

**RAPPORT DE SUIVI ENVIRONNEMENTAL ET DE
FONCTIONNEMENT PROBAT®
2023**

**PARC EOLIEN DE SAINT-MORAND
ILLE-ET-VILAINE (35)
4 EOLIENNES**

Réf. : Rapport_ProBat_2023_SOL_Saint-Morand_2024.05.24



Client : Parc éolien de Saint-Morand SAS
Contact : Christophe Biger
Sens Of Life Client Manager : Arold Ballesteros

SUIVI DE MODIFICATION

Action	Nom - Poste	Date
Ecriture V3	Marie Bailleul – Chargée de mission ProBat® / ProBird®	24/05/2024
Vérification	Camille Sottas	24/05/2024

DOCUMENTS REFERENTS

Rev.	Date	Détails
AP	07/03/2019	Arrêté préfectoral d'autorisation d'exploitation

Sommaire

Table des illustrations.....	4
1 Cadre de l'étude	6
1.1 Contexte du parc éolien	6
1.2 Installation matérielle sur site.....	8
2 Fonctionnement de ProBat®	9
2.1 Explication du fonctionnement ProBat®	9
2.2 Maintenance / Journal d'évènements	11
2.2.1 Dysfonctionnement archivage données système	12
2.3 Mortalité enregistrée	13
3 Résultats du fonctionnement.....	14
3.1 Paramétrages ProBat®	14
3.2 Résultats des suivis d'activité chiroptérologique	14
3.2.1 Activité brute et corrigée par espèce	14
3.2.2 Activité des chiroptères en fonction de la date	17
3.2.3 Activité des chiroptères en fonction de l'heure	18
3.2.4 Activité des chiroptères en fonction du vent	20
3.2.5 Activité des chiroptères en fonction de la température	21
3.2.6 Activité des chiroptères en fonction du vent et de la température combinés	22
3.3 Régulation ProBat®	23
3.3.1 Arrêts machine de l'éolienne E1	24
3.3.2 Arrêts machine de l'éolienne E2	25
3.3.3 Arrêts machine des éoliennes E3 et E4	26
4 Conclusion	28
5 Fiabilisation des solutions TrackBat® et ProBaT®	31
6 Annexes	36
6.1 Evaluation des indices d'activité	36
6.2 Description des espèces de chiroptères rencontrées	40
6.2.1 Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)	40
6.2.2 Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)	42
6.2.3 Pipistrelle de Kuhl (<i>Pipistrellus kuhlii</i>)	44
6.2.4 Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)	45
6.2.5 Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	47
6.2.6 Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>)	49
6.3 Sensibilité des chiroptères à l'éolien	51
6.3.1 Généralités	51
6.3.2 Mortalité directe	53

7	Bibliographie.....	55
---	--------------------	----

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Implantation des éoliennes et des enregistreurs TrackBat® pour la régulation ProBat® du parc éolien de Saint-Morand.....	8
Carte 2 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius (Kurvits et al., 2011)	43

Graphique 1 : Répartition des contacts bruts (à gauche) et corrigés (à droite) des espèces contactées par le TrackBat® 2 en nacelle de E4, sur le parc éolien de Saint-Morand, entre aout et octobre 2023.	15
Graphique 2 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la date sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023.	17
Graphique 3 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de l'heure sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023.	18
Graphique 4 : Activité des chiroptères enregistré par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand, sur la période étudiée, en fonction du lever et coucher du soleil.	19
Graphique 5 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la vitesse de vent sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023. La flèche noire indique la vitesse du vent à partir duquel l'éolienne commence à produire, ici 2.5 m. s ⁻¹	20
Graphique 6 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la température sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023.....	21
Graphique 7 : Répartition des différents arrêts machine sur l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Morand en fonction de la date et de l'heure pour la période de juin à octobre 2023.	24
Graphique 8 : Répartition des différents arrêts machine sur l'éolienne E2 du parc éolien de Saint-Morand en fonction de la date et de l'heure pour la période de juin à octobre 2023.	25
Graphique 9 : Répartition des arrêts ProBat® sur l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand en fonction de la date et de l'heure pour la période de juin à octobre 2023.	26
Graphique 10 : Activité et activité à risque des chiroptères enregistré par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand, sur la période étudiée, en fonction du lever et coucher du soleil.	27

Figure 1 : Courbes mathématiques types utilisées pour chacun des paramètres dans le calcul du risque prévisionnel.	9
Figure 2 : Interface ProBat® - Vue de la page « Synthèse journalière ».....	32
Figure 3 : Interface ProBat® - Vue de la page "Aperçu général"	33
Figure 4 : PC industriel Fanless.....	33
Figure 5: Ancienne architecture ProBat 4G.....	34
Figure 6: Architecture simplifiée ProBat®	34
Figure 7: Installation Starlink sur un parc éolien.....	35
Figure 8 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces	36
Figure 9 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission.....	37
Figure 10 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine	40
Figure 11 : Pipistrelle commune (Pipistrellus pipistrellus)	40
Figure 12 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune.....	41
Figure 13 : Individu adulte de Pipistrelle de Nathusius (Pipistrellus nathusii)	42
Figure 14 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl.....	43
Figure 15 : Individu adulte de Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii)	44

Figure 16 : Individu adulte de noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>)	45
Figure 17 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune.	46
Figure 18 : Individu adulte de Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>)	47
Figure 19 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler	48
Figure 20 : Individu adulte de Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>).....	49
Figure 21 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune	50
Figure 22 : Description du phénomène de barotraumatisme d'après Rico et al., 2015.	52
Tableau 1 : Caractéristiques du parc éolien et du système ProBat®	6
Tableau 2 : Evènements rencontrés sur le système TrackBat/ProBat® sur le parc éolien de Saint-Morand sur la période du 1 ^{er} juin au 31 octobre 2023.	11
Tableau 3 : Mortalités recensées sur le parc de Saint-Morand entre le 23 mars 2023 et le 27 octobre 2023.....	13
Tableau 4 : Nombre de contacts bruts et corrigés enregistrées, en nacelle de E4 sur le parc éolien de Saint-Morand par le TrackBat® 2, entre le 11 août et le 31 octobre 2023.	15
Tableau 5 : Activité corrigée des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent ($m.s^{-1}$) combinées en nacelle de l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand entre août et octobre 2023.	22
Tableau 6 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes, M. Barataud, 2020.	39
Tableau 7 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, août 2023).....	53
Tableau 8 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016).	54

1 CADRE DE L'ETUDE

1.1 CONTEXTE DU PARC EOLIEN

Le parc éolien de Saint-Morand est localisé sur les communes de Martigné-Ferchaud et Eancé dans le département de l'Ille-et-Vilaine. Le projet est composé de 4 éoliennes de type Enercon E103 mises en service en 2023. Le parc est équipé du système ProBat® depuis mars 2023.

Tableau 1 : Caractéristiques du parc éolien et du système ProBat®.

Parc éolien	
Exploitant	P&T Technologie
Nombre d'éoliennes	4
Type d'éoliennes	Enercon E103
Hauteur des éoliennes (mât)	107
Mise en service du parc	2023
Système ProBat®	
Mise en service du système	14 mars 2023
Nombre d'éolienne régulées	4
Nombre d'éoliennes équipées d'enregistreurs ultrasonores TrackBat®	2
Nombre de TrackBat®	2
Fonctionnement	<p>Entre 30 min avant le coucher du soleil et 30 min après son lever selon les paramètres suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> Du 1^{er} juin au 7 septembre <ul style="list-style-type: none"> Pour toutes les éoliennes, un bridage dynamique grâce au système ProBat®, Pour E2 (équipée du TrackBat® 1), en plus du bridage dynamique, un bridage sur seuil, en dessous de 5 m. s⁻¹ et au-dessus de 10°C (selon le permis d'exploitation, paramétré le 07/03/2019), Du 8 septembre au 31 octobre 2023, <ul style="list-style-type: none"> Pour toutes les éoliennes un bridage provisoire préventif sur seuil en dessous de 7 m. s⁻¹ et au-dessus de 10°C.
Suivi environnemental	
Bureau d'études	AEP Gingko
Mortalités observées	1 Pipistrelle commune, 3 Pipistrelles sp et 2 Noctules communes en 2023
Contexte particulier (zone forestière, bocagère, etc.)	Le système d'exploitation agricole sur le parc est de type conventionnel, et quelques haies sont présentes sur le site

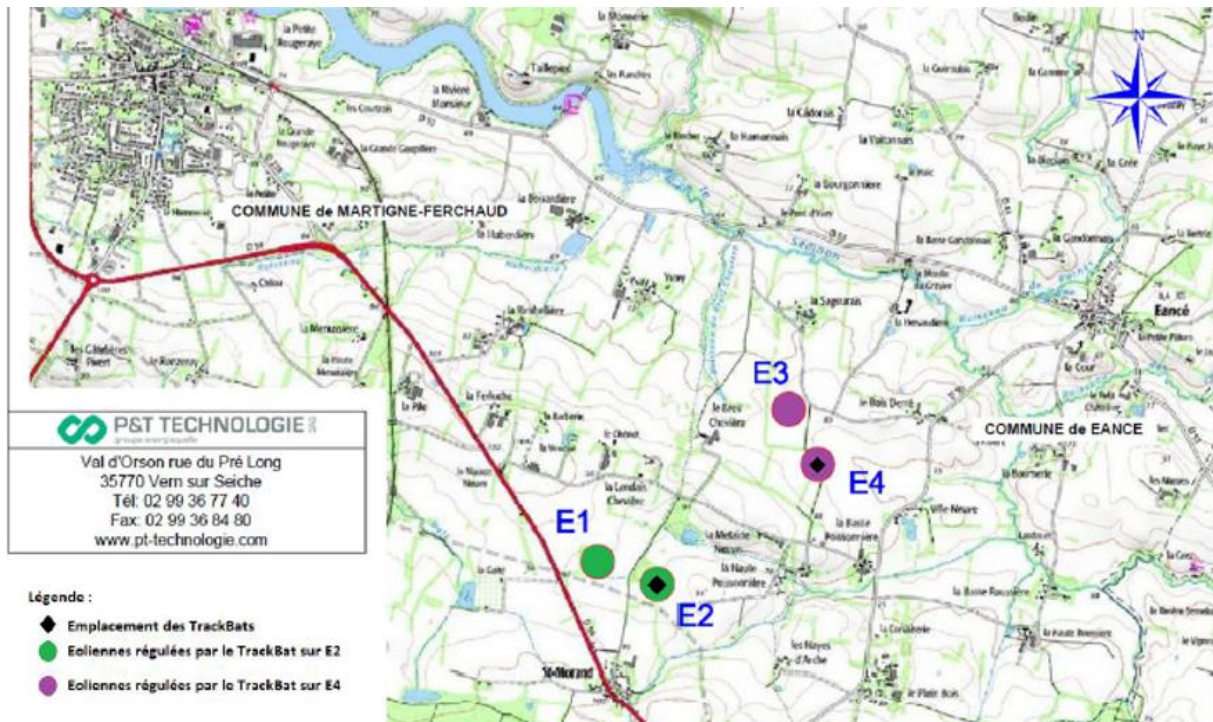
mais de façon éparse, sans former de maillage bocager très dense. Un boisement est présent à proximité des éoliennes E1 et E2.

1 Arrêté préfectoral

Ce rapport présente l'analyse du fonctionnement du système ProBat® pour la période du 01 juin 2023 au 31 octobre 2023, soit la première année de fonctionnement. Ce dernier avait également pour vocation à présenter les données d'activité chiroptères enregistrée par le les TrackBats® à partir de la date d'installation du système en mars. Cependant à la suite d'un défaut d'archivage (voir 2.2.1), les données d'écoutes sont uniquement disponibles à partir du 11 août 2023 .

1.2 INSTALLATION MATERIELLE SUR SITE

Les éoliennes E2 et E4 retenues pour l'installation des dispositifs TrackBat® sont représentatives du milieu et sont pertinentes dans l'organisation du dispositif de bridage dynamique en vigueur sur le parc. Ainsi, deux enregistreurs ultrasonores TrackBat® ont été installés sur le parc éolien, l'un en nacelle de l'éolienne E2, afin de réguler les éoliennes E1 et E2, l'autre en nacelle de l'éolienne E4, afin de réguler les éoliennes E3 et E4.



Carte 1 : Implantation des éoliennes et des enregistreurs TrackBat® pour la régulation ProBat® du parc éolien de Saint-Morand.

2 FONCTIONNEMENT DE PROBAT®

2.1 EXPLICATION DU FONCTIONNEMENT PROBAT®

En 2023, 50 parcs éolien ont été régulés avec notre solution ProBat®. La première installation ProBat® a eu lieu en 2016. Le pourcentage moyen de préservation de l'activité chiroptérologique sur l'ensemble des parcs équipés est de 92%, le taux de préservation cible étant de 90% pour chacun des parcs. Le système ProBat® développé par Sens Of Life permet de réguler de façon optimale les éoliennes afin de préserver les chiroptères tout en limitant efficacement les pertes de productibles.

Le système de régulation ProBat® est basé sur un **bridage dynamique** fonctionnant à l'aide de deux composantes :

- **L'activité théorique** des chiroptères modélisée selon un algorithme multifactoriel prenant en compte en temps réel les niveaux de risques associés aux paramètres météorologiques (i.e., température et vitesse de vent) relevés sur chacune des éoliennes, ainsi que la date et l'heure ; Ce calcul est basé sur des courbes mathématiques pour chacun des paramètres (Figure 1), basés sur des référentiels chiroptères issus de la littérature scientifique et de notre retour d'expérience. Il en ressort un premier calcul de risque dit prévisionnel.

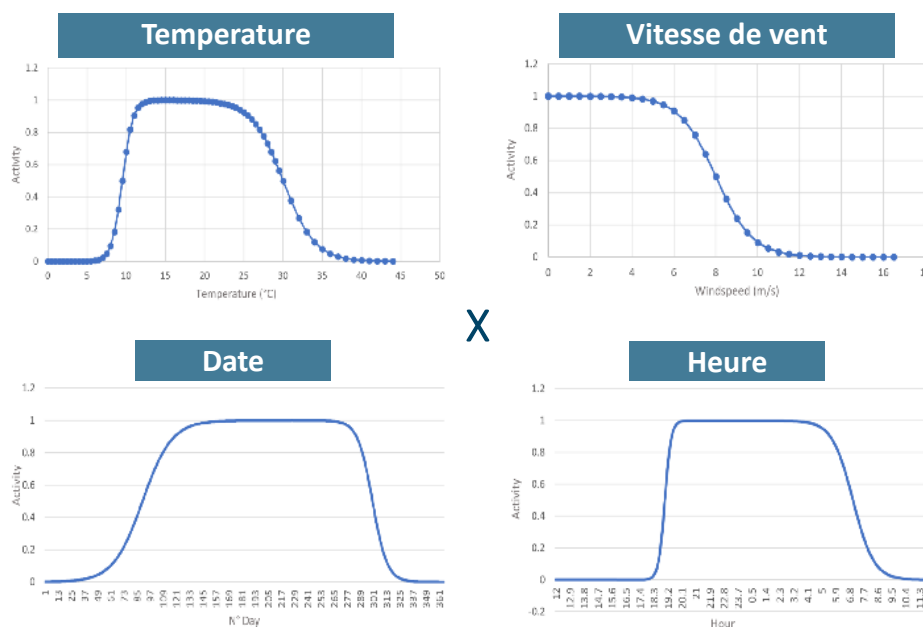


Figure 1 : Courbes mathématiques types utilisées pour chacun des paramètres dans le calcul du risque prévisionnel.

- L'activité chiroptère détectée en temps réel par un enregistreur ultrasonore (TrackBat®) qui va permettre d'ajuster à la hausse ou à la baisse le **risque prévisionnel** pour calculer le risque global. L'activité chiroptère est quantifiée en termes de minutes positives.

C'est la combinaison de ces deux composantes qui va permettre de calculer un risque global qui va être comparé à un seuil fixé paramétrable (e.g., 90%).

Dans le cas d'une indisponibilité des enregistreurs ultrasonores (TrackBat®) responsables de la collecte en temps réel de l'activité des chiroptères, la régulation initialement basée sur un bridage dynamique passe en mode dégradé basé uniquement sur le risque prévisionnel. Ce mode dégradé applique le principe de précaution étant également paramétré pour atteindre un taux de préservation de 90% de l'activité chiroptère.

Le système ProBat® peut cumuler ou être supplanté par des périodes de bridage seuil si prescrit.

2.2 MAINTENANCE / JOURNAL D'ÉVÈNEMENTS

Tableau 2 : Évènements rencontrés sur le système TrackBat/ProBat® sur le parc éolien de Saint-Morand sur la période du 1^{er} juin au 31 octobre 2023.

Date	Élément du système concerné	Cause	Conséquence	Résolutions/Actions
01/06/2023	Système	-	-	Mise en place de la régulation ProBat® sur le parc
11/08/2023	TrackBats®	Problème d'archivage de données	Pas d'exhaustivité des données	Mise à jour du logiciel par SOL et passage en bridage multifactoriel (décision prise par SOL par mesure de précaution)
19/08/2023 au 22/08/2023	Système	Dysfonctionnement du script donneur d'ordre	Pas de régulation	Relance du script à distance par un technicien SOL
08/09/2023	Système	Réglage non adapté au site	Mortalités rencontrées sur le parc	Changement du bridage dynamique vers un bridage seuil provisoire préventif

Sur l'ensemble de la période de régulation, soit 152 jours, le système a connu 4 jours d'indisponibilité au cours desquels la régulation n'était pas fonctionnelle, du 19 au 22 août 2023. La problématique à l'origine de l'absence de régulation lors de cette période représente une faille dans le bon fonctionnement du script responsable des ordres d'arrêts ProBat®. Cette faille est déjà corrigée grâce à différentes solutions de fiabilisation du système ProBat® notamment via un remaniement de l'architecture du logiciel ProBat® (voir Chapitre 5 pour plus de détails).

Un changement de bridage a été opéré le 8 septembre 2023 pour limiter au mieux les risques de collision entre les chiroptères et les machines du parc éolien de Saint-Morand.

Au cours de la période de régulation en 2023, les seuils de déclenchement du système ProBat® ont été paramétrés comme suit :

- Du 01^{er} juin au 07 septembre, lors du bridage dynamique et multifactoriel : seuil de déclenchement à 0.9
- Du 08 septembre au 31 octobre, lors du bridage sur seuil préventif provisoire : seuil de déclenchement abaissé à 0.8 par précaution.

2.2.1 Dysfonctionnement archivage données système

Comme cela a été communiqué par les équipes de Sens Of Life en cours de saison, nous avons rencontré un problème dans le processus d'archivage des données TrackBat®. A la suite de la découverte de ce dysfonctionnement, nous avons effectué une mise à jour du software le 11 août 2023. Avant cette date, aucun enregistrement de l'activité chiroptère, ni de statistiques ne sont disponibles, **néanmoins il faut noter que l'absence d'archivage des données n'implique pas une non prise en compte en temps réel du niveau d'activité mesurée sur cette première période (i.e., du 1^{er} juin au 10 aout 2023).**

Le processus d'analyse de ces données prévoit :

- i Un premier traitement à l'aide de logiciel d'identification automatique *Kaleidoscope Pro Analysis Software* fournit par Wildlife Acoustics, Inc., à la suite duquel nous transmettons des informations préliminaires sur le taux de disponibilités des données et le nombre de contact aux clients,
- ii Une vérification manuelle du classement automatique réalisée précédemment, suivant un protocole standardisé visant notamment l'analyse des sonogrammes des journées porteuses de valeurs extrêmes,
- iii Une consolidation des données et une analyse contextuelle formalisée dans le présent rapport.

2.3 MORTALITE ENREGISTREE

Au total, 6 cadavres de chiroptères ont été relevés lors des 33 passages effectués par le bureau d'études en charge du suivi environnementale sur le parc de Saint-Morand entre le 23 mars 2023 et le 27 octobre 2023 (Tableau 3).

Tableau 3 : Mortalités recensées sur le parc de Saint-Morand entre le 23 mars et le 27 octobre 2023.

Date de découverte	Nom latin	Nom commun	Turbine	Distance à la turbine (m)
19/07/2023	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	E2	18
27/07/2023	<i>Pipistrellus sp</i>	Pipistrelle sp.	E3	12
23/08/2023	<i>Pipistrellus sp</i>	Pipistrelle sp.	E1	35
23/08/2023	<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	E2	37
07/09/2023	<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	E4	10
07/09/2023	<i>Pipistrellus sp</i>	Pipistrelle sp.	E4	0

Lors de la nuit du 18 juillet 2023, des températures caniculaires ont été enregistrées aux alentours de l'éolienne E2, impliquant un biais dans le calcul du risque prévisionnel lié à la température. Des épisodes caniculaires similaires ont été enregistrés lors des nuits du 05 et 06 septembre 2023 aux alentours de l'éolienne E4. En effet, ce calcul est basé sur la littérature et des données associées où les fortes périodes de chaleur sont peu représentées. Ce biais est corrigé pour la saison 2024 (voir section 5). Ces évènements peuvent avoir perturbé le calcul du risque prévisionnel et expliquer les mortalités rencontrées lors de ces périodes.

Un dysfonctionnement du script responsable de l'envoi des ordres d'arrêts du système ProBat® est à l'origine de l'incident système ayant causé un arrêt de la régulation entre le 19 et le 22 août 2023. Ce dysfonctionnement explique donc les deux collisions recensées le 23 août sur E1 et E2.

3 RESULTATS DU FONCTIONNEMENT

3.1 PARAMETRAGES PROBAT®

Sur le parc éolien de Saint-Morand, la régulation ProBat® est active du 1 juin au 31 octobre 2023 entre 30 minutes avant le coucher du soleil et 30 minutes après son lever selon les paramètres suivants :

- Du 1 juin au 10 aout 2023,
 - Pour toutes les éoliennes, un **bridage dynamique** grâce au système ProBat®,
 - Pour E2 (équipée du TrackBat® 1), en plus du bridage dynamique, un **bridage sur seuil**, en dessous de 5 m.s⁻¹ et au-dessus de 10°C.
- Du 11 aout au 7 septembre 2023,
 - Pour toutes les éoliennes, un **bridage multifactoriel** grâce au système ProBat®,
 - Pour E2 (équipée du TrackBat® 1), en plus du bridage dynamique, un **bridage sur seuil**, en dessous de 5 m.s⁻¹ et au-dessus de 10°C.
- Du 8 septembre au 31 octobre 2023,
 - Pour toutes les éoliennes un **bridage provisoire préventif sur seuil** en dessous de 7 m. s⁻¹ et au-dessus de 10°C.

3.2 RESULTATS DES SUIVIS D'ACTIVITE CHIROPTEROLOGIQUE

3.2.1 Activité brute et corrigée par espèce

Les données du TrackBat®1 comprennent les contacts de chiroptères enregistrés entre le 11 aout au 31 octobre 2023 (voir 2.1). Ces données permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leur activité. Néanmoins, dans la suite de ce rapport nous ne présenterons pas de résultats pour le TrackBat® 1 installé sur E2 car celle-ci sont absentes suite à une défaillance dans l'archivage des données (voir 2.1).

Pour rappel, le taux de disponibilité réelle des données après filtre est de 0% pour le TrackBat®1 installé sur E2 et de 38.3% pour le TrackBat®2 installé sur E4.

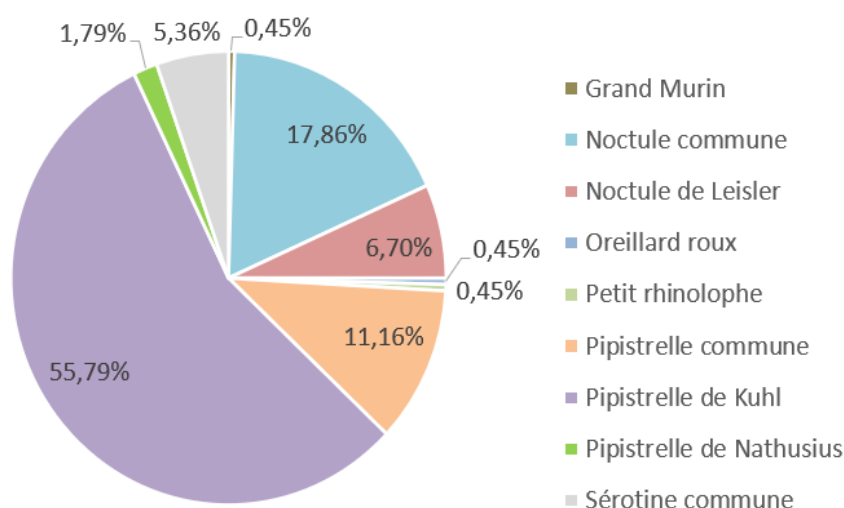
Le Tableau 4 présente donc le nombre de contacts bruts et corrigés ainsi que leur proportion pour l'éolienne 4 sur laquelle est installé le TrackBat®2. Ces valeurs sont représentées dans le graphique 1 ci-dessous dans lequel on retrouve la répartition des données de contacts bruts et corrigés.

Tableau 4 : Nombre de contacts bruts et corrigés¹ enregistrés, en nacelle de E4 sur le parc éolien de Saint-Morand par le TrackBat® 2, entre le 11 aout et le 31 octobre 2023.

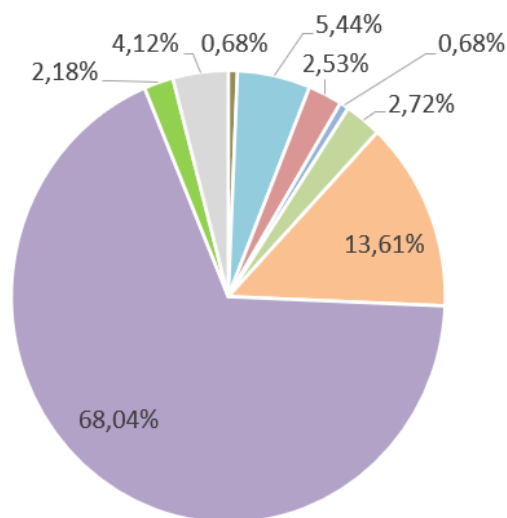
Nom commun	Espèce Nom scientifique	Contacts bruts		Contacts corrigés	
		Nombre	Proportion	Nombre	Proportion
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	1	0,45	1,25	0,68
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	40	17,86	10	5,44
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	15	6,7	4,65	2,53
Oreillard roux	<i>auritus</i>	1	0,45	1,25	0,68
Petit rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	1	0,45	5	2,72
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	11,16	25	13,61
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus khulii</i>	125	55,8	125	68,04
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	4	1,79	4	2,18
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	12	5,36	7,56	4,12

Le nombre total de contacts corrigés enregistrés et identifiés par le TrackBat®2 est de 183.71 (Tableau 4). Les espèces les plus contactées en nacelle de l'éolienne E4 par le TrackBat® 2 sont la pipistrelle de Kuhl (68.04 % des contacts corrigés de chiroptères identifiés), puis la pipistrelle commune (13.61 % des contacts corrigés de chiroptères identifiés). A l'inverse, le grand murin et la pipistrelle de Nathusius sont les moins représentés (avec respectivement 0.68 % et 2.18 % des contacts corrigés de chiroptères identifiés). Ces résultats sont illustrés dans le Graphique 1.

Contacts bruts par espèce en nacelle de E4



Contacts corrigés par espèce en nacelle de E4



Graphique 1 : Répartition des contacts bruts (à gauche) et corrigés (à droite) des espèces contactées par le TrackBat® 2 en nacelle de E4, sur le parc éolien de Saint-Morand, entre aout et octobre 2023.

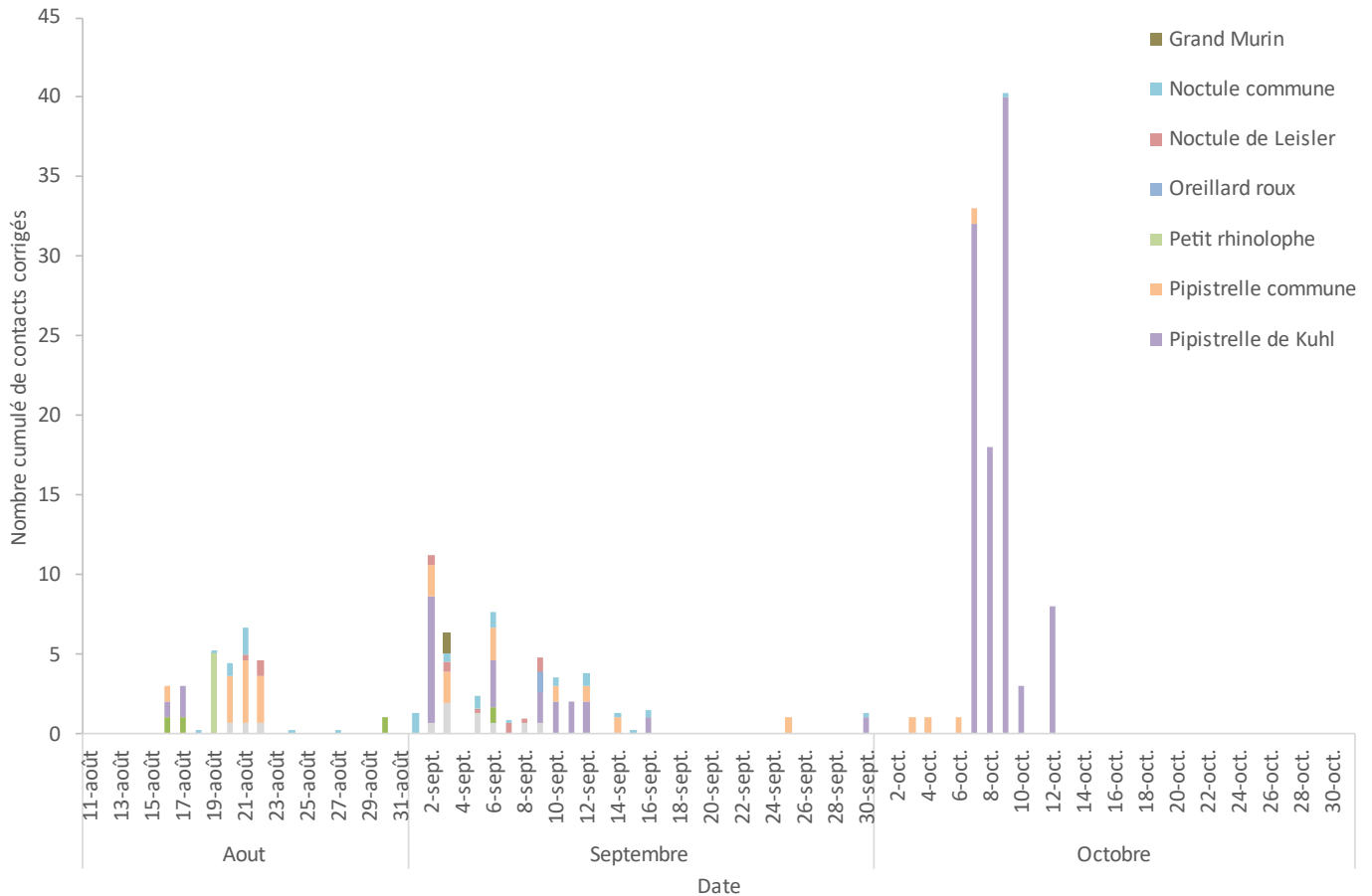
¹ La méthode de calcul des contacts bruts et corrigés est détaillée en Annexe 6.1

L'activité des chiroptères a été enregistrée sur le parc de Saint-Morand de mi août à fin octobre 2023, et couvre donc principalement la période de migration automnale (du 16 août au 31 octobre 2023), ainsi que 4 nuits de la période de parturition du (du 11 août au 15 août 2023).

La totalité des contacts a été enregistrés par le TrackBat® 2 ont eu lieu au cours de la période de migration automnale. Cela peut s'expliquer par le peu de jours de période de parturition représentés par notre jeu de données, celui-ci couvrant la période du 11 août au 31 octobre 2023.

3.2.2 Activité des chiroptères en fonction de la date

Le Graphique 2 illustre le nombre de contacts corrigés de chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de E4 en fonction de la date du 11 août au 31 octobre 2023.

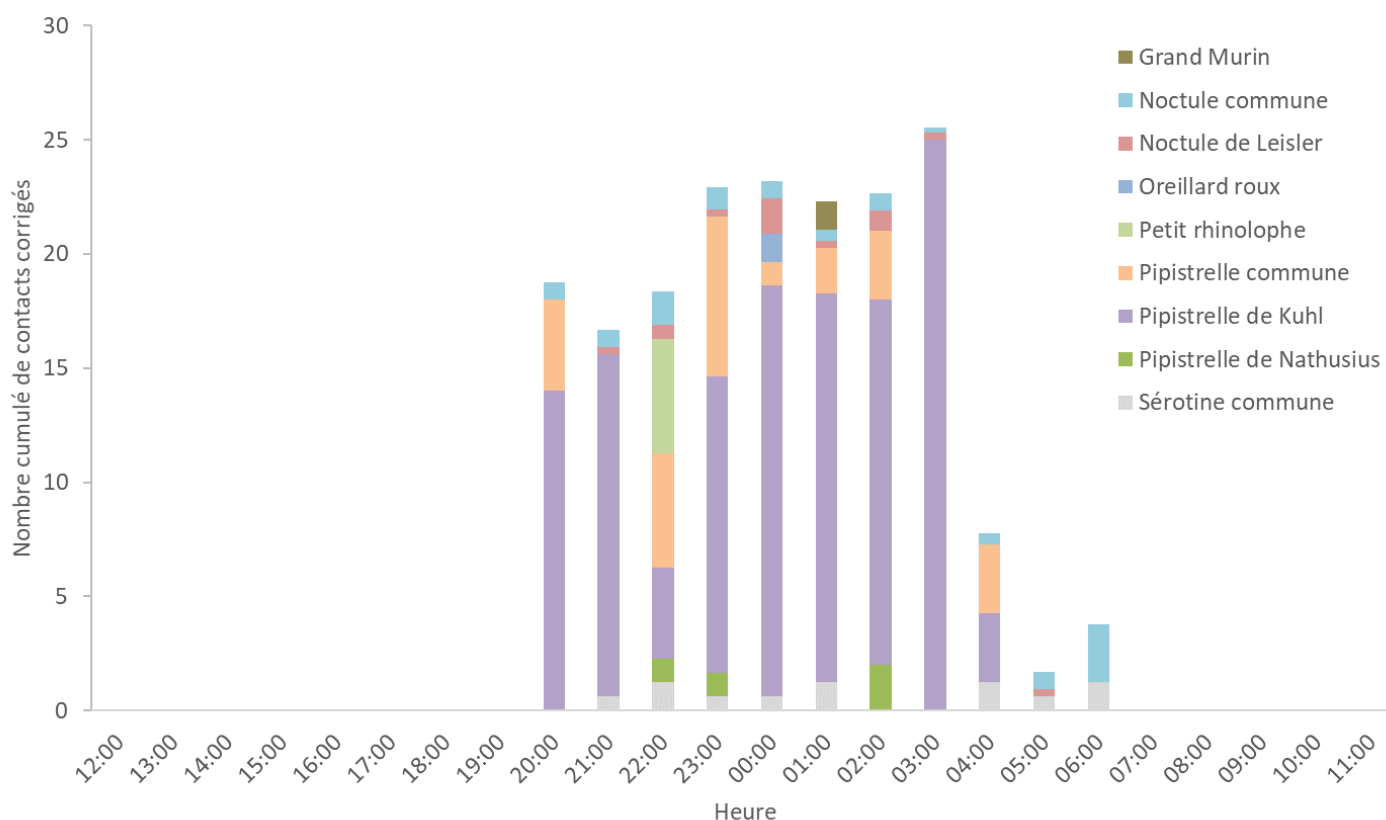


Graphique 2 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la date sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023.

On observe que la majorité des contacts corrigés identifiés ont eu lieu en 2023 début octobre. Ces contacts sont dominés par la pipistrelle de Kuhl. Le second pic de contacts corrigés est observé entre début et mi-septembre 2023.

3.2.3 Activité des chiroptères en fonction de l'heure

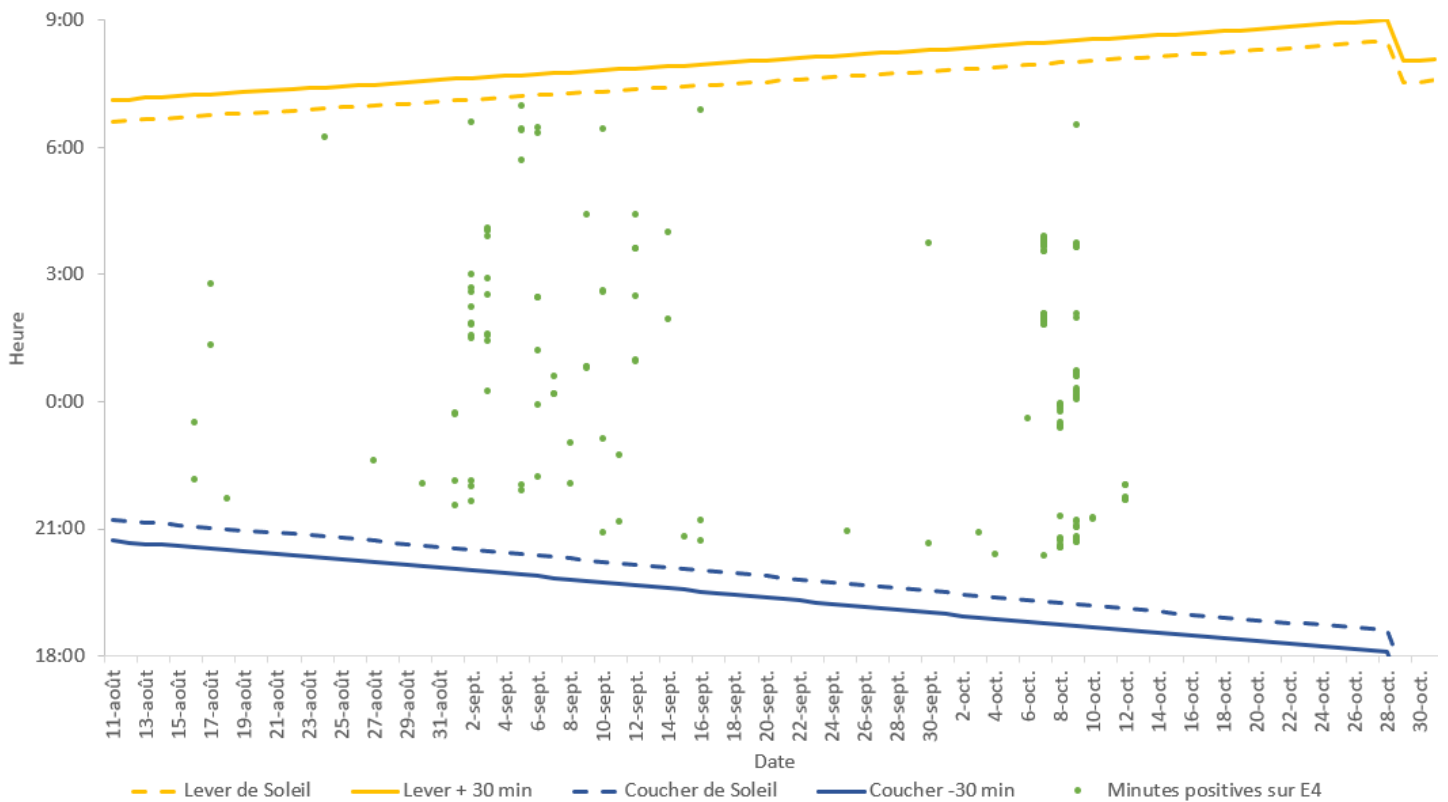
Le Graphique 3 illustre le nombre de contacts corrigés de chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de E4 en fonction de l'heure du 11 août au 31 octobre 2023.



Graphique 3 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de l'heure sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023.

On observe grâce au Graphique 3 que la majorité des contacts corrigés identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 ont eu lieu en 23 h et 3h du matin. Ces résultats sont cohérents avec la fenêtre horaire préférentielle d'activité des chiroptères ciblés par le système ProBat®.

Le Graphique 4 met en évidence l'activité corrigée des chiroptère identifiés en nacelle de E4 en fonction de l'heure, de la date et des heures de lever et coucher de soleil au cours de la période de régulation.



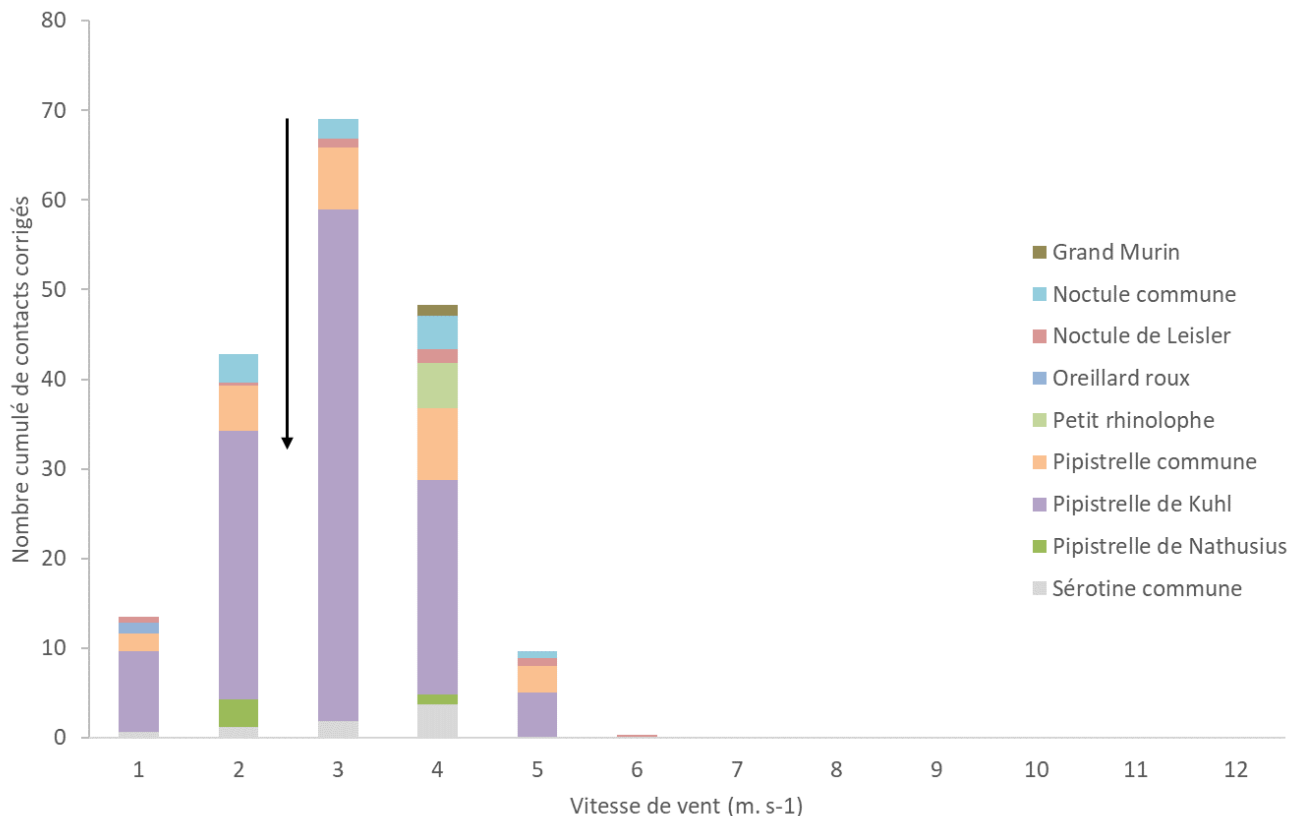
Graphique 4 : Activité des chiroptères enregistré par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand, sur la période étudiée, en fonction du lever et coucher du soleil.

Comme évoqué plus tôt grâce au Graphique 3, on constate sur le Graphique 4 que les plus grands nombres de contacts corrigés enregistrés par le TrackBat® 2 ont eu lieu entre 23h et 3h du matin et début septembre ainsi que début octobre. Ces contacts représentent 175 minutes positives².

² Approche spécifique visant à standardiser le comptage des contacts ou détections d'écholocation des chauves-souris enregistrées par des dispositifs tels que des détecteurs d'ultrasons. Il s'agit de comptabiliser non pas le nombre de contacts réels, mais la présence ou l'absence de contacts (= fichier) sur une période maximale de 60 secondes.

3.2.4 Activité des chiroptères en fonction du vent

Le Graphique 5 illustre le nombre de contacts corrigés de chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de E4 en fonction de la vitesse du vent du 11 août au 31 octobre 2023. Les valeurs cumulées de contacts corrigés correspondent à ceux enregistrés pour une classe de vent comprise entre deux valeurs de vitesse de vent (entre 1 et 2 m. s⁻¹ par exemple).

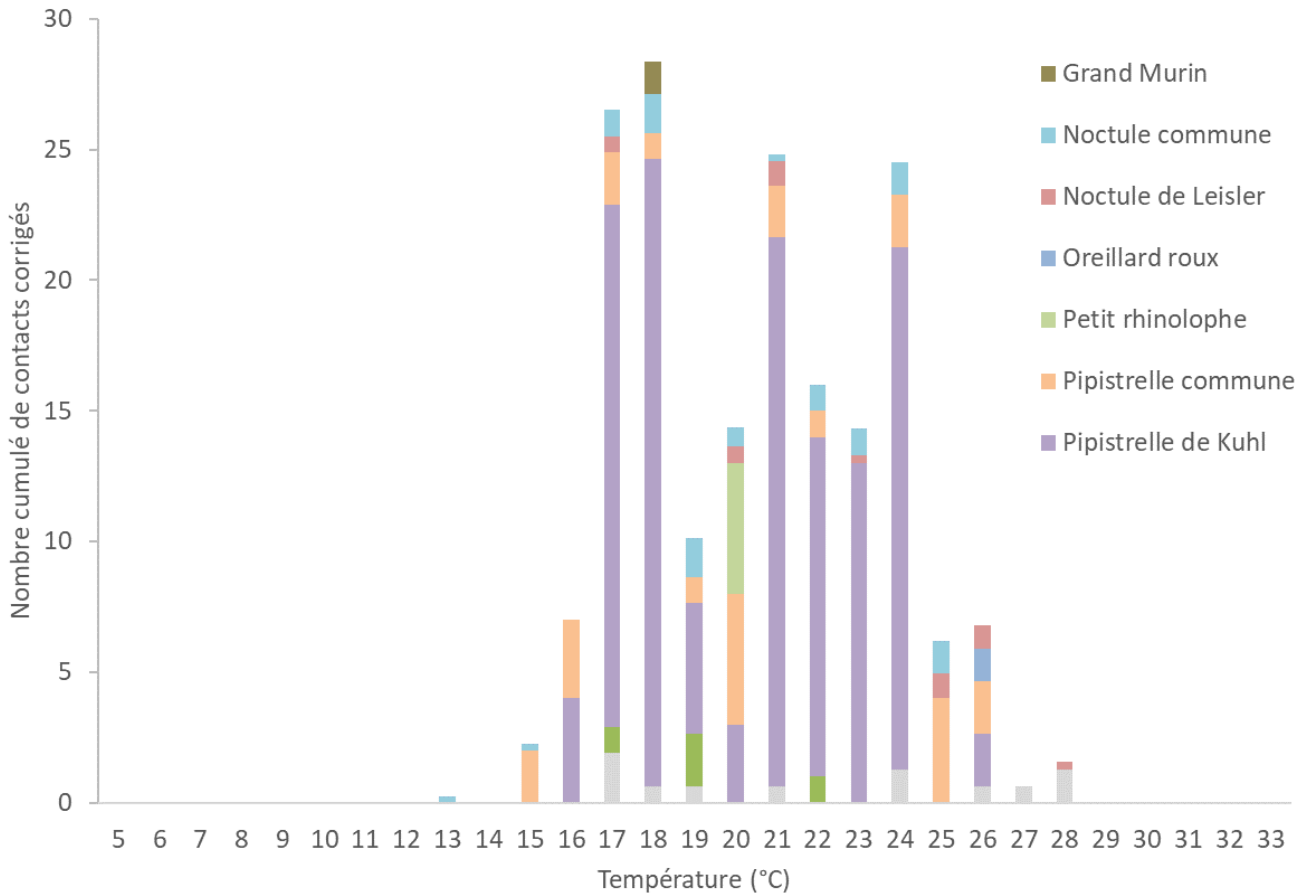


Graphique 5 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la vitesse de vent sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023. La flèche noire indique la vitesse de vent à partir duquel l'éolienne commence à produire, ici 2.5 m. s⁻¹.

On observe sur le Graphique 5 que la majorité des contacts corrigés ont eu lieu pour une vitesse de vent comprise entre 2 et 3 m. s⁻¹. Ces résultats sont cohérents avec l'écologie des chiroptères favorisant les vitesses de vent faibles. Néanmoins il faut noter que **30.65 % des contacts corrigés identifiés ont eu lieu pour des vitesses de vent pendant lesquelles les turbine de produisaient pas, n'impliquant donc alors aucune perte de productible.**

3.2.5 Activité des chiroptères en fonction de la température

Le Graphique 6 illustre le nombre de contacts corrigés de chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de E4 en fonction de la température du 11 août au 31 octobre 2023.



Graphique 6 : Activité corrigée des chiroptères identifiés enregistrés par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la température sur le parc éolien de Saint-Morand en 2023.

On observe sur le Graphique 6 que la majorité des contacts corrigés ont eu lieu pour à des températures comprises entre 17 et 18°C et lors de nuit à 21 et 24°C. Ces résultats sont cohérents avec l'écologie des chiroptères favorisant les températures moyennes à élevées.

3.2.6 Activité des chiroptères en fonction du vent et de la température combinés

Le Tableau 5 présente l'activité corrigée des chiroptères en nacelle de l'éolienne E4 en fonction de la vitesse du vent et de la température combinées. Pour plus de lisibilité, les températures extrêmes et les fortes vitesses de vent n'enregistrant aucun contact de chiroptère n'ont pas été incluses dans le tableau.

Tableau 5 : Activité corrigée des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent ($m.s^{-1}$) combinées en nacelle de l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand entre aout et octobre 2023.

		Température (°C)																	
		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	Total
Vitesse de vent (m. s-1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	3	1,63	0	0	1	0	1	5	0	0	1,56	0	0,31	13,5
	2	0	0	0	0	0	17	2	1,88	0	11	10	7	14,13	3,81	2,25	0	0	69,07
	3	0	0,25	0	1,25	0	2,25	16,5	2	2,25	1	3,75	0,56	10,38	0	2	0,63	0	42,82
	4	0	0	0	0	4	5,63	9,88	4,25	9,12	10,19	0	1,5	0	1,5	1	0	1,26	48,33
	5	0	0	0	1	0	0	0	2	2	2,31	1,25	0,25	0	0,87	0	0	0	9,68
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0	0	0	0	0	0	0	0,31
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		0	0,25	0	2,25	7	26,51	28,38	10,13	14,37	24,81	16	14,31	24,51	6,18	6,81	0,63	1,57	183,7

On observe que les chiroptères identifiés en nacelle de l'éolienne E4 semblent indiquer une préférence pour des vitesses de vent inférieures à $3 m.s^{-1}$ et des températures assez élevées, comprises entre 17 et 18°C puis entre 21 et 24°C.

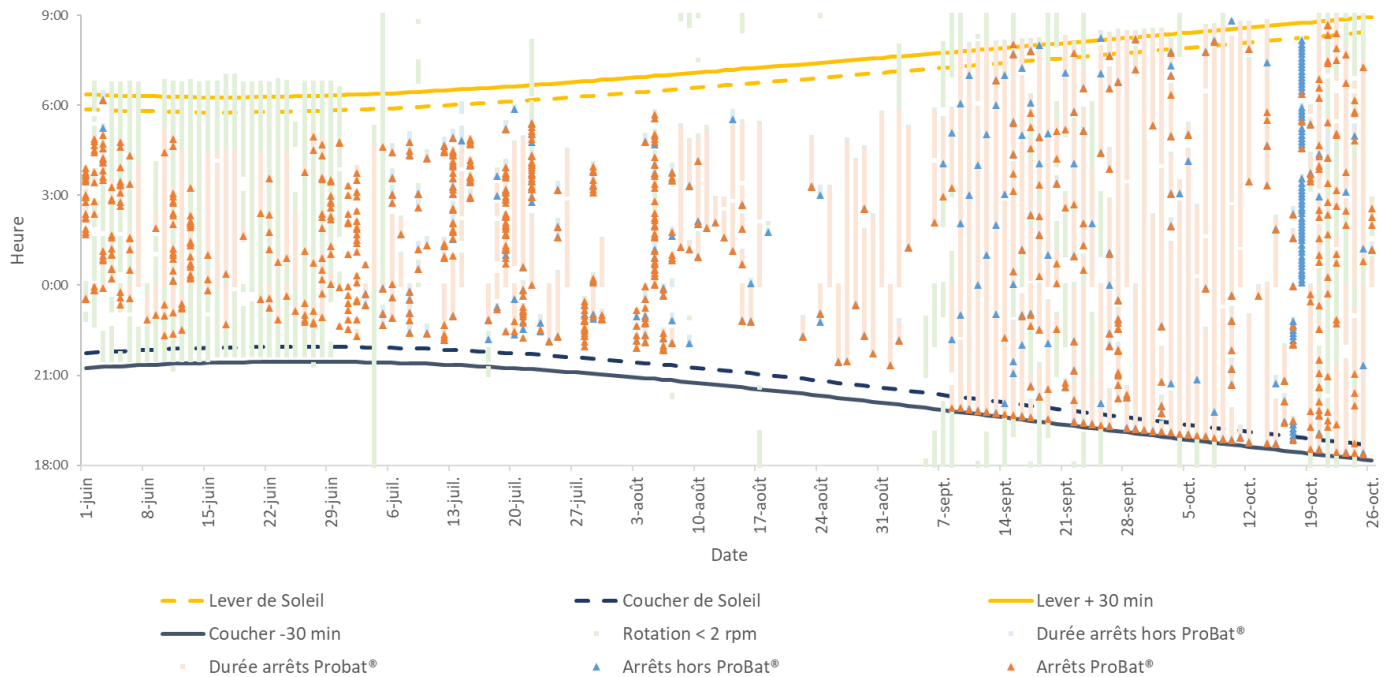
3.3 REGULATION PROBAT®

Sur le parc éolien de Saint-Morand, la régulation ProBat® a été active du 1 juin au 31 octobre 2023 entre 30 minutes avant le coucher du soleil et 30 minutes après son lever selon les paramètres suivants :

- Du 1 juin au 10 août 2023,
 - Pour toutes les éoliennes, un **bridage dynamique** grâce au système ProBat®,
 - Pour E2 (équipée du TrackBat® 1), en plus du bridage dynamique, un **bridage sur seuil**, en dessous de 5 m.s^{-1} et au-dessus de 10°C .
- Du 11 août au 7 septembre 2023,
 - Pour toutes les éoliennes, un **bridage multifactoriel** grâce au système ProBat®,
 - Pour E2 (équipée du TrackBat® 1), en plus du bridage dynamique, un **bridage sur seuil**, en dessous de 5 m.s^{-1} et au-dessus de 10°C .
- Du 8 septembre au 31 octobre 2023,
 - Pour toutes les éoliennes un **bridage provisoire préventif sur seuil** en dessous de 7 m. s^{-1} et au-dessus de 10°C .

3.3.1 Arrêts machine de l'éolienne E1

Le Graphique 7 présente l'ensemble des arrêts machines sur la période de régulation (e.g., ProBat®, arrêts de maintenance, absence de vent, bridage acoustique, etc.) sur l'éolienne E1 lors de la période de régulation. Les consignes d'arrêts ProBat® sont indiqués en orange et se superposent donc aux arrêts hors ProBat® indiqués en bleu et aux périodes pendant lesquelles les éoliennes concernées tournaient à une vitesse inférieure à 2 rotations par minutes, faute de vent.

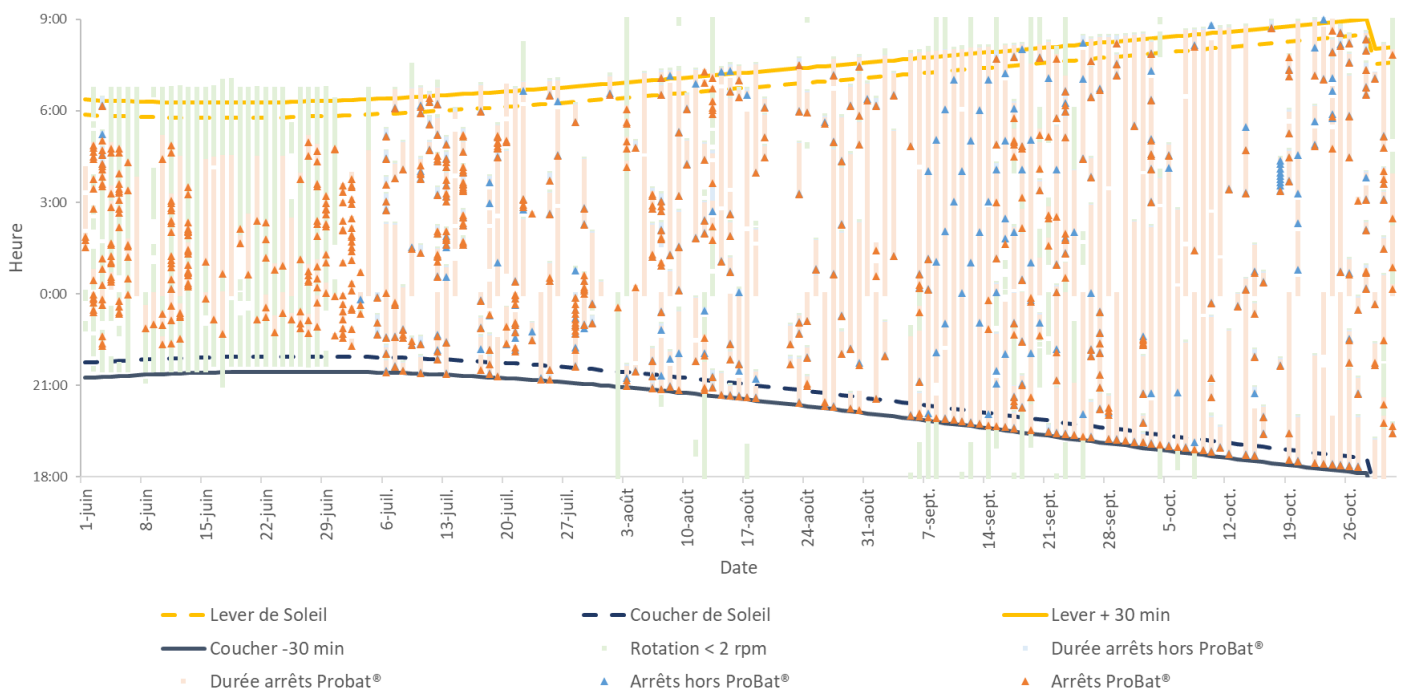


Graphique 7 : Répartition des différents arrêts machine sur l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Morand en fonction de la date et de l'heure pour la période de juin à octobre 2023.

En nacelle de l'éolienne E1, 712 arrêts ProBat® ont eu lieu sur la période de juin à octobre 2023, le tout représentant 34 032 minutes d'arrêts (soit 567.2 heures). En moyenne, les arrêts ayant eu lieu pendant cette période sur E1 ont duré 47.79 min, soit 0.79 heures.

3.3.2 Arrêts machine de l'éolienne E2

Le Graphique 8 présente l'ensemble des arrêts machines sur la période de régulation (e.g., ProBat®, arrêts de maintenance, absence de vent, bridage acoustique, etc.) sur l'éolienne E2 lors de la période de régulation. Les consignes d'arrêts ProBat® sont indiqués en orange et se superposent donc aux arrêts hors ProBat® indiqués en bleu et aux périodes pendant lesquelles les éoliennes concernées tournaient à une vitesse inférieure à 2 rotations par minutes, faute de vent. Le TrackBat® 1 régulant les éoliennes E1 et E2, les arrêts liés à la partie dynamique de la régulation notés à propos de l'éolienne E2 sont similaires pour E1 pour la période du 1^{er} juin au 7 septembre 2023. Pour rappel, jusqu'au 07 septembre 2023, le bridage dynamique était renforcé sur E2 par un bridage sur seuil en dessous de 5 m.s⁻¹ et au-dessus de 10°C.



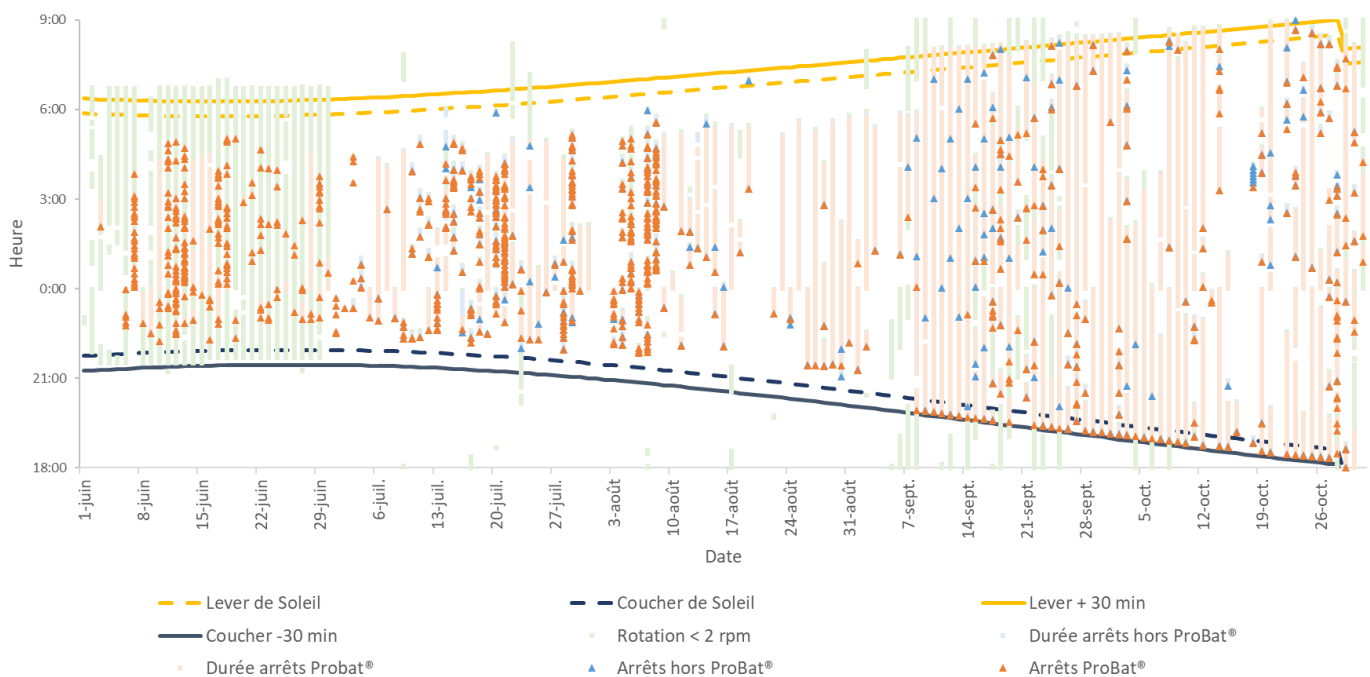
Graphique 8 : Répartition des différents arrêts machine sur l'éolienne E2 du parc éolien de Saint-Morand en fonction de la date et de l'heure pour la période de juin à octobre 2023.

En nacelle de l'éolienne E2, 722 arrêts ProBat® ont eu lieu sur la période de juin à octobre 2023, le tout représentant 42 834 minutes d'arrêts (soit 713.9 heures). En moyenne, les arrêts ayant eu lieu pendant cette période sur E2 ont duré 59.32 min, soit 0.98 heures.

Aucune donnée de contacts de chiroptères n'étant disponible pour le TrackBat® 1 associé à l'éolienne E2, la superposition des détections et des arrêts machine (Graphique 8) est impossible.

3.3.3 Arrêts machine des éoliennes E3 et E4

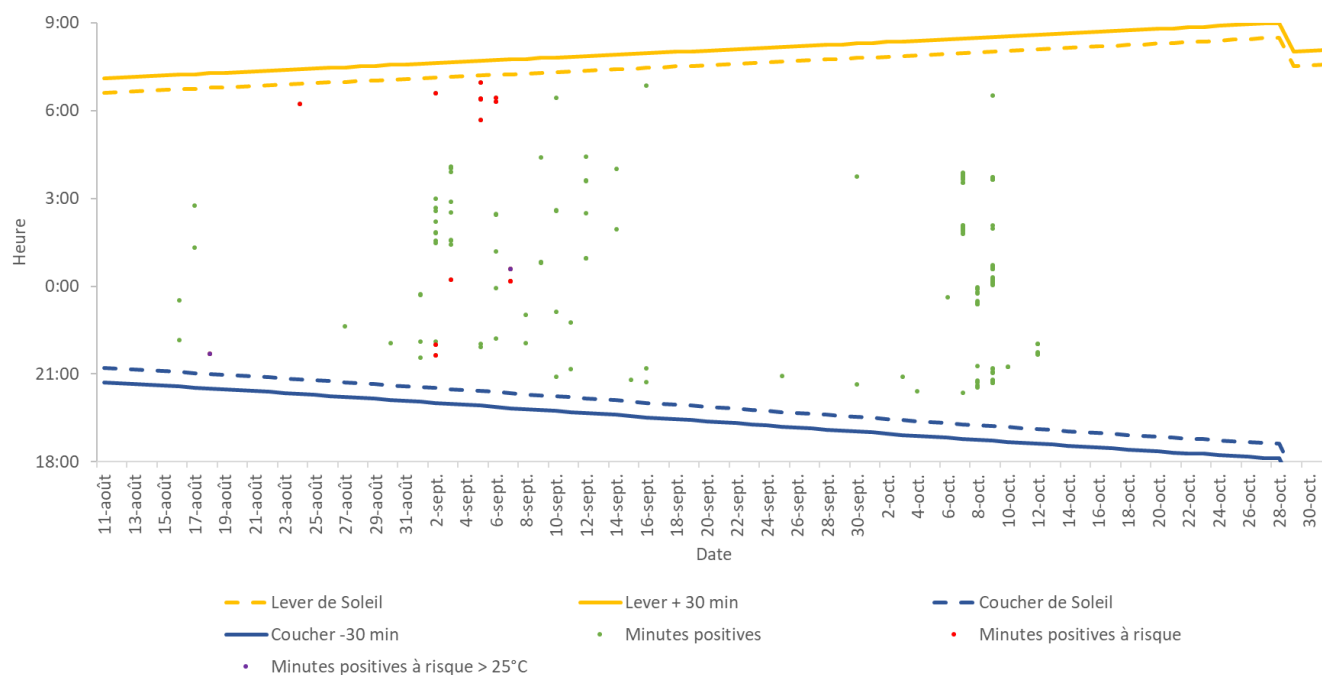
Le Graphique 9 présente l'ensemble des arrêts machines sur la période de régulation (e.g., ProBat®, arrêts de maintenance, absence de vent, bridage acoustique, etc.) sur les éoliennes E3 et E4 lors de la période de régulation. Les consignes d'arrêts ProBat® sont indiqués en orange et se superposent donc aux arrêts hors ProBat® indiqués en bleu et aux périodes pendant lesquelles les éoliennes concernées tournaient à une vitesse inférieure à 2 rotations par minutes, faute de vent, en vert. Le TrackBat® 2 régulant les éoliennes E3 et E4, les arrêts notés à propos de l'éolienne E4 sont similaires pour E3.



Graphique 9 : Répartition des arrêts ProBat® sur l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand en fonction de la date et de l'heure pour la période de juin à octobre 2023.

En nacelle de l'éolienne E4, 849 arrêts ProBat® ont eu lieu sur la période de juin à octobre 2023, le tout représentant 35 901 minutes d'arrêts (soit 598.35 heures). En moyenne, les arrêts ayant eu lieu pendant cette période sur E4 ont duré 42.28 min, soit 0.70 heures.

La superposition des détections (Graphique 4) et des arrêts machine (Graphique 9) permet de mettre en évidence les détections de chiroptères qui ont eu lieu alors que l'éolienne E4 n'était pas à l'arrêt à la suite d'un ordre ProBat® ou autres arrêts machine (e.g. arrêts de maintenance, absence de vent), c'est-à-dire **l'activité résiduelle à risque** (Graphique 10).



Graphique 10 : Activité et activité à risque des chiroptères enregistrée par le TrackBat® 2 en nacelle de l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Morand, sur la période étudiée, en fonction du lever et coucher du soleil.

En nacelle de l'éolienne E4, 15 minutes positives à risque ont été enregistrées sur les 175 minutes positives au total. **La régulation ProBat® a donc contribué à la préservation de 91.42% des contacts corrigés de chiroptères enregistrés et identifiés par le TrackBat® 2 sur l'ensemble de la période de régulation.**

Il est intéressant de noter que ce taux de préservation concerne l'ensemble de la période de régulation (bridage multifactoriel du 11 août au 07 septembre 2023 puis sur seuil du 08 septembre au 31 octobre 2023) vis-à-vis des contacts enregistrés par le TrackBat®2. Il faut cependant noter que parmi ces 15 minutes positives à risque, 2 (soit 13.3%) ont eu lieu lors de nuits caniculaires dont la température excédait 25°C (représentés en violet). Le calcul du niveau de risque associé à la température est basé sur la littérature et des données associées où les fortes périodes de chaleur sont peu représentées. Ce biais dans le mode de calcul du risque prévisionnel, est corrigé pour la saison 2024 (voir section 5). Le modèle ainsi corrigé aurait permis d'atteindre un taux de protection 92.57 % sur 2023.

Rappelons que la régulation du 11 août au 07 septembre 2023 étant basée sur un bridage multifactoriel, elle ne prend pas en compte l'activité en temps réel des chiroptères enregistrée par les TrackBat®. Le taux de préservation calculé ci-dessus n'est donc qu'une illustration de la superposition de l'activité des chiroptères enregistrée et des arrêts ProBat®.

4 CONCLUSION

L'activité des chiroptères sur le parc de Saint-Morand a été enregistrée du 11 août au 31 octobre 2023 autour des 4 éoliennes du parc. En effet, à la suite d'un problème technique lié à l'archivage et à la récupération des données, seules les nuits et les contacts après la mise à jour du software ont été considérées. Une défaillance dans l'archivage des données du TrackBat® 1 implique une absence de données analysables dans ce rapport pour ce TrackBat®.

Le parc éolien de Saint-Morand est équipé de 2 TrackBats®. Le TrackBat®1 surveille les éoliennes 1 et 2 et le TrackBat®2 surveille les éoliennes 3 et 4. C'est de ce dernier que les résultats sont présentés.

Au cours de l'année 2023, 9 espèces ont été détectées et déterminées avec précision :

- Grand murin (*Myotis myotis*) : <1 % des contacts corrigés identifiés,
- Noctule commune (*Nyctalus noctula*) : 5.44 % des contacts corrigés identifiés,
- Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) : 2.53 % des contacts corrigés identifiés,
- Oreillard roux (*Plecotus auritus*) : <1 % des contacts corrigés identifiés,
- Petit rhinolophe (*Rhinolophus hipposideros*) : 2.72 % des contacts corrigés identifiés,
- Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) : 13.61 % des contacts corrigés identifiés,
- Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) : 68.04 % des contacts corrigés identifiés,
- Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) : 2.18 % des contacts corrigés identifiés,
- Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*) : 4.12 % des contacts corrigés identifiés.

Au cours de la période étudiée, le TrackBat® 2 sur E4 a enregistré 183.71 contacts corrigés identifiés, exclusivement rencontrés pendant la période de migration automnale. Ces contacts corrigés représentent 175 minutes positives. En moyenne, sur le parc de Saint-Morand, la majorité de l'activité des chiroptères a eu lieu pour des vitesses de vent autour de 3 m. s⁻¹, et pour des températures supérieures à 18 °C.

La régulation ProBat® a été active à partir du 1^{er} juin jusqu'au 31 octobre. Or, en 2023, 6 cas de collisions ont été recensés entre le 19 juillet et le 07 septembre 2023.

Ainsi, le 8 septembre 2023, un changement de type de bridage, de multifactoriel vers un bridage sur seuil provisoire et préventif, a été opéré sur la totalité du parc de façon à limiter le risque de mortalités sur le parc après les six cas de mortalité survenues entre le 19 juillet et le 07 septembre 2023 (voir 2.3). Les mortalités rencontrées sur le parc de Saint-Morand peuvent s'expliquer de la façon suivante :

- Les deux cas de mortalité recensés le 23 août 2023, ont eu lieu lors de 4 jours d'indisponibilité qu'a connu le système Probat® entre le 19 et le 22 août 2023.

- Les trois mortalités recensées le 19 juillet et le 07 septembre ont eu lieu lors de périodes pendant lesquelles le système ProBat® était fonctionnel. Lors des nuits du 18 juillet, 5 et 6 septembre 2023, précédents les mortalités, des températures caniculaires enregistrées pendant la nuit ont perturbé le calcul du risque réalisé par le système ProBat® pour pouvoir déclencher un arrêt. Une correction du modèle a été réalisée pour 2024 afin d'éviter cette problématique pour les années à venir. Pour les deux mortalités recensées en septembre, en période de bridage multifactoriel, les contacts de Noctule commune ont eu lieu lors des 8.6% de minutes positives à risque sur les 175 minutes positives enregistrées en nacelle de l'éolienne E4.
- Pour la mortalité découverte le 27 juillet, soit en période de bridage dynamique, l'activité à risque n'est pas connu, étant donné le défaut d'archivage des données évoqué en 2.2.1. Il faut noter que l'absence d'archivage des données n'impacte pas la prise en compte en temps réel du niveau d'activité mesuré sur cette première période.

Entre le 1^{er} juin et le 31 octobre, soit 152 jours, le système ProBat® a été opérationnel durant 148 jours, soit 96.35% de la période de régulation. En moyenne, 783 arrêts ont été lancés sur les éoliennes E1 à E4, représentant une durée moyenne d'arrêts de 37 167 minutes d'arrêts sur l'ensemble de la période de régulation. Ces arrêts représentent 41.60% de la durée totale de régulation opérationnelle nocturne du système ProBat® au cours de la période étudiée.

Sur l'éolienne E4, le taux de préservation des chiroptères grâce au système ProBat® est de 91.42% entre le 11 août et le 31 octobre 2023. A noter que le taux de préservation est de 100% après le 8 septembre 2023, soit après l'application du bridage sur seuil.

Un bridage sur seuil en dessous de 7 m. s⁻¹ et au dessus de 10°C a été appliqué provisoirement et par précaution depuis le 18 mars 2024, en attendant le rapport de suivi, l'analyse du fonctionnement du système en 2023 et les propositions d'améliorations pour 2024 qui en découleront.

Dans cette optique, les mesures suivantes ainsi que des adaptations du bridage sont recommandées afin, entre-autre, d'augmenter la sensibilité du système :

- Une modification du calcul du risque selon la température, afin de prendre en compte les températures élevées dans le calcul du risque théorique,
- Une modification du seuil de risque global, associé au déclenchement des arrêts ProBat®, pourrait être abaissé à 0.75 (au lieu de 0.9 du 1er juin au 7 septembre puis 0.8 depuis le 8 septembre) de façon à augmenter la sensibilité à l'activité des chiroptères,
- Une modification des paramétrage de l'hystérésis (mesure visant à associer au seuil de risque global un intervalle de valeur de façon à limiter les ordres d'arrêts et donc l'usure machine) de façon à obtenir un calcul du risque global plus conservateur,

- Une prolongation de la durée minimale des arrêts, passant de 10 minutes à 30 minutes.

Concernant les dysfonctionnements rencontrés en 2023, à la suite d'une analyse poussée des pistes d'améliorations envisageables sur nos produits TrackBat® et ProBat® initiée en août 2023, un plan d'actions a été mis en place depuis septembre 2023 pour améliorer les produits et services associés. Cette analyse a été faite sur la base du retour d'expérience des années précédentes mais aussi en fonction du renforcement de notre expertise et des évolutions technologiques disponibles (voir partie 5). L'ensemble de ces actions a été conduit et elles sont à présent déployées.

5 FIABILISATION DES SOLUTIONS TRACKBAT® ET PROBAT®

Suite au dysfonctionnement du module de compression et d'archivage des données TrackBat® ayant eu lieu sur la saison 2023, une analyse des causes racines ainsi qu'une analyse plus large des faiblesses actuelles de ces systèmes ont été menées pour affiner notre roadmap. Un ambitieux plan d'actions a été mis en place depuis septembre 2023 pour améliorer ces produits.

J'ai le plaisir de vous annoncer, qu'après **une intensive phase de tests et de validation**, l'ensemble de ce plan a pu aboutir aux **améliorations** suivantes **venant augmenter les services et la fiabilité**, que ce soit pour le **TrackBat® utilisé seul dans le cadre d'études d'impacts et de suivis environnementaux** ou couplé avec le **ProBat® pour la régulation dynamique en faveur des chiroptères**.

- **Améliorations logiciel**
 - **Mise à jour du module de détection TrackBat®**

Comme annoncé début 2023, nous avons initié le déploiement d'un module de **détection des chiroptères par Intelligence Artificielle** utilisant une technologie de Convolutional Neural Network avec Deep Learning supervisé. Suite aux acquisitions acoustiques réalisées cette année, nous avons pu enrichir la base d'apprentissage du réseau de neurone et générer une nouvelle version pour 2024 ayant **une précision remarquable de plus de 99%** sur la détection de présence de chiroptères et dépassons ainsi les dispositifs conventionnels (résultats obtenus sur la base d'échantillons tests de plusieurs centaines d'heure d'enregistrement continues).

- **Architecture logiciel TrackBat® et ProBat®**

Les logiciels TrackBat® et ProBat® ont été remaniés. Ainsi, une grande partie des modules ont été recodés en langage C++ en lieu et place du langage Python. Outre une mise à jour intégrant l'application des nouveaux standards dans le développement de solutions embarquées, et la correction de bugs mineurs, **l'architecture générale du code a été reprise pour améliorer sa modularité et sa paramétrisation**.

Ces modifications ont **pour conséquences d'améliorer la stabilité du code, sa capacité à évoluer et à être maintenue ainsi que de fiabiliser les étapes de paramétrages**.

- **Paramétrisation avancée ProBat®**

Outre la fiabilisation du processus de paramétrage, **les capacités de paramétrisation du ProBat® ont largement été étendues** pour permettre une meilleure adaptabilité que ce soit au niveau des contraintes des arrêtés préfectoraux mettant en jeux de plus en plus souvent des bridages combinés ou au niveau des contraintes particulières des parcs éoliens. Cette

paramétrisation est aussi étendue aux scénarios dégradés applicables lors des déclenchements éventuels du Watchdog.

- **Fiabilisation et renforcement de la supervision TrackBat® et ProBat®**

Les remontées automatiques de données du ProBat® et du TrackBat® vers notre système de supervision ont largement été revues à la hausse permettant ainsi **un meilleur suivi de la disponibilité et de la performance des systèmes**. Ainsi, en plus de l'envoi de nombreuses variables autorisant notamment une surveillance de type sécurité passive (battements de cœur), plusieurs **points de contrôles et de télémétrie ont été ajoutés pour améliorer la détectabilité des pannes mais aussi leur diagnostic distant**. La surveillance quotidienne des variables de fonctionnement (nombre de détection journalière, volume et intégrité des archives, etc...) sera généralisée pour les dispositifs TrackBat®.

De même, un **échantillon de son sera envoyé et analysé automatiquement de façon journalière** permettant de s'assurer de la qualité de l'acquisition Audio.

- **Fourniture d'une interface TrackBat® et ProBat®**

Une **interface Web système** va de même être fournie sans frais supplémentaires pour chaque site dès les premières semaines du début de la saison. Cette dernière permet de **suivre en temps réel le fonctionnement du système, de visualiser et de télécharger les données statistiques des contacts**. La possibilité de **télécharger directement les fichiers audios depuis l'interface** sera déployée durant la saison dans un second temps pour ProBat® et ce, toujours sans frais supplémentaires.

Cette interface présentera pour TrackBat® le nombre de contacts journaliers et leur répartition dans le temps ainsi qu'un indicateur composite rendant compte de l'état de fonctionnement du système. L'interface ProBat® est enrichie des données météo issues du SCADA machine, du calcul du risque global en temps réel, et des séquences de stop requises et constatées.

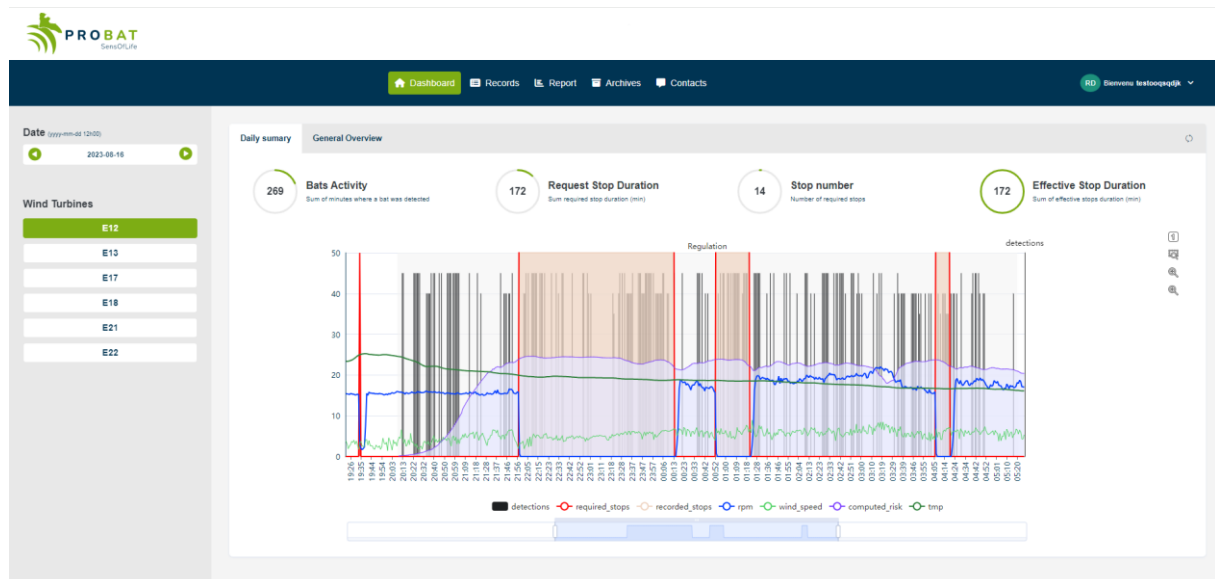


Figure 2 : Interface ProBat® - Vue de la page « Synthèse journalière »



Figure 3 : Interface ProBat® - Vue de la page "Aperçu général"

- **Amélioration de l'intégration des micros TrackBat®**

L'intégration des microphones en nacelles a été revue pour limiter leur exposition aux intempéries sans réduire pour autant la sensibilité de la détection.

- **Améliorations hardware ProBat®**

Une campagne de retrofit a été initiée en 2023 et sera finalisée avant le début de la saison 2024 pour remplacer le matériel existant par des **solutions matérielles hauts de gamme** particulièrement **adaptées aux environnements industriels contraignants**. Outre les différents équipements périphériques (switch et alimentation industrielle), c'est aussi l'ensemble des PC ProBat® et PC Watchdog qui sont remplacés par des PC industriels fanless insensibles à la poussière et dimensionnés pour fonctionner 24h/24 et 7j/7.



Figure 4 : PC industriel Fanless

- **Fiabilisation et renforcement de la communication interne TrackBat® /ProBat®**

La communication en temps réel entre le TrackBat® et le ProBat® étant une composante majeure de notre solution de bridage dynamique et étant donné l'évolution des contraintes et des demandes où les fichiers bruts (fichiers de données et fichiers sons) sont de plus en plus

demandés notamment au fil de l'eau, **il a été décidé de remplacer la solution 4G par une communication inter-équipement par fibre optique** présentant les avantages suivants :

- Très haut débit de données
- Insensible aux perturbations électromagnétiques
- Liaison sécurisée et indépendante
- Opérationnelle quelle que soit la zone d'installation contrairement à la 4G.

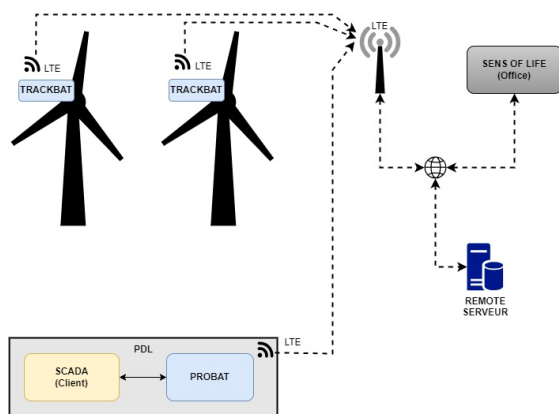


Figure 5: Ancienne architecture ProBat 4G

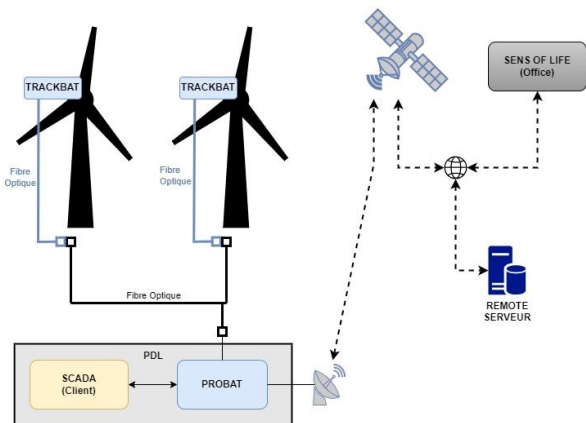


Figure 6: Architecture simplifiée ProBat®

• Fiabilisation de la communication externe ProBat®

Le retour d'expérience des années passées ainsi que l'augmentation des contraintes liées à l'exploitation des dispositifs impliquent de **renforcer et de fiabiliser la communication distante avec les systèmes**. De même, le fait de partager un réseau local et une communication internet souvent de mauvaise qualité montre de nombreuses limites en termes de disponibilité de la communication mais aussi au niveau de son administration. Notre capacité de suivi d'exploitation, de diagnostic, et de maintenance distante des systèmes est alors fortement compromise.

Ainsi pour permettre la mise en place de l'interface distante, supporter l'augmentation des volumes de données échangées et permettre de garantir une supervision de qualité, il devient maintenant nécessaire de mettre en place une **connexion dédiée avec la solution StarLink**.



Figure 7: Installation Starlink sur un parc éolien.

- **Fiabilisation de l'alimentation électrique TrackBat® et ProBat®**

Il est rappelé que l'alimentation électrique des produits ProBat® et TrackBat® sont à la charge du client.

Suite au retour d'expérience des années précédentes, nous vous conseillons très fortement de nous **mettre à disposition un bornier de raccordement dédié** (nacelle et PDL) évitant ainsi d'utiliser les prises de services régulièrement sollicitées par des opérateurs tiers lors d'interventions oubliant régulièrement de rebrancher les dispositifs.

6 ANNEXES

6.1 EVALUATION DES INDICES D'ACTIVITE

Les indices d'activité sont déterminés de manière brute (*i.e.* contact brut), ainsi qu'en prenant en compte une correction du volume de détection (*i.e.* contact corrigé). En effet, les espèces rencontrées émettent avec une intensité différente des cris dont les fréquences sont atténuées de manière différente par l'atmosphère (Figure 8 et Figure 9).

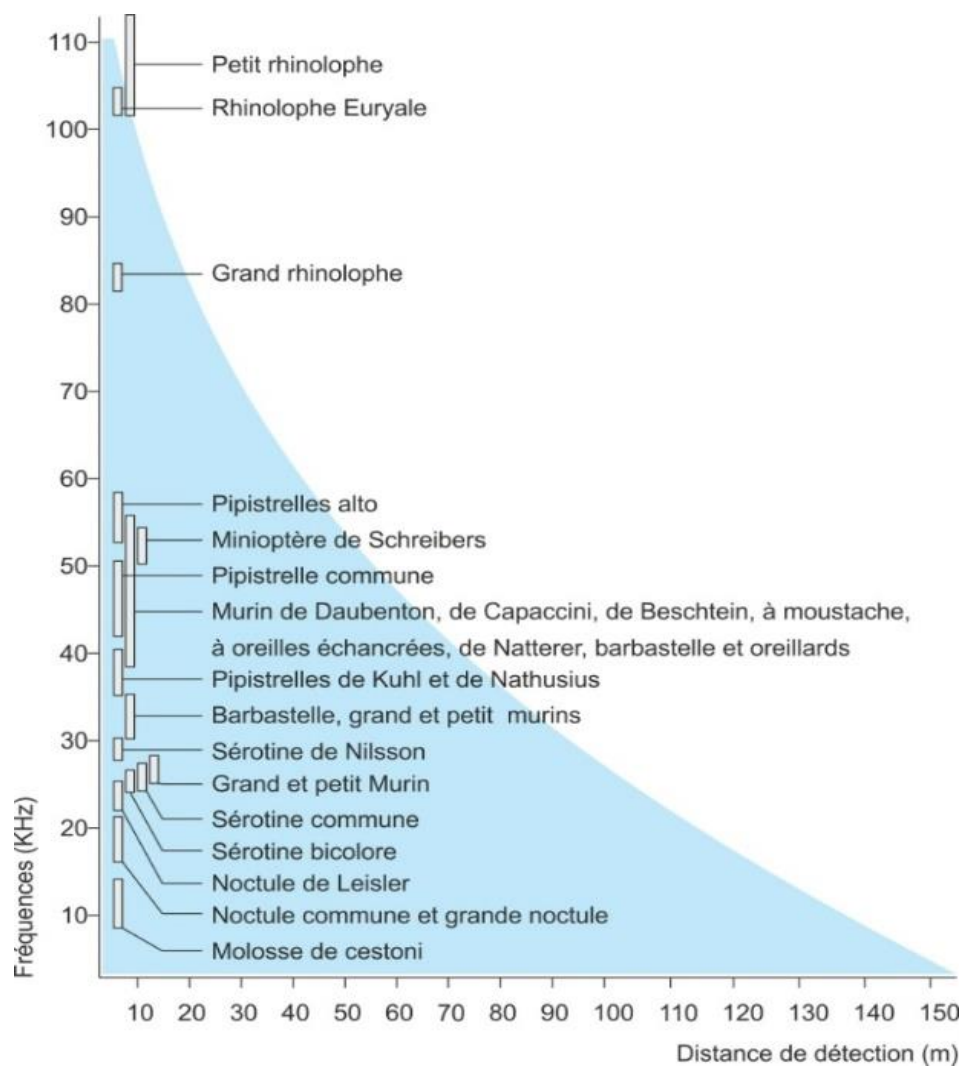


Figure 8 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

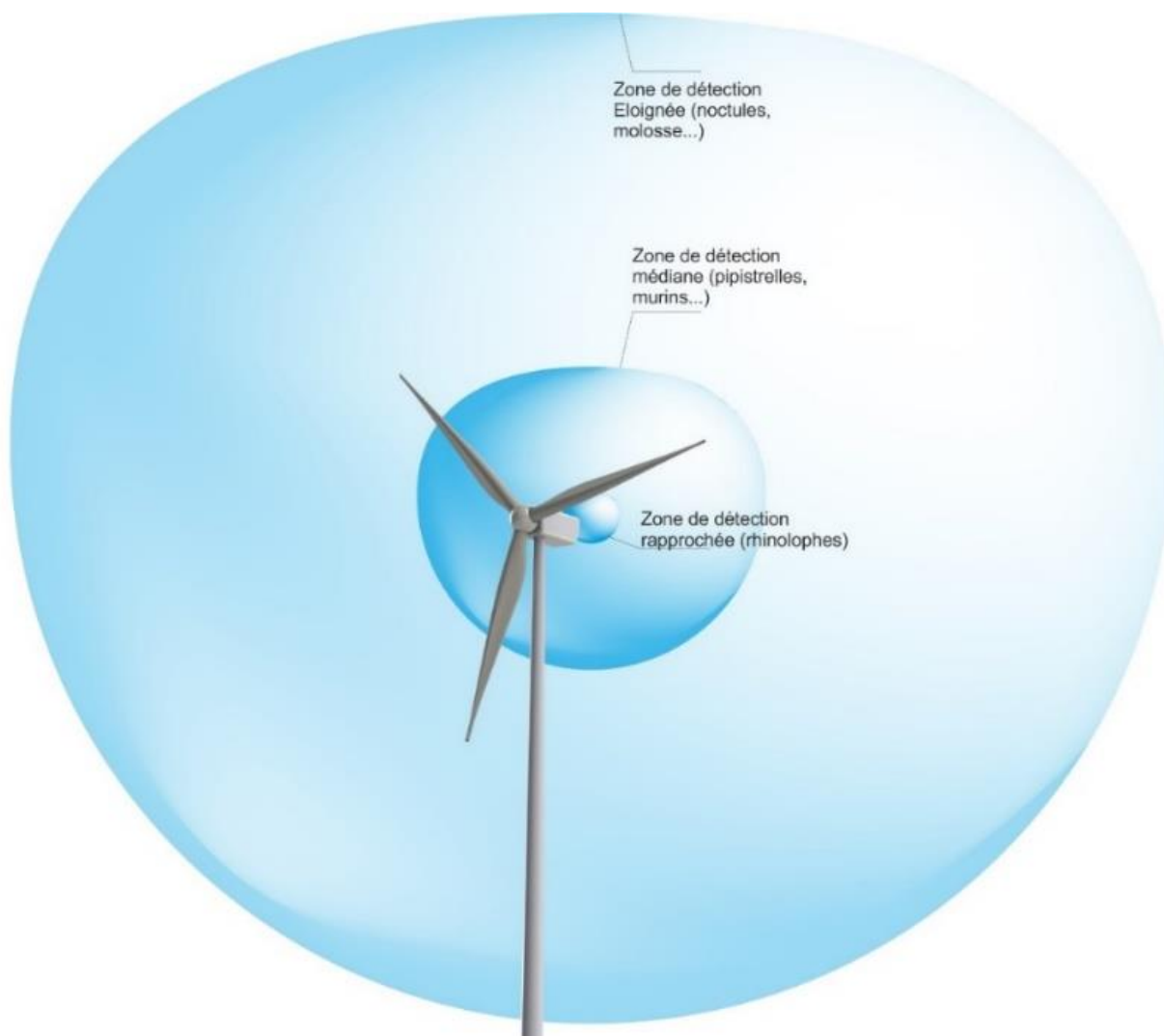


Figure 9 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

Pour prendre en compte ces variations, nous avons utilisé les facteurs de correction préconisés par Michel Barataud, 2020 récapitulés dans le

Tableau 6. L'application de ces coefficients permet de rétablir le rapport des indices d'activité entre les espèces de petites tailles utilisant des fréquences élevées, fortement absorbées par l'atmosphère, et les espèces de taille plus importantes émettant des sons très puissants sur des fréquences basses, peu absorbées par l'atmosphère. Dans le cas du parc éolien de Saint-Morand, les coefficients appliqués sont ceux en milieu ouvert.

Tableau 6 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes, M. Barataud, 2020.

Milieux ouverts et semi-ouverts				Sous-bois			
Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité	Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité
Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00	Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00
	<i>Rhinolophus ferr./eur./meh.</i>	10	2,50		<i>Plecotus spp. (durée < 4 ms)</i>	5	5,00
	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50		<i>Myotis emarginatus</i>	8	3,13
	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50		<i>Myotis nattereri</i>	8	3,13
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50		<i>Rhinolophus ferr./eur./meh.</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50		<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,67		<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,67		<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,67		<i>Myotis daubentonii</i>	10	2,50
	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67		<i>Myotis bechsteinii</i>	10	2,50
Moyenne	<i>Myotis blythii</i>	20	1,25	Moyenne	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,25		<i>Myotis blythii</i>	15	1,67
	<i>Plecotus spp. (durée 4-6 ms)</i>	20	1,25		<i>Myotis myotis</i>	15	1,67
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,25
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00		<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,25
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00		<i>Plecotus spp. (durée 4-6 ms)</i>	20	1,25
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
Forte	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63	Forte	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63		<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
	<i>Plecotus spp. (durée > 6 ms)</i>	40	0,63		<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50		<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50		<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31		<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25		<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17		<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17		<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

6.2 DESCRIPTION DES ESPECES DE CHIROPTERES RENCONTREES

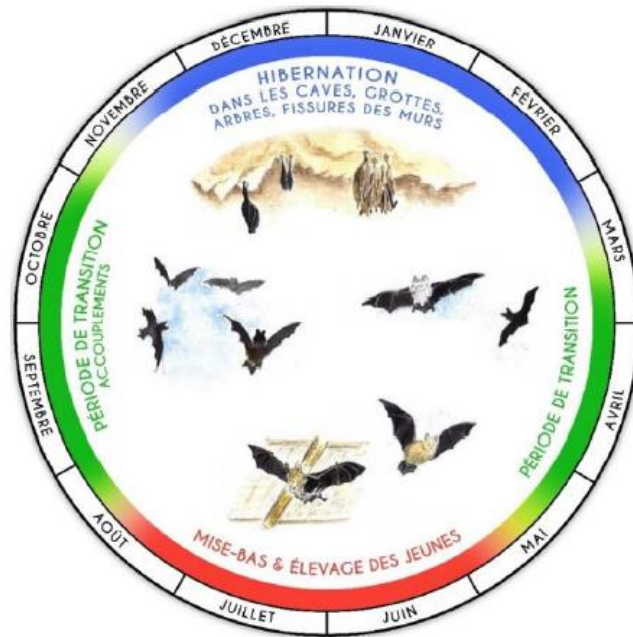


Figure 10 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine

6.2.1 Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)



Figure 11 : Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*)

La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexe III de la convention de Berne, annexe II de la Convention Bonn et annexe I de l'accord EUROBATS) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Cette espèce fréquente tous les types de milieux, même les zones fortement urbanisées. Pour la chasse, on note une préférence pour les zones humides, les jardins et parcs, puis les milieux forestiers et enfin les milieux agricoles. Peu lucifuge, elle est capable de s'alimenter autour des éclairages. Elle est active dans le premier quart d'heure qui suit le coucher du soleil. Les distances de prospection varient en fonction des milieux mais dépassent rarement quelques kilomètres. Très opportuniste, elle chasse les insectes volants, préférentiellement les Diptères mais aussi des Lépidoptères, Coléoptères, Trichoptères, Neuroptères, Cigales et Ephémères. Sur son secteur de chasse, elle vole entre 5 et 30 mètres de hauteur mais elle peut ponctuellement utiliser

le milieu aérien (notamment au-dessus de la canopée ou en transit). Les animaux se dispersent en moyenne dans un rayon de 1,3 km autour des colonies (Dietz *et al.*, 2009), très rarement à plus de 5 km (Arthur & Lemaire, 2009). Ses plus longs déplacements sont saisonniers, depuis des secteurs de mise-bas vers des secteurs de reproduction (« swarming ») ou vers des secteurs d'hivernage situés généralement à moins de 20 km les uns des autres.

Les gîtes de cette espèce sont fortement liés aux habitations humaines ; la Pipistrelle commune est très anthropophile que ce soit pour ses gîtes d'été ou d'hiver. Elle hiberne, de novembre à fin mars, préférentiellement dans des endroits confinés dans les bâtiments non chauffés (greniers, églises, bunkers). Pour la mise-bas, elle se regroupe en colonies de 30 à une centaine de femelles, essentiellement dans des gîtes anthropiques (maisons, granges, garages). Le développement des jeunes est rapide et ils sont volants à quatre semaines. Les parades sont observées de mi-juillet à octobre (Beucher, 2020).

L'espèce étant liée à des zones fortement anthropisées, les éoliennes à proximité des habitations ont une forte incidence sur l'espèce, avec une mortalité élevée par collision avec les pales des éoliennes ou par barotraumatisme. Il semblerait qu'elles s'approchent de ces structures par simple curiosité (Dubourg-Savage, 2004).

Elle émet des cris entre 42 et 51 kHz (en milieu très perturbé). Ses cris sociaux représentent un trille à 18 kHz.

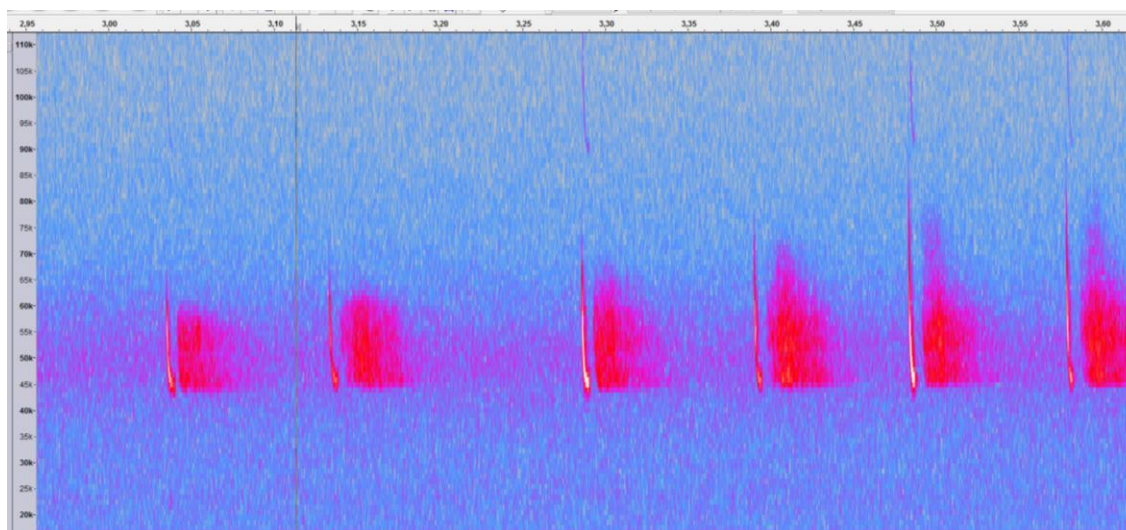


Figure 12 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune

Concernant la mortalité en Europe, 2 569 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune, dont 1 124 en France (Dürr, 2022). C'est l'espèce dont les cas de mortalité sont les plus nombreux. En définitif, la Pipistrelle commune apparaît comme très sensible au risque de mortalité. Les éoliennes situées à proximité de lisières dont le champ de rotation des pales est proche des supports d'écholocation de l'espèce (lisière, canopée etc.) semblent être les plus à risque. **Sa note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

6.2.2 Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)



Figure 13 : Individu adulte de Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*)

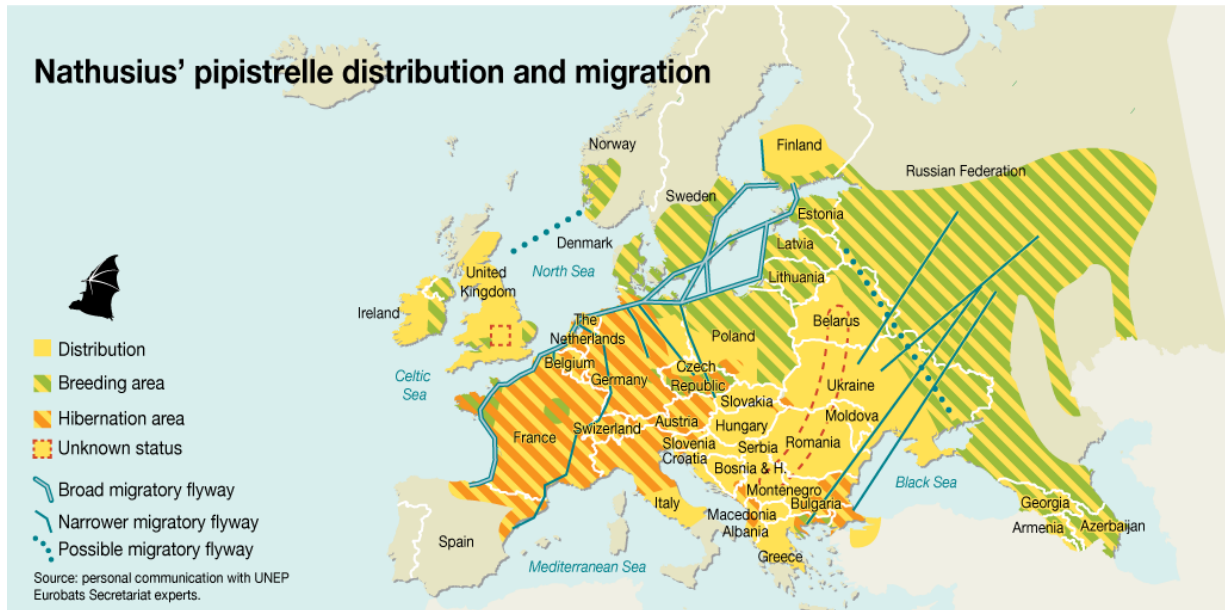
La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II des conventions de Berne et de Bonn et annexe I de l'accord EUROBATS) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Cette pipistrelle est présente essentiellement en Europe centrale et se reproduit principalement au Nord de son aire de répartition. Espèce migratrice, elle entreprend des déplacements saisonniers sur de très grandes distances (souvent plus de 1000 km) pour rejoindre ses lieux de mise-bas ou ses

gîtes d'hibernation. Les femelles quittent le sud-ouest de l'Europe au printemps (avril) en direction de leurs sites de mise-bas dans le nord-est de l'Europe.

Les mises-bas ont lieu début juin principalement en gîtes arboricoles, entre les fentes du bois ou les chablis. Les jumeaux sont fréquents. Les premiers jeunes sont volants au plus tard mi-juillet. Les femelles sont fidèles à leur lieu de naissance. Ces femelles, accompagnées des jeunes, regagnent leurs gîtes d'hibernation et les secteurs de parades au sud-ouest de l'Europe à partir du mois de septembre (un pic est observé fin septembre en Lorraine). Les mâles, quant à eux, sont plus sédentaires et restent erratiques durant la période estivale. Ils se déplacent vers leur secteur de reproduction (parades) au retour des femelles (fin août et septembre).

Les accouplements ont lieu de début août à septembre, les mâles se constituent un harem de 2 à 5 femelles. Ses gîtes hivernaux se situent dans les cavités arboricoles, les fissures et les décollements d'écorce, mais aussi au sein des bâtiments derrière les bardages en bois et les murs creux frais. Elle hiberne en solitaire ou en petits groupes d'une douzaine, voire une cinquantaine d'individus, parfois en mixité avec les trois autres Pipistrelles. Son comportement migratoire induit des disparités fortes quant à sa présence et à son comportement estival. Certaines régions n'abritent que des mâles, en essaims ou solitaires, d'autres des colonies de mise-bas (de 20 à 200 femelles) et sur d'autres secteurs géographiques, il peut y avoir les deux sexes.



Carte 2 : Carte de répartition et de migration de la Pipistrelle de Nathusius (Kurvits et al., 2011)

Espèce forestière, la Pipistrelle de Nathusius patrouille à basse altitude le long des zones humides et chasse aussi en plein ciel à grande hauteur, préférentiellement en milieux boisés diversifiés, ou à proximité de structures linéaires (haies, lisières forestières, etc.) mais aussi en milieu urbain sous des lampadaires. Elle quitte son gîte en moyenne 50 minutes après le coucher du soleil. Elle consomme essentiellement des Chironomes, et occasionnellement des Trichoptères, Névroptères, Lépidoptères, Hyménoptères et Coléoptères. Son vol de chasse est généralement situé entre 3 et 20 mètres de haut. Cette hauteur de vol peut aussi être plus importante notamment lors des phases de transit ou de migration. Son domaine vital peut atteindre une vingtaine de kilomètres carrés et elle s'éloigne jusqu'à une demi-douzaine de kilomètres de son gîte.

Ses émissions sonores sont comprises entre 34 et 42 kHz, de 4 à 11 ms.

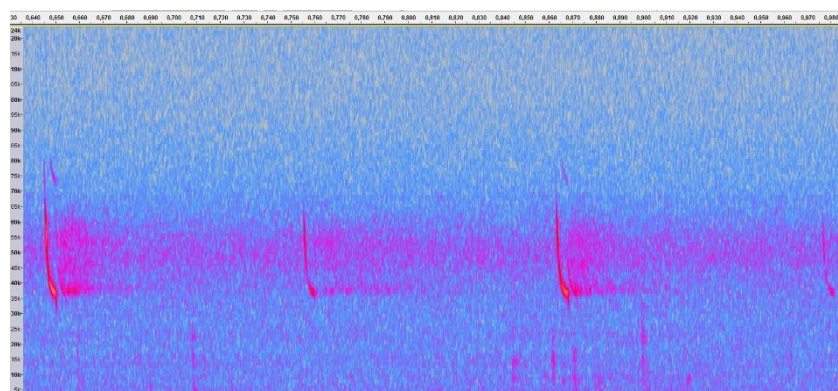


Figure 14 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

La Pipistrelle de Nathusius apparaît comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes : avec 1 662 cas recensés en Europe, dont 303 en France (Dürr, 2022), elle est la 2^{ème} espèce de chiroptères la plus impactée. Les éoliennes situées à proximité de lisières et des voies de migrations semblent être les plus à risque. **Sa note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

6.2.3 Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)



Figure 15 : Individu adulte de Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*)

La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II des conventions de Berne et de Bonn et annexe I de l'accord EUROBATS) et classée comme « Préoccupation mineure » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Cette espèce se retrouve autour du bassin méditerranéen et dans l'Ouest de l'Asie, jusqu'au Pakistan et à la frontière de l'Inde. En Europe occidentale, elle est présente tout au long de la côte Atlantique. Opportuniste, elle se nourrit des Culicidés, des Lépidoptères, des Chironomes, des Hyménoptères, des Brachycères, des Tipulidés et des Coléoptères, qu'elle chasse soit directement à la gueule, soit en utilisant ses membranes. C'est une espèce anthropophile. On la trouve dans les zones sèches, près des falaises, des rivières mais aussi les paysages agricoles, les milieux humides et les forêts de faible altitude. Elle se nourrit préférentiellement dans les parcs urbains avec éclairages publics mais elle chasse également aussi bien dans les espaces boisés que ouverts, les zones humides et montre une nette attirance pour les zones urbaines avec parcs, jardins et éclairages publics. Elle devient active dans la première demi-heure succédant au coucher du soleil.

Pour hiberner, elle se mélange avec d'autres Pipistrelles et préfère les anfractuosités des bâtiments frais même s'il est également possible de la retrouver dans des fissures de falaises ou dans des caves. Pour la mise-bas, ces Pipistrelles forment des colonies allant de 20 à une centaine d'individus et s'installent dans n'importe quel type d'anfruosité sur les bâtiments. Il est beaucoup plus rare de les retrouver dans des cavités arboricoles. Les femelles sont fidèles à leur colonie de naissance. En fonction de la zone géographique, les naissances s'effectuent de mai à début juin. Les jumeaux sont fréquents. L'époque des parades se déroule entre la fin du mois d'août jusqu'au mois de septembre et les Pipistrelles utilisent des gîtes intermédiaires. Cette espèce ne semble pas être migratrice. La longévité maximale observée est de huit ans et l'espérance de vie moyenne se situe entre 2 et 3 ans.

L'espèce est abondante et même en expansion depuis quelques années (Arthur & Lemaire, 2009). Elle jouit d'une grande aire de répartition. Cependant, par son caractère anthropophile, cette chauve-souris est souvent victime de dérangement ou de destruction de ses gîtes et les chats et les collisions automobiles sont les deux causes les plus connues d'accidents (Arthur & Lemaire, 2009).

La Pipistrelle de Kuhl est la 5^{ème} espèce la plus impactée, avec 471 cadavres recensés en Europe, dont 221 en France (Dürr, 2022). Ceci s'explique par son affinité pour les milieux ouverts, sa tendance à suivre les structures verticales et par sa curiosité (LPO Rhône-Alpes). **Sa note de risque est moyenne (2,5/4,5).**

6.2.4 Noctule commune (*Nyctalus noctula*)



Figure 16 : Individu adulte de noctule commune (*Nyctalus noctula*)

La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II des conventions de Berne et de Bonn et annexe I de l'accord EUROBATS) et classée comme « Vulnérable » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

Espèce forestière, la Noctule commune s'est adaptée à la vie urbaine. Sa présence est liée à la proximité de l'eau. Elle exploite une grande diversité de territoires : massifs forestiers, prairies, étangs, alignements d'arbres, halos de lumière.

Elle quitte son gîte quand il fait encore clair, voire jour. La Noctule commune peut chasser sur une grande diversité d'habitats (du massif forestier à la prairie, en passant par des zones humides et des secteurs urbanisés). Elle survole le plus souvent ces secteurs de chasse à haute altitude (30 à 100 mètres). Ses territoires de chasse sont vastes (jusqu'à 50 hectares) et sont éloignés du gîte d'environ 10 km en moyenne (Dietz *et al.*, 2009). Elle chasse le plus souvent en groupe, et consomme ses proies en vol. Exclusivement insectivore et opportuniste, son régime alimentaire va des microdiptères aux Coléoptères (Arthur & Lemaire, 2009). Elle hiberne de novembre à mars, souvent en groupe mixte, en forêt (larges cavités, loges de pics, etc.) comme en ville (corniches de pont, immeuble, etc.). En été, la Noctule commune est présente dans les mêmes types de gîtes qu'en hiver, en solitaire, ou en petits essaims.

Espèce migratrice, elle est capable d'accomplir des parcours de plusieurs centaines de kilomètres (jusqu'à 1 546 km). En quelques semaines, l'essentiel des femelles va migrer vers des territoires de mise-bas à l'Est et au Nord de l'Europe, et il ne restera plus que des mâles et quelques très rares colonies de parturition dispersées en France. Elles mettent bas à partir de mi-juin, d'un ou deux petits. Elles peuvent être aptes à la reproduction dès leur première année. L'émancipation est atteinte au bout de sept à huit semaines. Le retour s'effectue avec les jeunes de septembre à octobre, pour rejoindre les mâles (plus sédentaires) sur les sites de parades, et pour retourner dans leur secteur d'hibernation. Lors de ces déplacements, il est possible d'observer des noctules communes en vol parmi des groupes d'oiseaux migrateurs à une centaine de mètres d'altitude en plein jour. Une partie des populations européennes montre des tendances sédentaires comme en Espagne, en Grande-Bretagne et en Suède (Arthur & Lemaire, 2009). Comparée à toutes les autres espèces, la Noctule commune montre une très courte espérance de vie estimée à 2,2 ans (Arthur & Lemaire, 2009). Actuellement, le record de longévité connu pour cette espèce n'est que de douze ans.

Les émissions sonores de la Noctule commune sont très puissantes, entre 16 et 24 kHz ; elles peuvent porter jusqu'à 150 mètres.

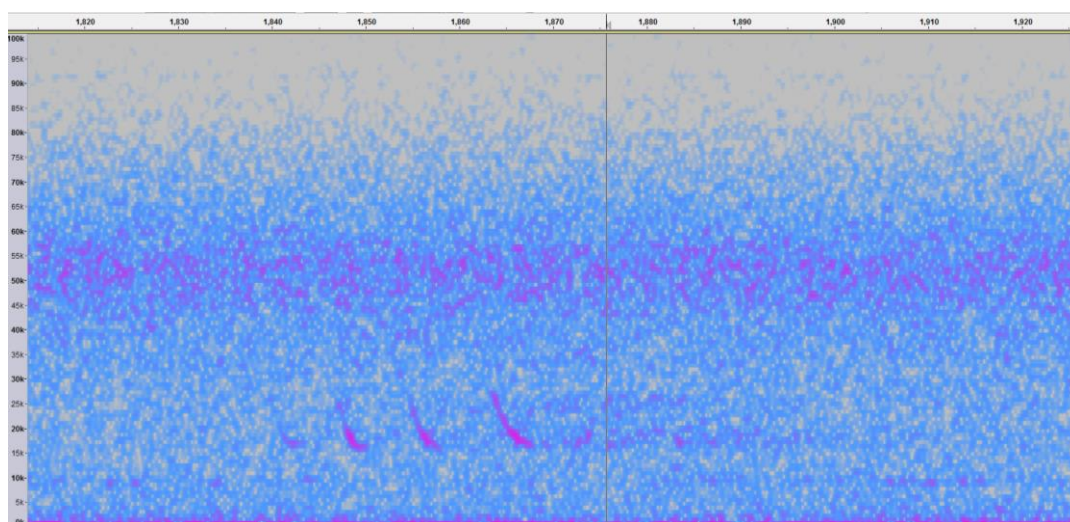


Figure 17 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune.

La Noctule commune est la 3^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 1 616 cas de mortalité en Europe ont été attribués de manière certaine à la Noctule commune, dont 147 en France (Dürr, 2022). Son comportement de chasse et ses déplacements à des altitudes élevées la rendent particulièrement sensible à cet impact. **Sa note de risque est la plus élevée chez les chiroptères (4/4,5).**

6.2.5 Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)



Figure 18 : Individu adulte de Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)

La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II des conventions de Berne et de Bonn et annexe I de l'accord EUROBATS) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

La Noctule de Leisler est une espèce d'Europe centrale dont la répartition s'étend vers le Sud jusqu'en Espagne en même temps qu'elle se raréfie.

La Noctule de Leisler peut chasser sur pratiquement tous les types de milieux (du sous-bois à la plaine céréalière en passant par des zones humides et des secteurs urbanisés). Espèce forestière, elle a une préférence pour les massifs à essences caduques assez ouverts et recherche la proximité des milieux humides. Les femelles chassent essentiellement à moins d'une dizaine de kilomètres du gîte, l'envol se fait dès le coucher du soleil. Durant sa chasse, la Noctule de Leisler peut voler à des hauteurs de vol de plus de 100 mètres, notamment au-dessus de la canopée. Ses proies sont de petite et de moyenne taille : Diptères, Lépidoptères, Coléoptères, Hémérobiidés, Chrysopidés et aussi Ephéméroptères, Trichoptères ou Chironomes (Arthur & Lemaire, 2009).

Durant la migration et les phases de transit, il est probable que les hauteurs de vols soient également assez élevées (de l'ordre de 100 mètres). Pour l'hibernation, l'espèce n'est pas cavernicole, elle occupe essentiellement des cavités arboricoles parfois mixtes avec la Noctule commune. En France, les gîtes de mise-bas sont rares mais on en découvre chaque année du Nord de la France à la Corse. Les nurseries en cavité arboricole comptent habituellement de 20 à 40 femelles, parfois 100, et peuvent atteindre 150 dans les bâtiments. Les naissances s'échelonnent de mi-juin à début juillet, les jumeaux ne sont pas rares. Les jeunes sont presque tous volants début août. A la fin de l'été, le retour des femelles revenant de l'Est de l'Europe sonne le début des parades, les mâles vont former des harems regroupant jusqu'à dix femelles et s'accoupler.

L'essentiel des effectifs migrants sont des femelles qui doivent relier les secteurs d'hibernation du Sud-Ouest de l'Europe pour remonter vers les sites de mise bas au Nord-Est, même si des colonies de mise bas sont récemment découvertes en Europe de l'Ouest. La migration de printemps semble se dérouler durant le mois d'avril. Les retours dans le sud de l'Europe interviennent à partir de début août et peuvent être effectifs jusqu'au mois d'octobre. Elle accomplit de très longs déplacements (pouvant atteindre 1 567 km entre le Nord de l'Allemagne et l'Espagne). Son espérance de vie moyenne est estimée à 2,7 ans, la plus vieille Noctule de Leisler connue a atteint l'âge de onze ans.

Les émissions sonores de la Noctule de Leisler sont comprises entre 21 et 26 kHz.

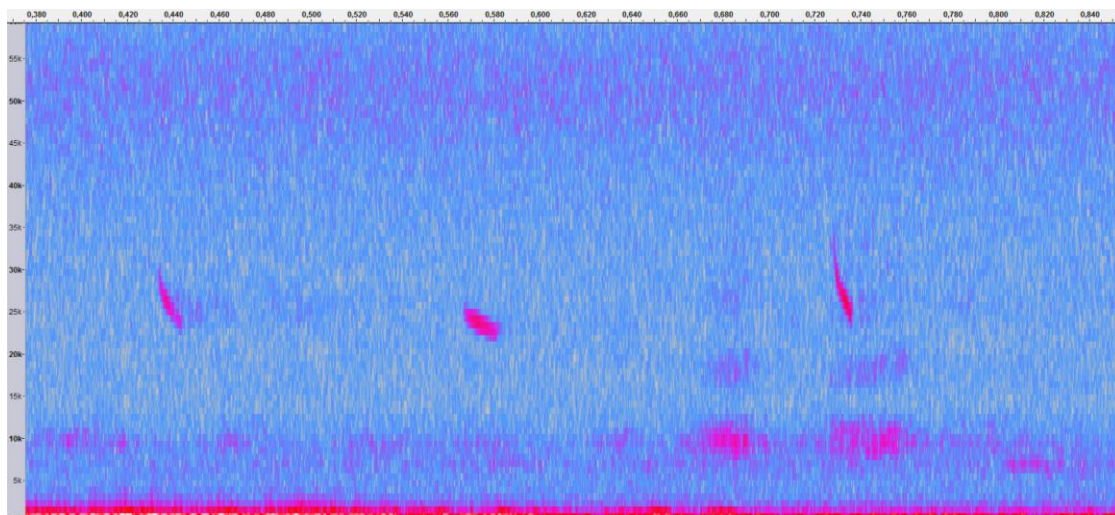


Figure 19 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

La Noctule de Leisler est la 4^{ème} espèce la plus touchée par l'impact éolien en Europe : 753 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine, dont 186 en France (Dürr, 2022). Sa technique de chasse en hauteur et ses grands déplacements à des altitudes à risque expliquent sa sensibilité. **Sa note de risque est très élevée (3,5/4,5).**

6.2.6 Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)



Figure 20 : Individu adulte de Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)

La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) est une espèce d'intérêt communautaire (annexe IV de la Directive Habitats, annexes II des conventions de Berne et de Bonn et annexe I de l'accord EUROBATS) et classée comme « Quasi-menacée » sur la Liste rouge UICN France métropolitaine.

La Sérotine commune est une grande espèce de chauve-souris très répandue en France. Espèce de plaine, elle est campagnarde ou urbaine, avec une nette préférence pour les milieux mixtes (pâtures, haies, lisières forestières, milieux urbains, plans

d'eau et cours d'eau, etc.). Une végétation clairsemée avec des feuillus semble être recherchée. Elle ne s'aventure guère en milieu fermé. En forêt, elle suit les chemins forestiers et les coupe-feux. Son territoire de chasse est souvent situé à moins de 5 km de son gîte. Très sédentaire, la distance entre ses gîtes d'hiver et d'été est souvent inférieure à 50km. Elle gîte en hiver dans des greniers, des églises, entre l'isolation et les toitures, etc. Elle hiberne de novembre à fin mars et ne quittera pas son gîte si la température baisse et risque de mourir si celle-ci s'effondre (Beucher, 2020). En été, elle s'installe dans des bâtiments très chauds, au sein de combles. Espèce lucifuge, elle ne tolère pas l'éclairage des accès à son gîte.

La Sérotine commune chasse les insectes en vol du sol jusqu'à la canopée, le long des structures arborées ou au-dessus de lampadaires. Elle chasse le plus souvent à hauteur de végétation, survolant les vergers, les prairies, les pelouses, les plans d'eau ou les éclairages publics. La taille moyenne de son domaine vital est d'environ 15 km². Opportuniste, elle se nourrit de nombreux insectes, Coléoptères, Lépidoptères, Trichoptères, Diptères et Hyménoptères, qu'elle capture en vol. Crépusculaire à nocturne, elle se met généralement en chasse quinze minutes après le coucher de soleil et durant 1 à 2,5 heures. Elle chasse en petite escadrille ou en solitaire (Arthur & Lemaire, 2009).

Les mâles sont solitaires tandis que les femelles vont se regrouper pour la mise-bas en colonies de 10 à 50 individus. La femelle donne naissance à un jeune, courant juin, qui tentera ses premiers vols à environ vingt jours et quittera pour la première fois son lieu de naissance entre 4 et 5 semaines. Très fidèle à son gîte, la femelle y reviendra tant qu'il reste accessible. La plus vieille Sérotine commune a atteint l'âge de 24 ans.

Elle émet des ultrasons dans une fréquence modulaire aplanie comprise entre 20 et 26 kHz.

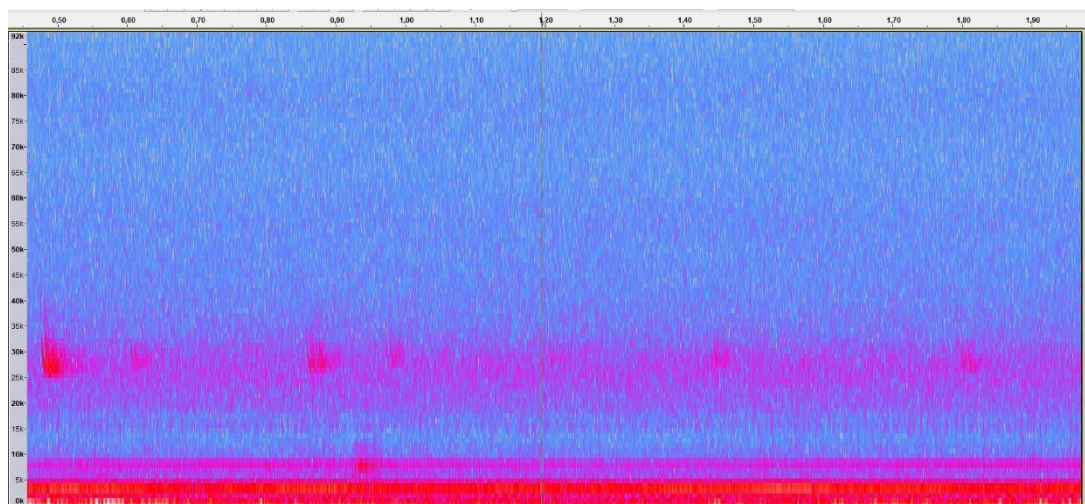


Figure 21 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

C'est la 10^{ème} espèce la plus impactée par l'éolien en Europe : 130 cas ont été attribués de manière certaine à la Sérotine commune, dont 38 en France (Dürr, 2022). Les éoliennes situées à proximité de lisières et dont le champ de rotation des pales passe proche des structures de végétation (canopée, lisières...) sont les plus dangereuses. **Sa note de risque est élevée (3/4,5).**

6.3 SENSIBILITE DES CHIROPTERES A L'EOLIEN

6.3.1 Généralités

Les premiers cas de mortalité de chiroptères provoqués par des éoliennes ont été décrits au début des années 70 (Hall & Richards, 1972). Cependant, il a fallu attendre le milieu des années 1990 pour voir apparaître les premières études consacrées à l'impact des parcs éoliens sur les chauves-souris. Elles ont été menées aux Etats-Unis, principalement dans le Minnesota, l'Oregon et le Wyoming (Puzen, 2002 ; Johnson *et al.*, 2003).

En Europe, des études sur le sujet ont vu le jour à la suite des protocoles de suivi sur la mortalité des oiseaux, qui ont révélé des cas de collision avec les chauves-souris. Ces études se sont déroulées principalement en Allemagne (Bach, 2001 ; Brinkmann *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002) et en Espagne (Lekuona, 2001 ; Alcalde, 2003). L'étude de cette problématique a été plus tardive en France (Beucher *et al.*, 2011 ; Dulac, 2008 ; Lagrange *et al.*, 2009 ; Rico & Lagrange, 2011). Depuis, ces suivis de mortalité se sont répandus en Europe. Dans sa dernière publication « Guidelines for consideration of bats in wind farm projects, Revision 2014 » et ses annexes, le groupe de travail EUROBATS propose une compilation aussi exhaustive que possible de ces travaux à travers l'Europe.

La compilation chiffrée des données disponibles est régulièrement mise à jour, au niveau européen, par T. Dürr. Certaines études montrent une mortalité plus importante sur les chiroptères que sur les oiseaux (Smallwood, 2013) : aux Etats-Unis, la mortalité annuelle évaluée sous les éoliennes serait de 888 000 chauves-souris pour 573 000 oiseaux. Cette sensibilité particulière des chiroptères à l'éolien pourrait être due à plusieurs phénomènes :

- Une possible attraction des chauves-souris par les éoliennes, notamment par les insectes concentrés autour des parties chaudes des éoliennes (Bennett *et al.*, 2017 ; Foo *et al.*, 2017). Les pics d'activité des chiroptères sont liés à l'essaimage des insectes : un pic à la fin du printemps - début été (coïncide avec la période de mise bas des chiroptères) et un autre fin été - début automne (migration, émancipation des jeunes chiroptères) (Beucher *et al.*, 2017) ;
- Elles pourraient rechercher des gîtes dans les éoliennes en les confondant avec des grands arbres (Bennett & Hale, 2014 ; Gaultier *et al.*, 2020), ou encore en voulant s'en servir comme sites de reproduction (Gaultier *et al.*, 2020) ou simplement explorer les éoliennes par curiosité (Cryan & Barclay, 2009) ;
- Un problème de détection des pales en mouvement : les extrémités de pale se déplacent à des vitesses linéaires importantes (plus de 250 km.h⁻¹), tout en présentant une faible surface réfléchissante pour les ultrasons utilisés par le système d'écholocation des chiroptères. Cette contrainte est augmentée par la génération d'un effet Doppler important : sur une cible arrivant à 250 km.h⁻¹, l'écho revient vers l'animal avec un décalage en fréquence de 20 kHz. Il entraîne obligatoirement une erreur de mesure (la chauve-souris perçoit la cible plus éloignée qu'elle ne l'est en réalité). Le signal pourrait aussi simplement être ininterprétable ou inaudible pour l'animal qui n'a que quelques fractions de seconde pour réagir.

Le phénomène de barotraumatisme (Figure 22) décrit par Baerwald *et al.* (2008) et Seiche (2007), puis par Baerwald & Barclay (2009) résulterait du passage de la pale à proximité de la chauve-souris. L'animal pourrait donc être impacté dans certaines conditions même s'il a évité la pale. En effet, à proximité immédiate de l'extrados des pales en mouvement, les chauves-souris traversent une zone de dépression brutale. Cette variation de pression entraîne la rupture des vaisseaux capillaires (pulmonaires essentiellement) et provoque une hémorragie létale sans qu'il n'y ait eu de contact avec la pale. Ce phénomène explique que la plupart des cadavres récupérés et examinés ne présentent aucune lésion externe. Horn *et al.* (2008) montrent que les risques sont plus importants lorsque la vitesse de rotation des pales n'est pas très élevée, ce qui se produit par vent faible. La mort par barotraumatisme n'étant pas directe, il est possible que l'individu soit encore capable de voler quelques temps après le traumatisme et donc que le cadavre ne soit pas retrouvé sous l'éolienne (Gaultier *et al.*, 2020).

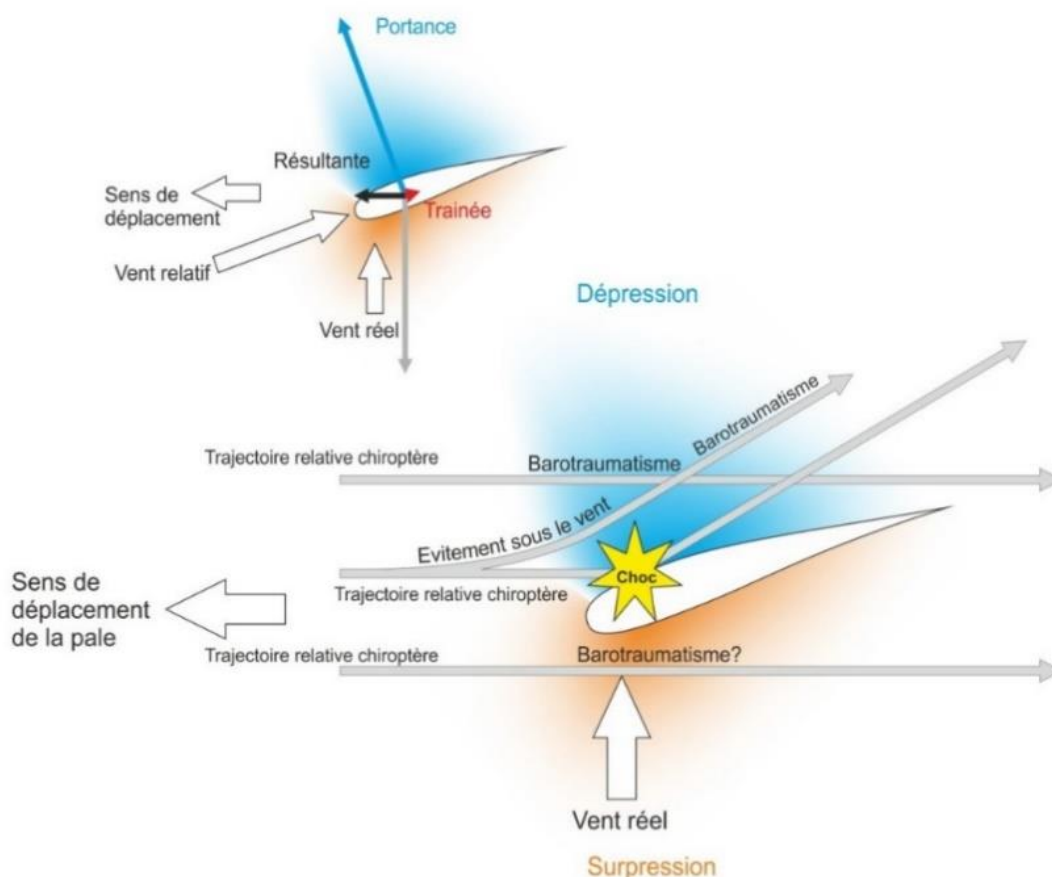


Figure 22 : Description du phénomène de barotraumatisme d'après Rico *et al.*, 2015.

La sensibilité des chiroptères vis-à-vis des éoliennes est variable en fonction de :

- L'écologie des espèces concernées, avec une sensibilité plus importante pour des espèces dites de haut-vol (> 40 m) appartenant principalement aux groupes des Sérotules (*Eptesicus-Nyctalus*) et des Pipistrelles (Heitz & Jung, 2016) ; en Europe, les espèces les plus touchées seraient la Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*), la Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) et la Noctule commune (*Nyctalus noctula*) (Gaultier *et al.*, 2020). Au contraire, les Rhinolophes et le genre *Myotis* chassent plutôt près du sol ou directement dans la végétation ce qui réduit les risques de collision (Gaultier *et al.*, 2020);

- Du sexe, par exemple, les femelles de Noctule commune auraient un territoire de chasse plus grand et exploreraient plus de nouveaux territoires que les mâles, elle n'hésiteraient donc pas à chasser à proximité des éoliennes (Roeleke *et al.*, 2016) ;
- Du milieu d'implantation des éoliennes avec des mortalités plus importantes en milieu forestier, sur des crêtes, le long de grands cours d'eau ou des zones littorales, moins importantes en milieu agricoles diversifiées et minimales sur des plaines agricoles (Rydell *et al.*, 2010 ; Barré *et al.*, 2023) ;
- De la saison, avec des pics de mortalité en fin d'été et début de l'automne, période de dispersion des jeunes et de migration (Heitz & Jung, 2016 ; Marx, 2017 ; Barré *et al.*, 2023) ;
- De l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart, 2013) ;
- Des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de $6,5 \text{ m.s}^{-1}$ et avec hautes températures (Joiris, 2012 ; Barré *et al.*, 2023 ; Beucher, 2020) . Pour les espèces de lisières comme les Pipistrelles, les pics d'activité ont lieu pour des vitesses de vent d'environ 2 m.s^{-1} et des températures comprises entre 10 et 15°C (Beucher *et al.*, 2017). Les espèces comme les Noctules présentent un pic d'activité vers 5 m.s^{-1} (Beucher *et al.*, 2017). Nous avons étudié la différence entre activité et mortalité des chiroptères grâce à des caméras thermiques (Rico & Lagrange, 2015) : la forte activité a lieu pour des vitesses de vent faibles, lorsque l'éolienne ne tourne pas, il n'y a donc pas de mortalité, mais lorsque le vent atteint 5 à 6 m.s^{-1} , l'éolienne commence à tourner alors qu'il y a encore de l'activité chiroptérologique, ce qui induit donc des cas de mortalité ;
- Des caractéristiques des éoliennes (hauteur du mât, diamètre du rotor, longueur des pales, vitesse de rotation), avec une sensibilité maximale pour les éoliennes de moins de 30 mètres de garde au sol et un grand diamètre de rotor qui implique une plus grande surface balayée (Heitz & Jung, 2016). Plus les éoliennes sont larges et hautes, plus le risque de mortalité sera élevé (Rydell *et al.*, 2010 ; Gaultier *et al.*, 2020). La distance entre chaque éolienne va également jouer un rôle : des turbines plus proches les unes des autres peuvent réduire l'effet d'évitement du parc éolien et l'emprise du parc dans l'environnement (Barré, 2018 ; Barré *et al.*, 2023), mais diminuent également la possibilité de déplacement entre chaque éolienne.

6.3.2 Mortalité directe

La mortalité directe, qu'elle soit produite par barotraumatisme ou collision, génère une mortalité qui est de mieux en mieux documentée. Il apparaît que toutes les espèces ne sont pas impactées de la même manière par ce phénomène. Le comportement et l'écologie des animaux influenceraient fortement leur sensibilité à l'éolien. Ainsi, les chauves-souris chassant en plein ciel (espèces de haut vol) ou réalisant des migrations, seraient beaucoup plus impactées que les espèces sédentaires glanant leur nourriture au sol ou dans la canopée (Roemer *et al.*, 2017).

Tableau 7 : Récapitulatif des données de mortalité des chiroptères, classées par espèce, en Europe (Dürr, août 2023).

Espèce	A	BE	CH	CR	CZ	D	DK	ES	EST	FI	FR	GR	IT	LV	NL	N	PT	PL	RO	S	UK	Total
<i>Barbastella barbastellus</i>						1		1			6											8
<i>Chiroptera spec.</i>	1	11		60	1	78		320	1		465	8	1				120	3	15	30	9	1123
<i>E. serotinus / isabellinus</i>								98									17					115
<i>Eptesicus isabellinus</i>								117									3					120
<i>Eptesicus nilssonii</i>	1				1	6			2	6				13		1		1	1	13		45
<i>Eptesicus serotinus</i>	1				11	72		2			72	1			2			3	1			165
<i>Hypsugo savii</i>	1			137		1		50			59	28	12				56		2			346
<i>Miniopterus schreibersi</i>								2			8						4					14

<i>Myotis bechsteini</i>										2										2		
<i>Myotis blythii</i>							6			1										7		
<i>Myotis brandtii</i>				2																2		
<i>Myotis dasycneme</i>				3																3		
<i>Myotis daubentonii</i>				8						2					2					12		
<i>Myotis emarginatus</i>							1			3					1					5		
<i>Myotis myotis</i>				2			2			5										9		
<i>Myotis mystacinus</i>				3						4	1									8		
<i>Myotis nattereri</i>				2						3									1	6		
<i>Myotis spec.</i>				2			3			1							4			10		
<i>Nyctalus lasiopterus</i>								21			10	1			9					41		
<i>Nyctalus leisleri</i>			1	4	3	199		15		243	58	2			273	5	10			813		
<i>Nyctalus noctula</i>	46	1			31	1287		1		269	10				2	17	76	14	11	1765		
<i>Nyctalus spec.</i>						2		2		5					17					26		
<i>P. pipistrellus / pygmaeus</i>	1		2			3		271		40	54				38	1	2			412		
<i>Pipistrellus kuhlii</i>				144				44		411	1				51		10			661		
<i>Pipistrellus nathusii</i>	13	6	6	17	7	1144	2			415	35	1	23	11		16	90	5	1	1792		
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	2	30	6	5	16	802		211		1931	0	1		16		323	5	6	1	46	3401	
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	4			1	2	169				199	0		1			42	1	5	18	52	494	
<i>Pipistrellus spec.</i>	8	2		102	9	104		25		421	1		2			128	2	48		12	864	
<i>Plecotus auritus</i>						7				1									1	9		
<i>Plecotus austriacus</i>	1					8				2										11		
<i>Plecotus spec.</i>										1										1		
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>								1		1										2		
<i>Rhinolophus mehelyi</i>								1												1		
<i>Rhinolophus spec.</i>								1												1		
<i>Tadarida teniotis</i>				7				36		3						39				85		
<i>Vespertilio murinus</i>		2	1		17	6	153			11	1		1			9	15	2		218		
Total	81	51	15	494	87	4058	2	1231	3	6	4594	199	17	40	29	1	1125	63	285	83	133	1259

A = Autriche, BE = Belgique, CH = Suisse, CR = Croatie, CZ = République tchèque, D = Allemagne, DK = Danemark, ES = Espagne, EST = Estonie, FI = Finlande, FR = France, GR = Grèce, IT = Italie, LV = Lettonie, NL = Pays-Bas, N = Norvège, PT = Portugal, PL = Pologne, RO = Roumanie, S = Suède, UK = Grande-Bretagne

En Europe, le Tableau 7 compilé par Tobias Dürr permet de constater le nombre de cas de mortalité, relevé par espèce et par pays. En croisant ces données avec la sensibilité des espèces, il est possible de définir la vulnérabilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 8).

Tableau 8 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016).

Vulnérabilité élevée	Vulnérabilité moyenne	Vulnérabilité faible
Noctules spp.	Sérotines spp.	Murins spp.
Pipistrelles spp.	Barbastelle d'Europe	Oreillards spp.
Vespertilion bicoloré		Rhinolophes spp.
Vespère de Savi		
Minioptère de Schreibers		
Molosse de Cestoni		

7 BIBLIOGRAPHIE

- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Arthur, L., & Lemaire, M. (2009). *Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse*. (Publications scientifiques du muséum). Biotope édition.
- Bach, L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—Reale Probleme oder Einbildung ? *Vogelkundliche Berichte aus Niedersachsen*, 33, 119-124.
- Bach, L., Brinckmann Robert, Limpens Herman, Rahmel Ulf, Reichenbach, M., & Roschen Axel. (1999). Bewertung und planerische umsetzung von fledermausdaten im rahmen der windkraftplanung. *Bremer Beitrage für Naturkunde und Naturschutz, Themenheft « Voegel und Windkraft »*(Band 4), 163-170.
- Baerwald, E. F., & Barclay, R. M. R. (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1341-1349. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-104R.1>
- Baerwald, E. F., D'Amours, G. H., Klug, B. J., & Barclay, R. M. R. (2008). Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. *Current Biology*, 18(16), R695-R696. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.06.029>
- Barré, K. (2018). Estimating habitat loss due to wind turbine avoidance by bats_ Implications for European siting guidance. *Biological Conservation*, 10.
- Barré, K., Froidevaux, J., Sotillo, A., Roemer, C., & Kerbiriou, C. (2023). Drivers of bat activity at wind turbines advocate for mitigating bat exposure using multicriteria algorithm-based curtailment. *Science of The Total Environment*, 866.
- Bennett, V. J., & Hale, A. M. (2014). Red aviation lights on wind turbines do not increase bat-turbine collisions : Bats are not attracted to aviation lighting. *Animal Conservation*, 17(4), 354-358. <https://doi.org/10.1111/acv.12102>
- Bennett, V. J., Hale, A. M., & Williams, D. A. (2017). When the excrement hits the fan : Fecal surveys reveal species-specific bat activity at wind turbines. *Mammalian Biology*, 87, 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2017.08.003>
- Beucher, Y. (2020). *Maîtrise des impacts éoliens sur les chauves-souris : Actions et stratégie du Groupe Technique éolien de la SFEPM*. 7.
- Beucher, Y., Kelm, V., Geyelin, M., & Pick, D. (2011). *Réduction significative de la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes—Poster*.
- Beucher, Y., Langlois, A., Albespy, F., & Mounetou, R. (2017). *Les pics d'activité des chauves-souris en plein ciel : Vers une nouvelle perception de la typologie des risques d'impacts éoliens*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20519.80803>
- Brinkmann, R., Schauer-Weissahn, H., & Bontadina, F. (2006). *Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg* (Projekt 0410 L; p. 66). Regierungspräsidium Freiburg.
- Cornut, J., & Vincent, S. (2010). *Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes* (p. 43). LPO Drôme.
- Cryan, P. M. (2008). *Mating Behavior as a Possible Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines*. 72 (3), 845–849.
- Cryan, P. M., & Barclay, R. M. R. (2009). Causes of bat fatalities at wind turbines : Hypotheses and predictions. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1330-1340. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-076R1.1>
- Dietz, C., von Helversen, O., & Nill, D. (2009). *L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du nord Biologie, Caractéristiques, Protection* . (Delachaux et Niestlé).
- Dubourg-Savage, M. (2004). Impacts des éoliennes sur les Chiroptères, de l'hypothèse à la réalité. *Arvicola*, XVI(2).
- Dulac, P. (2008). *Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi* (p. 106). Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire.
- Dürr, T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus*, 8(2), 115-118.
- Dürr, T. (2020). *Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de novembre 2020*.
- Foo, C. F., Bennett, V. J., Hale, A. M., Korstian, J. M., Schildt, A. J., & Williams, D. A. (2017). Increasing evidence that bats actively forage at wind turbines. *PeerJ*, 5, e3985. <https://doi.org/10.7717/peerj.3985>
- Gaultier, S. P., Blomberg, A. S., Ijäs, A., Vasko, V., Vesterinen, E. J., Brommer, J. E., & Lilley, T. M. (2020). 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*, 54(17), 10385-10398. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c00070>
- Groupe Chiroptères de la SFEPM. (2016). *Suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères— Actualisation 2016 des recommandations de la SFEPM*. (Version 2; p. 17). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères (SFEPM).
- Hall, L. S., & Richards, G. C. (1972). *Notes on Tadarida australis (Chiroptera : Molossidae)*. 46-47.
- Haquart, A. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Éléments pour l'interprétation des dénombrements de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française*. École Pratique des Hautes Études.
- Heitz, C., & Jung, L. (2016). *Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : Enjeux et solutions (Etude bibliographique)* (p. 149). Ecospère.
- Horn, J. W., Arnett, E. B., & Kunz, T. H. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *Journal of Wildlife Management*, 72(1), 123-132. <https://doi.org/10.2193/2006-465>
- Johnson, G. D., Erickson, W. P., Dale Strickland, M., Shepherd, M. F., Shepherd, D. A., & Sarappo, S. A. (2003). Mortality of bats at a large-scale wind power development at Buffalo Ridge, Minnesota. *The American Midland Naturalist*, 150(2), 332-342. [https://doi.org/10.1674/0003-0031\(2003\)150\[0332:MOBAAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1674/0003-0031(2003)150[0332:MOBAAL]2.0.CO;2)
- Joiris, E. (2012, mars 24). *High altitude bat monitoring* [Preliminary results Hainaut & Ardennes]. CSD Ingénieurs.

- Kunz, T. H., Arnett, E. B., Erickson, W. P., Hoar, A. R., Johnson, G. D., Larkin, R. P., Strickland, M. D., Thresher, R. W., & Tuttle, M. D. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats : Questions, research needs, and hypotheses. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(6), 315-324. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[315:EIOWED\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[315:EIOWED]2.0.CO;2)
- Kurvits, T., United Nations Environment Programme, GRID--Arendal, & Secretariat, C. on M. S. (2011). *Living planet, connected planet : Preventing the end of the world's wildlife migrations through ecological networks : a rapid response assessment*. UNEP, GRID-Arendal.
- Lagrange, H., Roussel, E., Anne-Lise Ughetto, Boulnois, R., Haquart, A., & Melki, F. (2009). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc de Bouin—2009*. Ecosphère. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.10316.21129>
- Lekuona, J. M. (2001). *Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual* (p. 155). Dirección General de Medio Ambiente, Gobierno de Navarra.
- Marx, G. (2017). *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015* (LN 1216-54). LPO France.
- Osborn, R. G., Higgins, K. F., Dieter, C. D., & Usgaard, R. E. (1996). Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota. *37(4)*, 105-108.
- Puzen, S. C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. *Wisconsin Public Service Corporation, Green Bay, USA*.
- Rico, P., & Lagrange, H. (2011). *Chirotech Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2011*. Biotope. <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.23108.83849>
- Rico, P., & Lagrange, H. (2015). *Etude de l'impact des parcs éoliens sur l'activité et la mortalité des chiroptères par trajectographie acoustique, imagerie thermique et recherche de cadavres au sol—Contributions aux évaluations des incidences sur l'environnement*. (p. 174). Sens Of Life, DGO3, SPW.
- Rico, P., Lagrange, H., Cosson, E., & Allouche, L. (2012). *Bilan des tests d'asservissement sur le parc du Mas de Leuze (commune de Saint Martin de Crau-13)—2012* (p. 67). Biotope.
- Roeleke, M., Blohm, T., Kramer-Schadt, S., Yovel, Y., & Voigt, C. C. (2016). Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Scientific Reports*, 6(1), 28961. <https://doi.org/10.1038/srep28961>
- Roemer, C., Disca, T., Coulon, A., & Bas, Y. (2017). Bat flight height monitored from wind masts predicts mortality risk at wind farms. *Biological Conservation*, 215, 116-122. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.09.002>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010a). Bat mortality at wind turbines in Northwestern Europe. *Acta Chiropterologica*, 12(2), 261-274. <https://doi.org/10.3161/150811010X537846>
- Rydell, J., Bach, L., Dubourg-Savage, M.-J., Green, M., Rodrigues, L., & Hedenström, A. (2010b). Mortality of bats at wind turbines links to nocturnal insect migration? *European Journal of Wildlife Research*, 56(6), 823-827. <https://doi.org/10.1007/s10344-010-0444-3>
- Seiche, K. (2007). *Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006*. (Naturschutz und Landschaftspflege). Freistaat Sachsen, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- Smallwood, K. S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33. <https://doi.org/10.1002/wsb.260>

Suivi environnemental du parc éolien de Saint-Morand

Communes de Martigné-Ferchaud et Eancé
Département d'Ille-et-Vilaine (35)



Année 2023

Rapport de suivi de la mortalité

Suivi environnemental du parc éolien de Saint-Morand
Année 2023 - Suivi de la mortalité


Maître d'Ouvrage :	Parc éolien Saint Morand SAS	Val d'Orson Rue du Pré Long 35770 Vern-sur-Seiche 02 99 36 76 77
Etabli par le bureau d'étude	AEPE Gingko 	66 rue du Roi René 49250 La Ménitré 02 41 68 06 95 contacts@aepe-gingko.fr
Rédacteur :	Clarisse OLIVIER	Chargée d'études naturalistes
	Antoine RUAULT	Chargé d'études spécialiste chiroptères
Relecteur :	Lucile BIDET	Responsable du pôle Faune-Flore
Date	Objet	
15/12/2023	Diffusion du rapport en première version	

TABLE DES MATIERES

I. CONTEXTE REGLEMENTAIRE.....	5
II. PRESENTATION DU PARC EOLIEN	6
III. SUIVI DE LA MORTALITE	7
III.1. METHODOLOGIE.....	7
III.1.1. Calendrier 2023	7
III.1.2. Méthode de prospection	8
III.1.3. Tests d'efficacité et de persistance des cadavres	10
III.1.4. Estimation de la mortalité	12
III.1.5. Incertitude de l'estimation de mortalité.....	13
III.2. RESULTATS	14
III.2.1. L'Avifaune.....	14
III.2.2. Les Chiroptères	17
III.2.3. L'occupation du sol.....	20
III.3. CONCLUSION.....	24
IV. RAPPEL DES DONNEES DE L'ETUDE D'IMPACT	25
IV.1. DONNEES INITIALES DE L'ETUDE D'IMPACT	25
IV.1.1. L'Avifaune.....	25
IV.1.2. Les Chiroptères	25
IV.2. MESURES INITIALES DE REGULATION DES EOLIENNES	26
V. SUIVI D'ACTIVITE 2023	27
VI. CONCLUSION DU SUIVI 2023	27
VII. ANNEXES.....	29

LISTE DES ILLUSTRATIONS

CARTE 1 : LOCALISATION DU PARC EOLIEN DE SAINT-MORAND (35)	6
CARTE 2 : PLAN DE SITUATION DU PARC EOLIEN DE SAINT-MORAND (35)	21
CARTE 3 : OCCUPATION DU SOL SUR LE PARC DE SAINT-MORAND EN 2023	22
FIGURE 1 : TRAJET TYPE EMPRUNTE POUR LA RECHERCHE DE CADAVRES AU PIED D'UNE EOLIENNE.....	9
FIGURE 2 : MORTALITE AVIFAUNISTIQUE REELLE ET ESTIMEE ENTRE MARS ET OCTOBRE SUR LE PARC EOLIEN	16
FIGURE 3 : MORTALITE CHIROPTEROLOGIQUE REELLE ET ESTIMEE ENTRE MAI ET OCTOBRE SUR LE PARC EOLIEN	19
PHOTO 1 : ROITELET SP. DECOUVERT LE 05 OCTOBRE 2023 SOUS L'EOLIENNE E4	14
PHOTO 2 : NOCTULE COMMUNE SOUS L'EOLIENNE E4.....	18
PHOTO 3 : PIPISTRELLE COMMUNE SOUS L'EOLIENNE E2.....	18
TABEAU 1 : PERIODE DE REALISATION DES SUIVIS (MTES, 2018)	7
TABEAU 2 : CALENDRIER DES PASSAGES TERRAIN CONCERNANT LE SUIVI DE MORTALITE	8
TABEAU 3 : RESULTATS DES TESTS DE PREDATION POUR CHAQUE EOLIENNE ET COEFFICIENT DE PREDATION	11
TABEAU 4 : DETERMINATION DE LA DUREE DE PERSISTANCE D'UN CADAVRE (T_m) POUR CHAQUE EOLIENNE DU PARC DE SAINT-MORAND.....	11
TABEAU 5 : LISTE DES ESPECES D'OISEAUX DECOUVERTS PAR DATE ET PAR EOLIENNE	14
TABEAU 6 : STATUTS DE CONSERVATION DU ROITELET HUPPE ET DU ROITELET A TRIPLE BANDEAU	14
TABEAU 7 : DONNEES DE MORTALITE ET DE SENSIBILITES CONNUES POUR LES OISEAUX RETROUVES SUR LE PARC.....	15
TABEAU 8 : CALCUL DE LA MORTALITE AVIFAUNISTIQUE ESTIMEE (ET INCERTITUDES ENTRE CROCHETS) SELON DIFFERENTS ESTIMATEURS	16
TABEAU 9 : LISTE DES ESPECES DE CHIROPTERES DECOUVERTS PAR DATE ET PAR EOLIENNE	17
TABEAU 10 : STATUTS DE CONSERVATION DES ESPECES DE CHIROPTERES DECOUVERTS.....	18
TABEAU 11 : DONNEES DE MORTALITE ET DE SENSIBILITE CONNUES POUR LES CHIROPTERES RETROUVEES SUR LE PARC	18
TABEAU 12 : CALCUL DE LA MORTALITE CHIROPTEROLOGIQUE ESTIMEE (ET INCERTITUDES ENTRE CROCHETS) SELON DIFFERENTS ESTIMATEURS	19
TABEAU 13 : LISTE DES ZNIEFF SITUEES A PROXIMITE DU PARC	20
TABEAU 14 : OCCUPATION DU SOL ET CAS DE MORTALITE PAR EOLIENNE	24

I. CONTEXTE REGLEMENTAIRE

La construction et l'exploitation des parcs éoliens peuvent avoir une incidence sur les oiseaux et les chiroptères, et sur leurs habitats. Les principaux impacts potentiels identifiés pour ces espèces sont l'altération des habitats, le dérangement et la mortalité par collision avec les pales en mouvement ou par barotraumatisme. Conformément à la réglementation, l'exploitant d'un parc doit s'assurer que la construction et l'exploitation de son parc ne dégradent pas l'état de conservation des populations de ces espèces, à toutes les étapes de la vie du projet :

- avant l'autorisation, en réalisant une étude d'impact qui permette d'évaluer les impacts du projet et de définir des mesures adaptées ;
- pendant la construction ;
- pendant l'exploitation de l'installation, en réalisant des suivis environnementaux réguliers, conformément au présent protocole et aux dispositions prévues par arrêté préfectoral le cas échéant ;
- pendant la déconstruction et la remise en état.

Un premier protocole de suivi environnemental a été validé par le ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE) en 2015 puis un second protocole a été validé par le Ministère de la transition écologique et solidaire (MTES) en 2018.

Ce dernier protocole est applicable aux éoliennes terrestres soumises à autorisation et soumises à déclaration au titre de la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Sauf cas particulier justifié et faisant l'objet d'un accord du préfet, le suivi doit débuter dans les 12 mois qui suivent la mise en service du parc éolien. Il doit dans tous les cas intervenir au plus tard dans les 24 mois qui suivent la mise en service du parc éolien. A l'issue de ce premier suivi :

- Si le suivi mis en œuvre conclut à l'absence d'impact significatif sur les chiroptères et sur les oiseaux alors le prochain suivi sera effectué dans les 10 ans, conformément à l'article 12 de l'arrêté ICPE du 26 août 2011.
- Si le suivi met en évidence un impact significatif sur les chiroptères ou sur les oiseaux alors des mesures correctives de réduction doivent être mises en place et un nouveau suivi doit être réalisé l'année suivante pour s'assurer de leur efficacité.

Par ailleurs, le ou les arrêtés préfectoraux autorisant la construction du parc peuvent comprendre des prescriptions venant compléter ce protocole de suivi environnemental.

Concernant le parc éolien de Saint-Morand, un arrêté préfectoral a été publié : Arrêté du 07 mars 2019.

Voici les prescriptions de ces arrêtés concernant le suivi environnemental du parc :

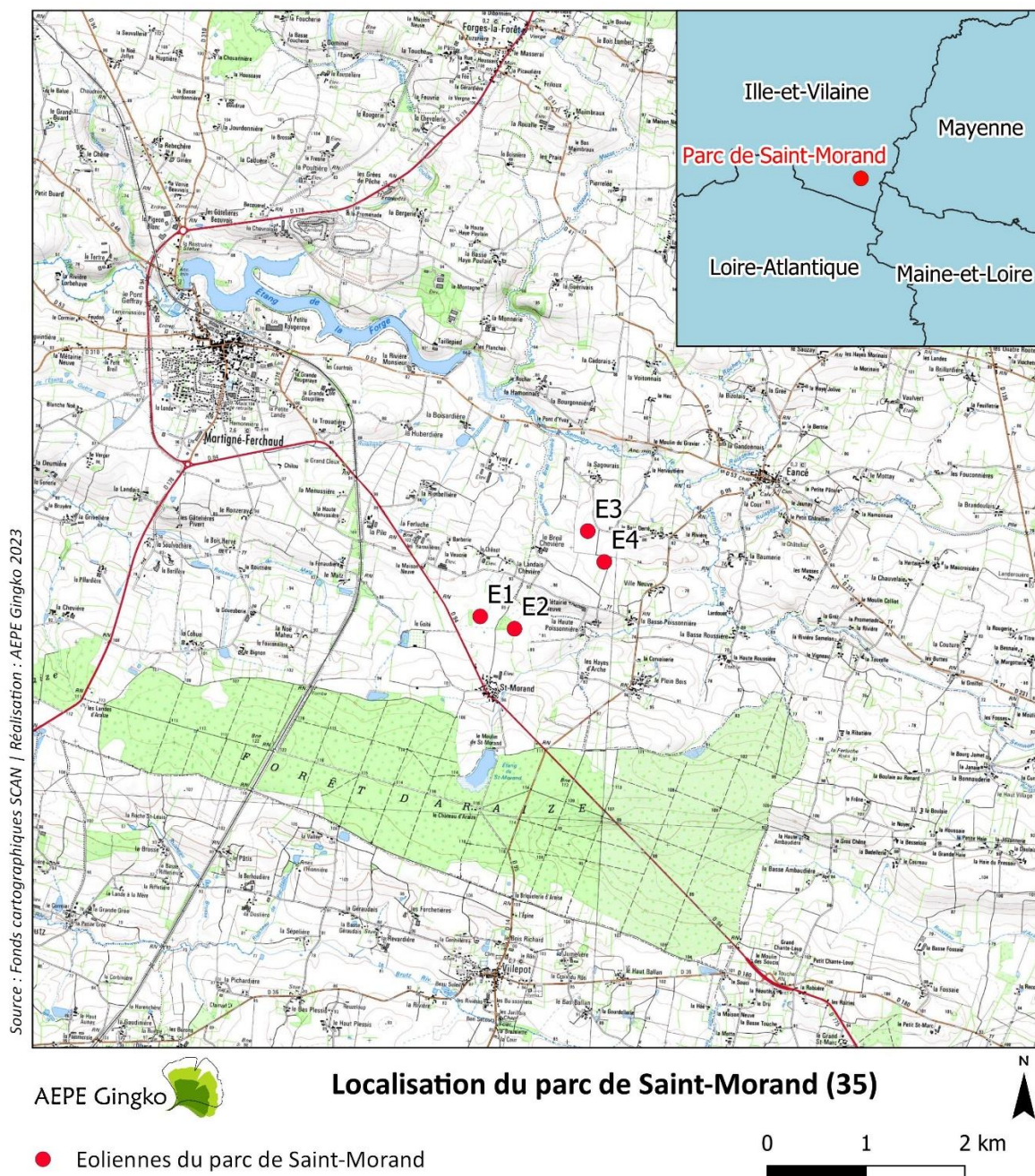
- Suivi de mortalité (avifaune et chiroptères) sur les 3 premières années de fonctionnement de l'installation, puis une fois tous les 10 ans en vue de vérifier et d'affiner les connaissances des impacts des éoliennes sur les chauves-souris et sur l'avifaune ;

Ainsi, un suivi de la mortalité hebdomadaire a été effectué de fin mars à fin octobre 2021 pour évaluer l'impact du parc éolien de Saint-Morand sur l'Avifaune et les Chiroptères présents sur le site d'étude.

Enfin, le suivi réalisé est conforme au protocole de suivi environnemental des parcs éolien en vigueur.

II. PRESENTATION DU PARC EOLIEN

Le parc éolien est situé au sud-est de la commune de Martigné-Ferchaud, dans le département d'Ille-et-Vilaine. Il est composé de 4 éoliennes et d'un poste de livraison. Sa mise en service est effective depuis mars 2023.



Carte 1 : Localisation du parc éolien de Saint-Morand (35)

Les éoliennes sont disposées sous la forme de deux couples d'éoliennes. Chaque aérogénérateur, de modèle Enercon E-103 présente les dimensions suivantes :

- Hauteur de mât : 107 mètres.
- Diamètre de rotor : 103 mètres.

III. SUIVI DE LA MORTALITE

III.1. METHODOLOGIE

III.1.1. CALENDRIER 2023

Le protocole de suivi environnemental de 2018 (MTES) indique que le suivi de mortalité des oiseaux et des chiroptères est constitué au minimum de 20 prospections, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre), en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site. Des suivis renforcés sur la période comprise entre les semaines 20 et 43 ou à d'autres périodes (= période pouvant être étendue et/ou fréquence augmentée) doivent être réalisés dans les cas où :

- l'étude d'impact le préconise : enjeux liés à la présence de certaines espèces d'oiseaux patrimoniales ou de chauves-souris à d'autres périodes ;
- les prescriptions des arrêtés préfectoraux relatifs au parc concerné le précisent ;
- les premiers résultats des suivis de mortalité indiquent des niveaux de mortalité significatifs nécessitant la réalisation d'investigations complémentaires.

Tableau 1 : Période de réalisation des suivis (MTES, 2018)

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

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

Le suivi de la mortalité a été effectué de fin mars à fin octobre 2023, à raison d'un passage par semaine, soit 33 passages. Il concernait l'avifaune ainsi que les chiroptères.

Le tableau suivant précise le calendrier des passages réalisés en 2023 pour le suivi de mortalité.

Tableau 2 : Calendrier des passages terrain concernant le suivi de mortalité

Mois	Semaine	Jour
Mars	Semaine 12	23/03/2023
	Semaine 13	30/03/2023
Avril	Semaine 14	03/04/2023
	Semaine 15	13/04/2023
	Semaine 16	19/04/2023
	Semaine 17	26/04/2023
Mai	Semaine 18	03/05/2023
	Semaine 19	11/05/2023
	Semaine 20	15/05/2023
	Semaine 21	22/05/2023
Juin	Semaine 22	31/05/2023
	Semaine 23	07/06/2023
	Semaine 24	15/06/2023
	Semaine 25	21/06/2023
	Semaine 26	30/06/2023
Juillet	Semaine 27	05/07/2023
	Semaine 28	12/07/2023
	Semaine 29	19/07/2023
	Semaine 30	27/07/2023
Août	Semaine 31	04/08/2023
	Semaine 32	09/08/2023
	Semaine 33	18/08/2023
	Semaine 34	23/08/2023
	Semaine 35	29/08/2023
Septembre	Semaine 36	07/09/2023
	Semaine 37	13/09/2023
	Semaine 38	19/09/2023
	Semaine 39	28/09/2023
Octobre	Semaine 40	05/10/2023
	Semaine 41	10/10/2023
	Semaine 42	18/10/2023
	Semaine 43	27/10/2023

III.1.2. METHODE DE PROSPECTION

Conformément au protocole de suivi environnemental, un carré de 100 m de côté a été prospecté pour chaque éolienne suivie. Des transects, espacés d'une distance dépendante du couvert végétal (de 5 à 10 m en fonction du terrain et de la végétation), ont été réalisés à pied.

Afin de s'assurer de couvrir la zone de manière exhaustive, les chargés d'études qui réalisent le suivi utilisent un jeu de piquets mobiles, déplacés au fur et à mesure de la campagne, afin de matérialiser des bandes de 10 m, aussi régulières que possible (Figure 1).

Les cadavres ont été recherchés sur une bande de 5 m de part et d'autre du cheminement, et la prospection est effectuée sur une durée moyenne d'1 heure par éolienne.

Les résultats des observations ont été notés sur des fiches spécifiques complétées pour chaque cadavre découvert et pour chaque éolienne prospectée. Un récapitulatif des observations est disponible en annexe. Il est important d'identifier les espèces aussi précisément que possible et de noter leur état apparent. La cause de la mort peut être appréhendée en fonction de l'espèce, de l'état apparent et de la localisation du cadavre. L'emplacement de la découverte est également cartographié de façon précise grâce à un GPS.

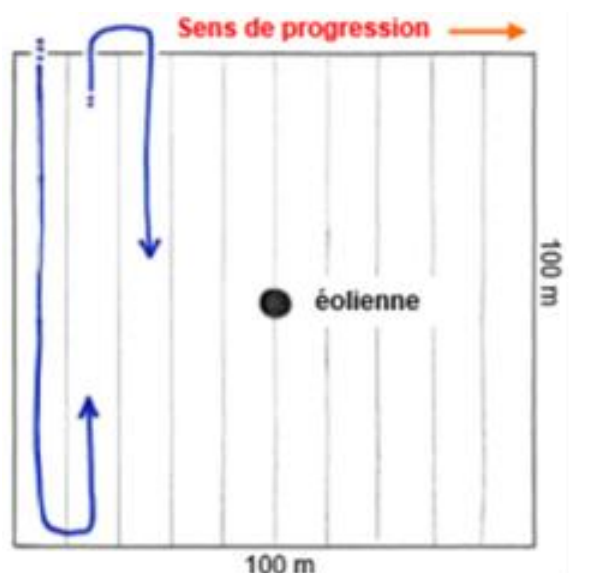


Figure 1 : Trajet type emprunté pour la recherche de cadavres au pied d'une éolienne

En outre, afin de limiter les dégâts aux cultures occasionnés par le passage de l'observateur, l'accès aux parcelles a été interrompu au-delà d'une hauteur de 30 cm pour les céréales de type blé-orge, et au-delà de 40 cm pour le maïs. Ainsi, la surface prospectée s'est parfois trouvée réduite aux seules plateformes et à des portions de route ou de voies d'accès lorsque la hauteur des couverts ne permettait plus de pénétrer sur les parcelles. La superficie réellement prospectée a été mesurée lors de chaque passage et cette contrainte a été prise en compte dans la formule finale permettant d'estimer le nombre d'individus tués. Elle n'en demeure pas moins un biais très important dans l'estimation de la mortalité réelle.

Un coefficient de correction surfacique (a) a donc été utilisé. Pour prendre en compte les différences de prospection sur chaque éolienne, un coefficient a a été calculé pour chacune d'entre-elle :

- a_1 : 1,56 ;
- a_2 : 1,48 ;
- a_3 : 1,69 ;
- a_4 : 1,84.

Concernant le nombre d'éoliennes à suivre, le protocole de suivi environnemental de 2018 (MTES) indique qu'au minimum, il convient de contrôler toutes les éoliennes pour les parcs de 8 éoliennes et moins.

III.1.3. TESTS D'EFFICACITE ET DE PERSISTANCE DES CADAVRES

La détermination des taux de prédation, de la durée de persistance d'un cadavre et du taux de découverte implique la mise en place de dépôts-tests de cadavre sur le terrain. Les cadavres utilisés étaient des souris. De couleur blanche, ils ont été camouflés grâce à de la terre ou de la boue pour ne pas être excessivement repérables par les prédateurs éventuels.

Un dépôt-test a consisté à disposer des cadavres au pied de chaque éolienne, dans les limites du périmètre de suivi d'un hectare utilisé pour les recherches hebdomadaires. Les emplacements des cadavres ont été localisés à l'aide d'un GPS, ou bien, matérialisés grâce à un système plus simple de repère au sol (avec une pierre plate marquée de peinture par exemple). La localisation peut alors être reprise de manière plus précise sur une carte schématique de la zone de dépôt.

Une session de tests a été effectuée en 2023.



Photographie 1 : Souris adultes utilisées pour les tests

III.1.3.1. TEST D'EFFICACITE

Le dépôt-test s'est fait à l'insu de la personne qui a effectué les recherches de cadavres (l'observateur). Ainsi, la présence sur le terrain de 2 personnes a été nécessaire. Ce test a été réalisé le 15 mai 2023.

Pour estimer le taux d'efficacité de recherche, une tierce personne s'est chargée de déposer les cadavres-test (cadavre en plastique), en notant bien leur position GPS, puis le chargé de mission a procédé à la prospection conformément au protocole. Le nombre de cadavres-test trouvé par rapport au nombre déposé constitue le taux de découverte. Ce coefficient peut varier en fonction du couvert végétal et donc de la période de prospection. Un dépôt-test a donc été effectué en mai. Ce test a été fait sous deux éoliennes, le coefficient déterminé a ensuite été appliqué pour l'ensemble du parc.

Le taux de découverte obtenu est de 0,867. Cela signifie que l'observateur a trouvé en moyenne 6 cadavres sur 7 déposés.

Enfin, l'efficacité de recherche du chargé de mission n'est testée que sous deux éoliennes du parc, il y a donc un biais supplémentaire à prendre en compte, puisque ce taux est ensuite extrapolé pour tout le parc, alors que les couvertures végétales et leur hauteur ne sont pas identiques pour chaque éolienne.

III.1.3.2. TEST DE PERSISTANCE DES CADAVRES

Pour estimer le taux de prédation, 5 cadavres-tests ont été déposés au pied des 4 éoliennes le 12 septembre 2023. Leur position a été marquée au GPS. Le chargé de mission est repassé le lendemain, puis 3, 7 et 10 jours après pour vérifier si les cadavres-test étaient toujours en place, ou s'ils avaient été prédatés.

Le taux de prédation moyen (p) ainsi que la durée de persistance moyenne d'un cadavre (tm), ont alors été déterminés en fonction du temps écoulé suivant la prospection de cadavres toujours en place, par rapport au nombre total de cadavres initialement déposés.

Par exemple, si seulement 1 cadavre sur les 5 est retrouvé, le taux de prédation est de 0.20, ce qui signifie que 80 % des cadavres ont été mangés ou emportés.

Tableau 3 : Résultats des tests de prédation pour chaque éolienne et coefficient de prédation

Eoliennes	Durée	Taux de persistance	Nombre de cadavres
E1	0	1,00	5
	1	1,00	5
	3	0,60	3
	7	0,20	1
	10	0	0
E2	0	1,00	5
	1	1,00	5
	3	0,80	4
	7	0,20	1
	10	0,20	1
E3	0	1,00	5
	1	0,40	2
	3	0,20	1
	7	0	0
	10	0	0
E4	0	1,00	5
	1	0,80	4
	3	0,60	3
	7	0	0
	10	0	0

On constate que la disparition des cadavres à tendance à s'effectuer en deux temps. Lors du premier passage à J+1, aucun cadavre ou seulement un a disparu, soit 5 %. C'est au second passage à J+3 et au troisième à J+7 que les disparitions sont les plus élevées avec respectivement 8 et 9 cadavres disparus, soit 40 % et 45 %. Pour résumer, la moitié des cadavres a disparu après trois jours, et un seul cadavre reste en place plus de 10 jours.

Finalement, au regard des tests effectués et à partir des équations de courbes de tendance des taux de prédation, la durée de persistance d'un cadavre (T_m) pour chaque éolienne a pu être estimée.

Tableau 4 : Détermination de la durée de persistance d'un cadavre (T_m) pour chaque éolienne du parc de Saint-Morand

Éoliennes	$T_{p_{j+2}}$	$T_{p_{j+7}}$	n	$y = a x + b$	T_m (en jours)
E1	0,79	0,26	10	$y = -0,107 x + 1,009$	4,76
E2	0,85	0,38	10	$y = -0,094 x + 1,034$	5,69
E3	0,68	0,14	10	$y = -0,108 x + 0,893$	3,64
E4	0,71	0,18	10	$y = -0,106 x + 0,924$	4,01

$T_{p_{j+n}}$ est le taux de prédation à la date $j+n$ de valeur nulle, n = nombre de cadavres-tests

Même si les taux de prédation et de recherche sont nécessaires pour estimer la mortalité grâce aux formules citées précédemment, il est clair que leur détermination présente un biais important (odeur humaine sur les cadavres, prédation par des insectes nécrophages plus faciles, couleur claire repérable de loin par les prédateurs ...).

III.1.4. ESTIMATION DE LA MORTALITE

Voici les principes indiqués par le protocole de suivi environnemental de 2018 (MTES) :

- Intégrer un coefficient surfacique lorsque l'intégralité de la zone de prospection définie n'a pas pu être prospectée ;
- Utiliser au moins 3 formules de calcul des estimateurs standardisés à l'échelle internationale pour faciliter les comparaisons : la formule de Huso (2010) et deux formules au choix parmi Erickson, 2000 ; Jones, 2009 ; Korner-Nievergelt, 2015 ; Limpens et al, 2013 ; Bastos et al, 2013 ; Dalthorp et al 2017 ; etc.
- Préciser l'incertitude de l'estimation de la mortalité ;
- Comparer lorsque c'est possible avec des notions de populations (effets cumulés) et dynamiques de populations en fonction des connaissances disponibles.

Les 3 formules retenues ici sont celles d'Huso (2010), d'Erickson (2000) et de Jones (2009).

III.1.4.1. LA FORMULE D'ERICKSON « VERSION AMELIOREE » (2000)

Cet estimateur constitue la « version améliorée » de la formule proposée par Erickson. Afin que l'estimateur d'Erickson devienne plus fiable, il a été décidé d'y ajouter le coefficient de correction surfacique non présent dans la version initiale. La formule obtenue est donc la suivante :

$$N = C * I / (t_m * d) * a \text{ où :}$$

- N = nombre de cadavres estimé
- C = Na (nombre total d'individus trouvés morts) – Nb (nombre d'individus tués par autre chose que les éoliennes)
- I = durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)
- t_m = durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours)
- d = taux de découverte
- a = coefficient de correction surfacique

III.1.4.2. LA FORMULE DE JONES (2009)

Cette formule propose les postulats suivants : le taux de mortalité est constant sur l'intervalle et la durée de persistance d'un cadavre suit une variable exponentielle négative. De plus, la disparition moyenne d'un cadavre durant l'intervalle correspond à la probabilité de mortalité à la moitié de l'intervalle.

$$N = [C / (d \times \exp(-0,5 \times I / t_m) \times \hat{e})] \times A \text{ où :}$$

- N = nombre de cadavres estimé
- C = Na (nombre total d'individus trouvés morts) – Nb (nombre d'individus tués par autre chose que les éoliennes)
- d = taux de découverte
- I = durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)

- t_m = durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours)
- \hat{e} = coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à : $(\text{Min } I : \hat{I}) / I$ où :
 - \hat{I} l'intervalle effectif, correspondant à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1%, tel que $\hat{I} = -\log(0.01) * t$
- A = coefficient de correction surfacique

III.1.4.3. LA FORMULE D'HUSO (2010)

$$N = C / (a * d * \hat{e} * p) \text{ où :}$$

- N = nombre de cadavres estimé
- $C = N_a$ (nombre total d'individus trouvés morts) – N_b (nombre d'individus tués par autre chose que les éoliennes)
- a = coefficient de correction surfacique
- d = taux de découverte
- \hat{e} = coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à : $(\text{Min } I / \hat{I}) / I$ avec \hat{I} l'intervalle effectif, correspondant à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1%, tel que $\hat{I} = -\log(0.01) * t$
- p = coefficient de persistance des cadavres ou taux de prédation équivalent à :

$$p = t_m * [1 - \exp(-2/t_m)] / I \text{ où :}$$

- I = durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours)
- t_m = durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours)

III.1.5. INCERTITUDE DE L'ESTIMATION DE MORTALITE

Le nombre de cadavres détectés, la persistance des cadavres et le taux d'efficacité de recherche sont tous issus de processus d'échantillonnage et s'accompagnent d'un certain degré d'incertitude. Leur précision dépend de la taille de l'échantillon et de l'hétérogénéité du processus. Les formules utilisées doivent donc intégrer ces incertitudes combinées pour fournir une estimation de la mortalité avec un intervalle de confiance. Cependant, ici les mortalités qui sont estimées à l'aide des formules standardisées (Erickson, 2000 ; Jones, 2016 ; Huso, 2011) ne sont que très rarement accompagnées de leurs incertitudes. Les résultats de mortalité ne peuvent donc pas être exploités et la comparaison entre différents parcs éoliens ne peut pas être réalisée.

Au regard de cette difficulté, des chercheurs du CEFE, unité de recherche du CNRS (Centre National de la Recherche Scientifique) ont mis en place plusieurs outils permettant de faciliter le calcul de ces intervalles de confiance. Le logiciel « Eolapp » a donc été utilisé pour obtenir les intervalles de confiance à 95% (bornes à 2.5% et 97.5%) des 3 estimateurs retenus par le Ministère.

Ces critères permettent d'évaluer la qualité et la précision des résultats communiqués. En effet, il est primordial que les données brutes des cadavres retrouvés ainsi que celles des résultats des tests et de leurs incertitudes soient explicitées.

III.2. RESULTATS

III.2.1. L'AVIFAUNE

III.2.1.1. RESULTATS BRUTS

Au total, un seul cadavre d'oiseaux a été trouvé sous les éoliennes sur les 33 passages (soit 0,03 cadavre par passage). La mortalité avifaunistique est constatée uniquement sur E4. Le cadavre a été découvert au niveau de E4 le 05 octobre 2023.

La distance entre le cadavre et l'éolienne est fonction de la vitesse de rotation des pales et de la masse de l'animal. Il a été retrouvé à environ 29 m de l'éolienne.



Photo 1 : Roitelet sp. découvert le 05 octobre 2023 sous l'éolienne E4

La liste complète des cadavres découverts par date est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Liste des espèces d'oiseaux découverts par date et par éolienne

Date de découverte	Espèce d'oiseaux	Éolienne	Statut biologique supposé	Direction
05 octobre 2023	Roitelet sp.	E4	En vol de chasse ou de transit	29 m au Nord

III.2.1.2. ESPECES IMPACTEES

Le cadavre identifié appartient à une espèce de Roitelet. L'espèce n'a pas pu être déterminée plus précisément en raison de l'état du cadavre. Deux espèces de Roitelet sont observables sur la commune de Martigné-Ferchaud : le Roitelet huppé et le Roitelet à triple bandeau. Leurs statuts de conservation sont décrits ci-dessous.

Tableau 6 : Statuts de conservation du Roitelet huppé et du Roitelet à triple bandeau

Nom français	Nom scientifique	Directive « Oiseaux »	Protection nationale	Liste rouge France	Tendance population	Liste rouge Bretagne
Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	-	Oui	NT - 2016	En déclin	LC - 2021
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	-	Oui	LC - 2016	Stable	LC - 2021

ROITELET HUPPE (*REGULUS REGULUS*)

Le Roitelet huppé niche et évolue dans les environs du parc éolien puisque qu'il a déjà été aperçu sur la commune de Martigné-Ferchaud (Source : Faune-Bretagne).

Se nourrissant uniquement d'insectes, il chasse avant tout dans le feuillage des conifères. Il est toujours en train de voler dans et autour de la canopée. En dehors de la saison de reproduction, en migration surtout, il fréquente aussi les feuillus, les broussailles, les haies ... Sans vol de longues durées à des hauteurs différentes, il n'est pas considéré comme sensible à l'éolien.

ROITELET A TRIPLE BANDEAU (*REGULUS IGNICAPILLA*)

Comme le Roitelet huppé, le Roitelet à triple bandeau niche et évolue dans les environs du parc éolien puisqu'il a déjà été aperçu sur la commune de Martigné-Ferchaud (Source : Faune-Bretagne).

Il est également insectivore. Alors que le huppé chasse systématiquement dans le feuillage dense et plutôt sous les branches et les feuilles, le triple-bandeau préfère chasser les proies posées par-dessus ou alors en voletant dans un contexte plus ouvert. Il consomme de petits insectes, mais d'une taille supérieure à celles mangées par le huppé qui est un peu plus petit. Sans vol de longues durées à des hauteurs différentes, il n'est pas considéré comme sensible à l'éolien.

Les cas de mortalité liés à l'éolien concernant le Roitelet huppé et le Roitelet à triple bandeau sont fréquents en Europe, avec respectivement 241 et 492 cas recensés, dont 84 et 384 en France. À l'aide du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, l'indice de sensibilité a été déterminé pour ces deux oiseaux. Les résultats sont compilés dans le tableau suivant.

Tableau 7 : Données de mortalité et de sensibilités connues pour les oiseaux retrouvés sur le parc

Nom français	Cas de mortalité en Europe (Dürr, 2023)	Cas de mortalité en France (Dürr, 2023)	Cas de mortalité sur le site	Population estimée en France (Issa & Müller, 2015)	Sensibilité à l'éolien (MEDE, 2015)
Roitelet huppé	241	84	Entre 0 et 1	500 000 à 800 000 couples	0/4
Roitelet à triple bandeau	492	384	Entre 0 et 1	500 000 à 900 000 couples	0/4

Enfin, rappelons que ces résultats de mortalité présentent différents biais comme :

- Le biais lié à l'échantillonnage,
- La difficulté à retrouver les cadavres dans une végétation haute,
- La difficulté à retrouver des cadavres de petite taille,
- La possibilité qu'un cadavre déposé sur ou près d'une plateforme ait pu être déplacé par un technicien ou un promeneur,
- Le fait qu'à chaque passage toute la surface d'un hectare autour de l'éolienne n'ait pu être prospectée compte tenu des éléments mentionnés précédemment.

III.2.1.3. ESTIMATION DE LA MORTALITE

La mortalité estimée des oiseaux sur l'ensemble de la période de suivi est calculée sur la base des formules prenant en compte les différents biais de recherche. Les formules les plus usitées actuellement en France sont : Erickson (2000), Jones (2009) et Huso (2012). Les formules de Jones et d'Huso, plus récentes, présentent a priori une fiabilité plus importante.

Tableau 8 : Calcul de la mortalité avifaunistique estimée (et incertitudes entre crochets) selon différents estimateurs

Estimateurs	Estimation [Intervalle de confiance 95 %]
Erickson (2000)	3,7 [0 – 6]
Jones (2009)	5,1 [0 – 9]
Huso (2012)	4,5 [0 – 8]

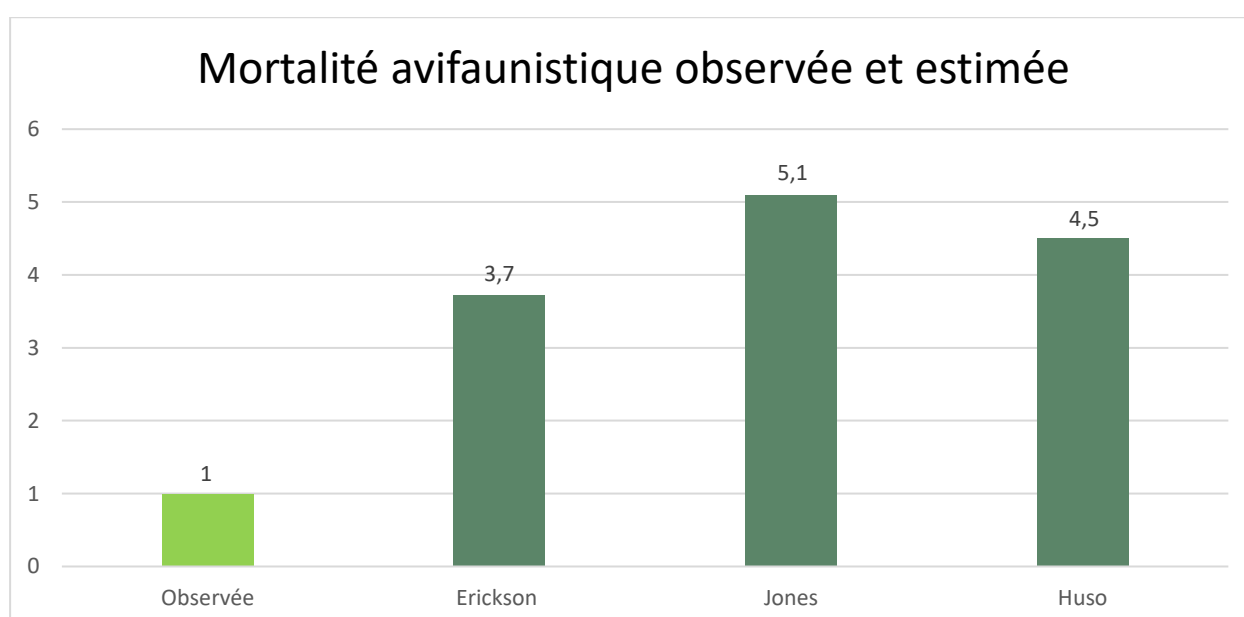


Figure 2 : Mortalité avifaunistique réelle et estimée entre mars et octobre sur le parc éolien

Selon les formules, **la mortalité avifaunistique est estimée entre 4 et 5 cadavres** entre le 23 mars et le 27 octobre 2023. La formule de Huso, considérée comme la plus aboutie à l'heure actuelle, estime une mortalité à 4,5 cadavres.

Les oiseaux étant actifs toute l'année, la mortalité doit donc être supérieure à cette estimation sur une année. Néanmoins, d'autres facteurs, comme le type de vol des espèces et individus présents en hiver, peuvent différer de la période étudiée.

III.2.2. LES CHIROPTERES

III.2.2.1. RESULTATS BRUTS

Au total, 6 cadavres de chauves-souris ont été relevés lors des 33 passages effectués sur le parc éolien. La mortalité a été observée entre le mois de juillet et le mois d'octobre 2023. Cela correspond aux périodes de reproduction (juillet) et de migration (août-septembre-octobre).

La distance entre le cadavre et l'éolienne est fonction de la vitesse de rotation des pales et de la masse de l'animal. En moyenne, les chauves-souris ont été retrouvées à 19 m du pied du mât.

La liste complète des découvertes par date est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Liste des espèces de Chiroptères découverts par date et par éolienne

Date de découverte	Espèce	Éolienne	Statut biologique supposé	Distance (m)	Direction
19/07/2023	1 Pipistrelle commune	E2	Reproducteur ou Migrateur	18	Sud-Ouest
27/07/2023	1 Pipistrelle sp	E3	Reproducteur ou Migrateur	12	Sud-Est
23/08/2023	1 Pipistrelle sp	E1	Migrateur	35	Sud
23/08/2023	1 Noctule commune	E2	Migrateur	37	Est
07/09/2023	1 Noctule commune	E4	Migrateur	10	Nord-Ouest
07/09/2023	1 Pipistrelle sp	E4	Migrateur	0	-

III.2.2.2. ESPECES IMPACTEES

Les 6 individus retrouvés appartiennent à au moins 2 espèces différentes : 1 Pipistrelle commune, 2 Noctules communes et 3 Pipistrelles non identifiées.

On note ici que 3 cadavres découverts n'ont pas pu être identifiés jusqu'à l'espèce, en raison de l'état des cadavres. Le choc avec l'éolienne et les différents facteurs environnants peuvent abimer grandement les individus, rendant l'identification très difficile. Deux autres espèces de Pipistrelles pouvant être rencontrées au niveau du parc éolien vont être prises en compte dans la suite de ce rapport afin de considérer les non-identifications.

Toutes les espèces retrouvées sont protégées au niveau national et sont toutes inscrites à l'annexe IV de la Directive Habitats Faune Flore (protection européenne), et l'état de leurs populations en France est connu comme étant défavorable, surtout pour la Noctule commune classée « vulnérable » sur la Liste rouge France (cf. tableau ci-après).

Pour ce suivi, la mortalité touche des espèces connues pour être sensibles aux éoliennes du fait de leur comportement de vol. En effet, les Pipistrelles et la Noctule commune sont particulièrement sensibles car elles peuvent voler haut pendant leur chasse et leur migration.

Tableau 10 : Statuts de conservation des espèces de Chiroptères découverts

Nom français	Nom latin	Directive HFF	Protection nationale	LR France	LR Bretagne	Tendance population
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	Oui	VU	NT	Diminution
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	Oui	NT	LC	Diminution
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Annexe IV	Oui	LC	LC	Augmentation
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	Oui	NT	NT	Diminution

NOCTULE COMMUNE (*NYCTALUS NOCTULA*)

La Noctule commune est une espèce de chauve-souris très sensible à l'éolien. En déclin, elle est classée « vulnérable » sur la Liste rouge France et comme « quasi-menacée » sur la Liste rouge Bretagne.

PIPISTRELLE DE KUHLM (*PIPISTRELLUS KUHLM*)

La Pipistrelle de Kuhl est l'une des rares espèces de Chiroptères en augmentation sur tout le territoire. En effet, cette espèce s'adapte parfaitement aux conditions offertes par l'Homme. C'est pourquoi elle est classée « en préoccupation mineure » sur les listes rouges et n'est pas être déterminante ZNIEFF dans la région.



Photo 2 : Noctule commune sous l'éolienne E4

PIPISTRELLE DE NATHUSIUS (*PIPISTRELLUS NATHUSII*)

La Pipistrelle de Nathusius est une espèce de chauve-souris très sensible à l'éolien. En déclin, elle est classée en « préoccupation mineure » sur la Liste rouge France et comme « vulnérable » sur la Liste rouge des Pays-de-la-Loire.

PIPISTRELLE COMMUNE (*PIPISTRELLUS PIPISTRELLUS*)

La Pipistrelle commune est une espèce de chauve-souris très sensible à l'éolien. En déclin, elle est classée en « quasi-menacée » sur la Liste rouge France. Cette espèce est considérée en « préoccupation mineure » sur la Liste rouge régionale



Photo 3 : Pipistrelle commune sous l'éolienne E2

Comme pour l'avifaune, à l'aide du protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, le niveau de sensibilité à l'éolien a été déterminé pour ces quatre espèces.

Tableau 11 : Données de mortalité et de sensibilité connues pour les chiroptères retrouvées sur le parc

Nom français	Cas de mortalité en Europe (Dürr, 2023)	Cas de mortalité en France (Dürr, 2023)	Cas de mortalité sur le site	Sensibilité à l'éolien (MEDE, 2015)
Noctule commune	1 765	269	2	4/4
Pipistrelle commune	3 401	1 931	Entre 1 et 4 (1 certain)	4/4
Pipistrelle de Kuhl	661	411	Entre 0 et 3	3/4
Pipistrelle de Nathusius	1 792	415	Entre 0 et 3	4/4

III.2.2.3. ESTIMATION DE LA MORTALITE

La mortalité estimée des chauves-souris sur l'ensemble de la période de suivi est calculée sur la base des formules prenant en compte les différents biais de recherche. Les formules les plus usitées actuellement en France sont : Winkelman (1989, adaptée par Andre, 2005), Erickson (2000), Jones (2009) et Huso (2012). Les formules de Jones et d'Huso, plus récentes, présentent a priori une fiabilité plus importante.

Tableau 12 : Calcul de la mortalité chiroptérologique estimée (et incertitudes entre crochets) selon différents estimateurs

Estimateurs	Estimation [Intervalle de confiance 95 %]
Erickson (2000)	18,07 [2 – 24]
Jones (2009)	25,40 [3 – 34]
Huso (2012)	22,78 [2 – 32]

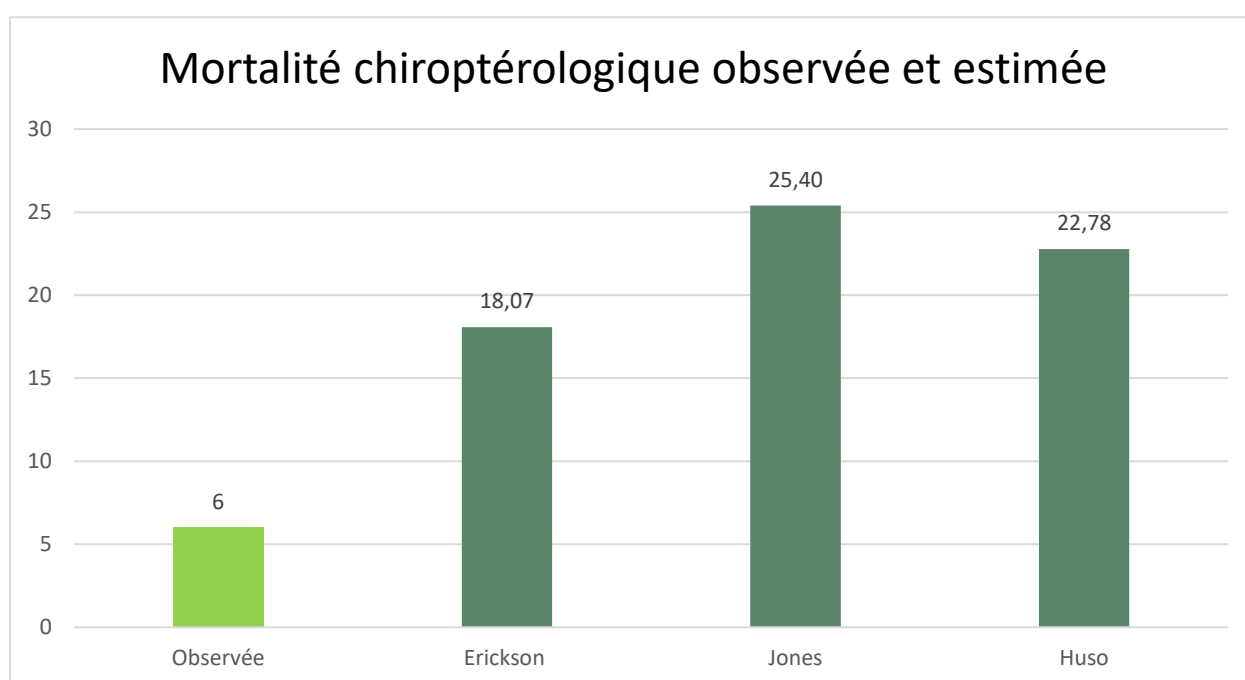


Figure 3 : Mortalité chiroptérologique réelle et estimée entre mai et octobre sur le parc éolien

Selon les formules, **la mortalité des chiroptères est estimée entre 18 et 25 cadavres** entre le 23 mars et le 27 octobre 2023. La formule de Huso, considérée comme la plus aboutie à l'heure actuelle, estime une mortalité à 22,78 cadavres.

Par ailleurs, les chauves-souris pouvant être actives dès le mois de mars et jusqu'à début novembre, l'estimation de la mortalité doit être supérieure sur l'année entière.

III.2.3. L'OCCUPATION DU SOL

III.2.3.1. DESCRIPTION TOPOGRAPHIQUE DU SITE

Le parc éolien est situé au sud-est de la commune de Martigné-Ferchaud, à une douzaine de kilomètres au nord-est de Châteaubriand, dans le département d'Ille-et-Vilaine.

Le parc éolien se situe sur un secteur caractérisé par un relief assez tourmenté lié aux alternances plissées de barres gréseuses et de dépressions schisteuses. Ces plissements induisent des différences altimétriques assez marquées dépassant les 100 m sur les points hauts (sud de Janzé, forêt de la Guerche, forêt d'Araize...) et descendant sous la cote des 30 m dans les fonds de vallée (parties aval de la Chère, le Semnon et la Seiche). Le périmètre immédiat du projet se situe sur le coteau sud de la vallée du Semnon. Il est composé de deux zones :

- La zone nord de ce périmètre offre une altitude de l'ordre de 80 m,
- La zone sud présente une altitude comprise entre 85 à 90 m.

La différence entre ces deux zones est donc assez limitée (entre 5 et 10 m). Ces zones ne sont pas concernées par des secteurs présentant des pentes importantes, les ondulations de la topographie sont douces et sans ruptures notables.

III.2.3.2. L'EVOLUTION DES HABITATS NATURELS A PROXIMITE DU PARC EOLIEN DEPUIS L'ETUDE INITIALE

Pour rappel, aucune zone naturelle protégée ne se situe à proximité immédiate du parc éolien. Les zones d'intérêt environnemental les plus proches sont des ZNIEFF. Dans les 10 kilomètres autour du parc, 8 ZNIEFF sont présentes, dont les plus proches se trouvent à 1 kilomètre du parc.

Tableau 13 : Liste des ZNIEFF situées à proximité du parc

Type	Dénomination	Distance du parc éolien
ZNIEFF de type 1	Etang de Saint Morand	1,2 km au Sud
	Forêt d'Araize	1 km au Sud
	Cours de la Brutz et abords	3,6 km au Sud
	Etang de Roches	5,3 km au Nord
	Etang de Saint-Aubin	8 km au Sud-Est
ZNIEFF de type 2	Forêt d'Araize et étang de Saint Morand	0,9 km au Sud
	Forêt de la Guerche	5,2 km au Nord
	Forêt de Javardin	6,5 km à l'Ouest

Le mode d'occupation du sol et la diversité des habitats exercent une influence directe sur la diversité du cortège d'espèces présent au niveau du parc éolien. Ainsi, des modifications du paysage peuvent amener à la disparition ou à l'apparition de certaines espèces au niveau du site, ou bien faire varier la taille des populations locales d'oiseaux, ce qui pourrait, à terme, expliquer que la mortalité constatée durant le suivi ne soit pas en cohérence avec les prédictions établies dans l'étude d'impact. Il est donc nécessaire d'étudier si, et dans quelles mesures, le paysage local a évolué entre les deux phases d'inventaires.

Pour cela une étude comparée du mode d'occupation du sol avant et après l'installation du parc éolien, avec vérification sur le terrain, a été entreprise autour des éoliennes en 2023.

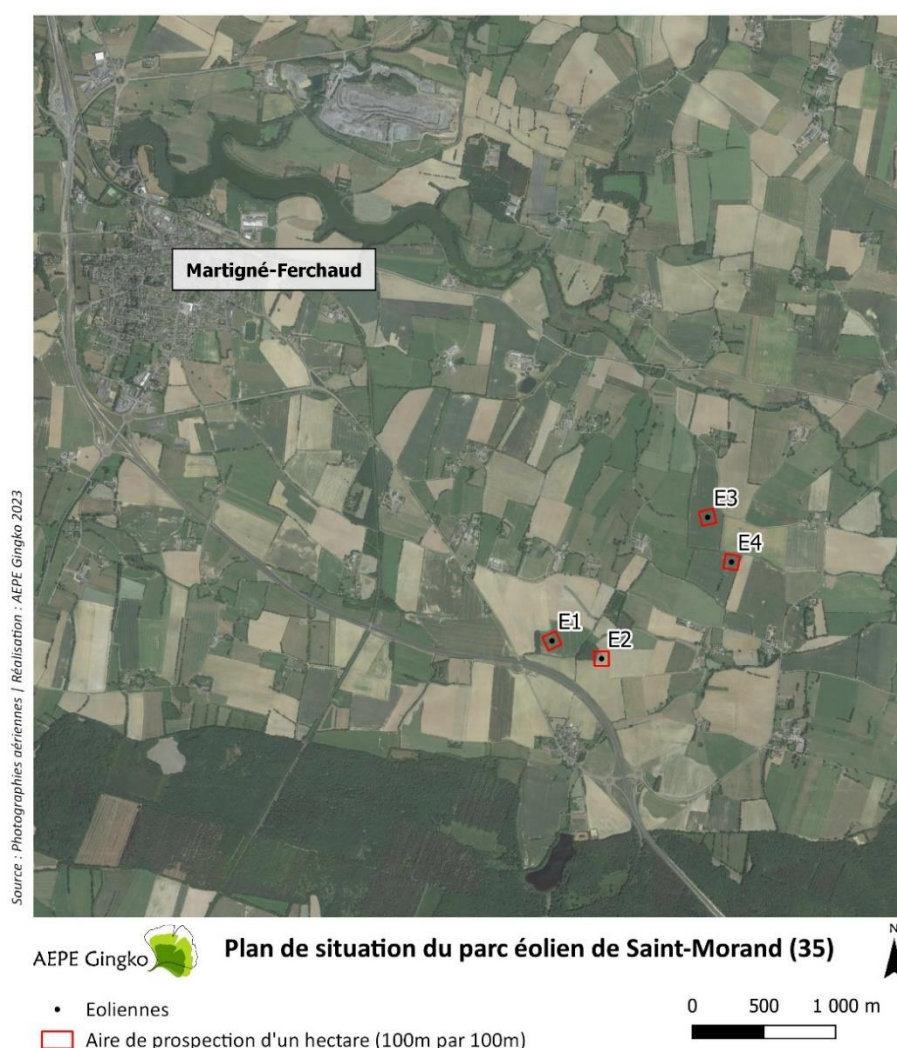
Le système d'exploitation agricole en place sur la zone d'étude est de type conventionnel. On observe l'utilisation des parcelles en rotation en cultures intensives. Quelques haies sont présentes sur le site. Il s'agit de haies relativement éparées, ne formant pas un maillage bocager très dense. Un boisement est également présent à proximité des éoliennes (E1 et E2).

Au regard des évolutions et des modifications non significatives des habitats naturels présents sur le parc éolien de Saint-Morand, il n'existe pas de réelles modifications de l'occupation du sol ou des structures paysagères susceptibles d'influer sur les résultats obtenus.

III.2.3.3. L'EVOLUTION AU COURS DE L'ANNEE DE PROSPECTION

Une cartographie de l'occupation des sols a été réalisée. Elle présente brièvement le type d'habitat sur les parcelles concernées par la surface d'échantillonnage, par exemple s'il s'agit de cultures ou de zones prairiales.

La carte ci-après permet de visualiser la situation géographique des 4 éoliennes du parc de Saint-Morand, ainsi que les surfaces à prospecter pour le suivi mortalité (1 ha par éolienne).









Carte 2 : Plan de situation du parc éolien de Saint-Morand (35)

La carte suivante permet de préciser, pour chaque éolienne du parc, l'occupation du sol de la ou les parcelles concernées par la zone de prospection.



AEPE Gingko 

Occupation du sol du parc éolien de Saint-Morand (35)

- Eoliennes
-  Aire de prospection d'un hectare (100m par 100m)
- Habitats
 -  Boisement
 -  Cultures intensives
 -  Haies
 -  Plateforme et chemins d'accès
 -  Poste de livraison

0 100 200 m



Carte 3 : Occupation du sol sur le parc de Saint-Morand en 2023

L'occupation du sol évoluant au cours du temps, les surfaces prospectées ont également été amenées à être modifiées. Des portions de parcelles non prospectées à un certain moment peuvent l'être à un autre moment si la végétation a été fauchée ou inversement. C'est aussi le cas si des animaux sont présents pour pâturer dans les parcelles.

L'éolienne E1 est occupée par une culture de céréale : la prospection a pu être entière lors des 3 premiers passages car la hauteur des végétaux le permettait. Lorsque la hauteur de la culture ne permettait pas la prospection intégrale, seules les plateformes étaient explorées. Une fois les récoltes terminées, les prospections ont été de nouveau intégrales, soit lors des 18 derniers passages (à partir du 30/06/2023).

Pour l'éolienne E2, occupée principalement par une céréale, la prospection n'a jamais pu être entière car un boisement se situe sur le carré de prospection. Au maximum, la zone a été prospectée à 85 %. Une fois les récoltes terminées, les prospections ont de nouveau été égales à 85 % de la surface, soit lors des 18 derniers passages (à partir du 19/07/2023).

L'éolienne E3 a une surface de prospection occupée par une culture de maïs. Cette éolienne a été prospectée à partir du 13 avril 2023 (non mise en route auparavant). La hauteur du maïs n'a pas permis la prospection totale de la parcelle lors de 11 passages (entre le 05/07/2023 au 13/09/2023). Une fois le maïs récolté, la prospection a été totale, ce qui donne un taux de prospection moyen de 59 %.

L'éolienne E4 est l'éolienne qui a été la moins prospectée. D'une part, la surface de prospection est composée de maïs et de la plateforme. D'autre part, la première prospection date du 3 mai 2023. Six passages n'ont pas été possible en raison de la non-mise en fonctionnement de l'éolienne avant cette date. La prospection moyenne sur cette éolienne est de seulement 54 %.

Sur l'intégralité des prospections des 4 éoliennes, le taux moyen de prospection de 61 %.

DONNEES DE MORTALITE ET OCCUPATION DU SOL

Le tableau suivant ne met en avant de lien direct entre le couvert végétal des parcelles agricoles sous les éoliennes et le nombre de cas de mortalité retrouvés en 2023. Il en est de même pour le contexte bocager autour des éoliennes (linéaire de haies dans un rayon de 200m).

Les éoliennes qui présentent le plus de cas de mortalité sont E4 et E2. Concernant E2, elle est l'éolienne située la plus proche d'un boisement. Pour E4, elle est l'éolienne la plus proche d'une haie. Sachant que les Pipistrelles et les Noctules affectionnent les haies pour se déplacer (repères dans le paysage) et s'alimenter (habitats pour de nombreux insectes), on peut donc faire l'hypothèse que la proximité de haie, et la présence d'un boisement pour E2 accentuent le risque de mortalité au niveau de ces 2 éoliennes. Concernant l'avifaune, cette attractivité d'insectes au niveau de l'éolienne E4 peut également expliquer un potentiel risque accru de collision pour le Roitelet qui est aussi insectivore.

Ces résultats de mortalité démontrent l'utilisation par les chiroptères du boisement et des haies à proximité des éoliennes pour se déplacer ou chasser. En effet, l'éolienne E2 est tout de même située à 30m du boisement et l'éolienne E4 à 50m de la haie la plus proche. On constate que 4 cadavres sur 6 sont trouvés au niveau de ces 2 éoliennes pour ce suivi.

Toutefois, on remarque aussi que tous les cadavres de Chiroptères ont été découverts seulement durant les mois de juillet, août et septembre, mois durant lesquels les espèces migrent.

Tableau 14 : Occupation du sol et cas de mortalité par éolienne

Eolienne	Couvert végétal parcelles carré de 100x100m	Distance à la haie ou au boisement le plus proche	Type de haie la plus proche	Cas de mortalité d'oiseaux	Cas de mortalité de chiroptères
E1	Culture	80m	Boisement connecté au réseau bocager	0	1
E2	Culture (85 %) Boisement (15 %)	30m	Boisement connecté au réseau bocager	0	2
E3	Culture	110m	Haie multistrates orientée nord/sud et connectée au réseau bocager	0	1
E4	Culture	50m	Haie multistrates orientée nord/sud et connectée au réseau bocager	1	2

III.3. CONCLUSION

À l'issue des 32 passages réalisés entre mars et octobre 2023, 1 cadavre d'oiseaux et 6 cadavres de chiroptères ont été retrouvés aux pieds des éoliennes du parc de Saint-Morand.

Concernant l'avifaune, 1 espèce est concernée par une collision avec les pales : le Roitelet huppé ou le Roitelet à triple bandeau. Le cadavre a été observé au mois d'octobre 2023.

Pour les Chiroptères, au moins 2 espèces sont également concernées : la Pipistrelle commune et la Noctule commune (3 individus restent non identifiés en Pipistrelle sp.). Ils ont tous été observés aux mois de juillet, août et septembre 2023.

Selon les formules, sur cette même période, la mortalité des chiroptères est estimée entre 18 et 25 cadavres et la mortalité des oiseaux entre 4 et 5 cadavres.

IV. RAPPEL DES DONNEES DE L'ETUDE D'IMPACT

IV.1. DONNEES INITIALES DE L'ETUDE D'IMPACT

IV.1.1. L'AVIFAUNE

Des inventaires ornithologiques ont été réalisées dans le cadre de l'étude d'impact du projet par AEPE Gingko.

Sur la base de ces données d'état initial et des données bibliographiques l'étude d'impact a défini des espèces présentant un risque de mortalité au regard de deux critères : fréquentation du site d'une part et sensibilité à l'éolien.

Une liste d'oiseaux a enjeux a donc été dressée :

- | | | |
|------------------|-------------------------|------------------------|
| • Buse variable | • Faucon crécerelle | • Effraie des clochers |
| • Canard colvert | • Gallinule poule d'eau | • Grand cormoran |
| • Martinet noir | • Buse variable | • Bruant jaune |
| • Héron cendré | • Pigeon ramier | • Tourterelle des bois |

Toutefois, l'analyse réalisée espèce par espèce dans l'étude d'impact relativise fortement les risques de collision pour la plupart de ces dernières par rapport à leurs exigences écologiques et leurs comportements, ainsi qu'à leur degré de fréquentation et d'utilisation du site.

Une espèce non ciblée dans l'étude d'impact a été retrouvée lors du suivi de mortalité sous les éoliennes : un Roitelet sp.

IV.1.2. LES CHIROPTERES

Des inventaires chiroptérologiques ont été réalisées dans le cadre de l'étude d'impact du projet par AEPE Gingko.

Lors de celle-ci, l'analyse des risques de mortalité pour les chiroptères a conclu à la présence sur site de plusieurs espèces potentiellement sensibles :

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|----------------------------|
| • Pipistrelle commune | • Pipistrelle de Kuhl | • Pipistrelle de Nathusius |
| • Sérotine commune | • Murin sp. | • Barbastelle d'Europe |
| • Oreillard sp. | | |

Plus les éoliennes sont éloignées des structures boisées, plus le risque de collision diminue. Sur la zone d'étude, l'activité des chiroptères est faible et les éoliennes sont éloignées de plus de 10 m des corridors de chasse et transit. Les risques de collision sont donc considérés faibles à modérés.

De plus, aucun gîte majeur de mise-bas, d'hibernation ou de regroupement automnal n'était connu sur la zone d'étude. L'étude d'impact environnementale a conclu que la zone d'implantation présentait des impacts moyens à faibles pour les chiroptères.

Dans ce même dossier, un suivi de la mortalité allant de mi-mars à mi-octobre a été préconisé, que ce soit pour les oiseaux ou pour les chauves-souris.

Le suivi de la mortalité de 2023 a montré un impact sur les Pipistrelles communes et les Noctules communes, avec 6 cadavres au total (dont 3 Pipistrelles sp.). Les populations des espèces concernées par ces cas de mortalité sont considérées en diminution, l'impact du parc éolien est donc significatif sur les chauves-souris.

IV.2. MESURES INITIALES DE REGULATION DES EOLIENNES

L'arrêté du 07 mars 2019, portant autorisation unique d'exploiter, précisait par l'article II-3 : *mesures spécifiques liées à la préservation des chiroptères*, que l'exploitant devait respecter les engagements suivants :

- Un mode de fonctionnement spécifique est mis en place, dès la mise en service de l'installation : l'éolienne **E2 est arrêtée** une demi-heure avant le coucher du soleil jusqu'à une demi-heure après le lever du soleil d'**avril à octobre**, lorsque les conditions météorologiques nocturnes sont les suivantes :
 - vitesse du vent inférieure à 5m/s,
 - température supérieure à 10°C.
- Dès la mise en service du parc éolien, sur les 3 premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental (**pour les 4 éoliennes**) permettant notamment d'estimer la fréquentation/activité et la mortalité de l'avifaune et des chiroptères dues à la présence des aérogénérateurs. Le protocole de suivi mis en place par l'exploitant est, a minima, conforme au protocole de suivi environnemental reconnu par le ministre chargé des installations classées :

➤ Suivi de mortalité (avifaune et chiroptères) :

Le suivi, sur les 3 premières années de fonctionnement de l'installation, sera réalisé la première année de mise en service du parc éolien sur la période de mi-mars à fin octobre à raison d'un comptage hebdomadaire (environ 33 semaines). Au terme de cette première année, en fonction des résultats obtenus au cours de celle-ci, la période de suivi pourra être adaptée après validation de l'inspection des installations classées.

➤ Suivi de populations de chiroptères :

Les suivis de mortalité et d'activité devront être **couplés** afin de pouvoir corréler l'activité en altitude (au minimum sur une éolienne) au regard des cadavres découverts. Ils devront être réalisés sur la totalité du cycle biologique des chiroptères (de mi-mars à fin octobre).

Si des impacts significatifs étaient constatés lors de ces suivis, des actions devront être mises en place après information de l'inspection des installations classées.

Si les suivis révèlent que les impacts des éoliennes relèvent d'une situation justifiant l'octroi d'une dérogation à la protection stricte des espèces, l'exploitant devra constituer une telle demande.

Afin de compléter le bridage mis en place sur l'éolienne E2, selon les dispositions de l'arrêté, il a été décidé d'installer également un bridage dynamique via un dispositif « Probat », qui sera en permanence réaffiné avec les données d'activité du site.

Ce dernier a été installé sur les éoliennes E2 et E4, de manière à couvrir les deux groupes d'éoliennes.

V. SUIVI D'ACTIVITE 2023

Le suivi d'activité en hauteur pour les chiroptères, du parc éolien de Saint-Morand en 2023, a couvert en continu les semaines 31 à 43.

Pour rappel, 6 cas de mortalité de chiroptères ont été découverts lors du suivi sur ce parc en 2023, avec uniquement des individus sensibles à l'éolien (Pipistrelles et Noctule commune).

Il sera alors important de réaliser un croisement des données et de vérifier si un lien existe entre activité et mortalité pour les chauves-souris sur le site, notamment au niveau des conditions météorologiques.

VI. CONCLUSION DU SUIVI 2023

En définitive, et en se basant seulement sur le suivi de la mortalité, il semble nécessaire de modifier et d'adapter le protocole d'arrêt des éoliennes afin de réduire autant que possible les cas de mortalité dans les années à venir.

Les cadavres ont été découverts uniquement entre mi-juillet et septembre (ou début octobre en comptant l'unique cadavre d'oiseaux recensé). Pour les chauves-souris, cela correspond à la période où l'activité est la plus importante.

De plus, des cas de mortalité ont été constatés sur toutes les éoliennes, avec davantage de cas pour E2 et E4 (éoliennes équipées du dispositif ProBat, avec respectivement 2 et 3 cadavres découverts). Le rappel des différentes observations est présenté dans le tableau ci-dessous.

Date de découverte	Espèces découvertes lors du suivi mortalité	Éolienne concernée
19/07/2023	1 Pipistrelle commune	E2
27/07/2023	1 Pipistrelle sp	E3
23/08/2023	1 Pipistrelle sp	E1
23/08/2023	1 Noctule commune	E2
07/09/2023	1 Noctule commune	E4
07/09/2023	1 Pipistrelle sp	E4
05/10/2023	1 Roitelet sp.	E4

Par conséquent, l'impact du parc éolien sur les chiroptères est donc significatif, mais il est non-significatif pour l'avifaune.

Il paraît donc indispensable de modifier les paramètres de l'ensemble des éoliennes, surtout sur les 2 mois concernés par le plus de cas de mortalité (août et septembre).

La conclusion du bureau d'étude en charge de l'analyse des écoutes, sur le suivi d'activité en hauteur, devra ainsi définir les modalités d'un nouveau plan de bridage, et un suivi de la mortalité devra une nouvelle fois être effectué afin de vérifier l'efficacité des mesures correctives.

VII. ANNEXES

Annexe 1 Récapitulatif des informations relatives au suivi mortalité

N° suivi	Date	Pluie	Visibilité	Vent	Direction du vent	Température	Intervalle avec le passage précédent	Éolienne	Fonctionnement	Surface prospectée	Heure de début	Durée (min)
1	23/03/2023	Absente	Bonne	Moyen	SSO	12	-	E1	Tourne	100,00%	10h45	41
								E2	Tourne	85,00%	9h57	35
								E3	Arrêté	0,00%	-	-
								E4	Arrêté	0,00%	-	-
2	30/03/2023	Absente	Bonne	Moyen	SO	13	7	E1	Tourne	100,00%	9h45	30
								E2	Tourne	85,00%	10h30	30
								E3	Arrêté	0,00%	-	-
								E4	Arrêté	0,00%	-	-
3	03/04/2023	Absente	Bonne	Faible	NE	5	4	E1	Tourne	95,00%	12h50	38
								E2	Tourne	85,00%	12h07	33
								E3	Arrêté	0,00%	-	-
								E4	Arrêté	0,00%	-	-
4	13/04/2023	Absente	Bonne	Moyen	O	9	10	E1	Arrêté	35,00%	15h40	10
								E2	Tourne	60,00%	15h55	15
								E3	Tourne	80,00%	16h20	15
								E4	Arrêté	0,00%	-	-
5	19/04/2023	Absente	Bonne	Moyen	ENE	10	6	E1	Arrêté	35,00%	8h50	60
								E2	Tourne	60,00%	9h50	60
								E3	Tourne	80,00%	10h50	60
								E4	Arrêté	0,00%	-	-
6	26/04/2023	Absente	Bonne	Faible	SE	14	7	E1	Arrêté	35,00%	15h00	15
								E2	Tourne	60,00%	14h33	22
								E3	Tourne	80,00%	16h50	15
								E4	Arrêté	0,00%	-	-
7	03/05/2023	Absente	Bonne	Moyen	E	17	7	E1	Arrêté	35,00%	12h30	15
								E2	Tourne	60,00%	12h50	35
								E3	Tourne	80,00%	10h45	30
								E4	Tourne	90,00%	11h20	60

N° suivi	Date	Pluie	Visibilité	Vent	Direction du vent	Température	Intervalle avec le passage précédent	Éolienne	Fonctionnement	Surface prospectée	Heure de début	Durée (min)
8	11/05/2023	Absente	Bonne	Faible	NO	15	8	E1	Tourne	35,00%	15h35	21
								E2	Tourne	60,00%	16h00	31
								E3	Arrêté	80,00%	16h43	25
								E4	Tourne	100,00%	17h15	49
9	15/05/2023	Bruine	Bonne	Faible	NNO	13	4	E1	Tourne	35,00%	14h15	30
								E2	Tourne	60,00%	15h00	30
								E3	Tourne	80,00%	15h45	30
								E4	Arrêté	100,00%	16h20	60
10	22/05/2023	Absente	Bonne	Faible	N	20	7	E1	Tourne	35,00%	15h30	20
								E2	Tourne	60,00%	16h00	30
								E3	Tourne	80,00%	16h45	25
								E4	Tourne	100,00%	17h15	45
11	31/05/2023	Absente	Bonne	Faible	NNE	20	9	E1	Tourne	35,00%	11h25	15
								E2	Tourne	60,00%	11h42	14
								E3	Tourne	100,00%	12h33	23
								E4	Arrêté	100,00%	12h01	25
12	07/06/2023	Absente	Bonne	Moyen	E	27	7	E1	Tourne	35,00%	15h07	8
								E2	Tourne	60,00%	14h51	12
								E3	Tourne	100,00%	13h52	21
								E4	Tourne	100,00%	14h18	20
13	15/06/2023	Absente	Bonne	Faible	NNO	22	8	E1	Arrêté	35,00%	12h	20
								E2	Arrêté	60,00%	11h	50
								E3	Tourne	100,00%	9h55	50
								E4	Tourne	100,00%	8h45	60
14	21/06/2023	Absente	Bonne	Faible	N	25	6	E1	Tourne	35,00%	17h33	11
								E2	Tourne	60,00%	17h00	29
								E3	Tourne	100,00%	16h03	47
								E4	Arrêté	100,00%	15h10	45
15	30/06/2023	Absente	Bonne	Faible	O	15	9	E1	Tourne	100,00%	10h27	40
								E2	Tourne	60,00%	10h02	21
								E3	Tourne	100,00%	09h09	39
								E4	Tourne	100,00%	08h05	55
16	05/07/2023	Absente	Bonne	Faible	OSO	14	5	E1	Tourne	100,00%	07h45	45
								E2	Tourne	60,00%	08h35	25
								E3	Tourne	30,00%	09h15	5
								E4	Tourne	30,00%	09h25	10

N° suivi	Date	Pluie	Visibilité	Vent	Direction du vent	Température	Intervalle avec le passage précédent	Éolienne	Fonctionnement	Surface prospectée	Heure de début	Durée (min)
17	12/07/2023	Absente	Bonne	Faible	O	22	7	E1	Tourne	85,00%	13h55	31
								E2	Tourne	60,00%	13h35	15
								E3	Tourne	30,00%	14h33	3
								E4	Tourne	30,00%	14h39	4
18	19/07/2023	Absente	Bonne	Faible	O	17	7	E1	Tourne	100,00%	8h18	33
								E2	Tourne	85,00%	8h54	37
								E3	Tourne	30,00%	9h47	7
								E4	Tourne	30,00%	9h58	5
19	27/07/2023	Absente	Bonne	Moyen	SO	17	8	E1	Tourne	100,00%	8h29	27
								E2	Tourne	85,00%	9h	25
								E3	Tourne	30,00%	9h37	13
								E4	Tourne	30,00%	10h06	7
20	04/08/2023	Absente	Bonne	Moyen	NO	20	8	E1	Tourne	100,00%	14h25	39
								E2	Tourne	85,00%	15h18	38
								E3	Tourne	30,00%	16h05	5
								E4	Tourne	30,00%	16h14	5
21	09/08/2023	Absente	Bonne	Faible	NNE	24	5	E1	Tourne	100,00%	13h45	49
								E2	Arrêté	85,00%	13h01	38
								E3	Tourne	30,00%	14h41	7
								E4	Arrêté	30,00%	14h51	7
22	17/08/2023	Absente	Bonne	Faible	SE	28	8	E1	Tourne	100,00%	15h00	39
								E2	Tourne	85,00%	15h44	34
								E3	Tourne	30,00%	16h30	4
								E4	Tourne	30,00%	16h36	3
23	23/08/2023	Absente	Bonne	Faible	N	30	6	E1	Tourne	100,00%	16h32	39
								E2	Tourne	85,00%	17h28	41
								E3	Tourne	30,00%	18h28	4
								E4	Tourne	30,00%	18h36	4
24	29/08/2023	Absente	Bonne	Faible	NO	19	6	E1	Tourne	100,00%	14h20	40
								E2	Tourne	85,00%	13h33	40
								E3	Tourne	30,00%	15h16	7
								E4	Tourne	30,00%	15h07	6
25	07/09/2023	Absente	Bonne	Faible	E	23	9	E1	Tourne	100,00%	9h10	70
								E2	Tourne	100,00%	8h15	45
								E3	Tourne	15,00%	11h35	15
								E4	Tourne	20,00%	10h35	55

N° suivi	Date	Pluie	Visibilité	Vent	Direction du vent	Température	Intervalle avec le passage précédent	Éolienne	Fonctionnement	Surface prospectée	Heure de début	Durée (min)
26	13/09/2023	Absente	Bonne	Faible	NO	16	6	E1	Tourne	100,00%	9h55	50
								E2	Tourne	85,00%	10h49	36
								E3	Tourne	30,00%	11h38	8
								E4	Tourne	30,00%	11h49	7
27	19/09/2023	Absente	Bonne	Moyen	SSO	18	6	E1	Tourne	90,00%	10h	60
								E2	Tourne	90,00%	11h00	60
								E3	Tourne	100,00%	12h15	45
								E4	Tourne	100,00%	14h30	45
28	28/09/2023	Absente	Bonne	Faible	SSE	18	9	E1	Tourne	20,00%	12h04	14
								E2	Tourne	40,00%	12h21	25
								E3	Tourne	100,00%	12h59	47
								E4	Tourne	100,00%	13h57	30
29	05/10/2023	Absente	Bonne	Faible	Variable	10	7	E1	Tourne	20,00%	11h30	10
								E2	Tourne	40,00%	10h45	40
								E3	Tourne	100,00%	8h45	55
								E4	Tourne	100,00%	9h45	45
30	10/10/2023	Absente	Bonne	Faible	SE	15	5	E1	Tourne	20,00%	9h40	20
								E2	Tourne	40,00%	10h00	20
								E3	Tourne	100,00%	10h25	50
								E4	Tourne	100,00%	11h30	50
31	18/10/2023	Absente	Bonne	Moyen	ESE	16	8	E1	Tourne	20,00%	9h	11
								E2	Tourne	40,00%	9h13	10
								E3	Tourne	100,00%	10h	23
								E4	Tourne	100,00%	10h37	21
32	27/10/2023	Absente	Bonne	Faible	S	12	9	E1	Tourne	20,00%	10h15	8
								E2	Tourne	40,00%	10h33	17
								E3	Tourne	20,00%	11h09	14
								E4	Tourne	30,00%	11h30	20

Annexe 2 Informations relatives aux cas de mortalité découverts

Date découverte	Heure découverte	Eolienne	Etat éolienne	Distance éolienne (m)	Espèce	Groupe	Age/ Sexe	Etat du cadavre	Cause mortalité	Estimation date mort	Type végétation	Hauteur végétation	Remarque
19/07/2023	8h59	E2	Tourne	18	Pipistrelle commune	Chiroptère	Adulte/ Femelle	Frais	Baro-traumatisme	env. 2 j ?	Plateforme	0	Plateforme en limite
27/07/2023	09:43	E3	Tourne	12	Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	Chiroptère	?	Avancé, sec	?	entre 3 et 7 jours	Plateforme	0	
23/08/2023	17:00	E1	Tourne	35	Pipistrelle sp	Chiroptère	?	Avancé, sec	?		Labour fin	0	avant-bras 32 mm
23/08/2023	17:30	E2	Tourne	37	Noctule commune	Chiroptère	?	Frais	?		Semis couvert	0	avant-bras 32 mm/ lobe descendant/ tragus écrasé
07/09/2023	10:38	E4	tourne	10	Noctule commune	Chiroptère	Adulte/ Mâle	Frais	Baro-traumatisme	1/2 jours	Culture (maïs)	2m	bordure de champ (3ème rang, vu à travers les pieds de maïs)
07/09/2023	11:10	E4	tourne	0	Pipistrelle sp	Chiroptère	?	Frais	Baro-traumatisme	entre 1 et 3 j	pied éolienne	0	au pied de l'éolienne
05/10/2023	10:10	E4	tourne	29	Roitelet sp	Avifaune	?	Moyennement frais	?	entre 2 et 6 jours	Plateforme	0	