



Innover



Etudier
Partager



Régulation 2021 **PROBAT[©]**
Suivi de l'activité chiroptérologique en altitude – TrackBat

Parc éolien de Saint-Congard
4 éoliennes
Morbihan (56)

Avril 2022

Rédaction :
Camille Mangelinck
Chargée d'études
camille.mangelinck@sensoflife.com

Technique :
Hubert Lagrange
Directeur R&D
hubert.lagrange@sensoflife.com

Contrôle Qualité :
Pauline Rico
Directrice d'études
pauline.rico@sensoflife.com

3 rue Cope Cambe
34230 PLAISSAN
RCS Montpellier 809 520 588
+ 33 (0)467 885 822

SAS au capital variable de 6000€
N°SIRET 809 520 588 000 25

SOMMAIRE

I. Cadre général du parc.....	4
I.1. Contexte de l'étude.....	4
I.1. Localisation et description du parc	4
I.2. Objectifs	4
II. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères.....	6
II.1. Sensibilité des chiroptères	6
II.1.1. Généralités	6
II.1.2. Mortalité directe et mortalité indirecte.....	7
III. Suivi d'activité par TrackBat.....	8
III.1. Matériel et méthodes.....	8
III.1.1. Enregistrement acoustique	8
III.1.2. Méthode d'analyse des sons	8
III.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique	10
III.2.1. Activité corrigée par espèce	10
III.2.1. Activité en fonction de la date et de l'heure.....	11
III.2.2. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température.....	11
III.3. Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes	13
IV. Régulation pour la préservation des chiroptères - ProBat	14
IV.1. Présentation de la régulation ProBat	14
IV.1.1. Détermination de l'activité chiroptérologique théorique.....	14
IV.1.2. Détermination de l'activité des chiroptères en temps réel	15
IV.2. Arrêts machines sur E1 du parc de Saint-Congard pour la préservation des chiroptères	16
IV.1. Arrêts machines sur E3 du parc de Saint-Congard pour la préservation des chiroptères	17
IV.2. Evaluation du risque résiduel	17
V. Conclusion	19
VI. Bibliographie.....	20

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de Saint-Congard	5
Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes de Saint-Congard selon le référentiel RGF93/Lambert 93.....	4
Tableau 2 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016)	7
Tableau 3 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.....	9
Tableau 4 : Coefficient de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes	10
Tableau 5 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Saint-Congard, en 2021.....	10
Tableau 6 : Activité des chiroptères en fonction de la température ($^{\circ}\text{C}$) et de la vitesse du vent (m.s^{-1}) en nacelle de l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Congard, en 2021.....	12
Tableau 7 : Activité des chiroptères en fonction de la température ($^{\circ}\text{C}$) et de la vitesse du vent (m.s^{-1}) en nacelle de l'éolienne E3 du parc éolien de Saint-Congard, en 2021.....	12
Tableau 8 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Saint-Congard entre mai et octobre 2021.....	13
 Graphique 1 : Proportion des espèces contactées en nacelle de E1 et E3 du parc éolien de Saint-Congard, en 2021.	
.....	10
Graphique 2 : Activité en fonction de la date et de l'heure, enregistrée entre avril et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Congard.	11
Graphique 3 : Activité en fonction de la date et de l'heure, enregistrée entre avril et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne E3 du parc éolien de Saint-Congard.	11
Graphique 4 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent.....	14
Graphique 5 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la température	15
Graphique 6 : Arrêts ProBat en 2021 sur E1.	16
Graphique 7 : Répartition des arrêts ProBat en fonction des espèces contactées sur E1.....	17
Graphique 8 : Arrêts ProBat en 2021 sur E3.	17
Graphique 9 : Répartition des arrêts ProBat en fonction des espèces contactées sur E3.....	17
Graphique 10 : Activité des chauves-souris alors que le rotor de E1 tournait.	18
Graphique 11 : Activité des chauves-souris alors que le rotor de E3 tournait.	18
Graphiques 12 : Nombre de contacts à risque résiduel par espèces aux abords de E1	18
Graphique 13 : Nombre de contacts à risque résiduel par espèces aux abords de E3	18
 Figure 1 : Description du phénomène de barotraumatisme.....	6
Figure 2 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.....	8
Figure 3 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite).	8
Figure 4 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces.....	9
Figure 5 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission	9
Figure 6 : Représentation de l'activité des chiroptères en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de Bouin en 2009 (Lagrange et al., 2009).....	14
Figure 7 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6 m.s^{-1} et 10°C , zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique enregistrée (patatoïde bleu à jaune)	15
Figure 8 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6m.s^{-1} et 10°C , zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique protégée (patatoïde bleu à jaune).....	15
Figure 9: Principe de fonctionnement du système ProBat	16

I. Cadre général du parc

I.1. Contexte de l'étude

Saint Congard Energies est propriétaire du parc éolien de Saint-Congard et l'entreprise BayWa re assure la gestion technique de l'exploitation de ce parc. Il est composé de 4 éoliennes, dans le Morbihan (56) en région Bretagne.

Cette installation a été mise en service en 2014, elle est donc réputée ICPE. Une expertise environnementale initiale a été réalisée par Ouest Am' avec l'appui des naturalistes Pascal Bourdon (volet avifaune) et Philippe Lustrat (volet chiroptères). Un suivi environnemental a été réalisé en 2017-2018 et a démontré une mortalité significative des chiroptères sur le parc éolien de Saint-Congard. Par la suite, BayWa r.e. a décidé de mettre en place ProBat dans le but de réduire la mortalité des chiroptères tout en préservant la production.

En 2018, une étude ProBat à blanc a été réalisée pour modéliser le fonctionnement du module en fonction de l'activité des chiroptères (enregistrée grâce à deux TrackBats) et des paramètres météorologiques et ainsi estimer la perte de production. Trois bridages différents ont été modélisés et comparés :

- Un bridage sur seuils, du 1^{er} avril au 31 octobre, du coucher au lever du soleil, pour des températures supérieures à 10°C et une vitesse de vent inférieure à 6 m.s⁻¹; qui aurait impliqué une baisse de mortalité de 94,7% pour une perte de production de 9,4% ;
- Un système prédictif utilisant un algorithme multifactoriel, qui aurait entraîné une baisse de mortalité de 84,7% pour une perte de production de 6,9% ;
- ProBat, la combinaison d'un système prédictif de l'activité des chauves-souris et d'une détection de leur activité en temps réel sur deux des 4 éoliennes du parc, qui aurait entraîné une baisse de mortalité de 80,5% pour une perte de production de 1,1%.

Il avait été conclu que le bridage type ProBat était le plus pertinent en termes de préservation des chiroptères et de pertes de productible.

La régulation ProBat a été donc mise en place de mai à octobre 2020 sur les éoliennes E1 et E3, et un suivi de mortalité a été effectué en parallèle par l'association AMikiro pour vérifier son efficacité. La régulation avait permis la préservation de 90,3 % des chiroptères sur l'ensemble du parc éolien et la perte de productible annuelle liée au fonctionnement de ProBat avait été estimée à environ 0,45 % sur le parc. L'efficacité de ce bridage a donc permis de pérenniser l'installation de ProBat, validé par l'inspection ICPE.

Ce rapport présente les résultats du bridage par ProBat en 2021.

I.1. Localisation et description du parc

Ce parc constitué de 4 éoliennes se situe sur la commune de Saint-Congard, dans le département du Morbihan (56) et la région Bretagne. Les quatre turbines sont des Senvion MM92, pour une puissance totale installée de 8 MW. Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des éoliennes, selon le référentiel RGF93/Lambert 93.

Eolienne	X	Y
E1	47.784725	-2.343510
E2	47.780825	-2.340292
E3	47.779312	-2.329751
E4	47.776586	-2.323673

Tableau 1 : Coordonnées des éoliennes de Saint-Congard selon le référentiel RGF93/Lambert 93.

Le parc de Saint-Congard est implanté sur un plateau dont l'aire d'étude immédiate culmine dans sa partie nord à 80 mètres. Le parc est situé entre les Landes de la Drévalais et un paysage bocager ouvert dominé par des parcelles agricoles. Aucun cours d'eau ne traverse l'aire d'étude, mais on peut noter la présence de la vallée de l'Oust, située à l'Est du parc et qui traverse le village de Saint-Congard et la vallée de la Cliae situé au sud du parc.

I.2. Objectifs

Les populations de chiroptères peuvent être significativement impactées par le fonctionnement des éoliennes et toutes les espèces des chiroptères sont protégés par les législations européennes. Les impacts potentiels sont une mortalité accidentelle par collision avec les pales en mouvement ou par barotraumatisme, et une perte d'habitat. L'exploitant d'un parc doit donc s'assurer que la construction et l'exploitation de son parc ne dégradent pas l'état de conservation des espèces et des habitats.

Pour atteindre ces objectifs, l'utilisation de ProBat permet de combiner :

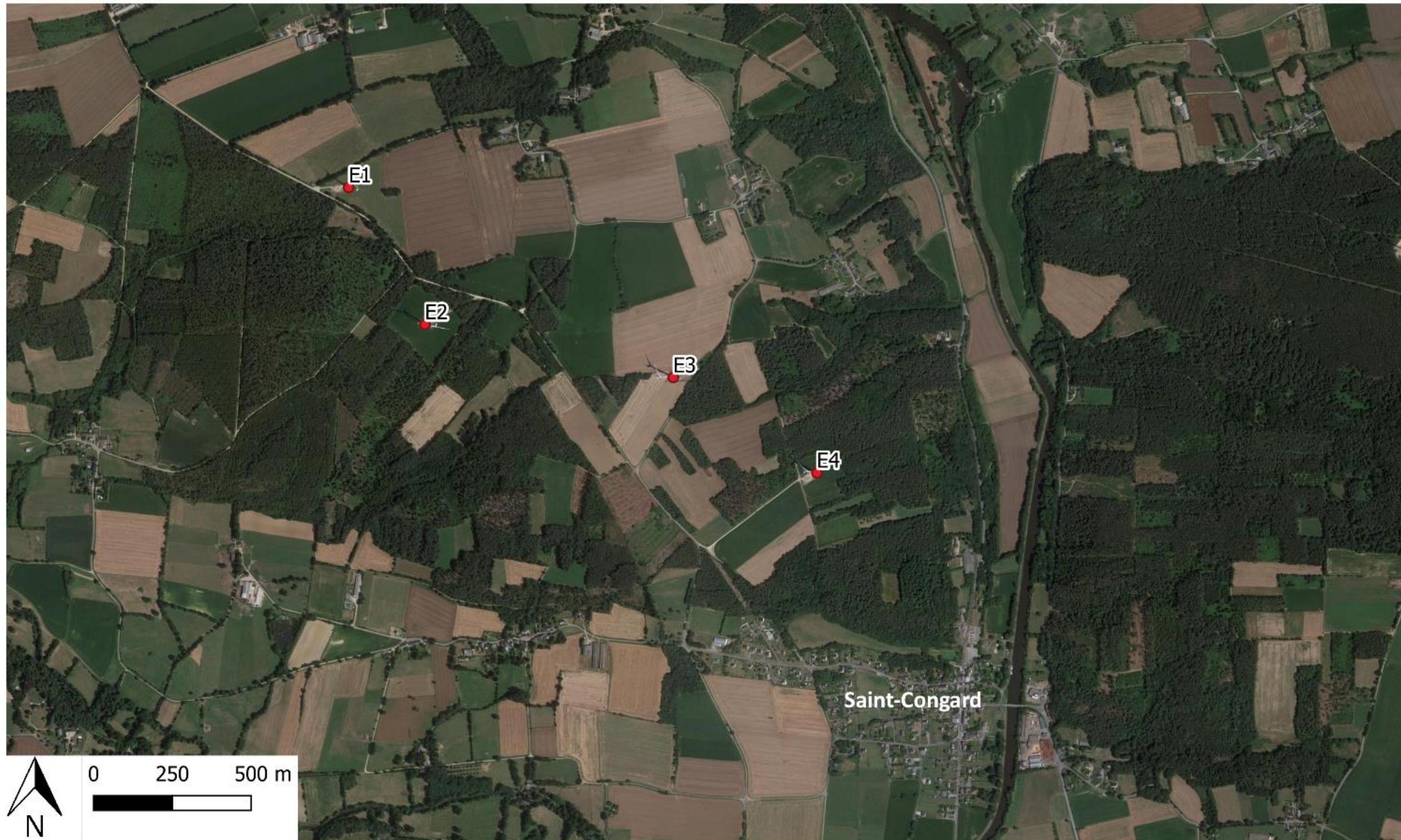
- Une régulation prédictive définissant un indice d'activité théorique sur la base de l'analyse des conditions environnementales,
- Une régulation réactive basée sur la mesure de l'activité des chiroptères, en temps réel, à hauteur de fonctionnement des éoliennes
- Une analyse coopérative, synthèse de l'activité des chauves-souris, à large échelle, en temps réel.

ProBat permet à la fois d'obtenir une importante réduction de la mortalité des chiroptères induite par le fonctionnement des éoliennes (à minima 90 %), tout en limitant la fréquence et la durée des arrêts, donc en préservant au mieux la production des machines.

La mobilisation de cet outil a été soumis à la validation des services instructeurs. Leur accord a abouti à la mise en place et au fonctionnement de ProBat depuis mai 2020 sur le parc éolien de Saint-Congard.



**Approche scalaire du site d'implantation
Parc éolien de Saint-Congard
Morbihan (56)**



Carte 1 : Approche scalaire du site d'implantation du parc éolien de Saint-Congard

II. Impact de l'éolien sur l'avifaune et les chiroptères

II.1. Sensibilité des chiroptères

II.1.1. Généralités

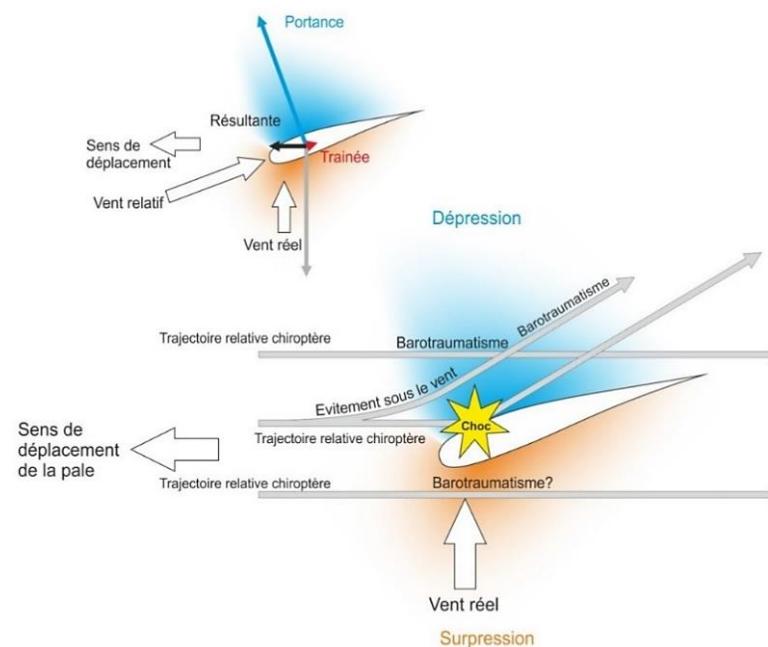
Les premiers cas de mortalité de chiroptères provoqués par des éoliennes ont été décrits au début des années 70 (Hall & Richards, 1972). Cependant, il a fallu attendre le milieu des années 1990 pour voir apparaître les premières études consacrées à l'impact des parcs éoliens sur les chauves-souris. Elles ont été menées aux Etats-Unis, principalement dans le Minnesota, l'Oregon et le Wyoming (Johnson *et al.*, 2003; Osborn *et al.*, 1996 ; Puzen, 2002).

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 (travaux de Bach, 2001 ; Bach *et al.*, 1999 ; Brinkmann *et al.*, 2006 ; Dürr, 2002) et en Espagne (Alcalde, 2003 ; Lekuona, 2001). L'étude de cette problématique a été plus tardive en France (Beucher *et al.*, 2011 ; Cornut & Vincent, 2010 ; Dulac, 2008 ; Lagrange *et al.*, 2009 ; Rico *et al.*, 2012 ; Rico & Lagrange, 2011 ; Allouche *et al.*, 2010). 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 ; Cryan, 2008 ; Gaultier *et al.*, 2020 ; Kunz *et al.*, 2007), ou encore en voulant s'en servir comme sites de reproduction (Cryan, 2008 ; 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 1) 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 1 : Description du phénomène de barotraumatisme.

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 (*Epistecus-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 ; Rydell *et al.*, 2010a) ;
- 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 diversifiés et minimales sur des plaines agricoles (Rydell *et al.*, 2010b) ;
- 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) ;
- De l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart *et al.*, 2013) ;
- Des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de 6,5 m.s⁻¹ et avec hautes températures (Beucher, 2020 ; Joiris, 2012). 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 (Gaultier *et al.*, 2020 ; Rydell *et al.*, 2010a). 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), mais diminuent également la possibilité de déplacement entre chaque éolienne.

II.1.2. Mortalité directe et mortalité indirecte

a) 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 influencerait 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). En Europe, le tableau 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 vulnérabilité des espèces, il est possible de définir la sensibilité de chaque espèce à l'éolien (Tableau 2).

Sensibilité élevée	Sensibilité moyenne	Sensibilité faible
Noctules spp.	Sérotines spp.	Murins spp.
Pipistrelles spp.	Barbastelle d'Europe	Oreillard spp.
Vespertilion bicolore		Rhinolophes spp.
Vespère de Savi		
Minioptère de Schreibers		
Molosse de Cestoni		

Tableau 2 : Vulnérabilité à l'éolien par espèce (Groupe Chiroptères de la SFEPM, 2016)

b) Mortalité indirecte

La mortalité directe n'est pas le seul facteur affectant les chauves-souris, celles-ci peuvent également être victime de perte d'habitat ou du dérangement résultant de l'implantation et du fonctionnement d'un parc éolien. Les effets indirects de l'aménagement et du fonctionnement des parcs éoliens peuvent induire un impact supplémentaire sur les populations de chauves-souris (individus, habitats et proies), qu'elles soient résidentes ou migratrices. Ces perturbations peuvent être de plusieurs natures :

- Dérangement ou barrière sur les voies de migration et les voies de transit locales,
- Dégradations, dérangement ou destruction des habitats de chasse,
- Dégradations, dérangement ou destruction des gîtes (plus probable pour des éoliennes en milieu forestier ou près de bâtiments),
- Désorientation des chauves-souris en vol par les ultrasons émis par les éoliennes.

L'activité des chiroptères serait plus faible au niveau des parcelles où une éolienne y était implantée qu'au niveau des sites témoins (Millon *et al.*, 2015, 2018). Cette observation rejoue les observations faites sur l'activité des chauves-souris en France qui ont montré qu'après installation d'un parc éolien, l'activité des chauves-souris (toutes espèces confondues) est décroissante le long des haies dans un rayon de 1 km autour des éoliennes (Barré, 2018). Les Pipistrelles communes (*Pipistrellus pipistrellus*) et les Pipistrelles pygmées (*Pipistrellus pygmaeus*) présenteraient une activité plus faible à moins de 100 m des éoliennes (Minderman *et al.*, 2017).

Les espèces du genre *Myotis* utilisent beaucoup les milieux forestiers pour se déplacer et chercher de la nourriture, elles sont donc les plus impactées par l'effet barrière que représente un parc éolien, contrairement aux espèces qui utilisent les milieux ouverts pour se déplacer comme la Pipistrelle de Nathusius (Gaultier *et al.*, 2020).

III. Suivi d'activité par TrackBat

III.1. Matériel et méthodes

III.1.1. Enregistrement acoustique

Les suivis d'activité chiroptérologique en altitude permettent de définir précisément les niveaux d'activité et les cortèges d'espèces qui interagiront réellement avec les pales des machines. Le suivi des chiroptères a été réalisé d'avril à octobre 2021, afin de comprendre comment le site est utilisé par ces espèces. Afin de qualifier les déplacements en hauteur, un TrackBat (version acoustique) a été mis en place sur les éoliennes E1 et E3 (Carte 1).

La pose de ces enregistreurs a pour objectifs :

- De caractériser le cortège d'espèces présent sur le site et ses variations au cours de la période d'étude,
- De quantifier l'activité de chaque espèce et ses variations au cours de la période d'étude.

• Enregistreurs

Les enregistreurs du dispositif TrackBat mis à disposition sont des enregistreurs numériques à deux voies, configurés pour échantillonner à 196 kHz sur 16 bits. L'enregistrement est déclenché uniquement :

- Entre une heure avant le coucher du soleil et une heure après le coucher du soleil,
- Si l'intensité sonore au-dessus de 10 kHz dépasse le bruit de fond de 5 dB.

Ce paramétrage permet de détecter l'ensemble des espèces européennes (le Petit rhinolophe étant détecté grâce à ses harmoniques basses) (Figure 2).

Le stockage est réalisé sur une clef USB de 256 Go : cette capacité de stockage permet de limiter les opérations de maintenance. Ils disposent d'une connexion 3G permettant d'évaluer à distance les paramètres critiques du fonctionnement du matériel (nombre de fichiers enregistrés, tension d'alimentation, espace de stockage libre). Ces enregistreurs sont montés dans un boîtier métallique étanche (IP68) assurant un blindage contre les perturbations électromagnétiques.

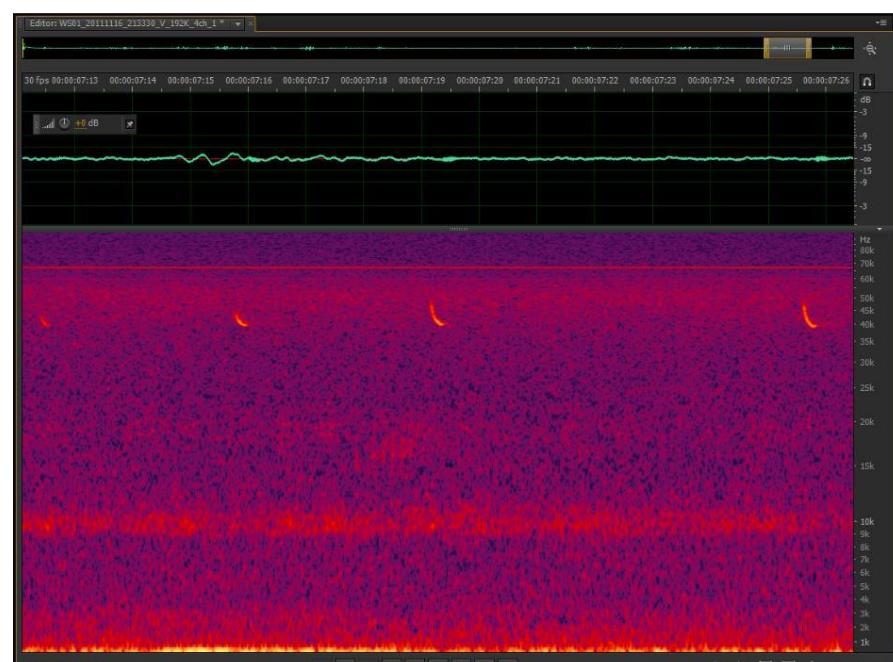


Figure 2 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.

• Microphones

Les microphones sont construits autour d'une capsule Mem's blindée électromagnétiquement, omnidirectionnelle, connectée à deux étages d'amplification et des stabilisateurs d'alimentation. L'ensemble est protégé par une coque en acier inoxydable et une membrane hydrophobe assurant la protection du microphone contre les intempéries. Les microphones sont connectés à leurs câbles blindés par des connecteurs IP68 en acier inoxydable. Ces microphones, développés spécifiquement pour des études sur les nacelles des éoliennes, présentent des performances optimales à la fois en termes de sensibilité et en termes de résistance aux intempéries et aux perturbations électromagnétiques.

Ils sont montés grâce à un support amortisseur évitant les propagations des bruits de la structure dans les microphones (vibrations de la machine, bruits de fonctionnement...). Les microphones sont intégrés aux boîtiers qui sont fixés à l'intérieur de la nacelle.



Figure 3 : Microphone mobilisé pour les études en altitude (à gauche) et boîtier TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne (à droite).

III.1.2. Méthode d'analyse des sons

Lors de suivis sur de longues périodes, le principe de l'identification des chiroptères est fondé sur :

- L'analyse de leurs émissions ultrasonores (fréquence terminale, incursion en fréquence, fréquence de maximum d'énergie, durée, intervalle...),
- La comparaison de ces mesures à des bases de données telles que celles discutées par Michel Barataud dans l'ouvrage « Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe » (2012).

Néanmoins, l'utilisation des signaux d'écholocation pour l'identification des différentes espèces de chiroptères n'est pas toujours possible, compte tenu des recouvrements de caractéristiques entre certains signaux provenant d'espèces différentes. Ces limites sont accentuées par la qualité des sons enregistrés : un fort bruit de fond ou des parasites gênent l'identification en accentuant les recouvrements entre espèces. Dans ce cas, l'identification est limitée au groupe d'espèces, comme présentée dans le Tableau 3.

Nom Français	Nom Latin	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements très favorables	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements défavorables
Rhinolophe euryale	Rhinolophus euryale		Rhinolophe euryale
Petit Rhinolophe	Rhinolophus hipposideros		Petit Rhinolophe
Grand Rhinolophe	Rhinolophus ferrumequinum		Grand Rhinolophe
Grand Murin	Myotis myotis		
Petit murin	Myotis blythii		
Murin de Daubenton	Myotis daubentonii	Murin de Daubenton	
Murin de capaccini	Myotis capaccinii	Murin de capaccini	
Murin à moustache	Myotis mystacinus	Murin à moustaches	
Murin d'Alcathoe	Myotis alcathoe	Murin d'Alcathoe	
Murin à oreilles échancrées	Myotis emarginatus	Murin à oreilles échancrées	
Murin de Bechstein	Myotis bechsteinii	Murin de Bechstein	
Murin de Natterer	Myotis nattereri	Murin de Natterer	
Sérotine commune	Eptesicus serotinus	Sérotine commune	
Noctule de Leisler	Nyctalus leisleri	Noctule de Leisler	
Noctule commune	Nyctalus noctula	Noctule commune	
Serotine Bicolore	Vesperillo Murinus	Sérotine bicolore	
Vespère de savi	Hypsugo savii	Vespère de savi	
Pipistrelle soprane	Pipistrellus pygmaeus	Pipistrelle soprane	
Minioptère de Schreibers	Miniopterus schreibersii	Minioptère de Schreibers	Pipistrelle / Minioptère
Pipistrelle commune	Pipistrellus pipistrellus	Pipistrelle commune	
Pipistrelle de Kuhl	Pipistrellus kuhlii	Pipistrelle de Kuhl	Pipistrelle de Kuhl / Nathusius
Pipistrelle de Nathusius	Pipistrellus nathusii	Pipistrelle de Nathusius	
Oreillard gris	Plecotus austriacus		
Oreillard roux	Plecotus auritus		
Oreillard montagnard	Plecotus macrobularis		
Barbastelle d'Europe	Barbastella barbastellus	Barbastelle d'Europe	
Grande Noctule	Nyctalus lasiopterus	Grande Noctule	
Molosse de Cestoni	Tadarida teniotis	Molosse de Cestoni	Molosse / Grande Noctule

Tableau 3 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores.

Les sons bruts sont analysés par un logiciel automatique avec un contrôle manuel des identifications ambiguës. Cette analyse permet d'identifier les espèces fréquentant le site en altitude. Compte tenu des incertitudes de classification de certaines espèces, les identifications à l'espèce ne sont pas utilisées pour le groupe des murins. Ce groupe d'espèces volant à basse altitude, il n'est habituellement peu ou pas retrouvé à hauteur de nacelle et est donc très peu impacté par les pales des éoliennes.

Dans cette étude, l'identification a été menée en combinant trois outils :

- Audacity, un logiciel libre d'analyse et de traitement de son (<http://audacity.fr/>). Il a été utilisé pour vérifier rapidement les sons ;
- Un système de mesure comparable à Sonobat 3.2, un logiciel payant de mesure de sons, dédié à l'identification de chauves-souris (<http://www.sonobat.com/>). Grâce à des algorithmes d'analyse intelligents, Sonobat génère des mesures automatiques des cris d'écholocation identifiés dans les enregistrements. 76 valeurs sont mesurées sur chaque cri. Les fichiers .csv obtenus sont ensuite utilisés pour l'identification proprement dite ;
- Un analogue d'IbatsID (<http://ibatsid.cloudapp.net/>), une plateforme Java mobilisant des réseaux de neurones artificiels pour identifier les chauves-souris européennes à partir de leurs enregistrements ultrasonores.

Evaluation des indices d'activité

Avec les réserves formulées dans le paragraphe précédent, les indices d'activité ont été déterminés de manière brute, ainsi qu'en prenant en compte une correction du volume de détection. En effet, les espèces rencontrées émettent avec une intensité différente des cris dont les fréquences sont atténuées de manière différente par l'atmosphère (Figure 4 et Figure 5).

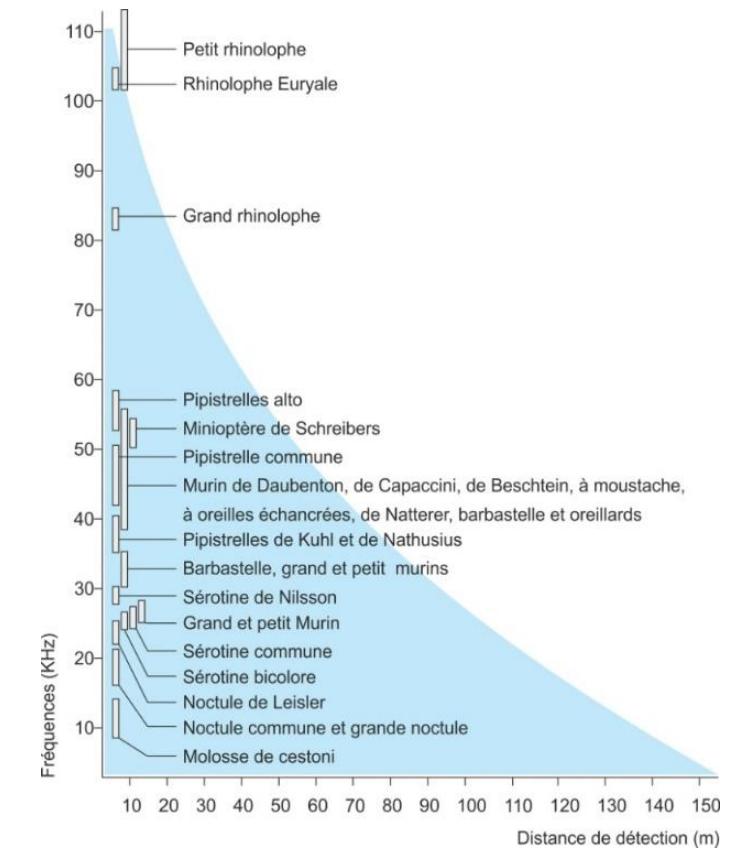


Figure 4 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

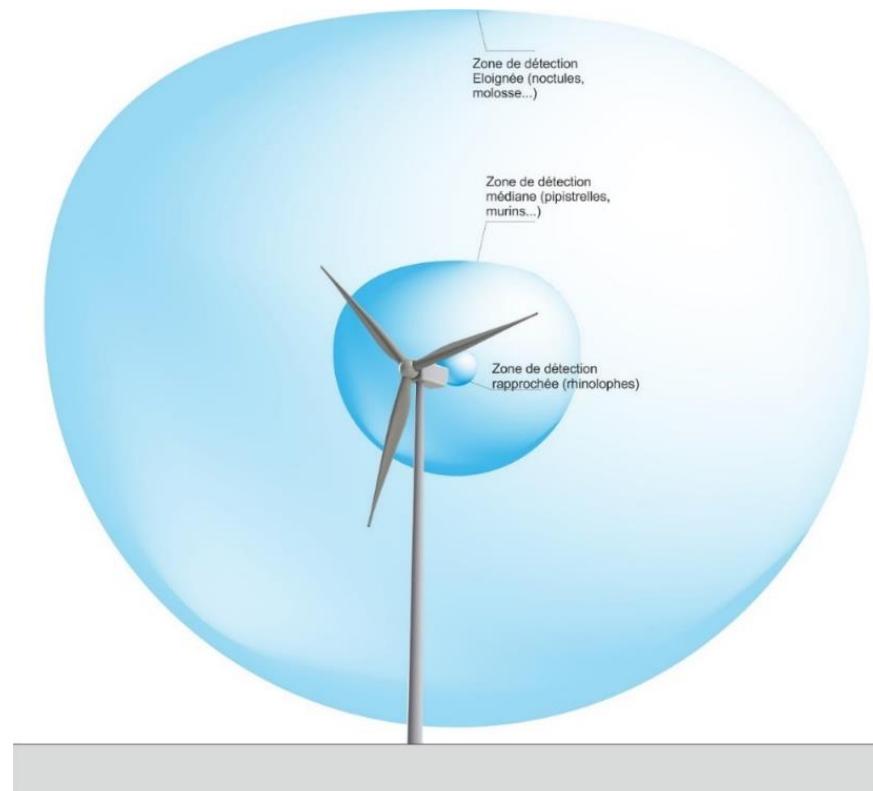


Figure 5 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

milieu ouvert			
Intensité d'émission	Espèces	distance détection	coefficient détectabilité
faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00
	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	10	2,50
	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50
	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,70
	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,70
	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,70
	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70
moyenne	<i>Myotis oxygnathus</i>	20	1,20
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,20
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	30	0,83
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	30	0,83
forte	<i>Pipistrellus nathusii</i>	30	0,83
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,71
	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,71
très forte	<i>Plecotus spp.</i>	40	0,71
	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Vesperillo murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
très forte	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

Tableau 4 : Coefficient de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

sous-bois			
Intensité d'émission	Espèces	distance détection	coefficient détectabilité
faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00
	<i>Plecotus spp.</i>	5	5,00
	<i>Myotis emarginatus</i>	8	3,10
	<i>Myotis nattereri</i>	8	3,10
	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	10	2,50
	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	10	2,50
	<i>Myotis bechsteinii</i>	10	2,50
moyenne	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70
	<i>Myotis oxygnathus</i>	15	1,70
	<i>Myotis myotis</i>	15	1,70
moyenne	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,20
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,20
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
forte	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
très forte	<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Vesperillo murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
très forte	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

III.2. Résultats des suivis d'activité chiroptérologique

III.2.1. Activité corrigée par espèce

Les enregistrements des ultrasons ont eu lieu en continu du 8 avril au 31 octobre 2021. Ces suivis permettent de caractériser les espèces fréquentant les différents sites, et leurs activités. Le Tableau 5 synthétise le nombre de contacts bruts et corrigés pour chaque espèce contactée à hauteur de la nacelle des éoliennes E1 et E3. Au total, 458 contacts de chiroptères ont été enregistrés au niveau de E1 et 610 au niveau de E3. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 343,74 (E1) et 476,86 (E3) contacts sont comptabilisés.

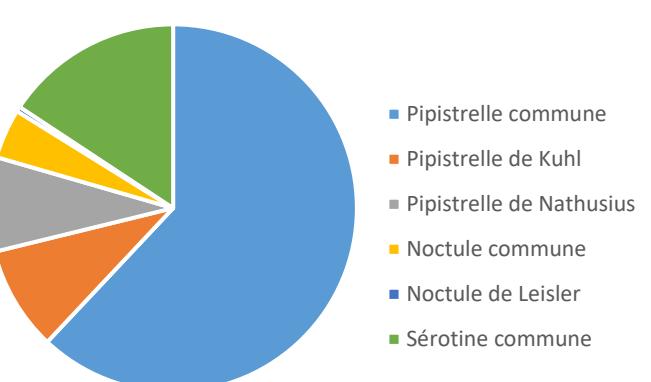
Six espèces ont été contactées et déterminées avec précision au niveau des deux éoliennes :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente entre 62 et 68,5 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente entre 8,3 et 11,8 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente entre 9,2 et 15,7 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Nathusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente entre 7,4 % et 9,2 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente entre 3 et 4,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente entre 0,2 et 0,4 % des contacts.

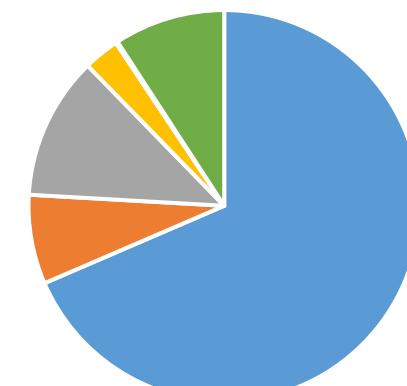
Espèce	Nombre de contacts – E1			Nombre de contacts – E3		
	Contacts bruts	Contacts corrigés	Pourcentage	Contacts bruts	Contacts corrigés	Pourcentage
Pipistrelle commune	284	235,72	62,0 %	418	346,94	68,5 %
Pipistrelle de Kuhl	42	34,86	9,2 %	45	37,35	7,4 %
Pipistrelle de Nathusius	38	31,54	8,3 %	72	59,76	11,8 %
Sérotine commune	72	36	15,7 %	56	28	9,2 %
Noctule commune	20	5	4,4 %	18	4,5	3,0 %
Noctule de Leisler	2	0,62	0,4 %	1	0,31	0,2 %
TOTAL	458	343,74	-	610	476,86	-

Tableau 5 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptères, sur le parc éolien de Saint-Congard, en 2021.

Contacts bruts par espèce en nacelle de E1



Contacts bruts par espèce en nacelle de E3



Graphique 1 : Proportion des espèces contactées en nacelle de E1 et E3 du parc éolien de Saint-Congard, en 2021.

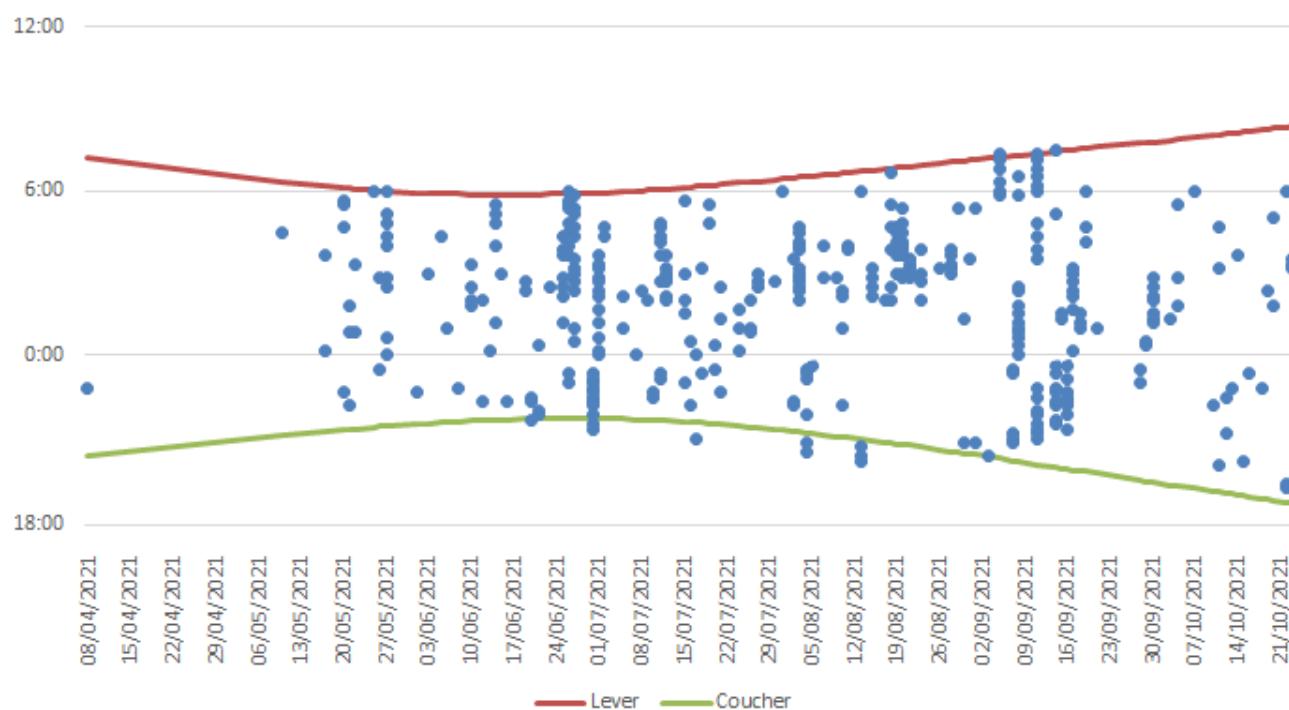
III.2.1. Activité en fonction de la date et de l'heure

En nacelle de l'éolienne E1, la totalité des contacts a été enregistrée du 08 avril au 23 octobre 2021 (Graphique 2). Un pic d'activité a été enregistré le 11 septembre 2021, avec 23 contacts de chiroptères (contre 16 contacts à cette date sur E3). Plus de 90 % des contacts de chiroptères autour de cette éolienne sont concentrés entre le 1^{er} juin et le 12 octobre 2021.

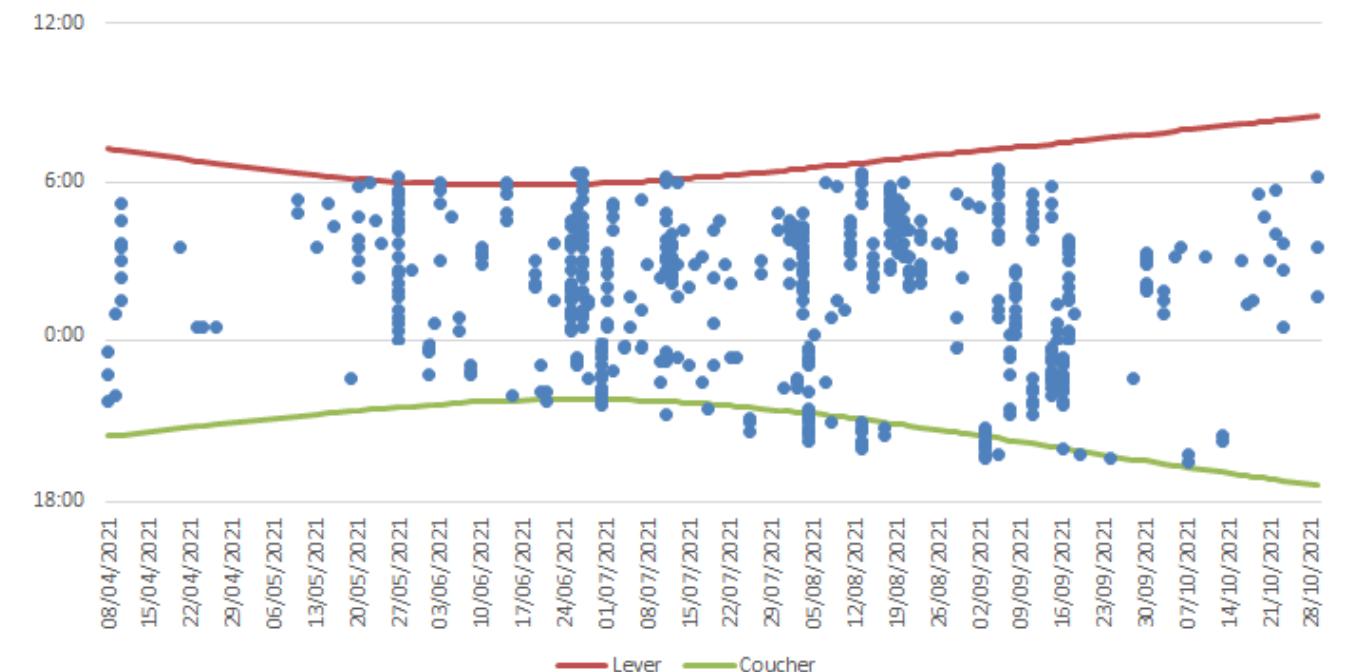
En nacelle de l'éolienne E3, la totalité des contacts a également été enregistrée du 08 avril au 29 octobre 2021 (Graphique 3). Un pic d'activité a été enregistré le 27 juin 2021, avec 26 contacts de chiroptères enregistrés (contre 13 contacts enregistrés à cette date sur E1). Plus de 90 % des contacts de chiroptères autour de cette éolienne sont concentrés entre le 25 mai et le 05 octobre 2021.

En nacelle de l'éolienne E1, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h20 et 07h30 (Graphique 2). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec un fort pic d'activité à 03h10, représentant à lui seul 4 % de l'activité totale enregistrée. A l'échelle d'une nuit, plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre 21h00 et 07h40, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne.

En nacelle de l'éolienne E3, l'ensemble de l'activité se déroule entre 19h30 et 06h30 (Graphique 3). La majorité de l'activité est concentrée entre le coucher et le lever du soleil avec deux pics d'activité à 03h30 et 03h40. A l'échelle d'une nuit, plus de 90 % des contacts de chiroptères sont concentrés entre 21h00 et 06h00, ce qui traduit bien l'impression d'activité continue tout au long de la nuit sur cette éolienne.



Graphique 2 : Activité en fonction de la date et de l'heure, enregistrée entre avril et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Congard.



Graphique 3 : Activité en fonction de la date et de l'heure, enregistrée entre avril et octobre 2021, en nacelle de l'éolienne E3 du parc éolien de Saint-Congard.

III.2.2. Activité corrélée avec la vitesse du vent et de la température

Le Tableau 6 et le Tableau 7 présentent l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent et de la température combinées, respectivement en nacelle de E1 et E3. 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 les tableaux.

En nacelle de l'éolienne E1, l'activité la plus forte a été enregistrée pour une vitesse de vent de 2 m.s^{-1} combinée à une température de 16°C (41 contacts). Plus de 90 % des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 8 m.s^{-1} et des températures supérieures à 11°C .

En nacelle de l'éolienne E3 l'activité la plus forte a été enregistrée pour une vitesse de vent de 3 m.s^{-1} combinée à une température de 14°C (27 contacts). Plus de 90 % des contacts de chiroptères sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s^{-1} et des températures supérieures à 11°C .

Température (°C)	Vitesse du vent (m.s ⁻¹)													Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
10	0	0	0	6	0	0	0	0	2	1	1	1	0	11
11	0	0	1	5	0	2	0	0	2	3	1	0	0	14
12	0	3	18	5	0	2	3	4	1	0	0	0	0	36
13	0	0	9	3	7	1	3	2	1	0	0	0	0	26
14	0	1	17	27	20	4	7	5	2	2	1	0	0	86
15	0	10	26	14	2	2	2	0	0	1	1	0	0	58
16	0	7	26	20	8	5	3	2	4	0	0	0	0	75
17	0	0	15	10	14	1	1	3	3	1	0	0	0	48
18	0	8	19	5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	35
19	0	2	13	8	0	0	1	0	0	0	0	0	0	24
20	0	0	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	5
21	0	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
22	0	0	4	2	0	1	0	2	0	0	0	0	0	9
23	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3
24	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
25	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
26	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	0	35	167	112	51	21	23	19	15	9	5	1	0	458

Tableau 6 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) en nacelle de l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Congard, en 2021.

Température (°C)	Vitesse de vent (m.s ⁻¹)												Total
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
10	0	1	8	2	0	0	2	0	0	0	1	0	14
11	0	0	6	7	1	0	1	2	0	1	1	0	19
12	0	4	28	9	4	1	2	0	2	0	1	0	51
13	0	0	2	1	4	2	1	0	1	0	1	0	12
14	0	10	35	16	15	8	1	2	0	2	2	0	91
15	4	14	39	27	18	8	3	0	1	0	1	0	115
16	2	19	41	22	4	2	1	4	0	0	0	0	95
17	0	11	16	9	16	2	1	0	0	1	0	0	56
18	4	9	14	9	2	0	0	0	0	0	1	0	39
19	1	8	26	13	0	0	0	0	0	0	0	0	48
20	0	0	5	7	0	1	0	0	0	0	0	0	13
21	0	1	4	3	0	0	2	1	0	0	0	0	11
22	0	4	10	1	0	1	0	1	0	0	0	0	17
23	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	2
24	0	3	9	2	0	0	1	1	1	0	0	0	17
25	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5
26	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
27	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	11	84	247	133	64	25	17	12	5	4	8	0	610

Tableau 7 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) en nacelle de l'éolienne E3 du parc éolien de Saint-Congard, en 2021.

III.3.Synthèse des niveaux de patrimonialité des espèces contactées et sensibilités aux éoliennes

Le Tableau 8 présente l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi annuel, en fonction de leur caractère patrimonial (statuts de protection et de conservation) et de leur sensibilité aux collisions avec les éoliennes.

Toutes les espèces de chauves-souris présentes en France sont intégralement protégées par l'Arrêté Ministériel du 17 avril 1981 relatif à la protection de l'environnement. Depuis 1979, au niveau international, la Convention de Bonn et la Convention de Berne demandent aux états contractants d'assurer la protection de toutes les espèces de chauves-souris décrites dans les annexes, ainsi que la protection des gîtes de reproduction et d'hibernation. En 1992, la Directive « Habitat - Faune – Flore » demande aux pays de la Communauté Européenne la protection stricte de toutes les espèces de chiroptères (elles figurent à l'annexe IV), ainsi que la désignation de Zones Spéciales de Conservation pour les 12 espèces figurant à l'annexe II. Dix-neuf espèces sont classées dans la liste rouge de la faune menacée de France et 13 espèces sont présentes sur la liste rouge mondiale.

Espèce	Directive Habitats	Berne	Bonn	EUROBATS	LR Europe	LR France	LR Région	Indice de vulnérabilité
Noctule commune	IV	III	II	I	LC	VU	NT	4
Pipistrelle de Natusius	IV	-	II	I	LC	NT	NT	3,5
Pipistrelle commune	IV	-	II	I	-	NT	LC	3,5
Noctule de Leisler	IV	-	II	I	LC	NT	NT	3,5
Sérotine commune	IV	-	II	-	-	NT	LC	3
Pipistrelle de Kuhl	IV	-	II	I	LC	LC	LC	2,5

Tableau 8 : Synthèse des valeurs patrimoniales (statuts de protection et de conservation) de chaque espèce de chiroptère recensée sur le parc éolien de Saint-Congard entre mai et octobre 2021.

Légende :

Directive Habitats = Annexe de la Directive européenne dite Directive Habitats-Faune-Flore

Berne/Bonn = Annexe des conventions de Berne/Bonn

EUROBATS = Annexe de la convention de Bonn, accord EUROBATS

LR Europe/France = Liste rouge Européenne / Française (2017) / Régionale (Liste rouge régionale & Responsabilité biologique régionale Mammifères de Bretagne (2015))

VU : Vulnérable / **NT** : Quasi menacée / **LC** : Préoccupation mineure / **DD** : Données insuffisantes

La Noctule commune est l'espèce la plus vulnérable face au risque de collision avec les pales des éoliennes, suivie de près par la Pipistrelle de Natusius, la Pipistrelle commune et la Noctule de Leisler. La Sérotine commune présente une vulnérabilité moins élevée et la Pipistrelle de Kuhl présente un indice de vulnérabilité le plus faible.

⇒ Synthèse du suivi d'activité des chiroptères sur le parc éolien de Saint-Congard en 2021 par TrackBat

Six espèces ont été contactées en altitude et déterminées avec précision au niveau des deux éoliennes :

- La **Pipistrelle commune** (*Pipistrellus pipistrellus*) représente entre 62 et 68,5 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Natusius** (*Pipistrellus nathusii*) représente entre 8,3 et 11,8 % des contacts ;
- La **Sérotine commune** (*Eptesicus serotinus*) représente entre 9,2 et 15,7 % des contacts ;
- La **Pipistrelle de Kuhl** (*Pipistrellus kuhlii*) représente entre 7,4 % et 9,2 % des contacts ;
- La **Noctule commune** (*Nyctalus noctula*) représente entre 3 et 4,4 % des contacts ;
- La **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*) représente entre 0,2 et 0,4 % des contacts.

A l'échelle de la région Bretagne, une attention particulière doit être portée à la Pipistrelle commune qui est l'espèce la plus représentée sur le site et présentant un indice de vulnérabilité élevé (3,5/4,5). Elle est suivie par la Pipistrelle de Natusius, dont les effectifs sont importants sur le site, qui est classée comme « Quasi-menacée », et présente une vulnérabilité élevée (3,5/4,5). Vient ensuite la Pipistrelle de Kuhl dont les effectifs sont importants sur le site et présente un indice de vulnérabilité moyen (2,5/4,5). Puis, la Sérotine commune qui présente un indice de vulnérabilité élevé (3/4,5). Pour finir, la Noctule commune, classée comme « Vulnérable » et présentant une note de vulnérabilité très élevée (4/4,5), puis la Noctule de Leisler, classée « Quasi-menacée » dont la note de risque est élevée (3,5/4,5).

IV. Régulation pour la préservation des chiroptères - ProBat

IV.1. Présentation de la régulation ProBat

Le système ProBat développé par Sens Of Life permet de réguler pertinemment les éoliennes pour préserver les chiroptères. Cet outil est fondé sur un risque de collision calculé à partir de :

- L'activité théorique des chiroptères modélisée selon un algorithme multifactoriel prenant en compte les paramètres météorologiques relevés sur le parc, la date et l'heure ;
- L'activité détectée en temps réel par un enregistreur ultrasonore TrackBat ou par des caméras infrarouges avec leurs illuminateurs.

IV.1.1. Détermination de l'activité chiroptérologique théorique

Eva Schuster et ses co-auteurs ont publié, en 2015, un travail synthétisant les différents facteurs pouvant influencer le comportement et la mortalité des chauves-souris sur les parcs éoliens. Ce travail liste les différents travaux proposant des informations plus ou moins contradictoires. De manière consensuelle, il apparaît que 3 facteurs, listés ci-dessous influencent l'activité des chauves-souris :

Les variations journalières

Bien sûr les chauves-souris volent essentiellement de nuit, mais cette activité n'est pas pour autant régulière tout au long de la nuit. Des vols sont régulièrement observés de jour, notamment lors des migrations. La Figure 6 illustre la répartition de l'activité sur le parc éolien de Bouin en fonction de la date et de l'heure (Lagrange *et al.*, 2009). Elle met en évidence de fortes variations au cours d'une même nuit, avec des pics d'activité généralement centrés sur le début de nuit et la fin de nuit. Sur un site donné, cette activité peut également être influencée par la distance que les animaux doivent parcourir entre leur gîte et le terrain de chasse.

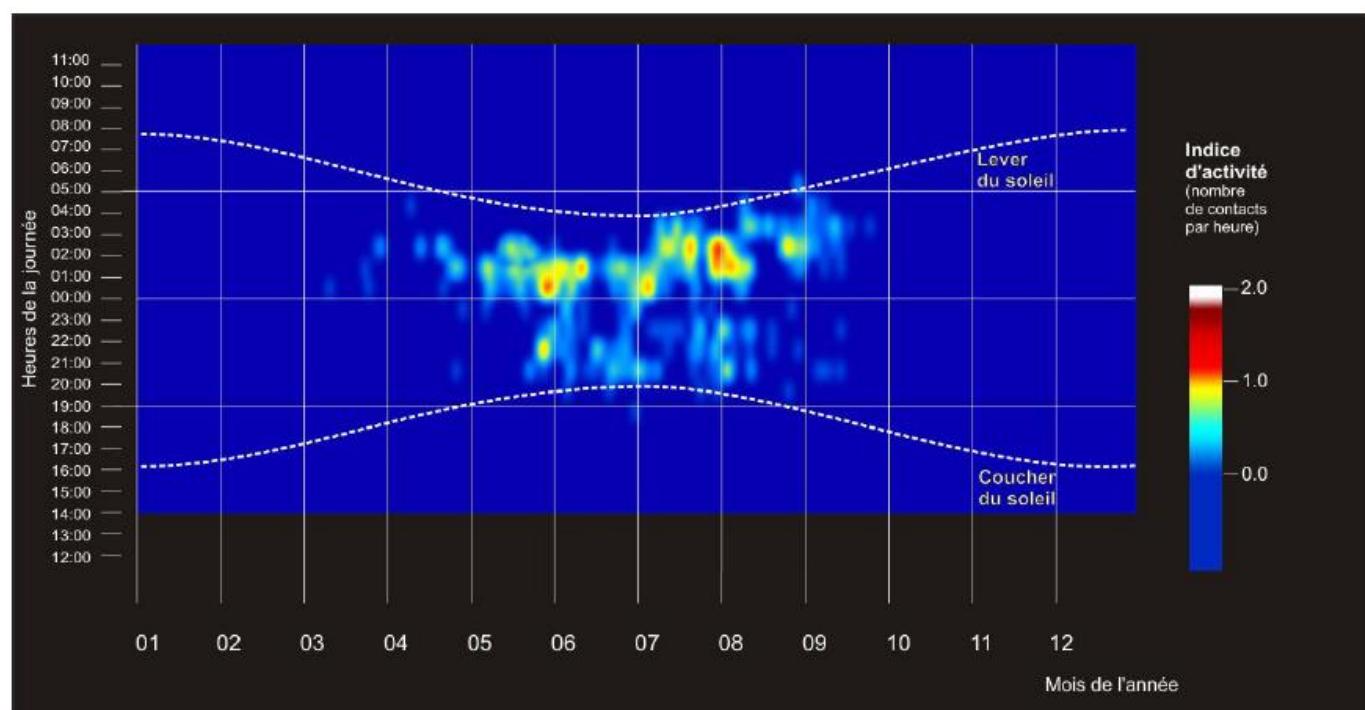


Figure 6 : Représentation de l'activité des chiroptères en fonction de la date et de l'heure sur le parc éolien de Bouin en 2009 (Lagrange *et al.*, 2009)

Les variations saisonnières

L'activité des chauves-souris, et les occurrences de mortalité, sont fortement influencées par les saisons (Figure 6). Sous nos latitudes, la plupart des espèces présentes sont des animaux hibernants, très peu actifs au cours des saisons défavorables. Les suivis post implantations montrent que l'essentiel de l'activité et de la mortalité est enregistré au cours de l'été et de l'automne (Arnett *et al.*, 2006; Doty & Martin, 2013; Dürr, 2002; Hull & Cawthen, 2013). En 2010, Rydell et ses co-auteurs notaient que 90 % de la mortalité annuelle se produisait entre août et septembre. Cette répartition pourrait indiquer un rôle important des migrations dans la surmortalité constatée à partir du milieu de l'été (Johnson *et al.*, 2011). Ces migrations peuvent aussi être des phénomènes à large échelle, les chauves-souris traversant une grande partie de l'Europe, comme ce qui est décrit pour la Pipistrelle de Natusius. Elles peuvent aussi résulter de mouvements liés à des formations paysagères ou des régions (Kerns *et al.*, 2005). Ces migrations automnales peuvent s'étaler sur de longues périodes, peut-être à des altitudes plus basses que les migrations printanières (Furmankiewicz & Kucharska, 2009). L'élévation du niveau de mortalité pendant ces épisodes migratoires pourraient simplement découler de la présence d'un plus grand nombre d'individus, mais aussi de comportements particuliers (poursuites) liées aux parades et affrontements lors de la formation de couples et à la reproduction (Cryan & Brown, 2007).

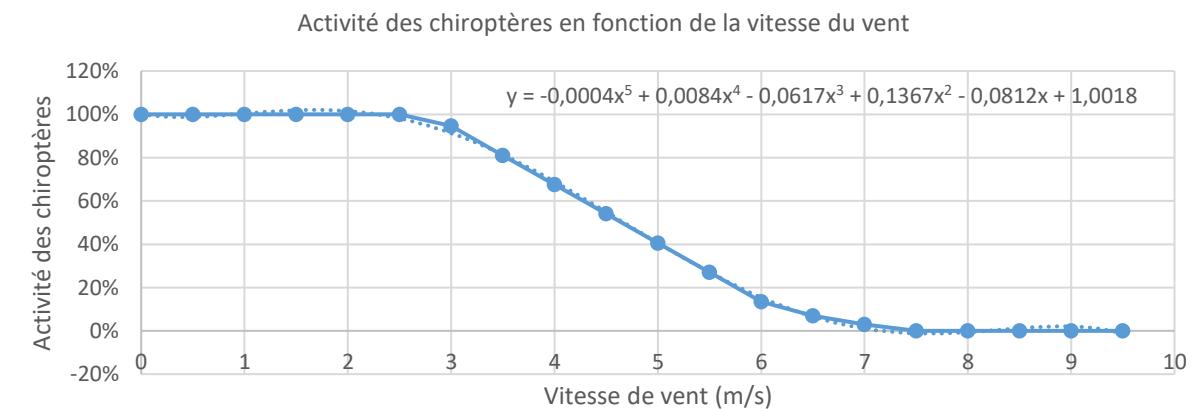
La météorologie

L'activité et la mortalité des chauves-souris sont fortement influencées par les variables climatiques (Baerwald & Barclay, 2011). Ces paramètres peuvent être utilisés pour prédire les périodes de fort risque de collision, servant de cadre de travail pour les protocoles de régulation du fonctionnement des éoliennes en vue de diminuer l'impact des parcs éoliens sur les chiroptères (Brinkmann, 2011). Les paramètres les plus influents sont la vitesse du vent, la température et le niveau de précipitation (Behr *et al.*, 2011). La pression atmosphérique pourrait également jouer un rôle dans les variations d'activité des chiroptères (Kerns *et al.*, 2005), tout comme l'illumination apportée par la lune (Baerwald & Barclay, 2011; Cryan *et al.*, 2014).

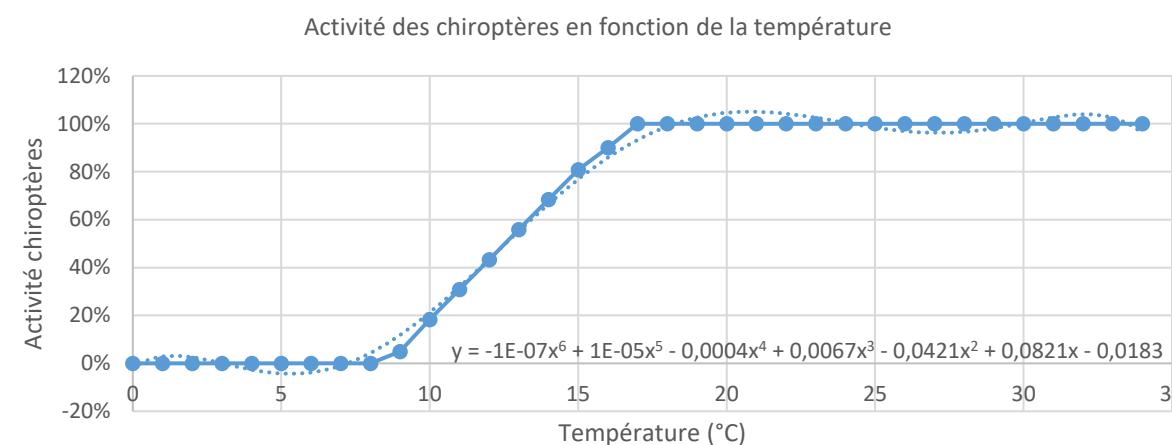
Ces paramètres affectent différemment les espèces, cependant, les variations de vitesse de vent constituent un paramètre influençant fortement l'activité des chauves-souris (Baerwald & Barclay, 2011; Behr *et al.*, 2011). Certains auteurs (Arnett *et al.*, 2006; Rydell, 2006) décrivent que l'activité des chauves-souris décroît de 5 à 40 % pour chaque augmentation de la vitesse du vent d'un mètre par seconde. En 2010, Rydell et ses co-auteurs ont synthétisé ces résultats de la manière suivante :

- Activité maximale des chiroptères pour des vitesses de vent comprises entre 0 et 2 m.s⁻¹,
- Déclin de l'activité des chiroptères pour des vitesses de vent comprises entre 2 et 8 m.s⁻¹,
- Activité résiduelle des chiroptères très faible pour des vitesses de vent supérieures à 8 m.s⁻¹.

Ces données régulièrement collectées ont permis de modéliser la courbe d'activité en fonction de la vitesse de vent et de la température, dont les équations correspondantes sont affichées sur les graphiques suivants.



Graphique 4 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent



Graphique 5 : Modélisation de l'activité des chiroptères en fonction de la température

Ces équations permettent de définir les seuils permettant de préserver 90% des chiroptères. Cependant, l'application de seuils maximise les périodes d'arrêt alors que l'activité des chiroptères dépend des 4 facteurs - vent, température, date, heure- pondérés entre eux (Figure 7).

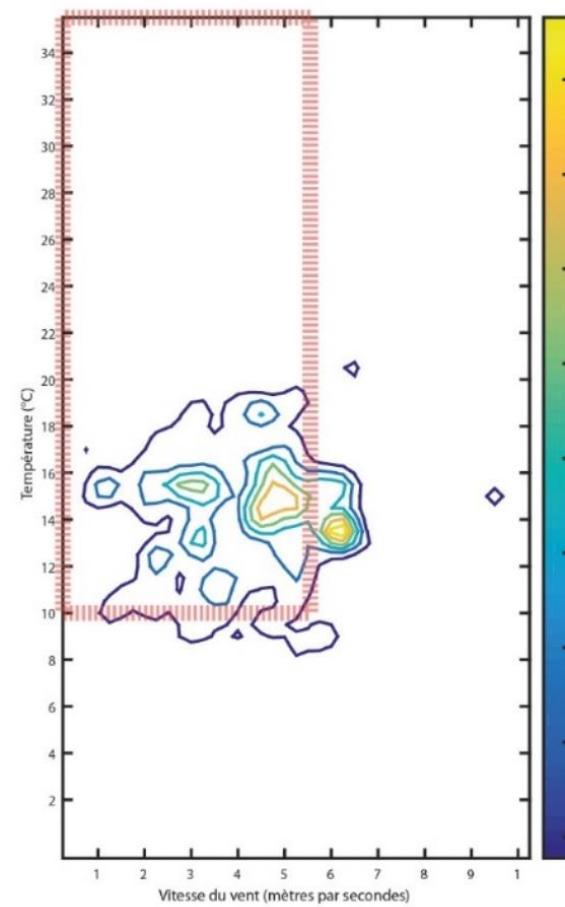


Figure 7 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6 m.s^{-1} et 10°C , zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique enregistrée (patatoïde bleu à jaune)

Les 2 équations, avec celles modélisant l'activité des chauves-souris en fonction de la date et de l'heure forment un algorithme multifactoriel permettant de décrire le pourcentage global de l'activité selon ces 4 paramètres. Cet algorithme permet de modéliser au plus près les variations d'activité des chiroptères en fonction des 4 paramètres.

Il en résulte un risque allant de 0 à 100 %, recalculé toute les minutes (sur la moyenne des données consultées toutes les 10 secondes sur le SCADA).

IV.1.2. Détermination de l'activité des chiroptères en temps réel

La Figure 8 permet de montrer l'activité des chiroptères non prise en compte par un bridage sur seuils. Il apparait donc important de vérifier le taux d'activité en temps réel pour réguler les éoliennes le plus pertinemment possible :

- Sans arrêt alors que l'activité est faible, mais que les paramètres météo sont favorables à l'activité,
- Avec des arrêts très ponctuels pour des pics d'activité (migration par exemple) de chiroptères ayant lieu lors de conditions météo défavorables.

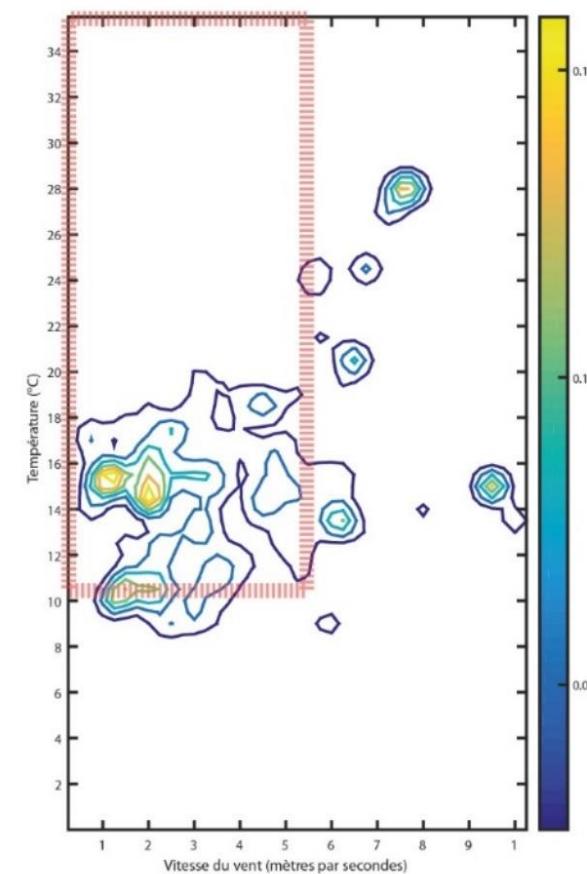
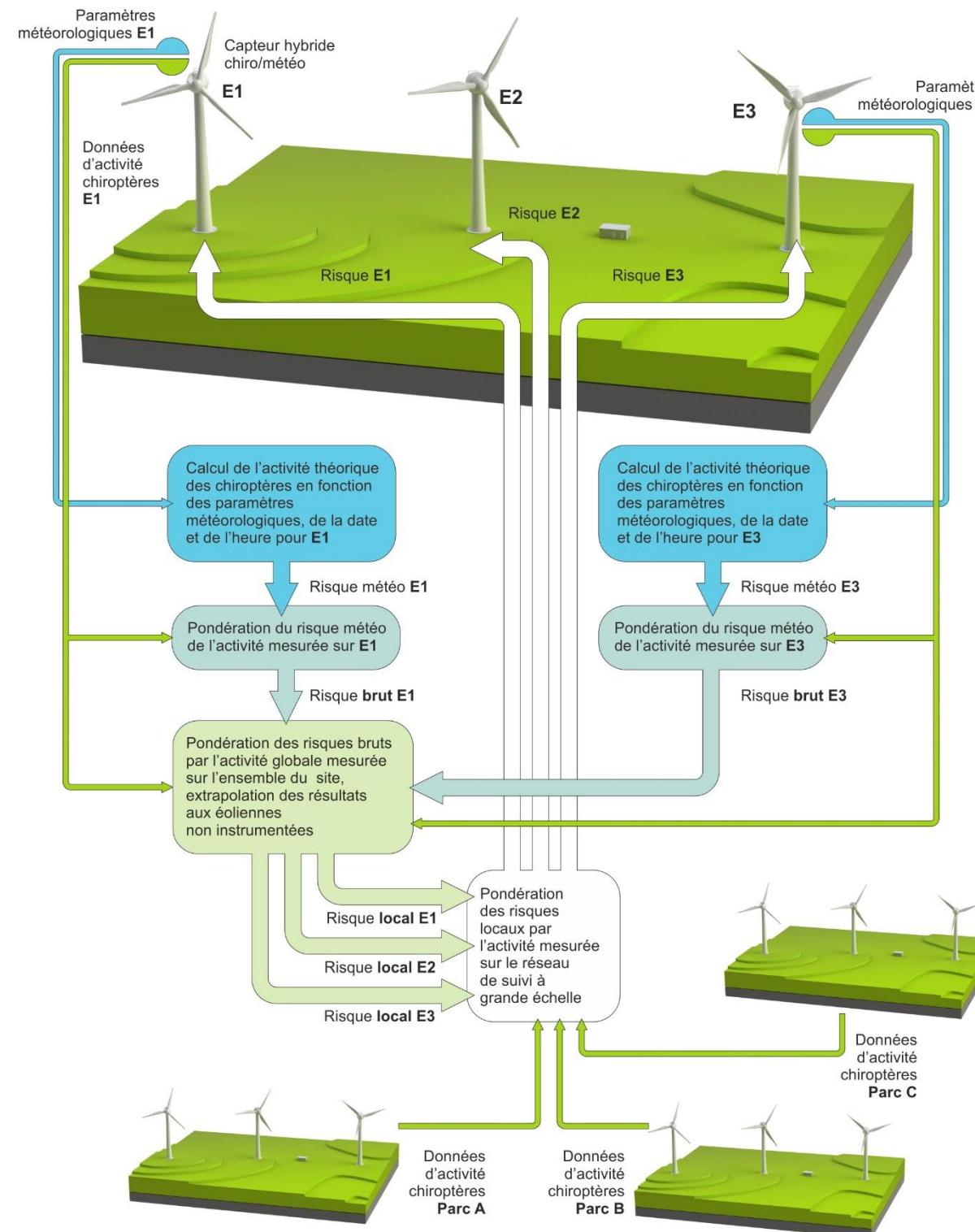


Figure 8 : Comparaison des temps d'arrêt pour un bridage sur seuils (6 m.s^{-1} et 10°C , zone encadrée en rouge) avec l'activité chiroptérologique protégée (patatoïde bleu à jaune)

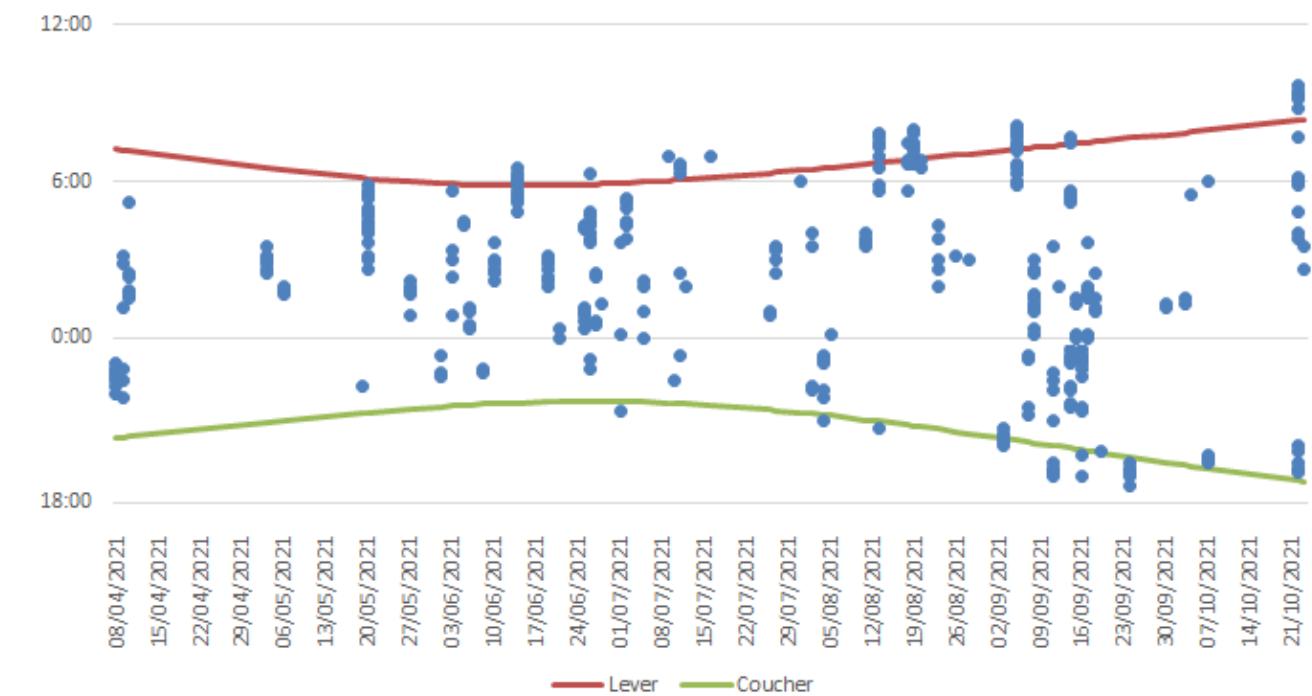
Les sons détectés par le TrackBat en nacelle sont analysés automatiquement en temps réel et seul l'indice d'activité (nombre de contacts par minute toutes espèces confondues) est transmis vers le serveur Sens Of Life centralisant les risques. Il utilise cette donnée pour pondérer le risque de collision défini théoriquement par l'activité en temps réel dans l'objectif de préserver 90% des contacts de chiroptères enregistrés.

Ainsi, si durant les 60 dernières minutes, 6 minutes ont enregistré une activité de chiroptères, le risque dépasse alors 10% et l'éolienne est mise à l'arrêt. Cette moyenne est glissante sur la durée.



IV.2. Arrêts machines sur E1 du parc de Saint-Congard pour la préservation des chiroptères

L'activité chiroptérologique a été analysée précédemment dans le rapport, et il a été vu qu'elle se répartit aux abords de E1 selon la distribution temporelle représentée dans le Graphique 2

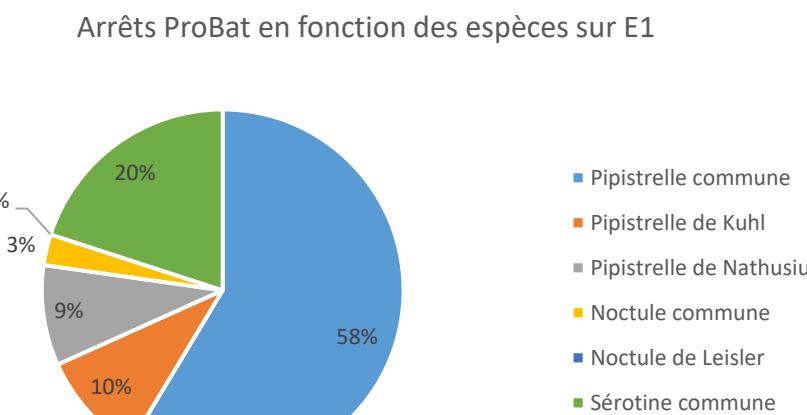


Graphique 6 : Arrêts ProBat en 2021 sur E1.

La combinaison de la régulation prédictive et de la régulation fondée sur la détection des chiroptères en temps réel a abouti à la réalisation de 299 plages d'arrêt au niveau de E1 (Graphique 6), représentant un temps d'arrêt total de 49,8 heures, soit environ 2 % du temps nocturne entre avril et octobre 2021.

Les arrêts ProBat sont déclenchés lorsque les conditions météorologiques et/ou l'activité des chiroptères détectée en temps réel présente un risque de collision important.

Ainsi, il est possible de savoir pour quelles espèces les arrêts ont été déclenchés (Graphique 7). La majorité des arrêts concernent la Pipistrelle commune (58%), ce qui coïncide avec le fait que ce soit l'espèce la plus représentée sur le site. Vient ensuite la Sérotine commune (20% des arrêts) et la Pipistrelle de Kuhl (10 % des arrêts). 9 % des arrêts ont été déclenchés par la Pipistrelle de Nathusius ainsi que 3% des arrêts pour la Noctule commune. Seuls les quelques passages ponctuels de Noctule de Leisler n'ont pas fait l'objet d'arrêts.



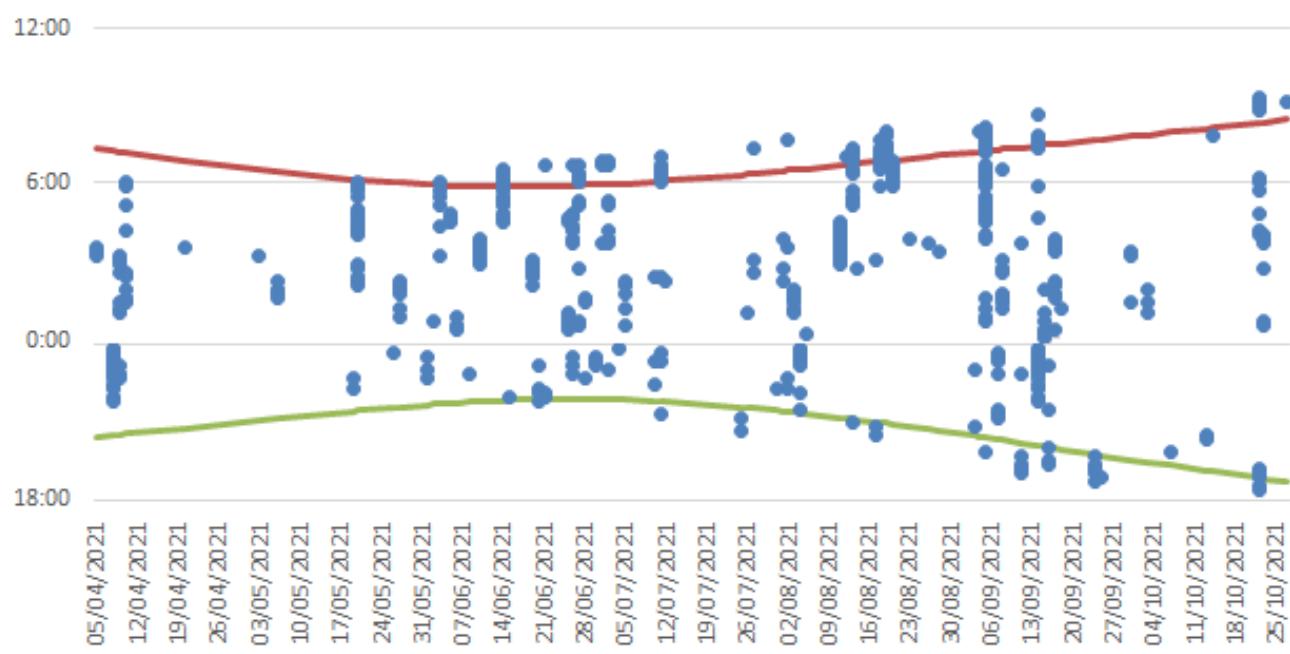
Graphique 7 : Répartition des arrêts ProBat en fonction des espèces contactées sur E1.

IV.1. Arrêts machines sur E3 du parc de Saint-Congard pour la préservation des chiroptères

L'activité chiroptérologique a été analysé précédemment dans le rapport, et il a été vu qu'elle se répartit aux abords de E3 selon la distribution temporelle représentée dans le Graphique 3.

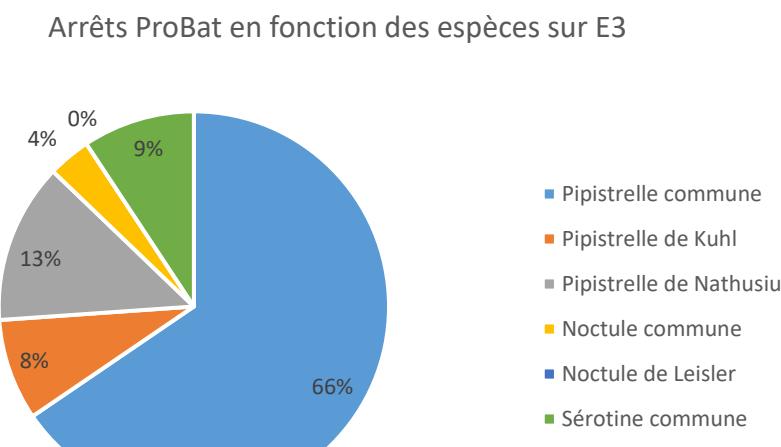
La combinaison de la régulation prédictive et de la régulation fondée sur la détection des chiroptères en temps réel a abouti à la réalisation de 388 plages d'arrêt au niveau de E3 (Graphique 8), représentant un temps d'arrêt total de 64 heures, soit environ 2,6 % du temps nocturne entre avril et octobre 2021.

Les arrêts ProBat sont déclenchés lorsque les conditions météorologiques et/ou l'activité des chiroptères détectée en temps réel présente un risque de collision important.



Graphique 8 : Arrêts ProBat en 2021 sur E3.

Ainsi, il est possible de savoir pour quelles espèces les arrêts ont été déclenchés (Graphique 9). Comme observé au niveau de E1, la majorité des arrêts concernent la Pipistrelle commune (66%), ce qui coïncide avec le fait que ce soit l'espèce la plus représentée sur le site. Vient ensuite la Pipistrelle de Nathusius (13% des arrêts) et la Sérotine commune (9 % des arrêts). 8 % des arrêts ont été déclenchés par la Pipistrelle de Kuhl ainsi que 4% des arrêts pour la Noctule commune. Seuls les quelques contacts ponctuels de Noctule de Leisler n'ont pas fait l'objet d'arrêts.



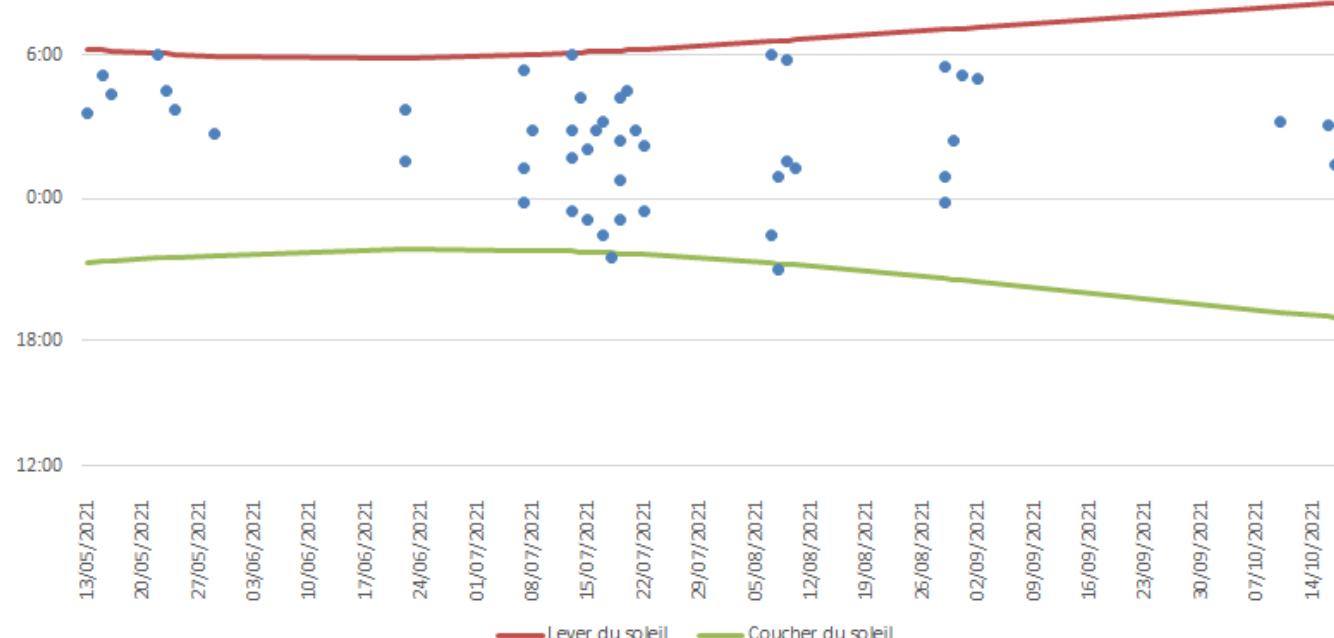
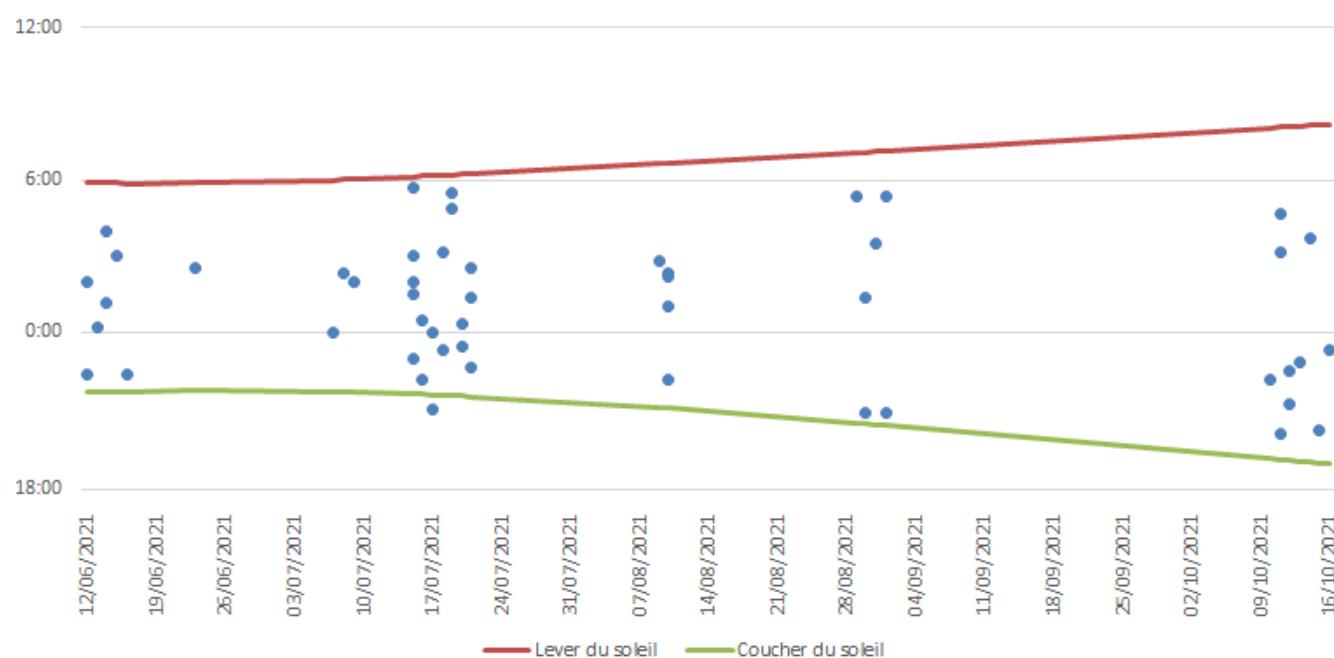
Graphique 9 : Répartition des arrêts ProBat en fonction des espèces contactées sur E3.

IV.2. Evaluation du risque résiduel

Pendant la période de régulation, 50 passages cumulés de chauves-souris ont été détectés alors que l'éolienne E1 était en fonctionnement durant la période d'activité de ProBat. Rapporté aux 458 passages enregistrés sur cette éolienne et cette période, la régulation a donc été active pendant 89,1 % des passages enregistrés au niveau de l'éolienne E1.

Pendant la période de régulation, 50 passages cumulés de chauves-souris ont été détectés alors que l'éolienne E3 était en fonctionnement durant la période d'activité de ProBat. Rapporté aux 610 passages enregistrés sur cette éolienne et cette période, la régulation a donc été active pendant 91,8 % des passages enregistrés au niveau de l'éolienne E3.

La soustraction du nombre de Stops à l'activité chiroptérologique met en lumière les contacts à risque. Cette répartition temporelle des passages de chauves-souris alors que les rotors des éoliennes étaient encore en rotation est représentée en Graphique 10 et Graphique 11.

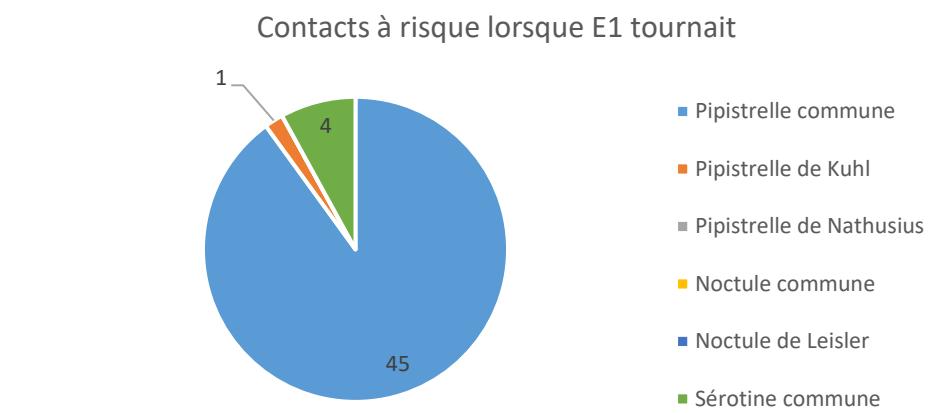


Il faut garder en tête que suite à l'envoi de la commande STOP du système de bridage à l'éolienne, il faut en moyenne une trentaine de secondes pour que la vitesse du rotor atteigne 2 tours/min, puis 1 minute et 30 secondes pour un arrêt complet de la machine. Ce temps dépend des types de machine. Cette vitesse de 40 km/h en bout de pale est considérée comme suffisante pour réduire significativement le risque de collision.

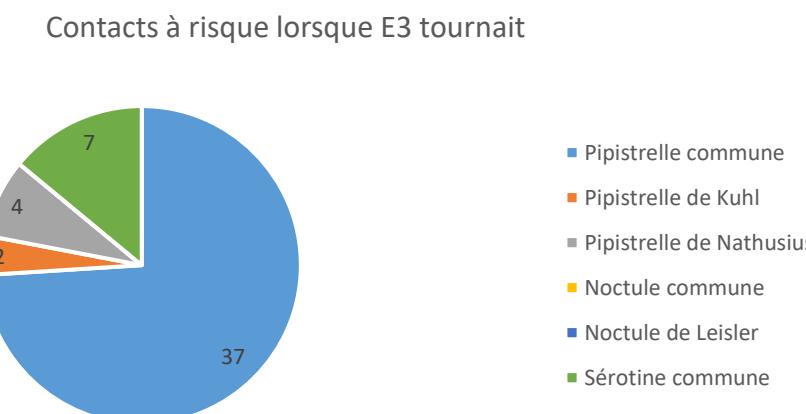
Il est possible d'évaluer le ratio entre le nombre de passages et la mortalité résiduelle en gardant à l'esprit qu'il s'agit d'une évaluation, extrapolée à partir de mesures réalisées sur des parcs équipés d'éoliennes de gabarit similaire, mais au cours d'années antérieures.

La détection ne couvre pas tout le volume brassé par les pales. Pour une pipistrelle, la distance de détection (30 m) et la longueur des pales (35 m) laissent envisager que les 5 derniers mètres ne sont pas suivis. Inversement, le disque parcouru par les pales à au plus une épaisseur de 5 mètres alors que le volume de détection est beaucoup plus important.

Les Graphiques 12 et Graphique 13 présentent le nombre de contacts à risque par espèce de chiroptère sur les éoliennes E1 et E3.



Graphiques 12 : Nombre de contacts à risque résiduel par espèces aux abords de E1



Graphique 13 : Nombre de contacts à risque résiduel par espèces aux abords de E3

Les études réalisées avec des caméras thermiques en 2015 (une éolienne dans la Province du Hainaut - 7 interactions sur 352 passages soit 2 %), une éolienne dans la province de Namur – 6 interactions sur 295 passages soit 2 %) et en 2016 (une éolienne dans la province de Namur 5 interactions sur 307 passages soit 1,6 %) laissent penser que le risque de collision est de $0.0210 +/- 0.0016$ par passage. Le nombre de passages résiduels est de 50 contacts sur E1 et sur E3. La mortalité résiduelle peut alors être évaluée à environ $1,05 +/- 0,08$ chauves-souris par éolienne et par an. Ces chiffres sont bien inférieurs aux chiffres de mortalité attendus retrouvés dans la bibliographie pour ce type de milieu.

V. Conclusion

Une mesure de réduction d'impact, le module ProBat, a été effectif au cours de l'année 2021. Active de début avril à fin octobre, cette régulation a déjà permis la préservation de 90,5 % des contacts de chiroptères sur l'ensemble du parc éolien en 2021, ce qui démontre bien la pertinence du bridage. La perte de productible totale a été estimée à 7,5 MWh pour l'année 2021. Le module ProBat sera de nouveau actif en 2022, permettant ainsi la préservation conjointe et optimisée à la fois des chiroptères et du productible.

Suite aux différentes études menées ces dernières années sur le parc éolien de Saint-Congard, nous préconisons le maintien du bridage ProBat en faveur des chiroptères puisque son efficacité a été démontrée en termes de préservation des chiroptères et pertes de productible. Il n'est donc pas nécessaire de revoir les paramètres de bridage.

VI. Bibliographie

- Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos Sobre las poblaciones de murciélagos. *Temas*, 3-6.
- Allouche, L., AVES environnement, & Groupe Chiroptères de Provence. (2010). *Etude de la mortalité des chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, Saint-Martin-de-Crau* (13). (p. 1-31). Energie du Delta.
- Arnett, E. B., Hayes, J., & Huso, M. M. (2006). *An evaluation of the use of acoustic monitoring to predict bat fatality at a proposed wind facility in southcentral Pennsylvania. An annual report submitted to the bats and wind energy cooperative*.
- 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 Beitraege für Naturkunde und Naturshutz, 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., & Barclay, R. M. R. (2011). *Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada*. 75: 1103-1114. <https://doi.org/10.1002/jwmg.147>
- 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.
- Behr, O., Brinckmann, R., Niermann, I., & Korner-Nievergelt, F. (2011). *Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermausen an Onshore-Windenergieanlagen*. 4, 177-286.
- 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. (Ed.). (2011). *Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermausen an Onshore-Windenergieanlagen : Ergebnisse eines Forschungsvorhabens* (1. Aufl). Cuvillier.
- Brinkmann, R., Schauer-Weisshahn, 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>
- Cryan, P. M., & Brown, A. C. (2007). Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biol. Conserv.*, 11.
- Cryan, Paul. M., Gorresen, P. M., Hein, C. D., Schirmacher, M. R., Diehl, R. H., Huso, M. M., Hayman, D. T. S., Fricker, P. D., Bonaccorso, F. J., Johnson, D. H., Heist, K., & Dalton, D. C. (2014). Behavior of bats at wind turbines. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(42), 15126-15131. <https://doi.org/10.1073/pnas.1406672111>
- Doty, A., & Martin, A. (2013). Assessment of bat and avian mortality at a pilot wind turbine at Coega, Port Elizabeth, Eastern Cape, South Africa. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 75-80. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.741068>
- 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.
- 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>
- Furmarkiewicz, J., & Kucharska, M. (2009). *Migration of bats along a large river valley in Southwestern Poland*. [https://doi.org/90\(6\):1310–1317](https://doi.org/90(6):1310–1317).
- 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., Christian, K., Aurélien, B., Luc, B., & Jocelyn, F. (2013). *Actichiro, référentiel d'activité des chiroptères. Eléments 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>
- Hull, C., & Cawthen, L. (2013). Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia : Bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *New Zealand Journal of Zoology*, 40(1), 5-15. <https://doi.org/10.1080/03014223.2012.731006>
- 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)
- Johnson, J. S., Watrous, K. S., Giumarro, G. J., Peterson, T. S., Boyden, S. A., & Lacki, M. J. (2011). Seasonal and Geographic Trends in Acoustic Detection of Tree-Roosting Bats. *Acta Chiropterologica*, 13(1), 157-168. <https://doi.org/10.3161/15081101X578705>
- Joiris, E. (2012, mars 24). *High altitude bat monitoring [Preliminary results Hainaut & Ardennes]*. CSD Ingénieurs.
- Kerns, J., Erickson, W. P., & Arnett, E. B. (2005). *Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia : An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines*. (Arnett EB, Vol. 2, p. 24-95).
- 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)
- 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*. Ecospère. <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.
- Millon, L., Colin, C., Brescia, F., & Kerbiriou, C. (2018). Wind turbines impact bat activity, leading to high losses of habitat use in a biodiversity hotspot. *Ecological Engineering*, 112, 51-54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.024>
- Millon, L., Julien, J.-F., Julliard, R., & Kerbiriou, C. (2015). Bat activity in intensively farmed landscapes with wind turbines and offset measures. *Ecological Engineering*, 75, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.050>
- Minderman, J., Gillis, M. H., Daly, H. F., & Park, K. J. (2017). Landscape-scale effects of single- and multiple small wind turbines on bat activity. *Animal Conservation*, 20(5), 455-462. <https://doi.org/10.1111/acv.12331>
- 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. (2006). *Bats and their insect prey at streetlights*. 43-60.
- 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>