).

En effet, 3 espèces d'oiseaux (l'Effraie des clochers, le Pipit des arbres et le Martinet noir) et 1 espèce et un groupe d'espèces de chiroptères (la Pipistrelle commune et le groupe des pipistrelles) ont été retrouvés sous les éoliennes du parc suivi.

Les spécimens d'oiseaux observés concernent 3 espèces avec 1 seul individu pour chacune. Les spécimens de chiroptères observés concernent uniquement le groupe des pipistrelles avec 9 individus de Pipistrelle commune, ainsi qu'une pipistrelle indéterminée.

La cause de la mort des individus semble imputable aux éoliennes, que cela soit par collision ou par barotraumatisme.

Les cadavres ont été localisés à des distances comprises entre 3 m (Pipit des arbres) et 24 m du mât (Martinet noir) pour les oiseaux et entre 4 m (Pipistrelle commune) et 35 m (Pipistrelle commune) pour les chiroptères.

Deux tests de persistance des cadavres ont été réalisés, avec l'utilisation d'un total de 120 rats. Lors de ces tests, les vitesses de disparition des cadavres déposés ont été assez variables à l'échelle du parc, avec des temps moyens de persistance des cadavres variant de 1.6 jours (E06) à 4.4 jours (E01).

Des estimations de la mortalité ont été réalisées pour l'ensemble des éoliennes du parc, sur la durée du suivi (166 jours).

L'utilisation des formules d'estimation amène à estimer une mortalité la plus probable de l'ordre de 62 à 67 cas de mortalité de chiroptères sur la période de suivi, où les observations se concentrent sur 69 jours.

Concernant l'avifaune, l'utilisation des formules d'estimation amène à estimer une mortalité la plus probable de l'ordre de 20 à 21 cas de mortalité d'oiseaux sur la période de suivi, où les observations se concentrent sur 22 jours.

Ces chiffres sont légèrement supérieurs à ceux mentionnés par la bibliographie. Selon RYDELL et al. (2017), le nombre de chiroptères tués par éolienne et par an est très variable d'un site à l'autre en Europe et semble se situer autour d'une dizaine d'individus, avec parfois des cas particulièrement mortifères pouvant atteindre une mortalité de 100 individus ou plus. Gaultier, Marx & Roux (2019) font le bilan de 8 parcs français dont l'estimation de la mortalité la plus probable varie de 0.3 à 18,3 oiseaux par éolienne et par an. En Allemagne, la mortalité des chauves-souris est estimée entre 10 et 12 individus par éolienne et par an (KORNER-NIEVERGELT et al., 2013).

D'après les résultats du référentiel mortalité corrigée, la moyenne des mortalités estimées sur l'ensemble des parcs suivis par Biotope est d'environ 5 oiseaux et 5 chiroptères par éolienne (pour un rayon de recherche de 50m et une période de suivi compris entre la semaine 20 et 43).

En comparaison, les résultats des estimations par éolienne sur le parc de Marcillé sont pour la plupart bien inférieurs pour l'avifaune, avec uniquement l'estimation de E03 supérieure à la moyenne. Quant aux estimations pour les chiroptères la majorité des éoliennes ont des estimations supérieures à la moyenne.

De plus, l'utilisation des quantiles de mortalité estimées montre que certaines éoliennes sont particulièrement mortifères en comparaison avec la « moyenne » des mortalités estimées par le référentiel mortalité Biotope. Pour rappel, l'éolienne E01 a un quantile de mortalité estimée supérieure à 96% pour les chiroptères, ce qui dénote une mortalité très importante par rapport au référentiel mortalité estimée Biotope.

Rappel : L'utilisation de ces références présente un biais pouvant amener à une prise de recul sur les résultats, le parc de Marcillé a eu une période de suivi de 25 semaines.

Au vu des résultats estimatifs du premier suivi de mortalité de ce parc, il semble essentiel de définir des modalités de fonctionnement du parc éolien permettant de réduire la mortalité induite, qui semble élevée notamment pour les chiroptères. Nous invitons le maître d'ouvrage à contacter les services de l'Etat en charge de l'inspection des parcs éoliens afin de discuter de la marche à suivre.

Notons néanmoins que les modalités d'asservissement du parc ont été renforcées en cours de suivi suite à la découverte des cas de mortalité et que ce renforcement a été bénéfique pour les chiroptères : 8 chiroptères trouvés avant l'augmentation du seuil de vitesse de vent fin juin 2024 contre 2 cas de mortalité ensuite. Parmi d'autres mesures prévues (voir chapitre dédié), l'efficacité de ces nouveaux paramètres sera vérifiée lors d'une deuxième année de suivi (2025) pour ainsi permettre de confirmer les tendances et d'évaluer les impacts des mesures correctives mises en place aussi bien pour les aspects quantitatifs (estimations de la mortalité) que qualitatifs (phénologie de la mortalité).

Pour aller encore plus loin dans la précision des estimations, une démarche de concertation avec les exploitants agricoles locaux serait une réelle plus-value. Cela pourrait permettre d'améliorer l'efficacité de recherche globale des surfaces à prospecter et de réduire au minimum les incertitudes.

2.3 Facteurs d'impact et mesures mises en place

2.3.1 Analyse croisée avec l'étude d'impact

Le tableau ci-dessous fait le bilan des espèces identifiées dans l'étude d'impact comme étant susceptibles d'être impactées par le projet ainsi que des espèces découvertes durant la réalisation du suivi mortalité de 2024.

Tableau 30 : Croisement des informations issues de l'état initial de l'étude d'impact et du suivi mortalité

Espèces	Niveau d'impact / effectifs quantifié dans l'état initial	Nombre de cas de mortalité	Analyse comparative
Oiseaux			
Pipit des arbres	0,64 (IPA moyen) et contacté en période de migration	1 individu	L'étude d'impact avait identifié l'espèce mais elle avait conclu à l'absence de risque de collision pour l'espèce
Martinet noir	0,45 (IPA moyen)	1 individu	L'étude d'impact avait identifié l'espèce mais elle avait conclu à l'absence de risque de collision pour l'espèce
Effraie des clochers	/	1 individu	L'étude d'impact n'avait pas identifié l'espèce.
Chiroptères			
Pipistrelle commune	Espèce fortement sensible aux risques de collision Espèce la plus contactée Impacts forts	9 individus	L'étude d'impact avait identifié l'espèce et avait conclu à un impact fort du risque de collision pour l'espèce
Groupe des Pipistrelles	/	1 individu	/

De manière générale, l'étude d'impact de 2013 n'avait pas relevé de sensibilité particulière au risque de collision pour les oiseaux (majorité des observations en dessous du niveau des pales). Elle avait en revanche identifié un risque de collision faible pour les chiroptères et notamment la Pipistrelle commune.

Le suivi de mortalité réalisé en 2024 a démontré que l'évaluation du niveau de collision pour les oiseaux et les chiroptères avait été sous-évalué comparativement aux observations et estimations réalisées.

2.3.2 Analyse croisée de la phénologie de la mortalité et de l'activité acoustique en nacelle des chiroptères

Rappels : Les enregistrements acoustiques en nacelle ont été réalisés au niveau de l'éolienne E03 entre mi-mars et mi-novembre 2024. Le nombre de nuits d'enregistrement des activités de chiroptères à hauteur de nacelle est de 239 nuits. Le suivi de mortalité a permis de découvrir 10 chiroptères dont un seul au niveau de l'éolienne E03.

2.3.2.1 Comparaison de la phénologie entre suivis mortalité et acoustique

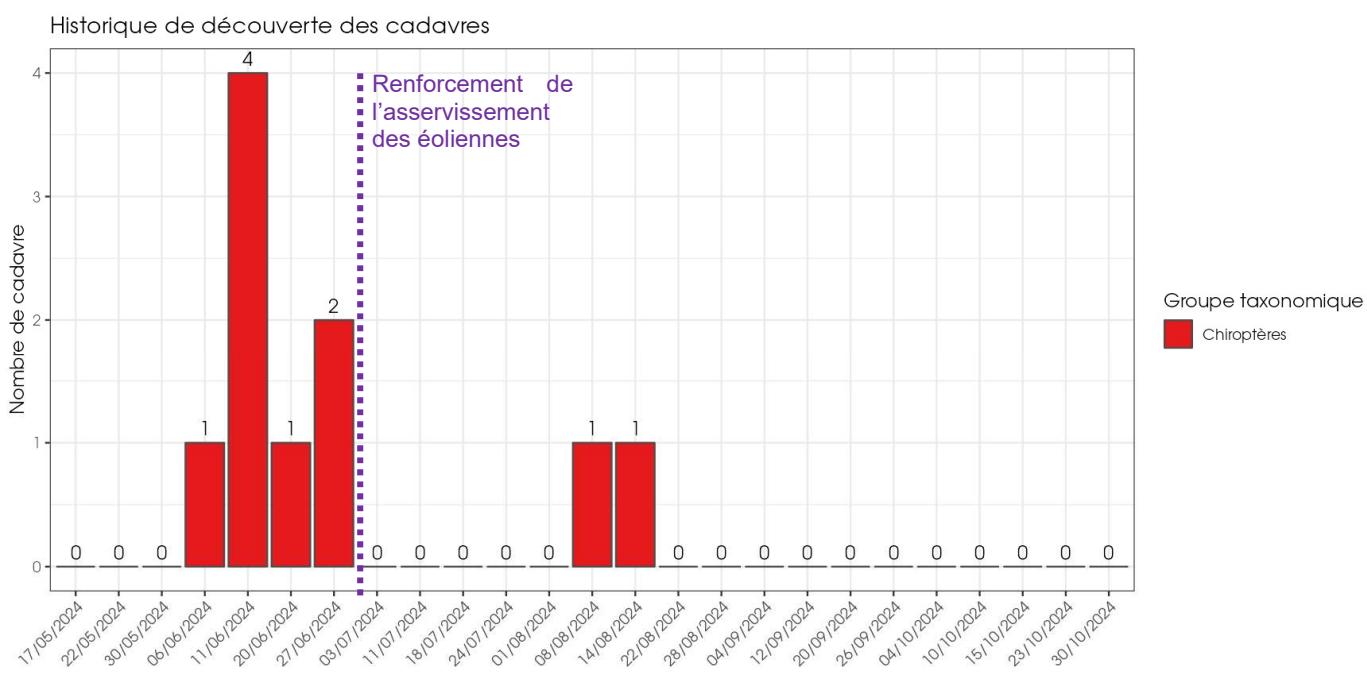


Figure 40 : Phénologie de découverte des cadavres de chiroptères à l'échelle du parc de Marcillé

Le nombre global de cadavres de chiroptères découverts durant le suivi de mortalité a été assez important (n=10). Le pic de découvertes s'est déroulé de début juin à fin juin, il y a également eu 2 chiroptères découverts en mi-août.

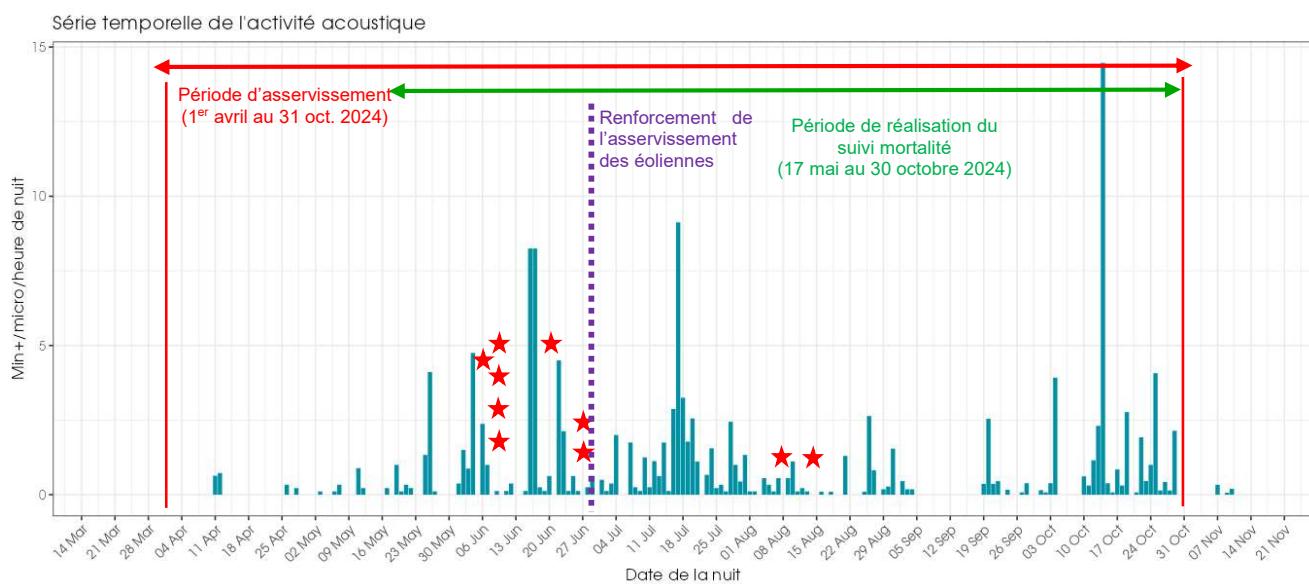


Figure 41 : Phénologie de l'activité acoustique enregistrée au niveau d'éolienne E03 sur la période de réalisation du suivi mortalité (★ cadavres de chiroptères retrouvés)

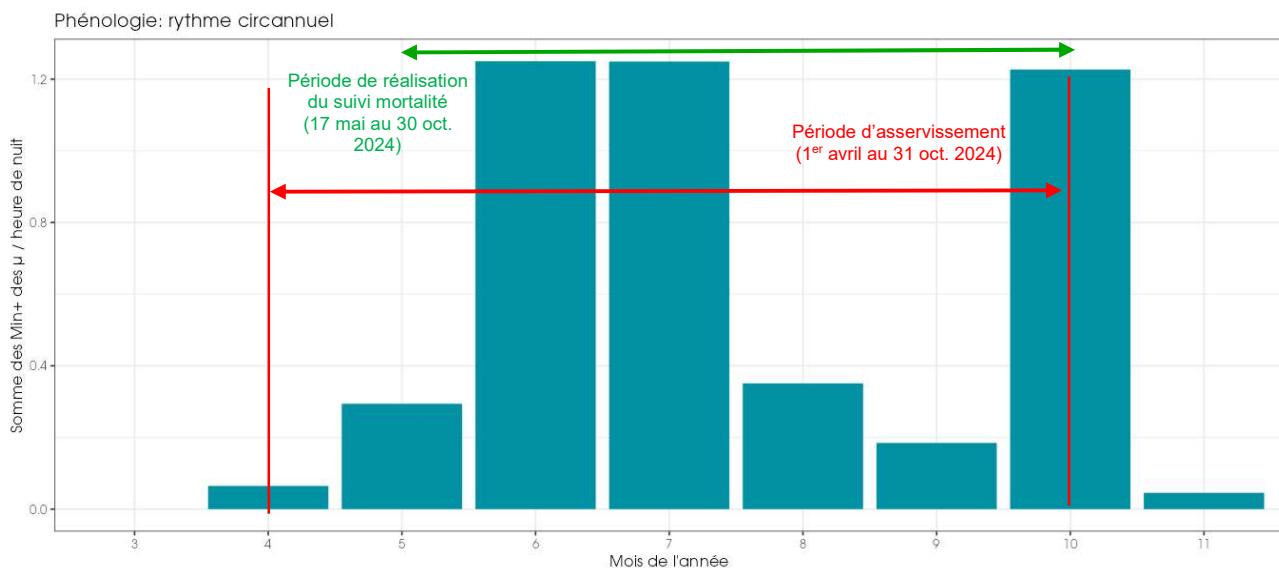


Figure 42 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure de nuit, toutes espèces confondues, en altitude sur l'éolienne E3 de Marcillé sur la période de réalisation du suivi mortalité en 2024.

On observe une activité des chauves-souris en altitude entre mai et novembre. L'activité sur les mois de mars-avril et novembre apparaît nulle à très faible en 2024. L'activité la plus importante est observée sur la période estivale, au cours des mois de juin à juillet, ainsi que sur le mois d'octobre. On observe des pics d'activités mi-juin, mi-juillet et mi-octobre.

On observe donc une activité des chauves-souris en altitude en période de mise-bas des chauves-souris (juin et juillet) et également en période de migration (octobre).

La phénologie des découvertes de cadavres et celle de l'activité acoustique en altitude concordent plus ou moins. En effet, les découvertes de cadavres de chauves-souris (8) du mois de juin ont bien été découverts au cours d'un pic d'activité des chiroptères, mais les cadavres de chauves-souris (2) du mois d'août ont été发现 pendant une période d'activité quasiment nulle. On note lors des deux autres pics d'activités des chauves-souris enregistré en juillet et octobre 2024 qu'aucune découverte de chauves-souris n'a été réalisée.

2.3.2.2 Comparaison des cortèges d'espèces détectées lors des suivis mortalité et acoustique

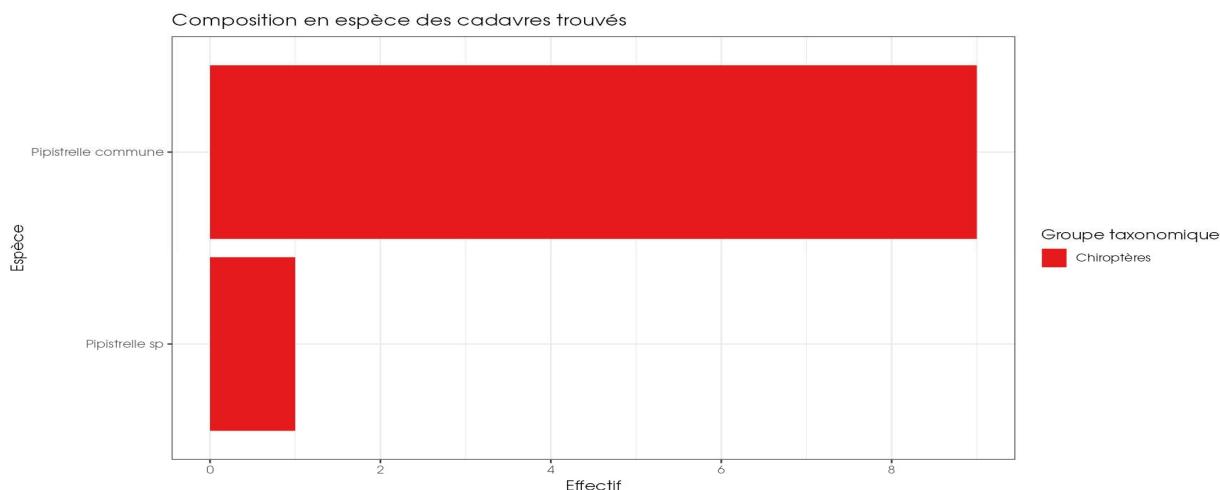


Figure 43 : Cortège d'espèces de chiroptères découvert lors du suivi de mortalité du parc éolien de Marcillé

Pour le suivi de mortalité, les observations ont principalement concerné la Pipistrelle commune (n=9) répartie sur l'ensemble du suivi, ainsi que le groupe des pipistrelles (n=1).

Tableau 31 : Nombre de contacts obtenus pour chaque espèce/groupe d'espèces à 100 m au niveau de l'éolienne E03.

Nom vernaculaire / Nom scientifique	Nombre de contacts de 5 sec.	Proportion obtenue des contacts de 5 sec. (%)	Nombre de minutes positives	Proportion obtenue des minutes positives (%)
Noctule commune <i>Nyctalus noctula</i>	3	0,1%	2	0,1%
Noctule de Leisler <i>Nyctalus leisleri</i>	321	11,3%	223	14,6%
Sérotine commune <i>Eptesicus serotinus</i>	228	8,0%	73	4,8%
Groupe Sérotine commune / Noctules indéterminées <i>Eptesicus serotinus</i> / <i>Nyctalus</i> sp.	9	0,3%	9	0,6%
Pipistrelle commune <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	1857	65,4%	1011	66,3%
Pipistrelle de Kuhl <i>Pipistrellus kuhlii</i>	6	0,2%	5	0,3%
Groupe Pipistrelle de Kuhl / P.de Nathusius <i>Pipistrellus kuhlii</i> / <i>P. nathusii</i> .	416	14,6%	201	13,2%
Total	2840	100%	1524	100%

Pour le suivi acoustique, les espèces les plus fréquemment contactées sont la Pipistrelle commune (66.3%), suivie de la Noctule de Leisler (14.6%) et du couple d'espèces Pipistrelles de Kuhl / de Nathusius (13.2%). Seulement 4.8% de contacts ont été rattachés à la Sérotine commune et moins de 1% pour le reste des espèces et groupes.

Le groupe des pipistrelles représente 79.8% (Pipistrelle commune 66,3% ; paire Pipistrelle de Kuhl et Pipistrelle de Nathusius (13.2%) ; Pipistrelle de Kuhl 0.3%) des contacts lors du suivi acoustique, ce qui coïncide avec les découvertes du suivi de mortalité, qui sont les 9 Pipistrelle commune et la Pipistrelle indéterminée. La Noctule de Leisler est la deuxième espèce contactée dans le cadre du suivi acoustique (14.6%) mais n'a fait l'objet d'aucune découverte durant le suivi mortalité.

2.3.2.3 Phénologie des contacts pour les espèces retrouvées lors du suivi mortalité

Sur la période de suivi de l'activité en altitude en 2024, l'activité chiroptérologique est plus intensément marquée au début de la nuit. Néanmoins, elle ne disparaît pas totalement au cours de la nuit, les chauves-souris restent actives tout au long de la nuit.

Notons néanmoins que d'une année à l'autre, différents facteurs peuvent influencer l'activité des chauves-souris. Il peut donc y avoir des variations interannuelles de leur activité.

- **Groupe Pipistrelle commune**

Pour rappel, la Pipistrelle commune représente 66 % du total des minutes positives obtenues et a une activité très forte.

L'activité de la Pipistrelle commune est marqué en période de mise-bas en juin et juillet puis diminue fortement en aout septembre pour connaître une activité importante en octobre.

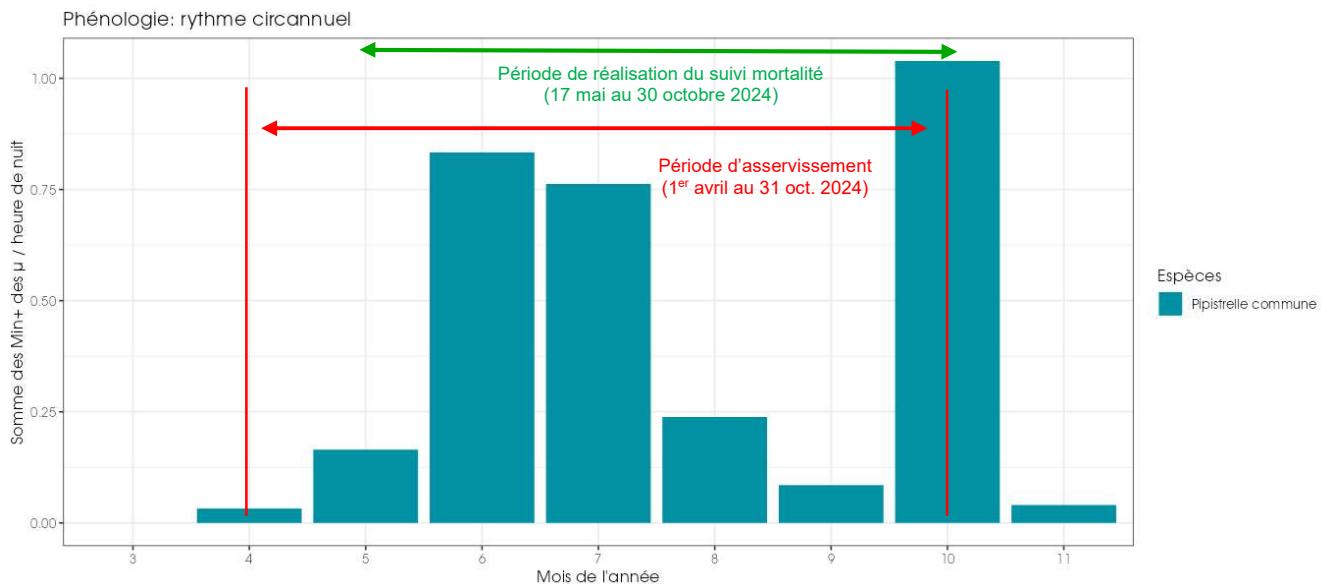


Figure 44 : Eolienne E3 - Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure de nuit, pour la Pipistrelle commune en 2024.

Le bilan de la phénologie des découvertes de cadavres est présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau 32).

Tableau 32 : Phénologie du nombre de découvertes de cadavres par espèce et groupe d'espèces

Date	06/06	11/06	20/06	27/06	08/08	14/08	Total général
Période	Estivale (Mise-bas / Elevage des jeunes)						
Asservissement	Asservissement actif						
Pipistrelle commune	1	4	1	1	1	1	9
Groupe des pipistrelles	-	-	-	1	-	-	1
Total général	1	4	1	2	1	1	10

2.3.2.1 Bilan du croisement des informations des deux suivis mortalité/acoustique

Les espèces découvertes durant le suivi de mortalité correspondent aux principales espèces identifiées durant le suivi acoustique. L'espèce la plus contactée en altitude a été la Pipistrelle commune, ainsi que l'espèce la plus découverte lors des suivis de mortalité. La Noctule de Leisler est la deuxième espèce contactée dans le cadre du suivi acoustique (14.6%) mais n'a fait l'objet d'aucune découverte durant le suivi mortalité. Les pipistrelles sont à la fois le groupe d'espèces le plus contacté en altitude et sont les seuls cadavres découverts durant le suivi de mortalité.

Au niveau de la phénologie, les découvertes des Pipistrelles communes correspondent à un des principaux pics d'activité acoustique de l'espèce.

Sur les 10 chiroptères retrouvés durant le suivi de mortalité, un seul cadavre a été retrouvé au niveau de l'éolienne E03 équipée de l'enregistreur automatisé, ce qui limite fortement le croisement des informations .

Limites du croisement des informations des suivis mortalité et acoustique : La comparaison des données acoustiques issues d'une seule éolienne (comparativement au suivi de mortalité qui est réalisé sur l'ensemble des éoliennes du parc) peut limiter l'interprétation du fait du manque de représentativité de l'activité locale de l'éolienne suivie en acoustique. Cette analyse comparative reste une analyse visuelle qui permet simplement de mettre en avant des éléments convergents ou non entre les deux types de suivis sur le même pas de temps.

2.3.3 Evaluation de l'efficacité de l'asservissement chiroptère en fonctionnement

L'efficacité a été évaluée sur la base de la réduction du risque de collision associée. Cette protection se mesure par la proportion de contacts de chiroptères couverts par un arrêt machine. L'arrêt machine en asservissement statique (= conventionnel) est simulé en fonction de plusieurs paramètres : vitesse du vent, température, heure relative, mois.

Dans le cadre de l'élaboration de ces calculs d'asservissement, l'unité de mesure retenue pour calculer les pourcentages de couverture par classe est la minute positive (minute avec présence d'activité chiroptérologique).

Pour cette analyse les données acquises sur l'éolienne E3 sont fusionnées aux données météo. Pour certaines observations nous ne disposons pas des données associées. On obtient, donc, un nombre total de contact de N =1486 minutes positives sur 239 nuits de suivi, entre le 20 mars et 15 novembre 2024.

Pour cette analyse spécifique, toutes les données de chauves-souris enregistrées sont utilisées pour les calculs. Ces contacts sont tous jugés à risque car présent dans ou à proximité du volume de brassage des pâles.

Pour rappel un asservissement de 5 éoliennes sur 6 avait été prévu dans l'arrêté (voir 1.2.1.3) mais le faible taux de couverture pressenti avait été identifié au préalable et l'asservissement de cet arrêté n'a pas été mis en place. En effet sur la base des données de 2024 sur l'éolienne E3, ce dernier aurait eu un taux de couverture de l'activité toutes espèces confondues de seulement 9,5%.

De son expérience sur ses autres parcs, l'exploitant a décidé de renforcer dès la mise en service du parc les paramètres d'asservissement préconisés les étendant à l'ensemble des éoliennes du parc sur une période ininterrompue d'avril à octobre. Ainsi à la mise en service du parc les éoliennes devaient être arrêtées hors période de pluie, lorsque le vent est < à 5 m/s et la température > à 13°C :

- du 1^{er} avril au 31 juillet de 21h à 5h du matin ;
- du 1^{er} aout au 31 octobre de 22h à 6h du matin.

Au cours du suivi plusieurs cas de mortalité ont été rapportés à l'exploitant. Ce dernier a donc décidé sans attendre la fin du suivi de renforcer les paramètres d'asservissement. Ainsi à partir du 28/06/2024, les éoliennes devaient être arrêtées du 1^{er} avril au 31 octobre, du crépuscule à l'aube, hors période de pluie, lorsque le vent est < à 6 m/s et la température > à 13°C.

Par conséquent les paramètres d'asservissement se sont renforcés en cours de suivi et les éoliennes ont été arrêtées selon les modalités suivantes :

- du 1^{er} avril au 27 juin 2024 de 21h à 5h du matin hors période de pluie, lorsque le vent est < à 5 m/s et la température > à 13°C ;
- du 28 juin au 31 octobre du crépuscule à l'aube hors période de pluie, lorsque le vent est < à 6 m/s et la température > à 13°C.

Les résultats de l'évaluation des paramètres d'asservissement, mis œuvre en 2024, sur les données d'activité enregistrées au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé-Raoul sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 33 : Taux de couverture de l'activité 2024 enregistrée sur E3 en fonction des paramètres d'asservissement appliqués en 2024 sur le parc de Marcillé-Raoul

Paramètre	Critère d'asservissement		Proportion d'activité chiroptérologique (en %) couverte par le modèle
Période	1er avril au 27 juin 2024	28 juin au 31 octobre 2024	99,3%
Température (à 100m)		Supérieure ou égal à 13°C	98,5%
Vitesse du vent (à 100m)	Inférieure ou égal à 5 m/s	Inférieure ou égal à 6 m/s	91,2%
Heure relative	21h à 5h	30 minutes avant le coucher du soleil à 30 minutes après le lever	99,3%
Précipitation		5 mm/h	NA
Proportion d'activité chiroptérologique (en %) couverte par le modèle sur la période concernée			90,5%

Tableau 34 : Taux de couverture par espèce et groupes d'espèces pour l'asservissement mis en œuvre en 2024

Espèce	Nombre de minutes positives total	Niveau d'activité couvert par l'asservissement conventionnel	Minutes positives couvertes par l'asservissement conventionnel	Niveau d'activité non couvert par l'asservissement conventionnel	Minutes positives non couvertes par l'asservissement conventionnel
Eolienne E3					
Noctule de Leisler	223	93,3 %	208	6,7%	15
Noctule commune	2	100%	2	-	-
Groupe sérotines / noctules indéterminées	9	88,9%	8	11,1%	1
Sérotine commune	72	87,5%	63	12,5%	9
Pipistrelle commune	991	90,9%	901	9,1%	90
Pipistrelle de Kuhl	2	100%	2	-	-
Groupe Pipistrelle de Kuhl / P. de Nathusius	187	86,1%	161	13,9%	26
Total – Eolienne E3	1486	90,5%	1345	9,5%	141

Le renforcement de l'asservissement fin juin 2024 après la découverte des cadavres s'est révélé efficace. En effet, la mortalité des chiroptères a fortement baissé : 2 autres cas de mortalité à déplorer jusqu'à la fin du suivi contre 8 avant la modification.

A titre indicatif, une évaluation du taux de protection de l'activité enregistrée en 2024 sur E3 avec uniquement les nouveaux paramètres d'asservissement est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 35 : Taux de couverture fictif en fonction des paramètres d'asservissement actuel du parc de Marcillé-Raoul sur les données 2024

Paramètre	Critère d'asservissement	Proportion d'activité chiroptérologique (en %) couverte par le modèle
Période	1 avril au 31 octobre	99,3%
Température (à 100m)	Supérieure ou égal à 13°C	98,5%
Vitesse du vent (à 100m)	Inférieure ou égal à 6 m/s	94,4%
Heure relative	30 minutes avant le coucher du soleil à 30 minutes après le lever	99,3%
Précipitation	5 mm/h	NA
Proportion d'activité chiroptérologique (en %) couverte par le modèle sur la période concernée		93,7%

L'asservissement mis en œuvre en 2024 a montré un taux de couverture de l'activité toutes espèces confondues de 90,5%. Ce taux atteint 93,3% pour la Noctule de Leisler et 88,9% pour le groupe sérotines / noctules indéterminées. Pour la Pipistrelle commune le taux de couverture est également au-dessus de 90% de protection.

Pour les espèces sensibles aux risques de collision ou barotraumatisme mais moins fréquentes on observe une bonne couverture. Elle est de 100% pour la Noctule commune (n= 2 minutes positives).

La modification de l'asservissement en cours de suivi a été bénéfique et l'augmentation du seuil de vitesse de vent à 6m/s permettrait théoriquement d'augmenter la protection à 93,7%.

3 Mesures correctives et conclusions

3.1 Mesures correctives

Afin de réduire les incertitudes des estimations il est important de tendre vers un coefficient de détectabilité le plus élevé possible. Une des possibilités est d'améliorer la surface prospectée ; ainsi une concertation avec les exploitants agricoles pourrait bénéfiquement être engagée afin d'augmenter la part de surface prospectable autour des éoliennes en maintenant des couverts végétaux au ras du sol (< 30 cm) et ne mettant pas de bétails sur les surfaces prospectables autour des éoliennes. L'augmentation de la fréquence de passage permettrait quant à elle d'améliorer les incertitudes en lien avec la persistance des cadavres qui est hétérogène entre les différentes éoliennes du parc.

Enfin bien que l'asservissement statique initialement mis en place sur le parc de Marcillé permette de protéger théoriquement l'activité des chiroptères, 8 cadavres de pipistrelles (7 Pipistrelle commune et 1 pipistrelle indéterminée) ont été retrouvés sous les éoliennes du parc avant le 28/06/2024. Ces découvertes ont conduit l'exploitant à renforcer l'asservissement en cours de suivi ce qui a permis d'augmenter la protection de l'activité des chiroptères et 2 nouveaux cas de mortalité ont été constatés. Le bridage mis en place puis renforcé en 2024 sur le parc a permis d'atteindre un taux de protection de 90,5 % de l'activité des chiroptères.

L'utilisation des formules a permis d'estimer une mortalité la plus probable de l'ordre de 62 à 67 avec des incertitudes comprises entre 33 à 124) cas de mortalité de chiroptères sur les 166 jours de la période de suivi. Ces estimations et les comparaisons avec les référentiels de mortalité brute et estimée indiquent que le parc de Marcillé présente un impact sur les chiroptères supérieur aux autres parcs suivis par Biotope.

Une seconde année de suivi est prévue en 2025 et, suite aux résultats de 2024, un nouveau mode de fonctionnement de l'asservissement des éoliennes est envisagé : un asservissement dynamique en complément de l'asservissement statique (vitesse de rotation définie).

Le cas échéant, l'ensemble des éoliennes du parc sera équipé d'enregistreurs connectés de type SMART (ou équivalent). Afin de vérifier l'efficacité de ces nouvelles mesures, le suivi de mortalité devra couvrir la période de mise en œuvre de l'asservissement des éoliennes, soit du 1er avril au 31 octobre.

Ces modifications de l'asservissement n'auront lieu qu'après validation par les services de l'Etat, notamment la DDTM et la DREAL.

L'objectif est d'augmenter la protection des chiroptères sur les éoliennes concernées, avec un effet positif attendu sur la mortalité des passereaux en migration nocturne, car de nombreuses espèces migrent la nuit.

3.2 Conclusions

Ce rapport, constitue l'analyse de la première année de suivi du parc éolien de Marcillé qui a constitué en un suivi de mortalité mené entre le 17 mai 2024 et le 30 octobre 2024 (25 passages sur 166 jours) sur les 6 éoliennes et l'analyse en altitude de l'activité des chiroptères au niveau de l'éolienne E03 du 21 mars au 15 novembre 2024 (239 nuits).

Concernant les oiseaux :

3 cadavres appartenant à 3 espèces d'oiseaux (l'Effraie des clochers, le Pipit des arbres et le Martinet noir) ont été retrouvées sous les éoliennes du parc suivi. L'utilisation des formules d'estimation amène à estimer une mortalité la plus probable de l'ordre de 20 à 21 cas de mortalité d'oiseaux sur la période de suivi, où les observations se concentrent sur 22 jours. En prenant les incertitudes (IC 95%), les effectifs impactés sont de 6 individus au minimum et de 51 à 57 individus au maximum pour l'ensemble du parc, ce qui correspond à une incertitude moyenne

En comparaison avec les autres parcs suivis par Biotope depuis 2019, les résultats des estimations par éolienne sur le parc de Marcillé sont pour la plupart bien inférieurs pour l'avifaune, avec uniquement l'estimation de E03 supérieure à la moyenne.

En considérant les éléments présentés dans ce rapport, le parc éolien de Marcillé ne semble pas avoir d'impact significatif sur les oiseaux.

Concernant les chauves-souris :

10 cadavres appartenant à 1 espèce et un groupe d'espèces de chiroptères (la Pipistrelle commune et le groupe des pipistrelle) ont été retrouvés sous les éoliennes du parc suivi. L'utilisation des formules d'estimation amène à estimer une mortalité la plus probable de l'ordre de 62 à 67 cas de mortalité de chiroptères sur la période de suivi, où les observations se concentrent sur 69 jours. En prenant les incertitudes (IC 95%), les effectifs impactés sont de 33 à 37 individus au minimum et de 111 à 124 individus au maximum pour l'ensemble du parc ce qui correspond à une incertitude assez importante.

En comparaison avec les autres parcs suivis par Biotope depuis 2019, les résultats des estimations par éolienne sur le parc de Marcillé sont pour la majorité supérieures à la moyenne.

En considérant les éléments présentés dans ce rapport et malgré les premières modalités d'asservissement mises en place lors de la mise en service, le parc éolien de Marcillé semble avoir un impact significatif sur les chiroptères. Depuis les modalités de fonctionnement ont été renforcées en cours de suivi (augmentation du seuil de vitesse de vent de 5 m/s à 6 m/s) pour augmenter la protection de l'activité des chiroptères. Les conséquences bénéfiques de ces modifications seront évaluées dans le cadre d'une deuxième année de suivi qui devra couvrir la période de mise en œuvre de l'asservissement des éoliennes, soit du 1er avril au 31 octobre.

Au vu des résultats estimatifs du premier suivi de mortalité de ce parc, il est apparu essentiel de définir des modalités de fonctionnement du parc éolien permettant de réduire la mortalité induite, qui semble élevée notamment pour les chiroptères avant la modification de l'asservissement en cours de suivi.

Une seconde année de suivi est prévue en 2025 et un nouveau mode de fonctionnement de l'asservissement des éoliennes est envisagé : un asservissement dynamique en complément de l'asservissement statique. Il sera mis en place qu'après validation par les services de l'État.

Enfin, les impacts de ces mesures correctives aussi bien pour les aspects quantitatifs (estimations de la mortalité) que qualitatifs (phénologie de la mortalité) seront évalués au cours d'un suivi qui devra couvrir *a minima* la période d'asservissement des éoliennes.

4 Bibliographie

- ARTHUR, L. & LEMAIRE, M. (2015). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Editions Biotope, Coll. Parthénope, Muséum National d'Histoire Naturelle, 544 p.
- AKAIKE, Hirotugu. A new look at the statistical model identification. IEEE transactions on automatic control, 1974, vol. 19, no 6, p. 716-723. ANDRE, Y. 2004. - Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. LPO, Rochefort. 20 p.
- ARNETT E. B., ERICKSON W., KERNIS J. & HORN J., 2005. – Relationship between bats and wind turbine in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. – Bats and Wind Energy Cooperative, 168 p.
- ARNETT E. B., SCHIRMACHER M., HUSO M. & HAYES J., 2009. – Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. – Bats and Wind Energy Cooperative, 44 p.
- ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2021 - Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénope) ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 544 p.
- BAERWALD E. & BARCLAY R., 2009. – Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. – Journal of Mammalogy 90(6), p. 1341-1349.
- BARATAUD, M. 2020. Écologie acoustique des Chiroptères d'Europe. Identification des espèces, Etudes de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze ; Museum National D'histoire Naturelle, Paris (Collection Inventaires et biodiversité), 344 P.
- BARRIENTOS, Rafael, MARTINS, Ricardo C., ASCENSÃO, Fernando, et al. A review of searcher efficiency and carcass persistence in infrastructure-driven mortality assessment studies. Biological conservation, 2018, vol. 222, p. 146-153.
- BENSETTITI F. & GAUDILLAT V. (coord.), 2002 - « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 7 - Espèces animales. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 353 p.
- BORNER, L., DURIEZ, Olivier, BESNARD, A., et al. Bird collision with power lines: estimating carcass persistence and detection associated with ground search surveys. Ecosphere, 2017, vol. 8, no 11, p. e01966.
- BROWN R. ET AL. (2014). Traces et indices d'oiseaux ; pistes, nids, plumes, crânes... Delachaux et Niestlé. 333 p.
- DALTHORP, D., MADSEN, L., HUSO, M., RABIE, P., WOLPERT, R., STUDYVIN, J., SIMONIS, J., and MINTZ, J., (2018), GenEst statistical models—A generalized estimator of mortality: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 7, chap. A2, 13 p., <https://doi.org/10.3133/tm7A2>.
- DALTHORP, Daniel, HUSO, Manuela, DALTHORP, Mark, et al. Accounting for the Fraction of Carcasses outside the Searched Area and the Estimation of Bird and Bat Fatalities at Wind Energy Facilities. arXiv preprint arXiv:2201.10064, 2022.
- DIETZ, C. ET VON HELVERSEN, O. (2004). Illustrated identification key to the bats of Europe. Electronique publication, version 1.0 released 15.12.2004, Tuebingen & Erlangen (Germany). 72 p.
- DOMÍNGUEZ DEL VALLE, Jon, CERVANTES PERALTA, Francisco, et JAQUERO ARJONA, María I. Factors affecting carcass detection at wind farms using dogs and human searchers. Journal of Applied Ecology, 2020, vol. 57, no 10, p. 1926-1935.
- DÜRR, T. (2023). Fledermausverluste an Windenergieanlagen / bat fatalities at windturbines in Europe.
- ERICKSON, W.P.; JOHNSON, G.D.; STRICKLAND, M.; KRONNER, K. (2000). Final Report: avian and bat mortality associated with the Vansycle wind project. pp 1-26.
- FRAIGNEAU C. (2007). Reconnaître facilement les plumes – collecter, identifier, interpréter, conserver. Delachaux et Niestlé. 192 p.
- FRAIGNEAU C. (2017). Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale. Delachaux et Niestlé. 400 p.
- GAULTIER, S.P., MARX, G., & ROUX, D., 2019. Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO. 120 p. https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf
- GAULTIER, Simon P., BLOMBERG, Anna S., IJÄS, Asko, et al. Bats and wind farms: The role and importance of the Baltic Sea countries in the European context of power transition and biodiversity conservation. Environmental Science & Technology, 2020, vol. 54, no 17, p. 10385-10398.
- GROUPE CHIROPTÈRES DE LA SFEPM, 2016. Diagnostic chiroptérologique des projets éoliens terrestres Actualisation 2016des recommandations SFEPM, Version 2.1(février2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 33 pages+ annexes

- ④ HAQUART A., 2013 - Référentiel d'activité des chiroptères, éléments pour l'interprétation des dénombremens de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française : Biotope, École Pratique des Hautes Études, 99 p.
- ④ HAQUART A., 2015. — ACTICHIRO, un référentiel pour l'interprétation des dénombremens de Chiroptères avec les méthodes acoustique en France. Symbiose (34-35): 1-9.
- ④ HAQUART A., BAS, Y., TRANCHARD, J. & LAGRANGE, H., 2012. Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mats de mesure : évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien. Présentation. In Rencontres nationales "chauves-souris" 2012.
- ④ HARTER N. 2015. Eoliennes et mortalité des chiroptères : synthèse des résultats du suivi d'une quinzaine de parcs éoliens en Champagne-Ardenne. Rencontre chiroptères Grand-Est, Saint-Brisson, 16-18 octobre 2015. 15p.
- ④ HUSO, M. M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. Environmetrics, 22(3), 318-329. doi: 10.1002/env.1052 19 p.
- ④ HUTTERER, R., IVANOVA, T., MEYER-CORDS, C. & RODRIGUES, L. 2005. Bat migrations in Europe: A review of banding data and literature. Naturschutz und Biologische Vielfalt No. 28: 1-172.
- ④ KORNER-NIEVERGELT F., BEHR O., BRINKMANN R., ETTERSON MA., HUSO MM., DALTHORP D., KORNER-NIEVERGELT P., ROTH T and NIERMANN I (2015). "Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass - a tutorial." Wildlife Biology, pp. 30-43.
- ④ KORNER-NIEVERGELT, F., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & BEHR, O. (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.
- ④ KORNER-NIEVERGELT, F., KORNER-NIEVERGELT, P., BEHR, O., et al. 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildlife Biology, vol. 17, no 4, p. 350-363.
- ④ LABROSSE, A. (2009). Determining factors affecting carcass removal and searching efficiency during the post-construction monitoring of wind farms. University of Northern British Columbia.
- ④ LAWSON M, JENNE D, THRSHER R, HOUCK D, WIMSATT J, STARW B, 2020 - An investigation into the potential for wind turbines to cause barotraumain bats. LoS ONE 15(12) - <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242485>
- ④ MARCHESI, P., BLANT, M. ET CAPT, S. (2008). Mammifères de Suisse - Clés de détermination. Neuchâtel, Fauna Helvetica, CSCF & SSBF. 289 p.
- ④ MATUTINI, F. 2014. Détermination de l'effort d'échantillonnage pour la réalisation d'inventaires chiroptérologiques a différentes échelles spatiales et en fonction de l'hétérogénéité des habitats : rapport de stage. centre d'écologie fonctionnelle et évolutive (cefe), Montpellier ; biotope, Mèze, 13 p.
- ④ MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE (MEDDE), 2015, Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestre, Novembre 2015, 40p.
- ④ MITCHELL-JONES A.J., AMORI G., BOGDANOWICZ W., KRYŠTUFEK B., REIJNDERS P.J.H., SPITZENBERGER F., STUBBE M., THISSEN J.B.M., VOHRALÍK V. & ZIMA J., 1999 - The atlas of European mammals, Societas Europaea Mammalogica, Poyser National History, 484 p.
- ④ PONCE, Carlos, ALONSO, Juan Carlos, ARGANDOÑA, Gonzalo, et al. Carcass removal by scavengers and search accuracy affect bird mortality estimates at power lines. Animal Conservation, 2010, vol. 13, no 6, p. 603-612.
- ④ REYES, Gabriel A., RODRIGUEZ, Meredith J., LINDKE, Kenneth T., et al. Searcher efficiency and survey coverage affect precision of fatality estimates. The Journal of Wildlife Management, 2016, vol. 80, no 8, p. 1488-1496.
- ④ RODRIGUES, L., BACH, L., DUBORG-SAVAGE, M. J., KARAPANDZA, B., KOVAC, D., KERVYIN, T., DEKKER, J., KEPEL, A., BACH, P., COLLINS, J., HARBUSCH, C., PARK, K., MICEVSKI, B. & MINDERMAN, J., 2015. Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. Actualisation 2015. EUROBATS Publication Series N° 6 (version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133 p.
- ④ RUSS J., 2023. — Les chauves-souris par le son. Delachaux et Niestlé, 480 p.
- ④ RYDELL, J., OTTVALL, R., PETTERSSON, S., & GREEN M. (2017) The effects of wind power on birds and bats, an updated synthesis report 2017, Swedish Environmental Protection Agency. ISBN 978-91-620-6791-5, ISSN 0282-7298, 129p.
- ④ SMALLWOOD, K. Shawn. Estimating wind turbine-caused bird mortality. The Journal of Wildlife Management, 2007, vol. 71, no 8, p. 2781-2791.
- ④ SVENSSON L. (2014). Le guide ornitho, le guide le plus complet des oiseaux d'Europe, d'Afrique du nord et du Moyen-Orient. Delachaux et Niestlé. 448 p.
- ④ TAPIERO A., 2017 – Plan national d'actions en faveur des chiroptères 2016-2025. FCEN. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. 83 p.
- ④ TEMPLE H.J. & TERRY, A. (coord.), 2007 - The Status and Distribution of European Mammals. Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities. viii + 48 p.
- ④ UNION INTERNATIONALE POUR LA CONSERVATION DE LA NATURE FRANCE, MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE, SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR L'ETUDE ET LA PROTECTION DES MAMMIFÈRES & OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE, 2017 - La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France, 15 p.

Sites Internet

- ④ DURR, 2022: <https://lfp.brandenburg.de/lfp/de/aufgaben/natur/artenschutz/vogelschutzwarte/arbeitsschwerpunkt-entwicklung-und-umsetzung-von-schutzstrategien/auswirkungen-von-windenergieanlagen-auf-voegel-und-fledermaeuse/#>
- ④ SOCIÉTÉ FRANÇAISE POUR L'ETUDE ET LA PROTECTION DES MAMMIFÈRES - <http://www.sfepm.org>.
- ④ ECOLOGIE ACOUSTIQUE DES CHIROPTERES - <http://ecologieacoustique.fr/>

5 Annexes

Annexe I : Tableau récapitulatif des observations de cadavres

Rappel des paramètres d'asservissement mis en œuvre lors de la période de suivi du 17 mai au 30 octobre 2024 :
Les éoliennes sont arrêtées :

- du 17 mai au 27 juin de 21h à 5h du matin : hors période de pluie, lorsque le vent est < à 5 m/s et la température > à 13°C
- du 28 juin au 30 octobre du crépuscule à l'aube : hors période de pluie, lorsque le vent est < à 6 m/s et la température > à 13°C

Date prospection	Éolienne	Nom latin	Nom vernaculaire	État	Age	Sexe	Raison estimée de la mort	Distance à l'éolienne	Panne de l'asservissement / du serveur
06/06/24	E01	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Sec	Adulte	Mâle	Barotraumatisme	15 m	Non
11/06/24	E01	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Sec	Adulte	Mâle	Barotraumatisme	27 m	Non
11/06/24	E01	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	En décomposition	Adulte	Indéterminé	Barotraumatisme	4 m	Non
11/06/24	E03	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Frais	Adulte	Mâle	Barotraumatisme	26 m	Non
11/06/24	E06	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Frais	Adulte	Mâle	Barotraumatisme	26 m	Non
20/06/24	E02	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Frais	Immature	Femelle	Barotraumatisme	14 m	Non
27/06/24	E01	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	En décomposition	Adulte	Indéterminé	Barotraumatisme	19 m	Non
27/06/24	E01	<i>Pipistrellus sp</i>	Pipistrelle sp	En décomposition	Adulte	Indéterminé	Barotraumatisme	17 m	Non
27/06/24	E03	<i>Apus apus</i>	Martinet noir	Frais	Adulte	Indéterminé	Barotraumatisme	24 m	Non
18/07/24	E03	<i>Tyto alba</i>	Effraie des clochers	Frais	Adulte	Indéterminé	Collision avec pale	23 m	Non
18/07/24	E04	<i>Anthus trivialis</i>	Pipit des arbres	En décomposition	Adulte	Indéterminé	Collision avec pale	3 m	Non
08/08/24	E04	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Sec	Immature	Mâle	Barotraumatisme	20 m	Non
14/08/24	E01	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	En décomposition	Adulte	Indéterminé	Barotraumatisme	35 m	Non

Annexe II : Détails des arrêtés relatifs aux installations de production d'électricité

“Arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement

L'arrêté du 26 août 2011 modifié relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement est modifié conformément aux dispositions des articles 2 à 22 du présent arrêté.”

« Arrêté du 22 juin 2020 - art. 9 a modifié les dispositions suivantes :

Modifie Arrêté du 26 août 2011 - art. 12 (V) , L'article 12 est remplacé par : »

« Art. 12.-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 télé-service de “ dépôt légal de données de biodiversité ” créé en application de l'arrêté du 17 mai 2018. Le versement de données est effectué concomitamment à la transmission de chaque rapport de suivi environnemental à l'inspection des installations classées imposée au II de l'article 2.3. Lorsque ces données sont antérieures à la date de mise en ligne de l'outil de télé-service, elles doivent être versées dans un délai de 6 mois à compter de la date de mise en ligne de cet outil. « Dans le cas d'un projet de renouvellement d'une installation existante, autre qu'un renouvellement à l'identique ou une extension au sens de l'article R. 181-46-I du code de l'environnement, l'exploitant met en place un suivi environnemental, permettant d'atteindre les objectifs visés au 1er alinéa du présent article, dans les 3 ans qui précèdent le dépôt du porter à connaissance au préfet prévu par l'article R. 181-46 du code de l'environnement.

Annexe III : Détails sur les méthodes d'inventaires attendues à l'échelle nationale

semaine n°	1 à 19	20 à 30	31 à 43	44 à 52
Le suivi de mortalité doit être réalisé ...	Si enjeux avifaunistiques spécifiques	Dans tous les cas		Si enjeux avifaunistiques en période hivernale
Suivi d'activité des chiroptères	Si enjeux sur les chiroptères	Si pas de suivi en hauteur dans l'étude d'impact	Dans tous les cas	Si enjeux sur les chiroptères

Figure 45 : Périodes lors desquelles le suivi de mortalité est attendu selon le protocole national 2018

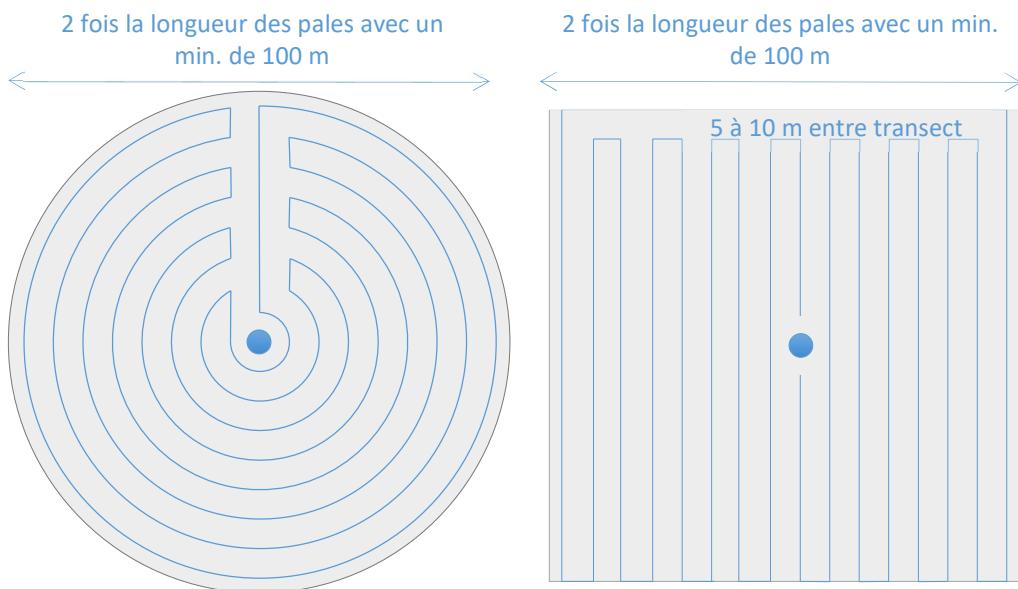


Figure 46 : Schéma de la surface-échantillon à prospector (largeur de transects de 5 à 10 m) (extrait du protocole national 2018).

Annexe IV : Détails sur les coefficients correcteurs et des méthodes statistiques

L'objectif de ce suivi est de proposer une estimation de la mortalité réelle des chauves-souris et des oiseaux, au sein du parc. Le protocole national révisé en 2018 demande de préciser les incertitudes de l'estimation de la mortalité.

Tel que demandé par le protocole national, deux tests de prédation ont été réalisés dans le cadre du suivi de la mortalité. Ces tests ont été réalisés au cours du suivi pour que les résultats puissent être représentatifs des grandes périodes biologiques (saisons). Pour ce faire, les leurres ont été disposés de manière aléatoire pour chaque éolienne suivie au sein des zones de prospections.

Tel que demandé dans le protocole national, deux tests ont été réalisés dans le cadre du suivi de la mortalité. Ces deux tests sont réalisés par la méthode de l'échantillonnage stratifié en fonction des différents types d'occupation du sol que l'observateur est susceptible de prospecter tout au long du suivi. Le moment de réalisation des tests doit permettre de tester l'observateur dans un maximum de situations d'occupation du sol, à l'échelle de l'ensemble du parc éolien. De 10 à 15 leurres identiques sont disposés aléatoirement pour chaque catégorie d'occupation du sol à tester et sur l'ensemble du parc, à l'insu de l'observateur.

Le principe général des estimations par éolienne est le suivant :

$$Ne = Nd / (a \times P(s,f))$$

Ne = nombre estimé le plus probable de chauves-souris ou d'oiseaux tués par les éoliennes au sein de la zone prospectée.

Nd = nombre total de cadavres découvert de chauves-souris ou d'oiseaux dont la mort est imputable aux éoliennes.

a = Coefficient correcteur de surface moyen pondéré, calculé par simple proportion du taux moyen de surfaces prospectées et pondéré par la durée inter-passage.

P(s,f) = Probabilité de détection propre à chaque méthode d'estimation (e.g. de Erickson, de Jones, de Huso, de Korner-Nievergelt etc.). Les équations sous-jacentes à chaque méthode d'estimation font toutes appel à **deux coefficients correcteurs** que sont le coefficient de persistance (**s**) (qui peut être exprimée comme une durée de persistance ou comme une probabilité de survie suivant les formules) et le coefficient d'efficacité de recherche moyen (**f**). La valeur de **P(s,f)** obtenue correspond à une probabilité de détection moyenne tenant compte du fait que certains cadavres sont manqués faute de détection parfaite et d'autre du fait de leur disparition. Associée au nombre de cadavres trouvés durant le suivi pour chaque éoliennes (**Nd**) ainsi qu'à la surface moyenne prospectée (**a**), il est possible d'estimer la mortalité réelle. Ainsi **a × P(s,f)** correspond une probabilité globale de détection des cadavres.

La détermination des coefficients correcteurs « **s** » et « **f** » est très importante du fait de leur effet sur l'estimation de **Ne**. C'est pour cela qu'il est particulièrement important d'avoir la capacité d'évaluer *a posteriori* la précision de leurs évaluations.

Limites générales à la démarche d'estimation de la mortalité :

Pour le moment, les incertitudes des différents coefficients correcteurs ne sont pas utilisées dans les calculs de l'incertitude de l'estimation de la mortalité. Toutefois, il est possible d'évaluer cela en regardant 1) les incertitudes de chaque coefficient correcteur pour vérifier leur qualité et 2) en analysant en même temps les incertitudes de l'estimation de mortalité finale elle-même. En effet, l'intervalle de confiance de l'estimation de mortalité sera d'autant plus large que la probabilité de détection globale moyenne est faible et que le nombre de cadavres découverts est grand.

L'utilisation de modèles, suivie d'une sélection par AIC pour déterminer les coefficients correcteurs (persistance et efficacité de recherche), a pour avantage 1) de générer les incertitudes aux coefficients correcteurs pour évaluer leur précision, 2) de prendre en compte le design expérimental des tests (notamment le nombre de leurres déployés qui limitent la capacité prédictive des modèles) en respectant les contraintes statistiques et aussi 3) de réaliser la meilleure stratification (intégration de tous facteurs influençant la détectabilité) pour décrire au plus juste la réalité du suivi. Toutefois, il n'est pas possible d'intégrer toutes les sources de variation, comme le travail des agriculteurs sur leurs parcelles. En effet, le travail du sol dépend de la météo et il est impossible de savoir à quel moment les agriculteurs vont passer sur leurs champs, entraînant l'enterrement involontaire/aléatoire des cadavres.

Tel que défini par le protocole national, « seules les zones à ciel ouvert et praticables sont prospectées. Le reste de la surface échantillon devra faire l'objet d'une correction proportionnelle par coefficient surfacique ». Les zones non prospectables sont définies comme 1) des secteurs de boisements ou alors 2) comme des végétations ne permettant pas de pénétrer dans la parcelle ou enfin 3) comme une parcelle où la détectabilité est proche de zéro. Par notre expérience, une végétation au-delà de 30 cm de hauteur limite très fortement la capacité de détection des cadavres. En fonction du type de couvert, le technicien à la possibilité de continuer à prospecter s'il estime que sa capacité de détection est encore significative ou de considérer la parcelle comme non prospectable. Les surfaces non prospectées sont alors prises en compte par le coefficient correcteur de surface

Le coefficient correcteur de surface par simple proportion, tel que demandé par le protocole national suppose comme hypothèse que la densité des cadavres est identique entre les zones prospectées et celles non prospectées. Par ailleurs, il est assez fréquent que le faible nombre de cadavres ne permette pas de quantifier la relation entre la densité de cadavres et la distance au sol de l'éolienne. Toutefois, ce sont majoritairement les zones éloignées des mats qui ont le plus de chance

de ne pas pouvoir être prospectées du fait de la présence récurrente d'une plateforme et chemin d'accès prospectable au pied des éoliennes. Ainsi, considérer à tort que la densité est homogène, peu importe la distance à éolienne, est donc en général conservateur (ne réduit pas l'estimation) au contraire d'une relation distance dépendance (Arnett et al. 2005). Toutefois, ces zones non prospectables participent à minimiser la mortalité observée mais aussi à surestimer la mortalité estimée par l'effet direct du coefficient correcteur de surface sur la probabilité de détection globale.

Tous les estimateurs utilisés ici se basent sur l'hypothèse que la mortalité est constante tout au long du suivi. Ce qui est vraisemblablement faux du fait des différentes phases du cycle biologique que peut couvrir un suivi. Des variables supplémentaires (comme l'activité acoustique pour les chiroptères), pourraient permettre de pondérer l'estimation de la mortalité en fonction de l'activité au cours du temps.

Le protocole national précise « Qu'il s'agisse du test d'efficacité ou du test de persistance des cadavres, il s'agira de s'assurer que les résultats permettent bien une utilisation statistique robuste dans l'estimation de la mortalité. ». Pour le test de persistance, le nombre de cadavres déployés va directement influencer la puissance statistique permettant d'estimer la vitesse de persistance moyenne, et d'autant plus si la vitesse de disparition est forte. En fonction de la pression de prédatation (difficilement estimable au début du suivi), un nombre trop faible de cadavre (défini par défaut au début du suivi) peut impliquer l'incapacité d'estimer de manière robuste le coefficient de prédatation pour chaque éolienne, voir même à l'échelle du parc. Ainsi, suivant les situations, cela peut remettre en cause cette demande spécifique du protocole national. Cela peut même engendrer l'incapacité de répondre au protocole national dans son ensemble si l'estimation de mortalité devient impossible. D'autre part, le nombre important de rats déposés (concentration), ainsi que leur taille et leur couleur peuvent générer des phénomènes d'attraction/saturation sur les prédateurs. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter les souris/rats blancs mais cela est rarement possible en raison du manque de production de rongeurs gris. Ainsi, les rongeurs doivent correspondre le plus possible en taille à des chiroptères, en l'absence d'alternative satisfaisante (répétabilité des tests notamment).

Le protocole national prévoit également une « Analyse croisée avec les données et résultats de suivis d'activité en continu des chauves-souris (corrélations entre pics d'activité et mortalités, entre l'évolution du cortège d'espèces inventorié par suivi en continu en nacelle et la chronologie de la mortalité par espèce...) ». Comme les protocoles acoustique et mortalité sont réalisés de manière indépendante, notamment pour les éoliennes suivies, la cohérence des résultats reste très aléatoire. A minima, la comparaison sera descriptive et tentera de mettre en lumière les possibles liens entre ces deux sources de données.

Annexe V : Définition de l'AIC et des intervalles de confiances à 95%

- L'AIC est l'anagramme du critère d'information d'Akaike, (en anglais Akaike information criterion ou AIC). Il s'agit d'un indice calculé pour évaluer la qualité d'un modèle statistique proposée par Hirotugu Akaike en 1973. Cet indice permet de comparer plusieurs modèles sur une base objective et notamment en pénalisant les modèles en fonction du nombre de paramètres (complexification) afin de satisfaire le critère de parcimonie. Les modèles avec une valeur d'AIC la plus faible sont les plus pertinents à sélectionner. L'AIC weight permet de classer les modèles par leur pourcentage d'intérêt relativement aux autres par pondération des valeurs d'AIC.
- L'intervalle de confiance à 95% se caractérise par une borne basse et haute entre lesquelles la valeur réelle (et estimée statistiquement) a 95% de chance de se situer.

Annexe VI : Détails sur la méthodologie, les résultats et les biais concernant les référentiels mortalité Biotope

Répartition des données du référentiel selon les années

Les 'alluviums' mettent en évidence la continuité du suivi d'un site sur des années consécutives.

Chaque année, les sites sont empilés par ordre décroissant du nombre de turbines suivies.

Les sites suivis pour la première fois sont représentés en bleu clair

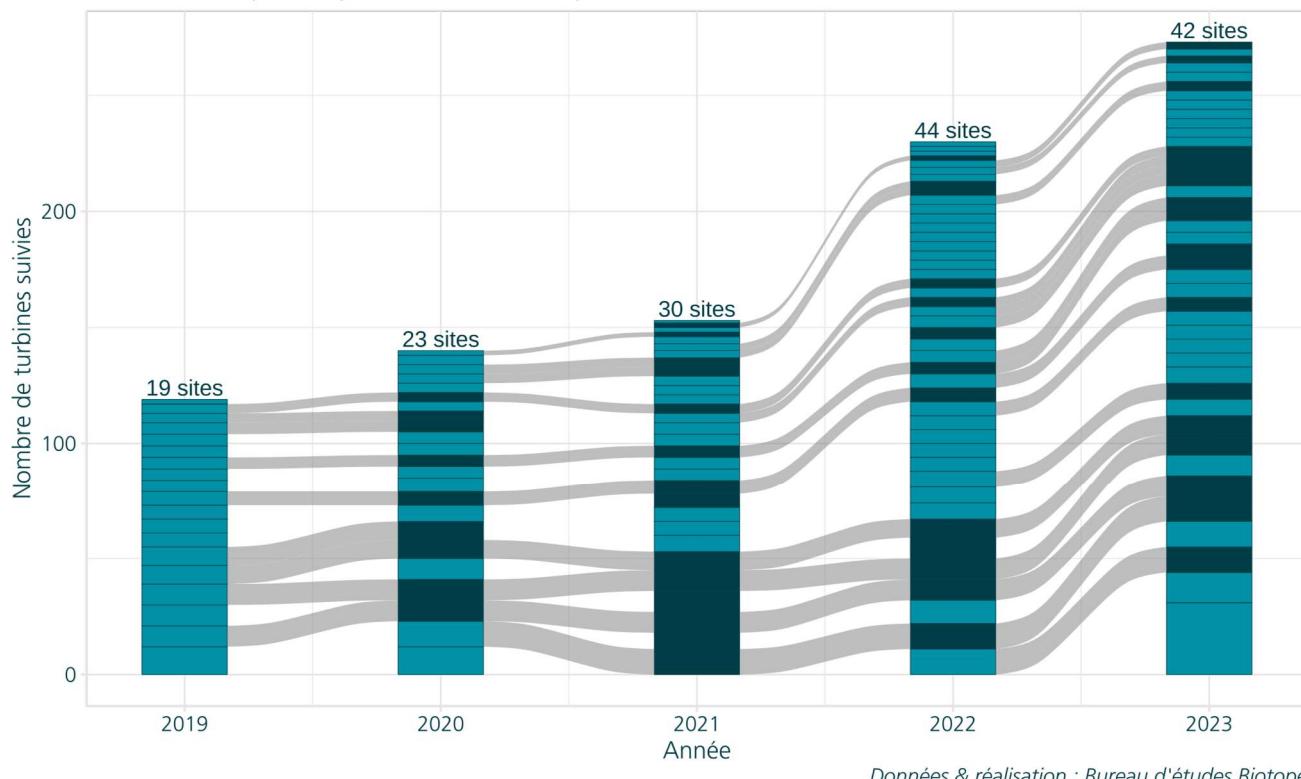


Figure 47 : Répartition des données du référentiel selon les années

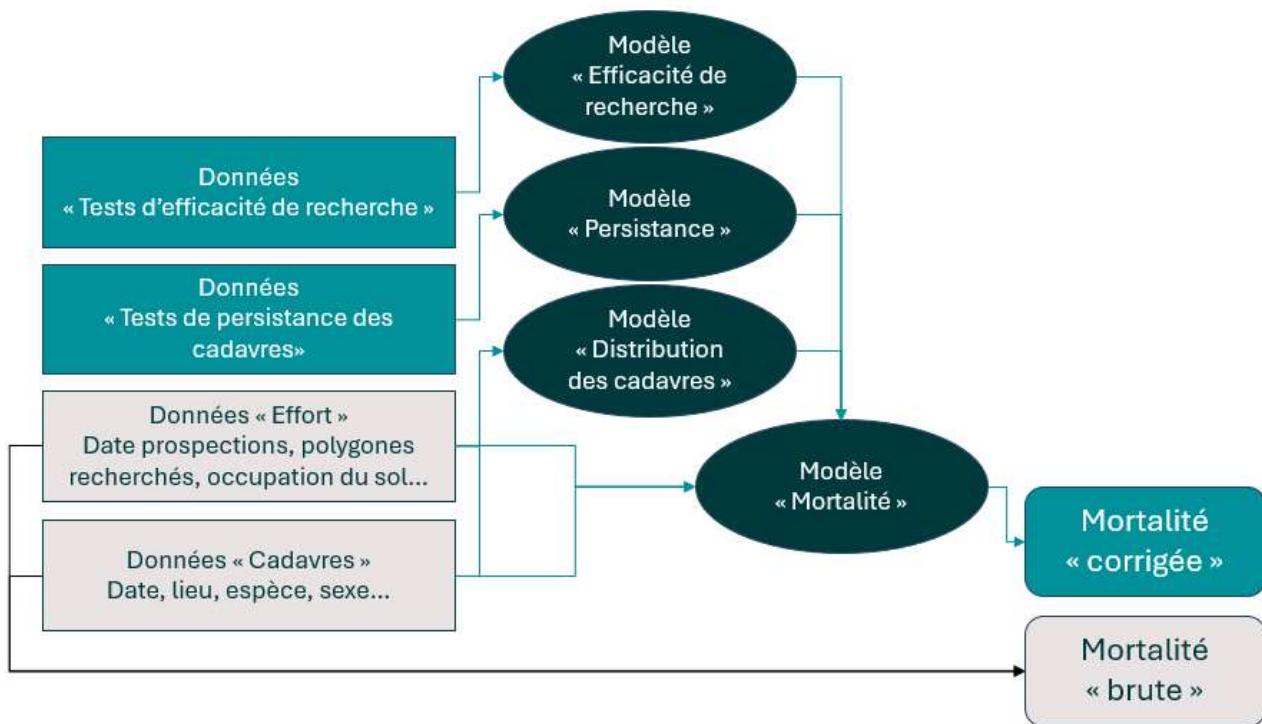


Figure 48 : Méthodologie simplifiée pour l'obtention des référentiels mortalités brute et corrigée

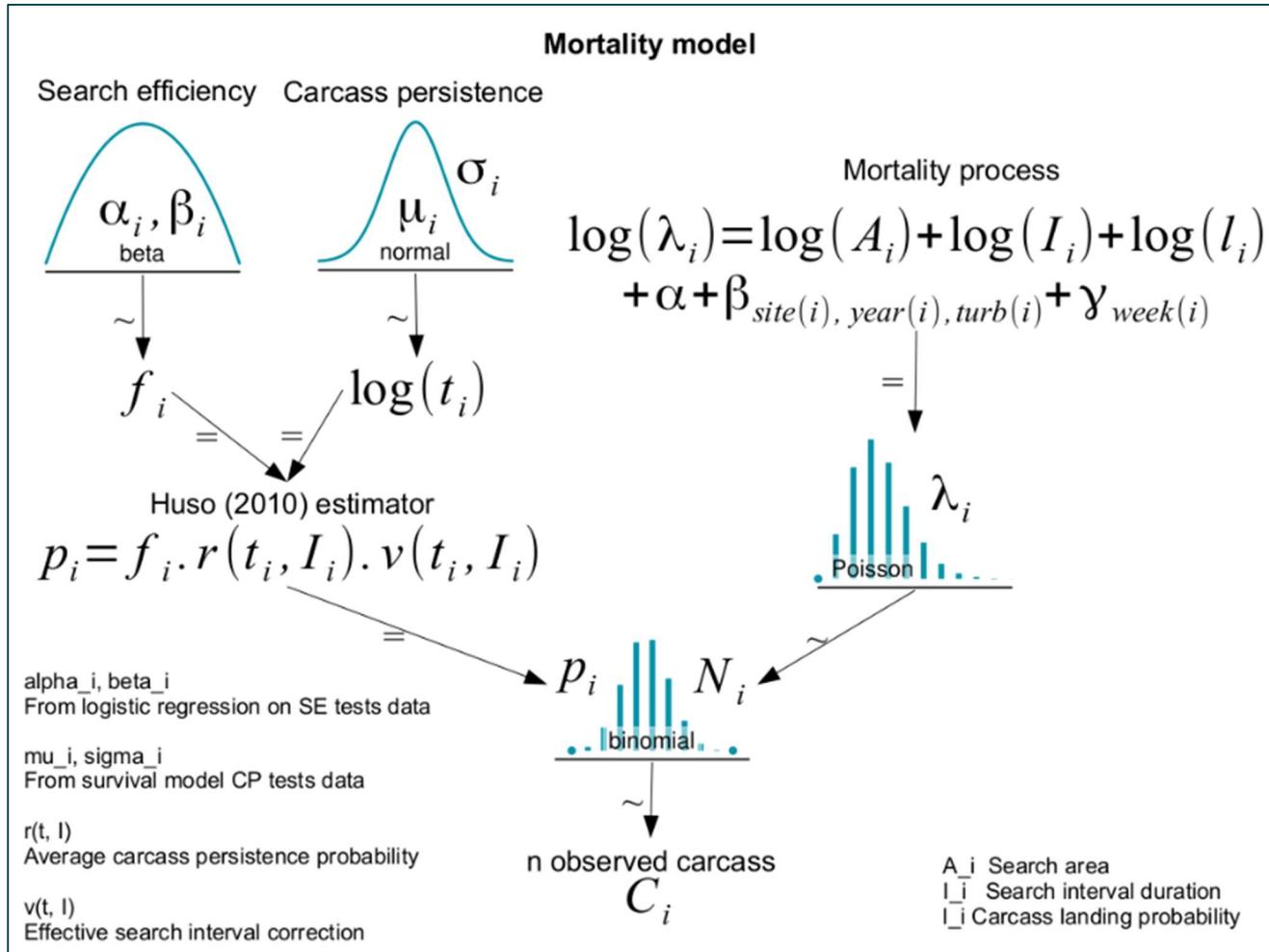


Figure 49 : Méthodologie détaillée de la modélisation du référentiel mortalité corrigée**Les biais d'interprétation concernant l'utilisation du référentiel mortalité corrigé****1. Modélisation différente des coefficients correcteurs par rapport à celles faites classiquement**

- *Persistiance* : ajout d'effets aléatoires sites, turbines, années ; cadre bayésien et non fréquentiste, loi de distribution exponentielle.
- *Efficacité de recherche* : ajout d'effets aléatoires diverses, d'effets nichés.
- *Coefficient correcteur de surface* : approche « DWP » avec une prise en compte de la densité de cadavre par anneaux concentrique le long de l'éolienne (pas suffisamment de données sur 1 parc pour le faire in-situ)
- *Probabilité globale de détection (\hat{g})* : modélisation dans un cadre bayésien
- *Estimation de la mortalité (M)* : priors de modélisation bayésienne plus informatifs ; approche de modalisation « partial-pooling »

2. Nombre de données utilisées pour réaliser les modélisations et la construction des modèles

- *Concernant le référentiel Biotope* : 23000 leurres pour les tests d'efficacité de recherche et de persistiance, plus de 80 OCS différentes, large éventail de conditions environnementales, temporalité longue (plusieurs mois et années)
- *Concernant les données pour un suivi* : au maximum 300 leurres, une dizaine d'OCS différentes, conditions environnementales propre au site d'étude, temporalité courte (1 année entre S20 et S43).

6 Index des tableaux et figures

Index des tableaux

Tableau 1 : Paramétrage de l'enregistreur en hauteur	12
Tableau 2 : Synthèse du nombre de nuits d'enregistrement exploitées par mois sur l'ensemble de la période	13
Tableau 3 : Identification des espèces de chiroptères	15
Tableau 4 : Référentiel ActiChiro-Altitude utilisé pour cette étude	17
Tableau 5 : Prospections de terrain et informations météorologiques	22
Tableau 6 : Nombre total de leurres disposés par éolienne en fonction de l'occupation du sol sur l'ensemble du suivi (poses cumulées des 2 tests).	24
Tableau 7 : Équipe de travail	25
Tableau 8 : Statuts de protection et de conservation des espèces de chiroptères recensées en hauteur sur le parc de Marcillé en 2024.	26
Tableau 9 : Nombre de contacts obtenus pour chaque espèce/groupe d'espèces à 100 m	27
Tableau 10 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur	28
Tableau 11 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur en période printanière	29
Tableau 12 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur en période estivale	29
Tableau 13 : Synthèse de l'activité des chiroptères obtenue en hauteur en période automnale	30
Tableau 14 : Proportions des minutes positives obtenues en altitude en fonction de la durée après le coucher du soleil	36
Tableau 15 : Croisement des informations sur l'évaluation de l'activité en altitude issues de l'état initial et de la première année de suivi 2024.	37
Tableau 16 : Proportions des contacts obtenus en hauteur (100 m) en fonction de la vitesse du vent	39
Tableau 17 : Proportions des contacts obtenus en hauteur (100 m) en fonction de la température	41
Tableau 18 : Tableau de synthèse associant les données « empirique » de Dürr (mis à jour le 09/08/2023 ; Dürr, 2023) et le « Référentiel mortalité brut » de Biotope 2023 pour des oiseaux touchés par les parcs éoliens selon les pays d'Europe et en France métropolitaine. Les valeurs entre parenthèses correspondent au nombre de cadavres brut.	50
Tableau 19 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces d'oiseaux touchées par le parc éolien de Marcillé	50
Tableau 20 : Tableau de synthèse associant les données « empirique » de Dürr (mis à jour le 09/08/2023) et le « Référentiel mortalité brut » de Biotope 2024 pour des chiroptères touchés par les parcs éoliens selon les pays d'Europe et en France métropolitaine.	51
Tableau 21 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces de chauves-souris touchées par le parc de Marcillé	52
Tableau 22 : Bilan de l'occupation du sol pour les six éoliennes sur l'ensemble de la période de suivi. Représentation en pourcentage des surfaces cumulées des différentes occupations du sol observées par éolienne et pour le parc sur l'ensemble de la période de suivi (25 passages). Les zones en gris foncé représentent les occupations du sol non prospectables tout ou partie du suivi (efficacité de recherche nulle), et en blanc les occupations du sol qui ont été prospectables la majeure partie de l'année de suivi (non prospectable que ponctuellement).	54
Tableau 23 : Statistiques descriptives du coefficient correcteur de surface calculé sur l'ensemble des 25 passages	59

Tableau 24 : Résultats des estimations des durées moyennes de persistance et leur intervalle de confiance à 95% pour les deux tests de persistance pour chacune des six éoliennes. Les durées moyennes de persistance sont les valeurs retenues comme coefficient correcteur pour les estimations de mortalité.	60
Tableau 25 : Taux d'efficacité de recherche (et intervalles de confiance à 95%) calculés (observés) et prédis (estimations et interpolations) par éolienne.	60
Tableau 26 : Bilan des probabilités globales de détection par méthode d'estimation	61
Tableau 27 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) des oiseaux au sein du parc de Marcillé sur la période du suivi (166 jours)	61
Tableau 28 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) de chiroptères au sein du parc de Marcillé sur la période du suivi (166 jours)	63
Tableau 29 : Projection de la mortalité estimée par éolienne sur les quantiles de mortalité du référentiel mortalité Biotope	65
Tableau 30 : Croisement des informations issues de l'état initial de l'étude d'impact et du suivi mortalité	68
Tableau 31 : Nombre de contacts obtenus pour chaque espèce/groupe d'espèces à 100 m au niveau de l'éolienne E03.	71
Tableau 32 : Phénologie du nombre de découvertes de cadavres par espèce et groupe d'espèces	72
Tableau 33 : Taux de couverture de l'activité 2024 enregistrée sur E3 en fonction des paramètres d'asservissement appliqués en 2024 sur le parc de Marcillé-Raoul	73
Tableau 34 : Taux de couverture par espèce et groupes d'espèces pour l'asservissement mis en œuvre en 2024	74
Tableau 35 : Taux de couverture fictif en fonction des paramètres d'asservissement actuel du parc de Marcillé-Raoul sur les données 2024	74

Index des figures

Figure 1 : Plateformes des éoliennes E01 et E03 du parc éolien de Marcillé	5
Figure 2 : Situation et disposition des éoliennes du parc éolien de Marcillé (de gauche à droite, E01, E02, E03, E04, E05 et E06)	6
Figure 3 : Localisation des éoliennes du parc éolien de Marcillé et de l'éolienne E03 équipée de l'enregistreur	11
Figure 4 : Localisation de l'implantation du microphone en nacelle. © Biotope	12
<i>Figure 5 : Microphone et enregistreur SM4 installé en nacelle E3 du parc de Marcillé</i>	12
Figure 6 : Cumul des nouvelles espèces en fonction de l'effort d'échantillonnage du suivi en hauteur sur l'éolienne E3 du parc de Marcillé	13
Figure 7 : Illustration du processus de validation des enregistrements ultrasonores © Biotope	14
Figure 8 : Répartition spatiale des points-nuits pour le référentiel altitude	16
Figure 9 : Exemple de distribution des niveaux d'activité issue du référentiel dédié pour l'étude	20
Figure 10. Schéma temporel de la vitesse du vent à 100 m sur l'ensemble du suivi mené depuis l'éolienne E3 du parc de Marcillé, entre mars et novembre 2024	21
Figure 11. Schéma temporel de la température à 100 m sur l'ensemble du suivi mené depuis l'éolienne E3 du parc de Marcillé, entre mars et novembre 2024	21
Figure 12 : Type de leurres utilisés dans le cadre des tests d'efficacité de recherche © Biotope	24
Figure 13 : Activité journalière moyenne par heure, toutes espèces confondues, enregistrée en altitude (100 m) au niveau de l'éolienne E3 de mars 2024 à novembre 2024	32
Figure 14 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure de nuit, toutes espèces confondues, enregistré en altitude (100 m) au niveau de l'éolienne E3 de mars 2024 à novembre 2024	32
Figure 15 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure nuit, pour la Pipistrelle commune, en altitude sur l'éolienne E3 de Marcillé en 2024.	33
Figure 16 : Nombre de minutes positives par tranche horaire, après le coucher du soleil, en altitude (100 m), toutes espèces confondues, de mars à novembre 2024	34

Figure 17 : Nombre de minutes positives par tranche horaire en fonction de la période de l'année, après le coucher du soleil, en altitude (100 m) et toutes espèces confondues	35
Figure 18 : Répartition des minutes positives par nuit et par tranche horaire, toutes espèces confondues, en altitude (100 m)	36
Figure 19 : Densité des contacts de chauves-souris par classe de vitesse de vent (m/s) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé	38
Figure 20 : Répartition des contacts de chauves-souris par classe de vitesse de vent (m/s) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé	38
Figure 21 : Affinité des chiroptères pour les différentes classes de vitesse de vent nocturne sur le site, pour les contacts en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé	39
Figure 22 : Densité des contacts de chauves-souris par classe de température nocturne température (°C) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé	40
Figure 23 : Répartition des contacts de chauves-souris par classe de température nocturne température (°C) en hauteur (100 m) au niveau de l'éolienne E3 du parc de Marcillé	41
Figure 24 : Affinité des chiroptères pour les différentes classes de température nocturne sur le site, pour les contacts enregistrés en altitude (100 m)	42
Figure 25 : Bilan des conditions météorologiques sélectionnées par les chauves-souris sur le site (2 variables : vitesse du vent et température) en altitude à 100 m. Les conditions en bleu sont celles sélectionnées par les chauves-souris	42
Figure 26 : Météorologie enregistrée sur les capteurs, à gauche - Conditions météorologiques utilisées par les chauves-souris, à droite. L'enveloppe délimite une proportion de 90% des conditions	43
Figure 27 : Mortalité par espèce ou groupe d'espèces observée sur le parc éolien de Marcillé	44
<i>Figure 28 : Présentation de quelques photographies des cadavres découverts. © Biotope</i>	45
Figure 29 : Nombre de cadavres trouvés par passage sur le parc éolien de Marcillé	46
Figure 30 : Nombre de cadavres découverts par éolienne	47
Figure 31 : Répartition spatiale (distance à l'éolienne) des cadavres retrouvés au sein du parc de Marcillé. La courbe représente l'évolution de la surface de l'aire d'étude prospectée en fonction de la distance au pied de l'éolienne.	48
Figure 32 : Positionnement des observations par rapport au positionnement des éoliennes. En grisé, le cumul des observations en histogramme radial en fonction de l'orientation. Le cercle noir correspond au rayon de prospection maximale de la zone échantillonnée.	49
Figure 33 : Projection du 'quantile de mortalité' en fonction de la mortalité brute de votre parc à travers la répartition empirique du nombre de cadavres découverts sur les parcs éoliens suivis par Biotope (de 2019 à 2023).	53
Figure 34 : Évolution de l'occupation du sol et surfaces prospectées sur l'ensemble du suivi	55
Figure 35 : Occupation du sol pour les éoliennes E01, E02, E03, E04, E05 et E06 le 17 mai 2024 (premier passage en haut) et le 30 octobre 2024 (dernier passage en bas)	56
Figure 36 : Durées de persistances moyennes et médianes accompagnées des incertitudes (intervalles de confiance à 95%) des cadavres pour chaque test de prédition	59
Figure 37 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les oiseaux pour le parc éolien de Marcillé au cours du suivi de 2024 sur 166 jours	62
Figure 38 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les chiroptères pour le parc éolien de Marcillé au cours du suivi de 2024 sur 166 jours	64
Figure 39 : Projection de la mortalité estimée par turbine issue du parc de Marcillé sur la répartition empirique des estimations de mortalité du référentiel mortalité estimée de Biotope.	66
Figure 40 : Phénologie de découverte des cadavres de chiroptères à l'échelle du parc de Marcillé	69
Figure 41 : Phénologie de l'activité acoustique enregistrée au niveau d'éolienne E03 sur la période de réalisation du suivi mortalité (cadavres de chiroptères retrouvés)	69
Figure 42 : Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure de nuit, toutes espèces confondues, en altitude sur l'éolienne E3 de Marcillé sur la période de réalisation du suivi mortalité en 2024.	70
Figure 43 : Cortège d'espèces de chiroptères découvert lors du suivi de mortalité du parc éolien de Marcillé	70

Figure 44 : Eolienne E3 - Nombre moyen de minutes positives mensuelles par heure de nuit, pour la Pipistrelle commune en 2024.	72
Figure 45 : Périodes lors desquelles le suivi de mortalité est attendu selon le protocole national 2018	82
Figure 46 : Schéma de la surface-échantillon à prospecter (largeur de transects de 5 à 10 m) (extrait du protocole national 2018).	82
Figure 47 : Répartition des données du référentiel selon les années	85
Figure 48 : Méthodologie simplifiée pour l'obtention des référentiels mortalités brute et corrigée	86
Figure 49 : Méthodologie détaillée de la modélisation du référentiel mortalité corrigée	87



Biotope Siège Social
22, boulevard Maréchal Foch
B.P. 58
34140 MÈZE
Tél. : +33 (0)4 67 18 46 20
www.biotope.fr

