



Innover

Etudier

Partager



BayWa r.e.
renewable energy

ProBat à blanc Suivi de mortalité automatisé Parc éolien de Saint Congard 2 éoliennes

Mars 2019

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

Responsables du dossier :

BayWa
Jérôme Dumont
Responsable environnement
+33 (0)1 55 31 97 49
Jerome.Dumont@baywa-re.fr

Sens Of Life
Pauline Rico
Directrice d'études
+ 33 (0)6 74 01 75 44
pauline.rico@sensoflife.com

Table des matières

I.	Contexte	4
II.	Méthodologie	4
II.1.	TrackBat.....	5
II.2.	Suivi de la mortalité.....	10
II.3.	Pluviomètre	16
III.	Résultats.....	17
III.1.	Suivi de l'activité des chiroptères.....	17
III.1.1.	Espèces contactées sur site.....	17
III.1.2.	Activité en fonction de la date	19
III.1.3.	Activité en fonction de l'heure	23
III.1.4.	Activité en fonction de la vitesse de vent	24
III.1.5.	Activité en fonction de la température	25
III.1.6.	Activité en fonction de la température et de la vitesse de vent	27
III.2.	Suivi de la mortalité automatisée des chiroptères.....	29
III.3.	Sensibilités des chiroptères aux éoliennes.....	30
III.3.1.	Généralités	30
III.3.2.	Sensibilités des espèces contactées en altitude.....	32
III.3.3.	Zoom sur les espèces présentes.....	34
IV.	Modélisations de bridage pour les chiroptères.....	43
IV.1.	Modélisation d'un bridage sur seuils	44
IV.2.	Modélisation du bridage en fonction d'un algorithme multifactoriel	45
IV.3.	Arrêts réalisés par ProBat.....	46
IV.4.	Evaluation du risque résiduel	49
V.	Conclusion	52
V.1.	Suivi d'activité ultrasonore.....	52
V.2.	Suivi d'activité et de mortalité filmée	52
V.3.	Modélisation des bridages	54
VI.	Bibliographie.....	55
VII.	Annexes.....	63
VII.1.	Présentation de Sens Of Life	63
VII.1.1.	Sens Of Life, une start-up innovante.....	63
VII.1.2.	Moyens Humains.....	64
VII.1.3.	Une équipe expérimentée dans le suivi d'activité en altitude des chiroptères.....	64

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat.....	6
Figure 2 : Enregistreurs TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne à droite	7
Figure 3 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions ultrasonores	8
Figure 4 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces	8
Figure 5 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission.....	9
Figure 6: Secteur surveillé de jour et de nuit par les capteurs AIMS implanté à la base du mât d'une éolienne.....	10
Figure 7 : Photos d'une caméra infrarouge et de son illuminateur fixés sur le mât par des aimants ..	11
Figure 8 : Orientation des caméras sur l'éolienne E2 de Saint Congard	11
Figure 9 : Exemple de configurations : les caméras voient toute l'aire brassée par les pales	12
Figure 10 : Empilement d'images produit par le système de détection d'activité / suivi de mortalité sur le premier prototype AIMS.....	13
Figure 11 : Représentation schématique du principe de filtrage des trajectoires utilisé pour éviter la prise en compte de trajectoires d'insectes	16
Figure 12 : Pluviomètre installé sur le toit du poste de livraison à Saint-Congard	17
Figure 13 : Activité relative brute par espèce contactée sur les éoliennes E1 et E2 de Saint-Congard	18
Figure 14 : Activité relative, corrigée en fonction du volume de détection pour chaque espèce contactée sur les éoliennes E1 et E2 du parc éolien de Saint-Congard	19
Figure 15 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine	20
Figure 16 : Description du phénomène de barotraumatisme.....	31
Figure 17 : Pourcentage du nombre de contacts au-dessus de 25 m de haut, enregistrés sur 10 sites en France, en fonction des espèces contactées.....	32
Figure 18 : Pipistrelle commune.....	34
Figure 19 : Sonogramme de cris émis par une Pipistrelle commune.....	34
Figure 20 : Pipistrelle de Kuhl.....	35
Figure 21 : Pipistrelle de Nathusius	36
Figure 22 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl.....	37
Figure 23 : Sérotine commune	39
Figure 24 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune	40
Figure 25 : Noctule commune	40
Figure 26 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune	41
Figure 27 : Noctule de Leisler	42
Figure 28 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler	43
Figure 29 : Modélisation des arrêts sur E1 en fonction d'un bridage sur seuils	44
Figure 30 : Modélisation des arrêts sur E2 en fonction d'un bridage sur seuils	45
Figure 31 : Arrêts envisagés par les algorithmes multifactoriels sur E1 du 26 avril au 31 octobre 2018	46
Figure 32 : Arrêts envisagés par les algorithmes multifactoriels sur E2 du 26 avril au 31 octobre 2018	46
Figure 33: Principe de fonctionnement du système ProBat	48
Figure 34 : Arrêts réalisés par ProBat sur E1 du 26 avril au 31 octobre 2018.....	49
Figure 35 : Arrêts réalisés par ProBat sur E2 du 26 avril au 31 octobre 2018.....	49
Figure 36 : Activité des chauves-souris alors que le rotor de E1 tournait.....	50
Figure 37 : Activité des chauves-souris alors que le rotor de E2 tournait.....	50

Graphique 1 : Activité des chiroptères en fonction de la date et du lever et du coucher du soleil sur E1	19
Graphique 2 : Cumul de pluie en fonction de la date (jour et nuit)	21
Graphique 3 : Activité des chiroptères filmée et enregistrée sur E1 en fonction de la date et de la pluviométrie	21
Graphique 4 : Activité des chiroptères filmée et enregistrée sur E2 en fonction de la date et de la pluviométrie	22
Graphique 5 : Nombre de trajectoires filmées et enregistrées par TrackBat sur l'éolienne E2 en fonction de la date	23
Graphique 6 : Activité brute des chiroptères en fonction de l'heure sur E1 du parc de Saint-Congard	24
Graphique 7 : Activité brute des chiroptères en fonction de l'heure sur E2 du parc de Saint-Congard	24
Graphique 8 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent ($m.s^{-1}$) sur l'éolienne E1 du parc de Saint-Congard	25
Graphique 9 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent ($m.s^{-1}$) sur l'éolienne E2 du parc de Saint-Congard	25
Graphique 10 : Activité des chiroptères en fonction de la température ($^{\circ}C$) sur l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Congard	26
Graphique 11 : Activité des chiroptères en fonction de la température ($^{\circ}C$) sur l'éolienne E2 du parc éolien de Saint-Congard	26

Tableau 1 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes	9
Tableau 2 : Dimension de cibles de différentes tailles sur le capteur d'une caméra équipée d'un objectif de 11 m formant un champ de 50° en fonction de l'éloignement de la cible à la caméra. Les cellules orange correspondent aux conditions dans lesquelles la détection n'est pas possible. Les cellules bordées de rouges indiquent les conditions où la taille des insectes et des chauves-souris ne permet pas leur discernement.	14
Tableau 3 : Calcul du déplacement sur le capteur en fonction de la vitesse et de la taille des cibles. Les cellules bordées de rouge indiquent les conditions où le filtrage en fonction de la taille laisse une ambiguïté avec les insectes.	14
Tableau 4 : Analyse du ratio $taille^3/distance$ de déplacement en fonction de la vitesse, de la distance à la caméra et de la taille des cibles. Les cellules bordées de rouge correspondent aux conditions où les insectes peuvent être confondus avec les chauves-souris.	15
Tableau 5 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptère sur les éoliennes de Saint-Congard	18
Tableau 6 : Activité des chiroptères en fonction de la température ($^{\circ}C$) et de la vitesse du vent ($m.s^{-1}$) sur l'éolienne E1	27
Tableau 7 : Activité des chiroptères en fonction de la température ($^{\circ}C$) et de la vitesse du vent ($m.s^{-1}$) sur l'éolienne E2	28
Tableau 8 : Tableau de synthèse des statuts de protection et de conservation et de sensibilités à l'éolien des espèces contactées	33
Tableau 9 : Modélisation de la mortalité résiduelle et des pertes de production pour différents systèmes de bridage sur le parc éolien de Saint Congard	51
Tableau 10 : Comparaison du taux de mortalité des chiroptères par rapport à l'activité sur différents sites	53

I. Contexte

La société BayWa est opératrice du parc éolien de Saint Congard, sur la commune du même nom, composé de 4 éoliennes.

Les parcs éoliens peuvent avoir une incidence sur l'avifaune et les chiroptères et certaines espèces protégées. 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.

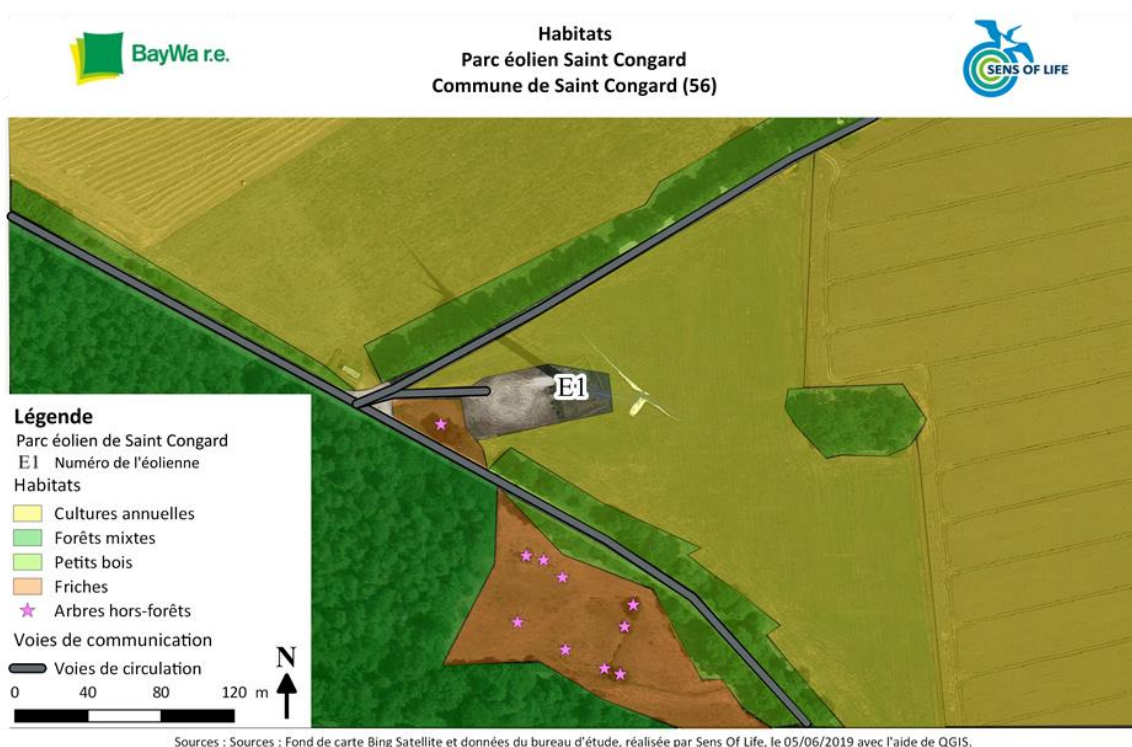
Les impacts sur la biodiversité sont analysés dans l'étude d'impact réalisée préalablement à l'implantation du parc éolien, puis ils font l'objet d'un suivi environnemental.

Cette étude est proposée dans une volonté d'optimiser les connaissances quant à l'impact des éoliennes de Saint-Congard, et plus précisément sur les chauves-souris. Elle a pour objectif de caractériser la mortalité induite sur les chiroptères par le fonctionnement des éoliennes étudiées. Les suivis de mortalité au sol constituent pour l'instant une des techniques permettant d'évaluer la mortalité induite par le fonctionnement des éoliennes. Un protocole éprouvé et rationalisé est mis en place pour évaluer au mieux le nombre de cadavres en prenant en compte les biais inhérents à ce type de démarche.

Ce rapport présente donc le suivi environnemental réalisé par Sens Of Life, avec l'activité des chiroptères et les impacts constatés, et les mesures à adopter sur ce parc pour réduire l'incidence sur les chauves-souris.

II. Méthodologie

Le suivi de l'activité des chiroptères aura pour objectif d'estimer l'impact de l'éolienne sur les espèces présentes sur le site. Le suivi sera effectué par un enregistrement de l'activité ultrasonore sur 2 nacelles.





Carte 1 : Habitats aux abords des éoliennes E1 et E2

Chaque dispositif est composé d'un enregistreur collectant les sons provenant d'un microphone. Cet enregistreur est doté d'un système de surveillance à distance (état de la batterie, nombre d'enregistrements, espace libre dans le système de stockage).

II.1. TrackBat

Chaque enregistreur mis à disposition est un enregistreur numérique à deux voies, configuré pour échantillonner à 250 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 (Figure 1).

Le stockage est réalisé sur une clef USB de 256 Go. Cette capacité de stockage permet de limiter les opérations de maintenance.

Il dispose d'une connexion GSM permettant d'évaluer à distance les paramètres critiques du fonctionnement du matériel (nombre de fichiers enregistrés, tension d'alimentation, espace de stockage libre).

Cet enregistreur est monté dans un boîtier métallique étanche (IP68) assurant un blindage contre les perturbations électromagnétiques.

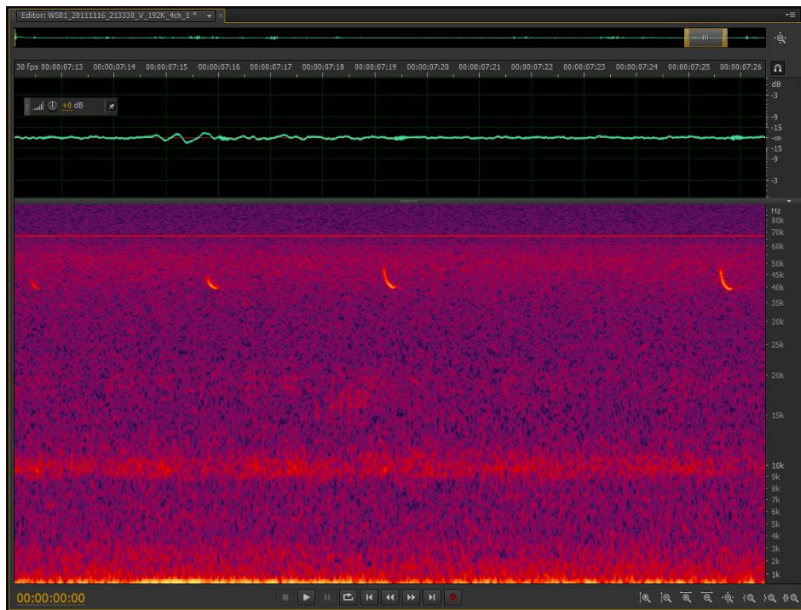


Figure 1 : Exemple de fichier son collecté sur le système d'enregistrement TrackBat

Microphones

Les microphones sont construits autour d'une capsule Mem's blindée électromagnétiquement, omnidirectionnelle, connectée à deux étages d'amplification et un stabilisateur d'alimentation. L'ensemble est protégé par une coque en acier inoxydable et une membrane hydrophobe assurant la protection du microphone contre les intempéries. Le microphone est connecté à son câble blindé par un connecteur 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 qu'en termes de résistance aux intempéries et aux perturbations électromagnétiques (Figure 2).

Ils sont montés grâce à un support amortisseur évitant les propagations des bruits de la structure dans le microphone (sifflement des haubans, cliquetis...). Le microphone est en nacelle sur le portique.

Alimentation et Boîtier

Le système est alimenté par une alimentation fournie par le commanditaire. La fixation du boîtier a été réalisée afin de faciliter l'installation. Cette installation sera effectuée par l'équipe du propriétaire, de l'exploitant ou du constructeur, à l'occasion d'une maintenance en nacelle. Une assistance téléphonique sera mise en place chez Sens Of Life lors de l'installation du boîtier.

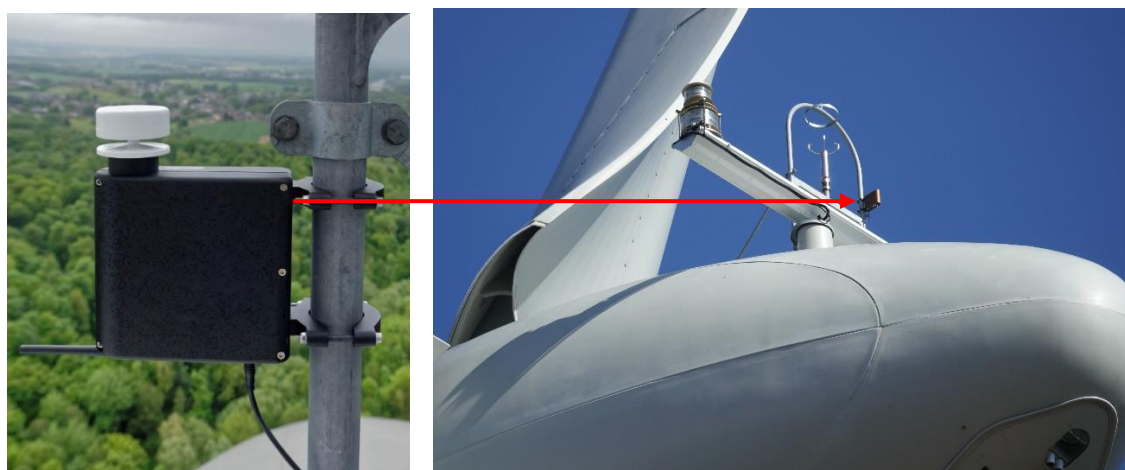


Figure 2 : Enregistreurs TrackBat avec microphones intégrés, installé sur la nacelle d'une éolienne à droite

Analyse des sons

Le principe de l'identification des chiroptères fréquentant nos régions est basé 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 la Figure 20.

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. Les sons bruts sont archivés et mis à disposition du commanditaire (volume maximum 256 Go, au-delà les fichiers sont transformés en enregistrements « zero crossing » plus légers que les fichiers d'origine, pour limiter l'espace de stockage tout en conservant une traçabilité de l'étude).

Nom Français	Nom Latin	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements très favorables	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements défavorables
Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Rhinolophe euryale	
Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Petit Rhinolophe	
Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Grand Rhinolophe	
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	Grands Myotis	
Petit murin	<i>Myotis blythii</i>		
Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Murin de Daubenton	Petits Myotis
Murin de capaccini	<i>Myotis capaccinii</i>	Murin de capaccini	
Murin à moustache	<i>Myotis mystacinus</i>	Murin à moustaches	
Murin d'Alcathoe	<i>Myotis alcathoe</i>	Murin d'Alcathoe	
Murin à oreilles échancrées	<i>Myotis emarginatus</i>	Murin à oreilles échancrées	
Murin de Bechstein	<i>Myotis bechsteinii</i>	Murin de Bechstein	
Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Murin de Natterer	Nyctaloids
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotine commune	
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Noctule de Leisler	
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Noctule commune	
Sérotine Bicolore	<i>Vespertilio Murinus</i>	Sérotine bicolore	

Nom Français	Nom Latin	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements très favorables	Groupes identifiés dans des conditions d'enregistrements défavorables
Vespère de savi	<i>Hypsugo savii</i>	Vespère de savi	
Pipistrelle soprane	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle soprane	Pipistrelle / Minioptère
Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Minioptère de Schreibers	
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Pipistrelle de Kuhl / Nathusius
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle de Kuhl	
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle de Nathusius	
Oreillard gris	<i>Plecotus austriacus</i>	Oreillards sp.	
Oreillard roux	<i>Plecotus auritus</i>		
Oreillard montagnard	<i>Plecotus macrobularis</i>		
Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Barbastelle d'Europe	
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Grande Noctule	Molosse / Grande Noctule
Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Molosse de Cestoni	

Figure 3 : Possibilité d'identification des chauves-souris européennes en fonction de leurs émissions 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 (Figures 11 et 12).

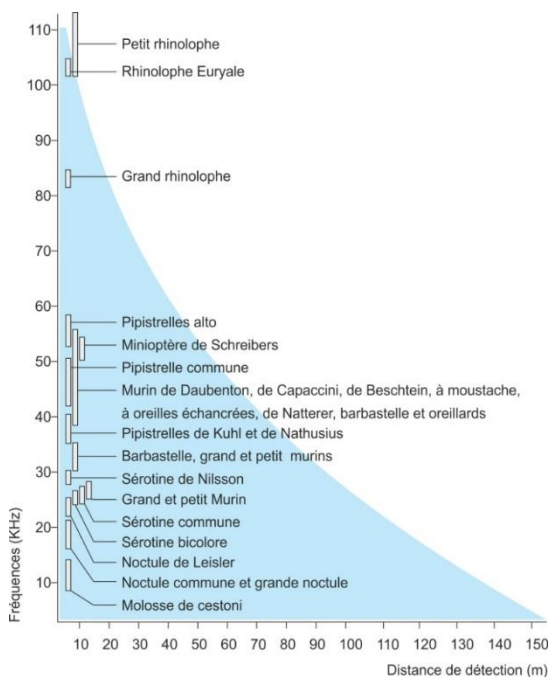


Figure 4 : Représentation des volumes de détection en fonction des groupes d'espèces

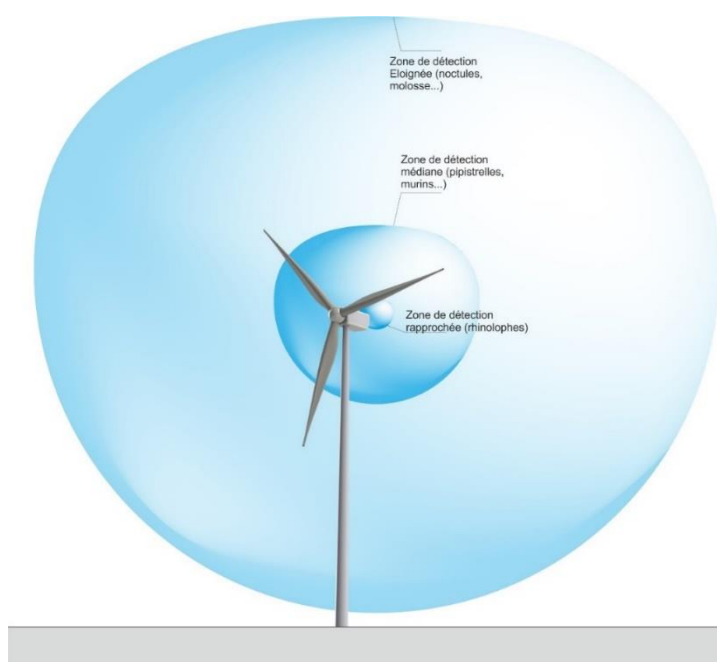


Figure 5 : Distance de détection des espèces de chauves-souris en fonction de leur fréquence d'émission

Pour prendre en compte ces variations, nous avons utilisé les facteurs de correction préconisés par Michel Barataud récapitulés dans le Tableau 1. De manière générale l'application de ces coefficients permet de rétablir le rapport des indices d'activité entre les petites espèces utilisant des fréquences élevées, fortement absorbées par l'atmosphère, et les grosses espèces émettant des sons très puissants sur des fréquences basses, peu absorbées par l'atmosphère.

milieu ouvert			
Intensité d'émission	Espèces	distance détection	coefficient détectabilité
faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00
	<i>Rhinolophus ferr/eur/meh.</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
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	30	0,83
forte	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,71
	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,71
	<i>Plecotus spp</i>	40	0,71
très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

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 ferr/eur/meh.</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
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,20
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,20
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
forte	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
	<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

Tableau 1 : Coefficients de détectabilité des principales espèces de chauves-souris européennes

II.2. Suivi de la mortalité

Le suivi de mortalité permet de vérifier que les populations d'oiseaux et de chauves-souris présentes au niveau du parc éolien ne sont pas affectées de manière significative par le fonctionnement des aérogénérateurs.

Suivi de la mortalité automatisé par caméras

Les suivis de mortalité au sol sont coûteux en temps homme et présentent différents biais : taux de détection de l'observateur, prédation... Ces biais sont évalués grâce à des tests afin de pouvoir les prendre en compte dans des formules d'estimation de la mortalité réelle. Cependant, les résultats de ces formules peuvent être interprétés de manière différente en fonction de l'écart entre la valeur haute et la valeur basse de mortalité trouvées, en fonction des différentes formules d'estimation.

Afin de s'affranchir de ces biais, et pour le même coût qu'un suivi de mortalité au sol, un suivi automatisé par caméras a été mis en place. Ces suivis de mortalité par caméras sont objectifs et ont été mis en place par Sens Of Life sur 4 parcs éoliens depuis 2015.

L'arrêté préfectoral impose un suivi de mortalité dès la migration prénuptiale (début mars). De mars à octobre, le suivi de mortalité a donc été automatisé.

Caméras

Chaque éolienne a été équipée de :

- 2 caméras ultrasensibles (0.001 lux – 3 Mpx) à large spectre, d'une optique à large ouverture et focale courte, suivant un secteur large (120 ° x 85 ° pour chaque caméra) permettant de suivre une demi-sphère presque complète autour du point d'implantation (Figure 4),
- D'un illuminateur infrarouge LED à champ large illuminant une cinquantaine de mètres autour du point d'implantation (Figure 4).

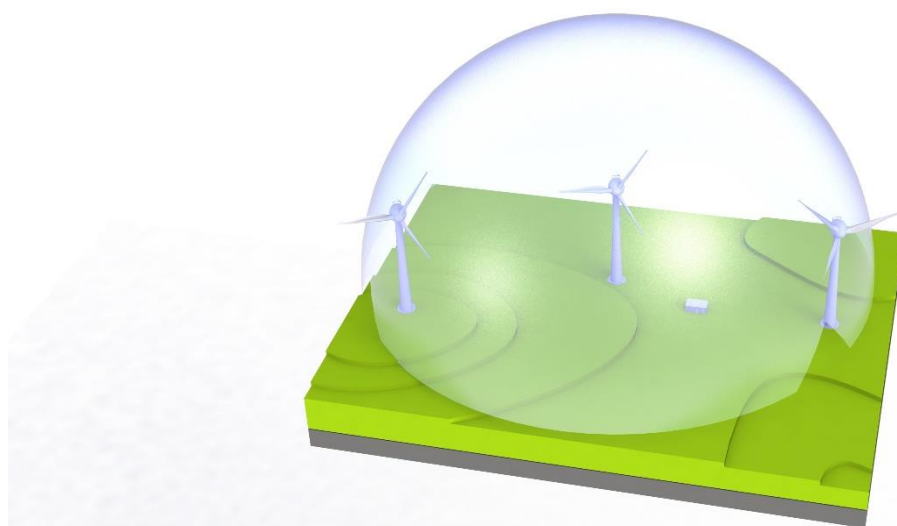


Figure 6: Secteur surveillé de jour et de nuit par les capteurs AIMS implanté à la base du mât d'une éolienne

Le signal est disponible en PAL (768x576) ou en format numérique CMOS (384 x 288 sur 14Bit). Ces caméras sont fixées dans des boîtiers étanches dessinés par Sens Of Life.

Usinés en alliage d'aluminium aéronautique, puis anodisés, ces boîtiers intègrent :

- un hublot en polypropylène,
- un système d'amortissement des vibrations,
- deux connecteurs IP68 permettant l'alimentation de l'obturateur et de la caméra et la récupération du signal.



Figure 7 : Photos d'une caméra infrarouge et de son illuminateur fixés sur le mât par des aimants



Figure 8 : Orientation des caméras sur l'éolienne E2 de Saint Congard

Ces caméras sont fixées à environ 5 mètres de hauteur par rapport à la base du mat des éoliennes.

Les caméras utilisées pour cette application sont spécifiquement développées pour Sens Of Life. Elles reposent sur un capteur HD ultrasensible (0.001 lux), à spectre de sensibilité élargi, protégé par un boîtier IP68, blindé contre les perturbations électromagnétiques. L'ensemble caméra, système d'analyse et système de stockage est contenu dans un boîtier IP68 de 40 X 30 X 20 cm. La caméra a une résolution d'au moins 2 méga pixels (3 MP possible), une sensibilité de 0.001 lux et un champ de vision de 120° horizontaux par 90° verticaux. Une éolienne sera équipée de 2 caméras, permettant de détecter un rapace à 300 mètres et un chiroptère à 80 mètres.

Les 2 caméras, détectent et suivent les oiseaux et les chiroptères autour de l'éolienne équipée. Les 2 caméras sont installées de manière à couvrir le volume brassé par les pales de la machine. En fonction des configurations, il est possible qu'une petite zone ne soit pas couverte (Figure 9). Dans ce cas, le biais sera pris en compte dans les résultats en estimant le nombre de passages d'animaux qui auraient pu être manqués.

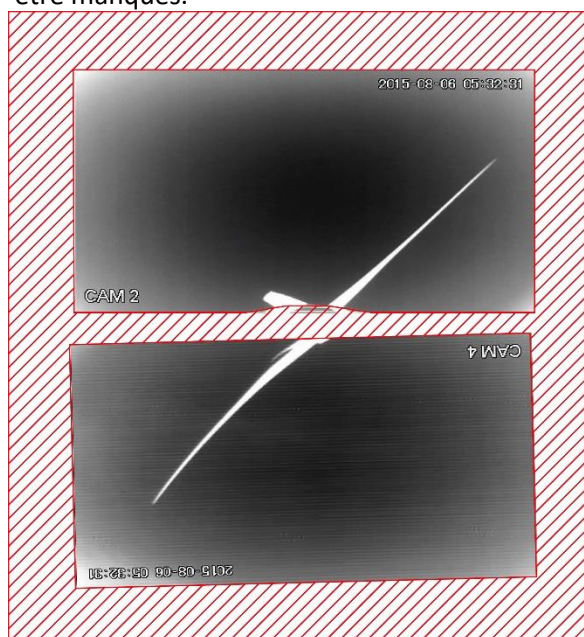


Figure 9 : Exemple de configurations : les caméras voient toute l'aire brassée par les pales

Le milieu forestier du parc éolien de la Saint-Congard ne devrait ici pas poser de problème de détection dans la mesure où les 2 conditions suivantes sont réunies :

- une aire de 10 ou 20 mètres de rayon est dégagée au pied de l'éolienne,
- la canopée ne s'élève pas au-delà de 20 mètres de haut.

La sensibilité des chiroptères aux infrarouges est pour l'instant peu documentée, et la bibliographie disponible ne laisse pas penser qu'un dérangement soit possible.

Le parc éolien de la Saint-Congard est situé en milieu forestier, les pales pouvant survoler la canopée. Dans ce contexte, l'utilisation de caméras infrarouges pour effectuer un suivi de mortalité automatique est particulièrement pertinent. Cependant cette méthode innovante ne permet pas encore d'identifier les animaux (oiseaux et chauves-souris) impactés avec précision.

Le traitement du signal

Les 2 capteurs sont connectés à un ordinateur dédié au traitement du signal. Le logiciel exploitant les flux vidéo des capteurs intègre :

- Une détection en temps réel de la mortalité par collision ou par barotraumatisme (détection d'un objet tombant),

- Des algorithmes de détection en milieu perturbé (pales en mouvement, nuages...),
- Des algorithmes de détection multi-trajectoires,
- Des algorithmes de localisation tridimensionnelle par extrapolation,
- Un système d'amélioration d'image par temps de brouillard.

Le PC de traitement assure l'analyse et l'enregistrement des vidéos provenant des 2 caméras de chaque éolienne équipée.

L'image suivante présente l'addition d'images de séquences vidéo. Chaque pixel d'une image est additionné à l'image précédente à condition que celui-ci représente une source plus chaude. L'image est ensuite traitée par un filtre « tophat » qui nivèle le niveau de bruit de fond (vignettage de l'optique notamment). Il devient possible de suivre la trajectoire, les variations de vitesse (espacement entre les points) et les variations de distance à l'objectif (variation de taille de l'objet) sur une seule image, sans visualiser la vidéo.

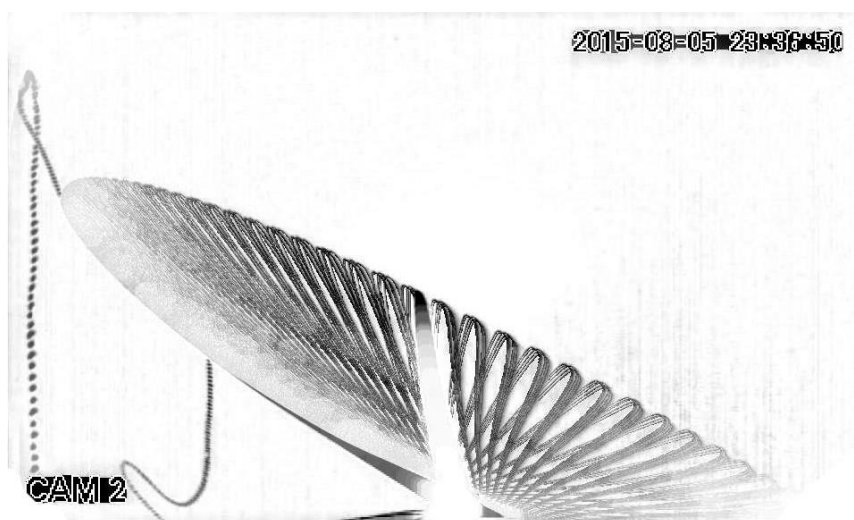


Figure 10 : Empilement d'images produit par le système de détection d'activité / suivi de mortalité sur le premier prototype AIMS

Traitement des données

Les données seront traitées en temps réel par les PC de traitement implantés sur site. La totalité des vidéos sera conservée pour d'éventuelles analyses ultérieures. Ce traitement doit permettre :

- Une évaluation de la mortalité directe,
- Une évaluation du ratio activité/mortalité,
- La modélisation de l'efficacité de différents modèles de régulation.

Les vidéos enregistrées sur les sites ne contiendront pas que des mouvements de chauves-souris ou d'oiseaux. De nombreux insectes, reflétant le rayonnement de l'éolienne ou du sol seront visibles. Le visionnage des vidéos montrera également des avions. Pour minimiser les risques de mauvaise interprétation des données, plusieurs filtrages des trajectoires seront réalisés de manière à limiter la prise en compte de déplacements d'objets autres que des chauves-souris ou de oiseaux.

Distance en mètres	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Champ de vision en mètres	0,9	4,7	9,3	18,7	28,0	37,3	46,6	56,0	65,3	74,6	83,9	93,3
Dimension d'une cible de 0,3x02 m en pixels	10172,1	406,9	101,7	25,4	11,3	6,4	4,1	2,8	2,1	1,6	1,3	1,0
Dimension d'une cible de 0,03 x 0,03 m en pixel	152,6	6,1	0,7	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Dimension d'une cible de 0,01 x 0,005 m en pixel	8,5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 2 : Dimension de cibles de différentes tailles sur le capteur d'une caméra équipée d'un objectif de 11 m formant un champ de 50 ° en fonction de l'éloignement de la cible à la caméra. Les cellules orange correspondent aux conditions dans lesquelles la détection n'est pas possible. Les cellules bordées de rouges indiquent les conditions où la taille des insectes et des chauves-souris ne permet pas leur discernement.

Avant le début du tracking, un premier filtrage sur la taille des cibles (sélection des cibles composées de moins de 100 pixels - Tableau 2) permet de s'affranchir des mouvements des pales, des oiseaux et des chauves-souris passant à moins de 10 mètres des caméras. Ces animaux ne sont pas concernés par les risques liés au fonctionnement des éoliennes, les bas de pales passant entre 50 et 54 m du sol.

Déplacement sur le capteur, en pixel en fonction de la distance												
Distance en mètres												
Vitesse m.s	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20,0	329,4	65,9	32,9	16,5	11,0	8,2	6,6	5,5	4,7	4,1	3,7	3,3
10,0	164,7	32,9	16,5	8,2	5,5	4,1	3,3	2,7	2,4	2,1	1,8	1,6
1,0	16,5	3,3	1,6	0,8	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
0,1	1,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 3 : Calcul du déplacement sur le capteur en fonction de la vitesse et de la taille des cibles. Les cellules bordées de rouge indiquent les conditions où le filtrage en fonction de la taille laisse une ambiguïté avec les insectes.

Après le tracking, un second filtrage est réalisé sur la distance entre les positions successives d'une cible entre chaque image (fréquence d'analyse = 25 fps). Les trajectoires de cibles se déplaçant de plus de 20 pixels (Tableau 3) entre chaque position sont éliminées. Elles correspondent à des animaux volants très vite, donc détectés à proximité de la caméra.

Ratio taille ³ /Déplacement pour une chauve-souris												
Distance en mètres												
Vitesse m.s ⁻¹	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20,0	3,2E+09	1,0E+06	3,2E+04	998,5	131,5	31,2	10,2	4,1	1,9	1,0	0,5	0,3
10,0	6,4E+09	2,0E+06	6,4E+04	1997,0	263,0	62,4	20,4	8,2	3,8	2,0	1,1	0,6
1,0	6,4E+10	2,0E+07	6,4E+05	2,0E+04	2629,8	624,1	204,5	82,2	38,0	19,5	10,8	6,4
0,1	6,4E+11	2,0E+08	6,4E+06	2,0E+05	2,6E+04	6240,8	2045,0	821,8	380,2	195,0	108,2	63,9

Ratio taille ³ /Déplacement pour un insecte												
	Distance en mètres											
Vitesse m.s ⁻¹	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20,0	1,1E+04	3,5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10,0	2,2E+04	6,9	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,0	2,2E+05	69,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0,1	2,2E+06	690,2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Ratio taille ³ /Déplacement pour un insecte												
	Distance en mètres											
Vitesse m.s ⁻¹	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
20,0	1,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
10,0	3,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,0	37,0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
0,1	369,8	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Tableau 4 : Analyse du ratio taille³/distance de déplacement en fonction de la vitesse, de la distance à la caméra et de la taille des cibles. Les cellules bordées de rouge correspondent aux conditions où les insectes peuvent être confondus avec les chauves-souris.

Un troisième filtrage « ratio taille³/distance de déplacement » permet d'éliminer les gros insectes volant près de la caméra (Tableau 4).

Un quatrième filtrage « variations de taille de la cible au cours du temps » est alors réalisé. Les filtrages précédents ne laissent que les oiseaux, les chauves-souris et les petits insectes. Ces derniers battent des ailes très rapidement alors que la fréquence de battement des ailes des chauves-souris et des oiseaux est en moyenne de 5 cycles par seconde. Les trajectoires où les variations de taille de l'objet sont inférieures à 20 %, ou qui présentent un cycle supérieur à 5 Hz, sont supprimées.

A la fin du traitement par l'algorithme (Figure 11), les trajectoires ne répondant pas aux objectifs de l'étude, tels que :

- Animaux volant à moins de 10 mètres de la caméra et à plus de 20 m.s⁻¹ (72 km.h⁻¹),
- Animaux volant à moins de 5 mètres de la caméra et à plus de 10 m.s⁻¹ (36 km.h⁻¹),
- Animaux volant à moins de 20 mètres de la caméra et à moins de 1 m.s⁻¹ (3,6 km.h⁻¹),
- Animaux volant à moins de 30 mètres de la caméra et à moins de 0.1 m.s⁻¹ (0.4 km.h⁻¹),

sont éliminées. Seules les trajectoires correspondant à la taille, à la vitesse et au type de vol d'une chauve-souris ou d'un oiseau sont sélectionnées.

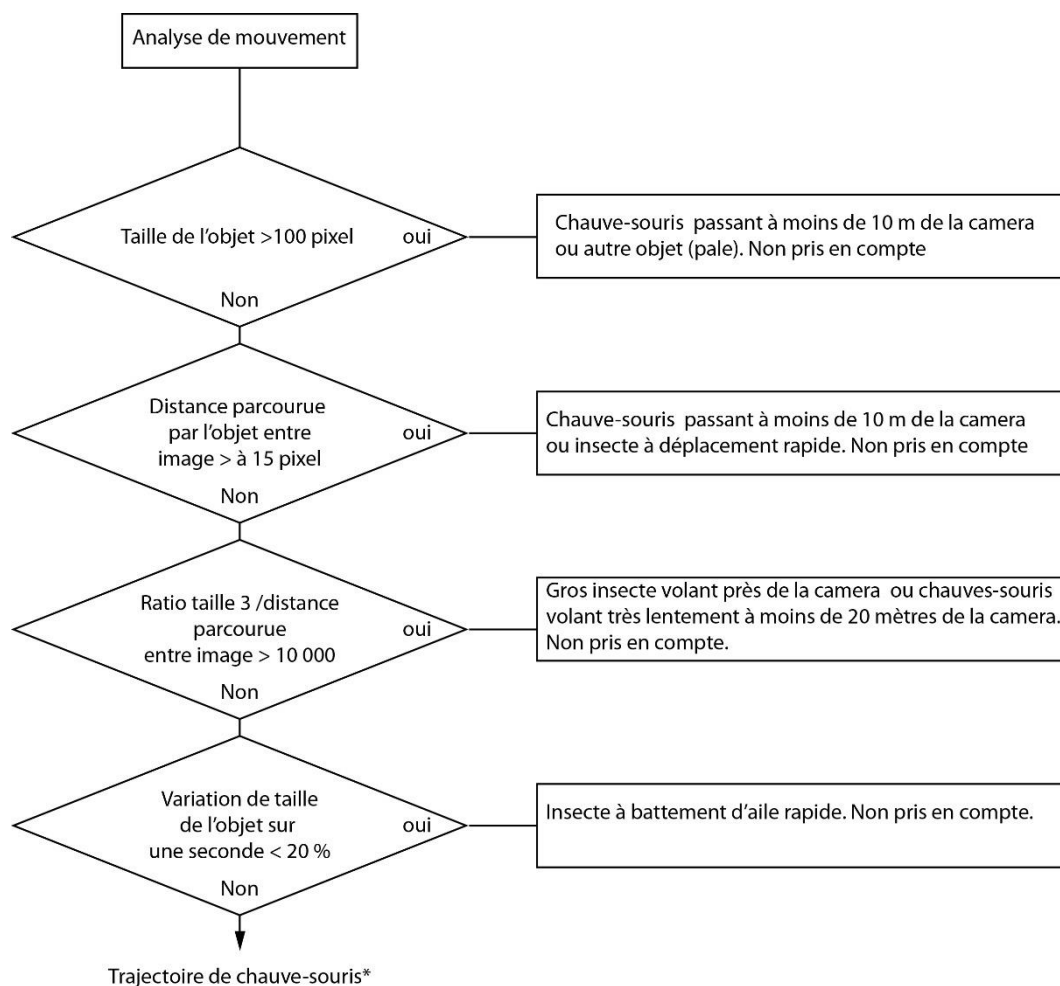


Figure 11 : Représentation schématique du principe de filtrage des trajectoires utilisé pour éviter la prise en compte de trajectoires d'insectes

II.3. Pluviomètre

Le pluviomètre, installé sur le toit du poste de livraison, est fabriqué dans un plastique rigide ABS noir résistant au rayonnement UV. Les eaux de pluies pénètrent dans le cône de réception et sont dirigées par un entonnoir vers un auget. Cet auget bascule dès qu'il s'est rempli de la quantité d'eau nécessaire à ce basculement. Ce faisant, il ferme un contact et met en position de réception le second auget. L'eau s'évacue par des buses ménagées dans la base du pluviomètre. L'appareil enregistre la pluviométrie : chaque basculement des augets est horodaté à la minute près. Après transfert des données sur le PC, le logiciel permet d'obtenir le cumul sur une période choisie, par ex : 10, 15, 20, 30 ou 60 min. La capacité d'enregistrement est de 256 Ko. L'appareil n'enregistre que lorsqu'il pleut et non à intervalles réguliers pour optimiser l'utilisation de sa mémoire.



Figure 12 : Pluviomètre installé sur le toit du poste de livraison à Saint-Congard

III. Résultats

III.1. Suivi de l'activité des chiroptères

III.1.1. Espèces contactées sur site

L'identification des espèces fréquentant le site est effectuée à partir des 2 TrackBats positionnés en nacelle de E1 et E2.

Le Tableau 5 synthétise le nombre et la proportion des contacts pour chaque espèce sur 2 des éoliennes, en altitude. Au total, 893 contacts de chiroptères ont été enregistrés sur les 2 éoliennes. En corrigeant ce nombre en fonction des volumes de détection de chaque espèce, 792 contacts sont comptabilisés.

Neuf espèces ont été contactées et déterminées avec précision :

- La Pipistrelle commune (Pip pip), très présente, concentrant 46% des contacts,
- La Pipistrelle de Kuhl (Pip kuhl), avec 20 % des contacts,
- La Pipistrelle de Nathusius (Pip nat), avec 18% des contacts,
- La Sérotine commune (Ept ser) avec 4% des contacts,
- La Noctule de Leisler (Nyc lei), avec 3% des contacts.
- La Noctule commune (Nyc noc) avec 6% des contacts.

Espèce	Nom latin	Nombre de contacts sur E1		Nombre de contacts sur E2		Pourcentage		
		bruts	corrigés	bruts	corrigés	E1	E2	Moy
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	242	200	194	161	49%	43%	46%
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus de nathusii</i>	75	62	92	76	15%	20%	18%
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrelle kuhlii</i>	96	79	86	71	20%	19%	20%
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	29	7	28	7	15%	20%	6%
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	15	4	10	3	3%	6%	3%
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	29	20	6	4	6%	2%	4%
Nyctaloids	Noctules + Sérotines	5	14	31	14	1%	1%	4%
TOTAL		491	402	447	345			
Nb contacts/heure		0,33	0,27	0,30	0,23			

Tableau 5 : Nombre de contacts bruts et corrigés en fonction du volume de détection de chaque espèce de chiroptère sur les éoliennes de Saint-Congard

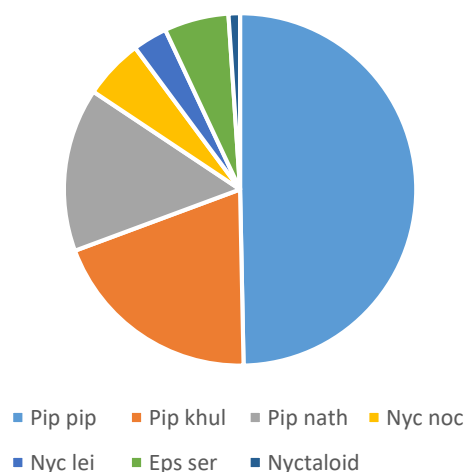
Les figures 13 et 14 montrent que près de la moitié des contacts sont attribuables à la Pipistrelle commune. Les 40 % restants sont largement dominés par les Pipistrelles de Kuhl et de Nathusius, puis viennent les contacts de Sérotines et de Noctules.

Entre les 2 éoliennes, il y a une différence de 10% d'enregistrements de contacts. Les fréquentations du site diffèrent entre les éoliennes pour :

- la Pipistrelle commune, qui représente près de la moitié des contacts enregistrés sur E1, alors qu'elle ne représente que 43% de la totalité des contacts sur E2 ;
- la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule de commune, avec 5% de différence entre E1 et E2.

Pour les autres espèces, il y a moins de 5% de différence entre les éoliennes, ce qui n'est pas significatif pour tirer des conclusions de zones favorables sur le site pour chacune d'entre elles.

Activité brute par espèce sur E1



Activité brute par espèce sur E2

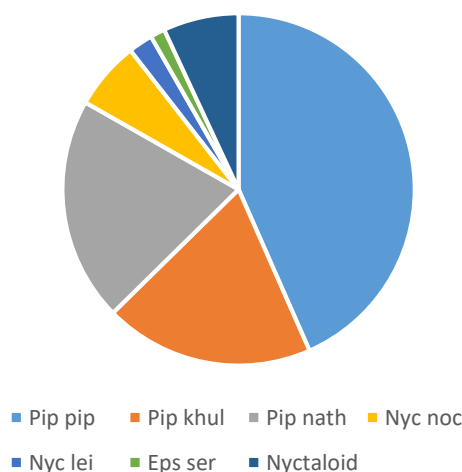
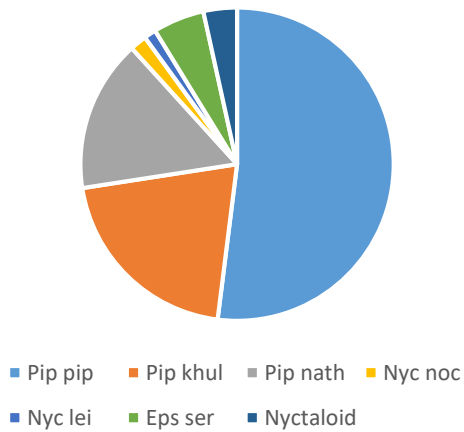


Figure 13 : Activité relative brute par espèce contactée sur les éoliennes E1 et E2 de Saint-Congard

Activité corrigée en fonction de la distance de détection sur E1



Activité corrigée en fonction de la distance de détection sur E2

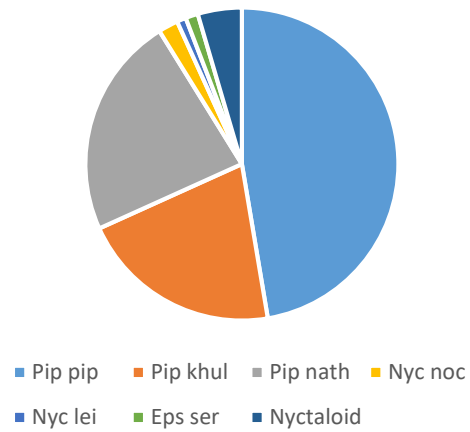
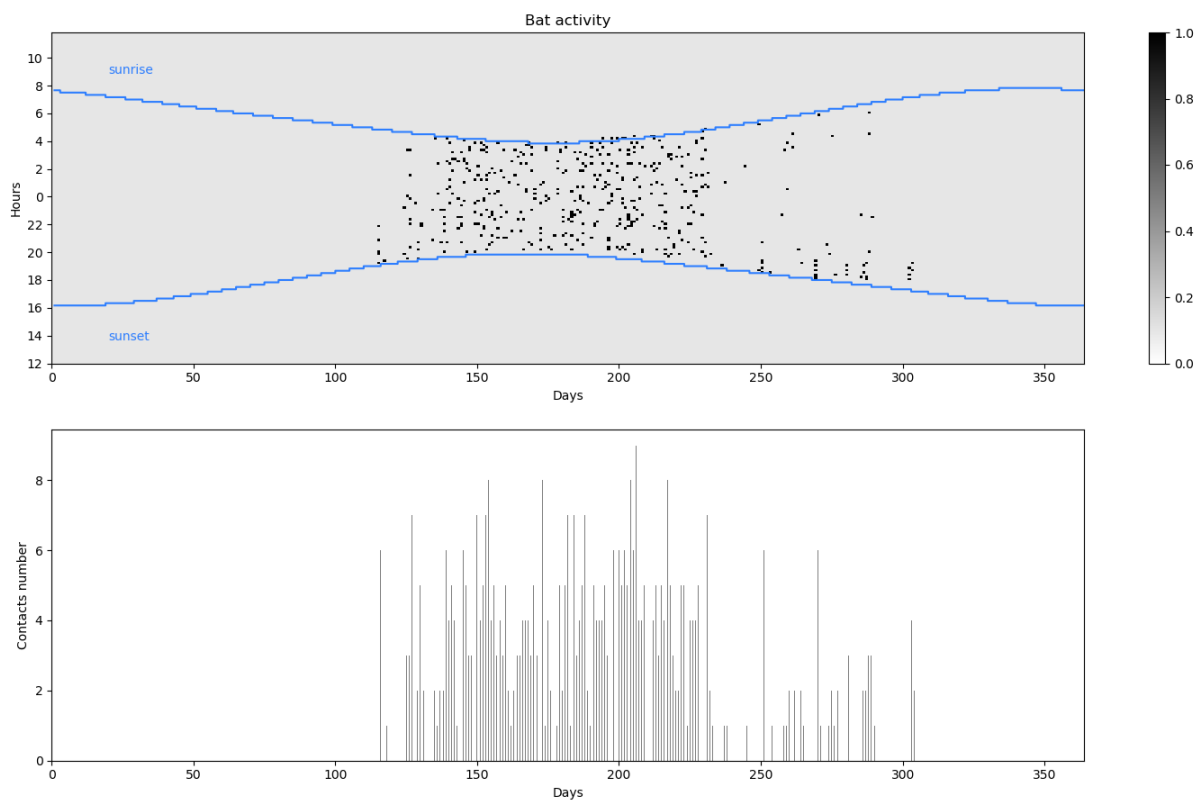


Figure 14 : Activité relative, corrigée en fonction du volume de détection pour chaque espèce contactée sur les éoliennes E1 et E2 du parc éolien de Saint-Congard

III.1.2. Activité en fonction de la date



Graphique 1 : Activité des chiroptères en fonction de la date et du lever et du coucher du soleil sur E1

L'activité printanière est faible sur E2 et plus importante sur E1 avec de l'activité marquée durant la 2nde et la 4^{ème} semaine de mai. Début juin, l'activité marque un pic important sur les 2 éoliennes, peut-être due à un essaimage d'insectes, puis est fluctuante durant le mois. C'est début juillet que l'activité augmente réellement pour atteindre son maximum sur les 3^{ème} et 4^{ème} semaine de juillet. Elle reste importante au mois d'août sur E2, tandis qu'elle diminue légèrement sur E1. Puis à partir de début septembre, l'activité devient très faible, avec une légère recrudescence fin septembre.

Le profil de ces graphiques témoigne bien de la très forte hétérogénéité de l'activité des chauves-souris d'une nuit à l'autre, et donc de l'importance des conditions climatiques liées à cette activité.

La Figure 15 nous renseigne sur le cycle biologique des chiroptères.

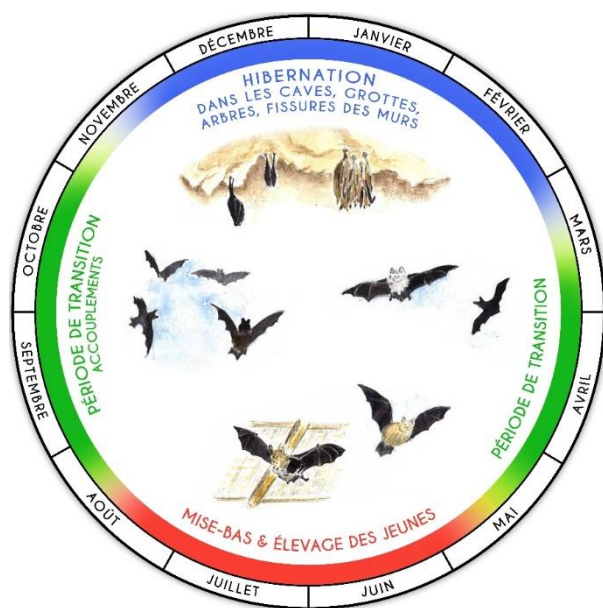


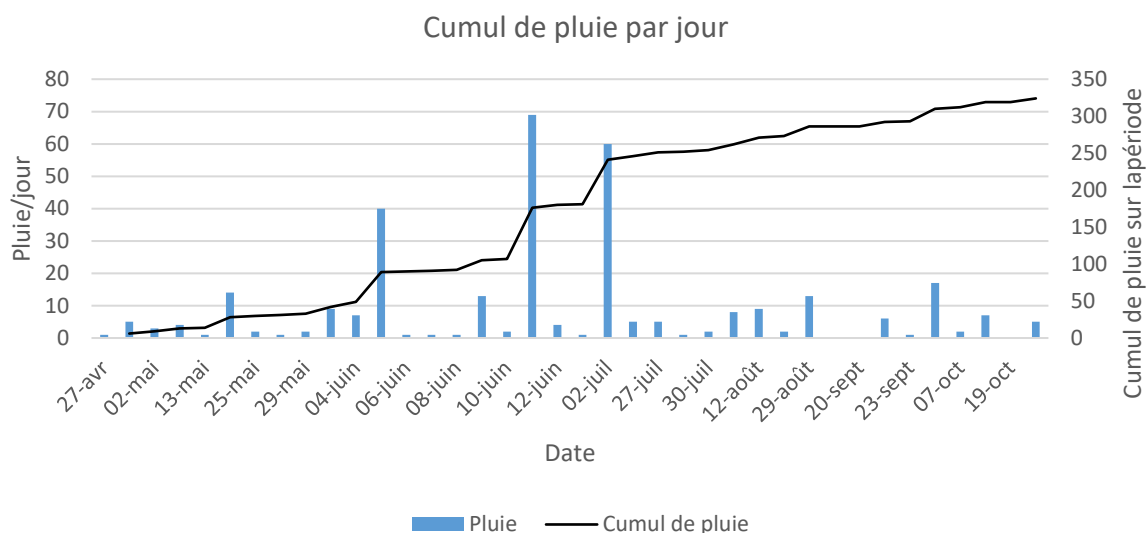
Figure 15 : Cycle biologique des chiroptères, LPO Touraine

L'activité de mise-bas et élevage des jeunes s'est traduite par un total de 329 contacts enregistrés sur l'éolienne E1 et 302 sur l'éolienne E2. Ce sont les plus grands nombres de contacts enregistré sur les 3 périodes. En nombre de contacts/heures de suivi, la saison qui apparait le plus à risque reste l'été, avec 0,54 contacts/heures recensés sur le parc, soit près de 5 fois plus que durant le reste du cycle biologique. Cependant, le nombre de contacts /heure reste très faible, ne s'élevant pas à plus de 1 contact/heure sur tout le suivi. Le site de Saint Congard parait donc plus utilisé pour la chasse en période de reproduction et d'élevage des jeunes que pour les déplacements migratoires.

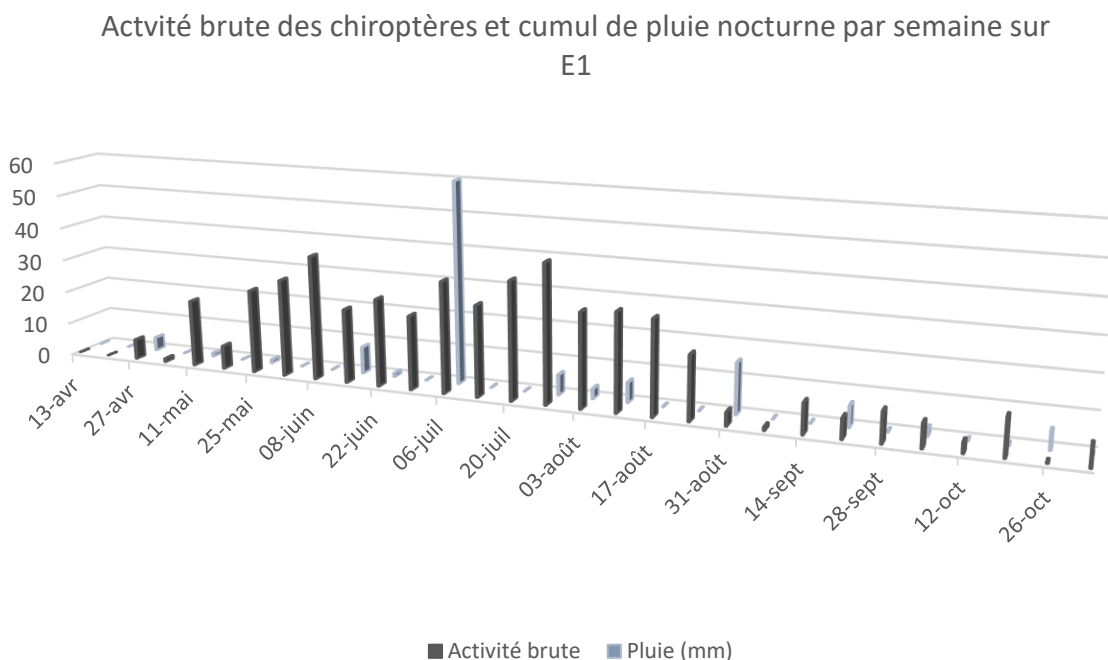
Périodes biologiques	Nombre d'heures de suivi	E1		E2		Moyenne	
		Contacts	Nb de contacts/h	Contacts	Nb de contacts/h	Contacts	Nb de contacts/h
Période de transition	392	59	0,15	64	0,16	123	0,31
Mise-bas Élevage des jeunes	560	329	0,59	302	0,54	631	1,13
Période de transition Accouplements	672	103	0,15	81	0,12	184	0,27
Total	1 624	491	0,89	447	0,82	938	0,58

Tableau 6 : Répartition de l'activité en fonction des saisons sur les éoliennes E2 et E2

Comparée à la pluviométrie mesurée sur site, aucun contact de chiroptère n'a été enregistré alors que le pluviomètre enregistrait une augmentation des niveaux de pluie. Cependant, sur E1, 8 chiroptères ont été contactés durant une nuit pluvieuse et 4 chiroptères sur E2, soit respectivement 1,6 et 0,9% de l'activité enregistrée sur chaque éolienne. Ces contacts sont enregistrés durant des nuits où il peut de manière faible (entre 1 et 3mm par heure), suite à une accalmie, ou juste avant ou après l'épisode pluvieux. Lors des nuits de pluie modérée (entre 4 et 7 mm par heure) ou forte (supérieure à 8mm par heure), aucun contact de chiroptère n'a été enregistré.

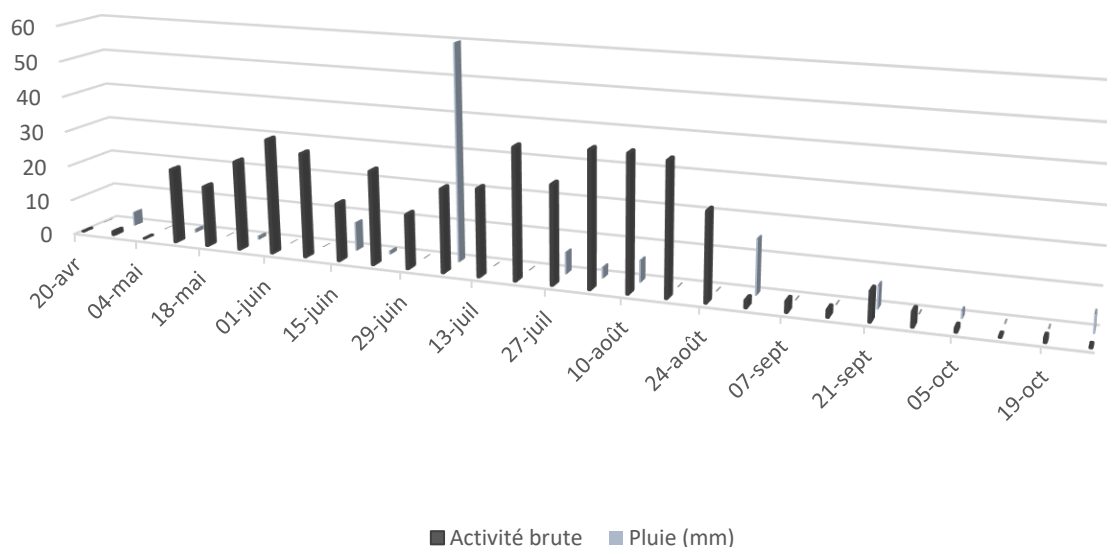


Graphique 2 : Cumul de pluie en fonction de la date (jour et nuit)



Graphique 3 : Activité des chiroptères filmée et enregistrée sur E1 en fonction de la date et de la pluviométrie

Activité brute des chiroptères et cumul de pluie nocturne par semaine sur E2



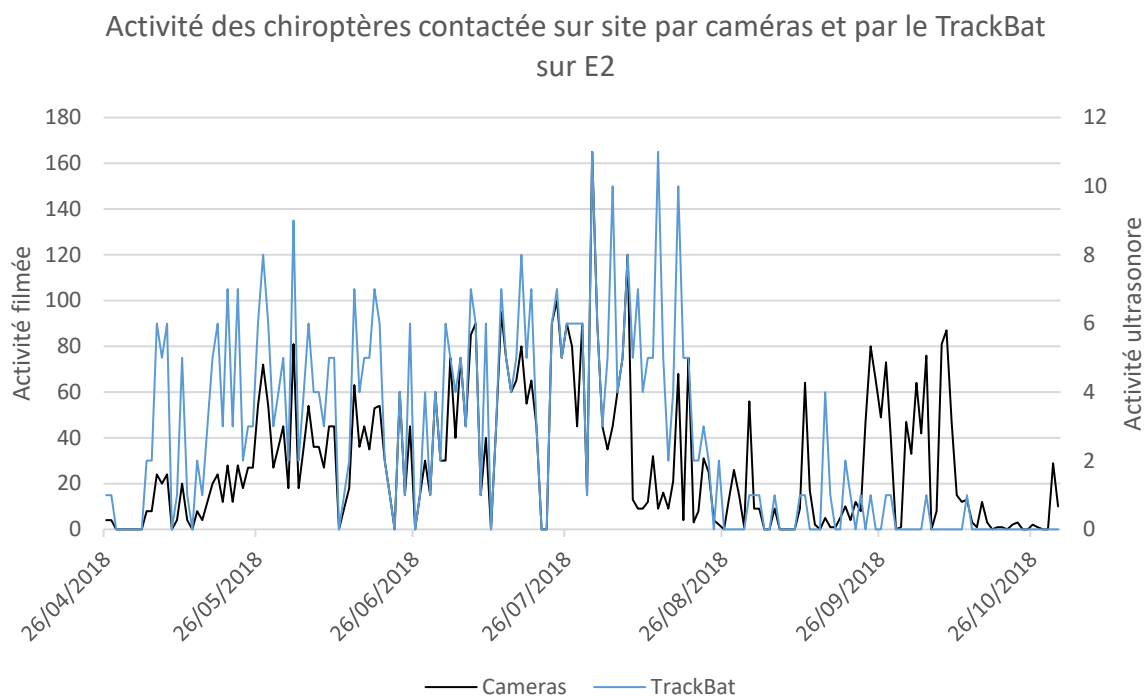
Graphique 4 : Activité des chiroptères filmée et enregistrée sur E2 en fonction de la date et de la pluviométrie

Les caméras ont enregistré 5 526 contacts de chauves-souris du 26 avril au 31 octobre 2018. L'activité enregistrée a lieu du sol jusqu'en bout des pale.

Même si ces chiffres paraissent élevés, on enregistre assez habituellement avec le dispositif TrackBat 5 000 contacts au sol et 500 à hauteur de nacelle.

Les caméras filment les déplacements des individus du pied de mât jusqu'en nacelle :

- Il est donc normal d'avoir plus d'activité filmée que d'activité ultrasonore, puisque les caméras couvrent une zone plus grande, dont la zone de basse altitude dans laquelle il y a couramment 10 fois plus de chiroptères qu'à hauteur de nacelle.
- Il est également normal d'avoir moins de trajectoires filmées que le nombre attendu de contacts ultrasonores habituellement enregistrés au sol, car les vidéos sont analysées en termes d'individus, qui peuvent émettre plusieurs ultrasons au cours de la vidéo.

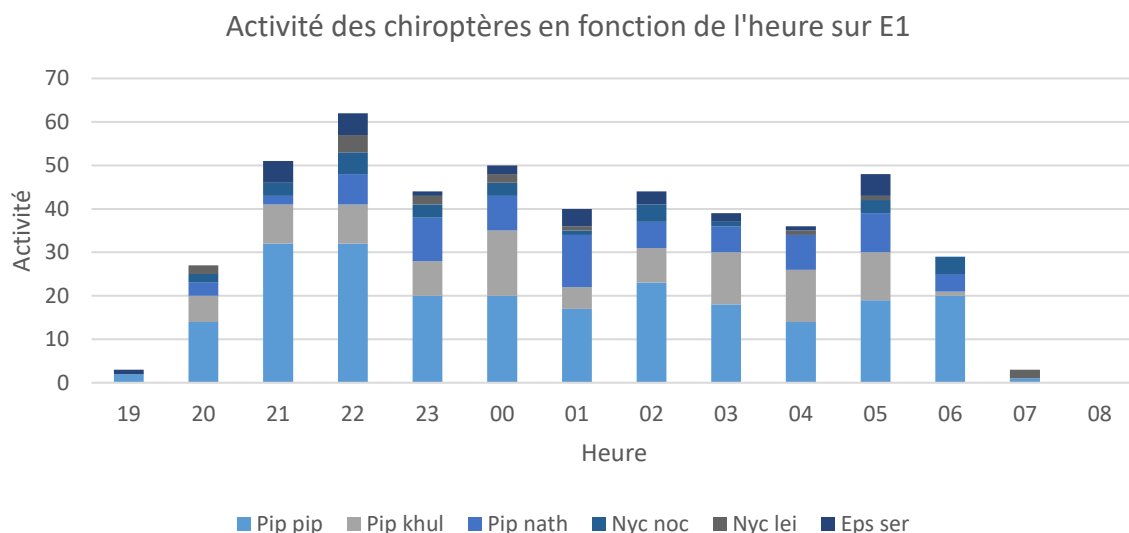


Graphique 5 : Nombre de trajectoires filmées et enregistrées par TrackBat sur l'éolienne E2 en fonction de la date

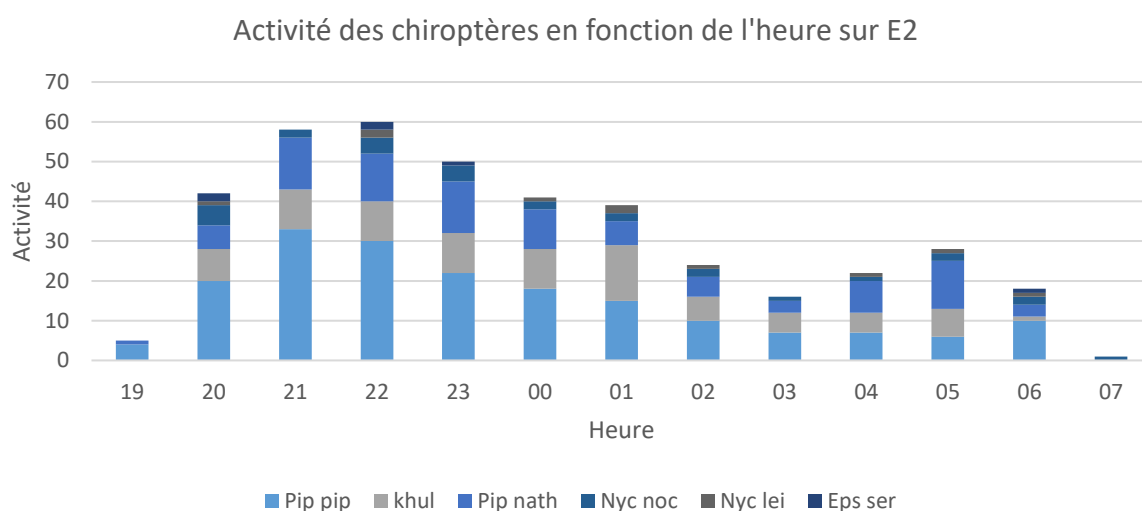
La similitude entre les résultats des caméras et celles des enregistreurs ultrasonores, nous a amenés à concentrer notre analyse sur les enregistrements en altitude pour les autres paramètres météorologiques. En effet, il existe un biais important pour les caméras : elles filment l'activité chiroptérologique du pied de mât jusqu'en nacelle. Apportant beaucoup d'information en termes de comportement et de mortalité, le nombre de contacts sur les vidéos ne résultent pas toujours d'une activité en nacelle ; en utilisant ces données pour modéliser l'activité, nous pourrions biaiser la modélisation de l'activité en nacelle en fonction des paramètres météorologiques récoltés en nacelle. De plus, une description de l'activité espèce par espèce n'est pas possible avec les caméras.

III.1.3. Activité en fonction de l'heure

Les graphiques 6 et 7 présentent l'activité brute des chiroptères en fonction de l'heure. L'ensemble de l'activité se déroule entre 19h00 et 7h20. Plus de 90% de l'activité est concentrée entre 20h et 5h du matin, avec une diminution après 22h00, puis une activité irrégulière mais constante de minuit jusqu'à 4h. Une légère hausse se remarque 1 heure avant le lever du soleil. L'activité est homogène en fonction des heures sur les 2 éoliennes.



Graphique 6 : Activité brute des chiroptères en fonction de l'heure sur E1 du parc de Saint-Congard



Graphique 7 : Activité brute des chiroptères en fonction de l'heure sur E2 du parc de Saint-Congard

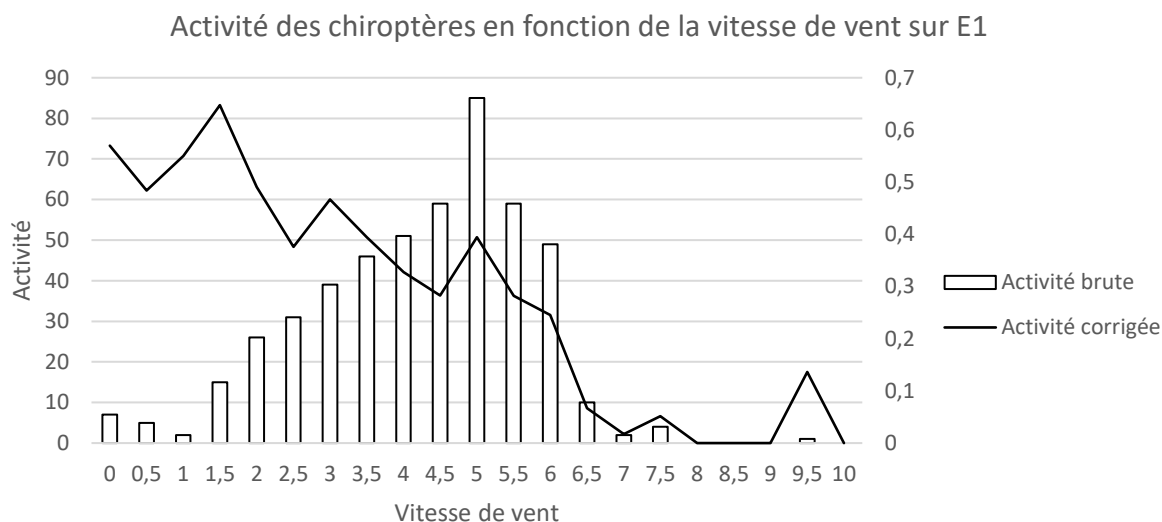
L'espèce qui a la plus grande amplitude horaire d'activité est la Pipistrelle commune (de 19h à 7h), puis la Pipistrelle de Nathusius (de 20h à 6h40), suivi de la Pipistrelle de Kuhl (20h-6h), puis viennent les Noctules communes et de Leisler (de 21h30 à 7h) et les Sérotines communes complètement absentes du site de 01h à 5h00 du matin.

III.1.4. Activité en fonction de la vitesse de vent

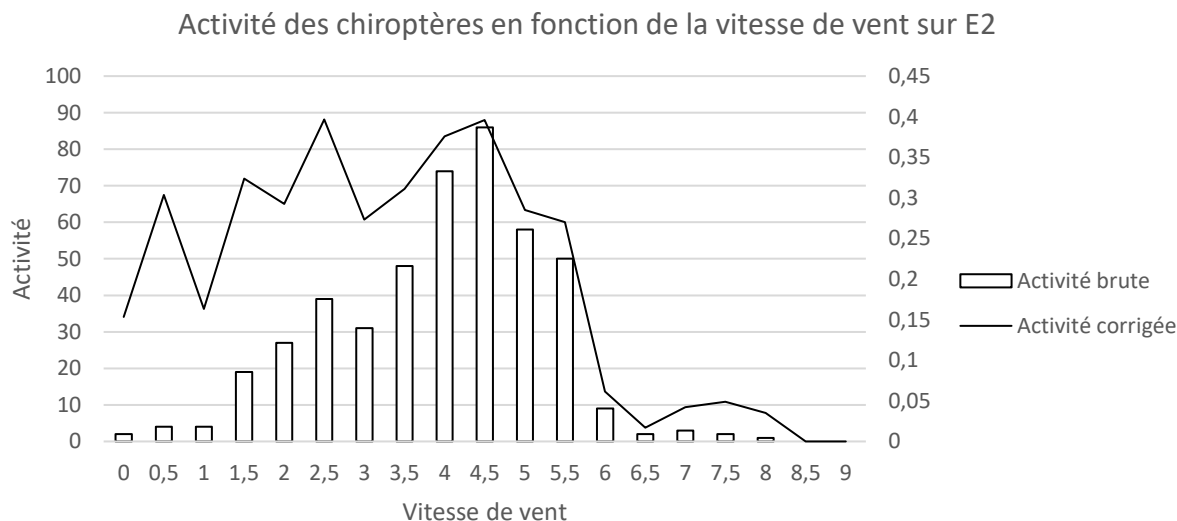
Les graphiques 8 et 9 présentent l'activité corrigée contactée sur site et évalue le ratio de l'activité des animaux en altitude en fonction du nombre d'heures collectées pour chaque vitesse de vent.

Les chiroptères sont actifs sur le site pour des vitesses de vent de 0 à 9,5 m.s⁻¹. Plus de 90% des contacts de chiroptères sont concentrés entre 0 et 6 m.s⁻¹. Au-delà, l'activité tend à diminuer au fur et à mesure que la vitesse de vent augmente pour devenir nulle après 10,5 m.s⁻¹. L'activité chiroptérologique est la

plus importante lors de la vitesse de vent de 4,5 (pour E2) et de 5 m.s⁻¹ (pour E1), mais ramené au nombre de données de vitesse de vent enregistrées, l'activité est bien plus importante pour des vitesses de vent inférieures de 1 à 2,5 m.s⁻¹.



Graphique 8 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent (m.s⁻¹) sur l'éolienne E1 du parc de Saint-Congard



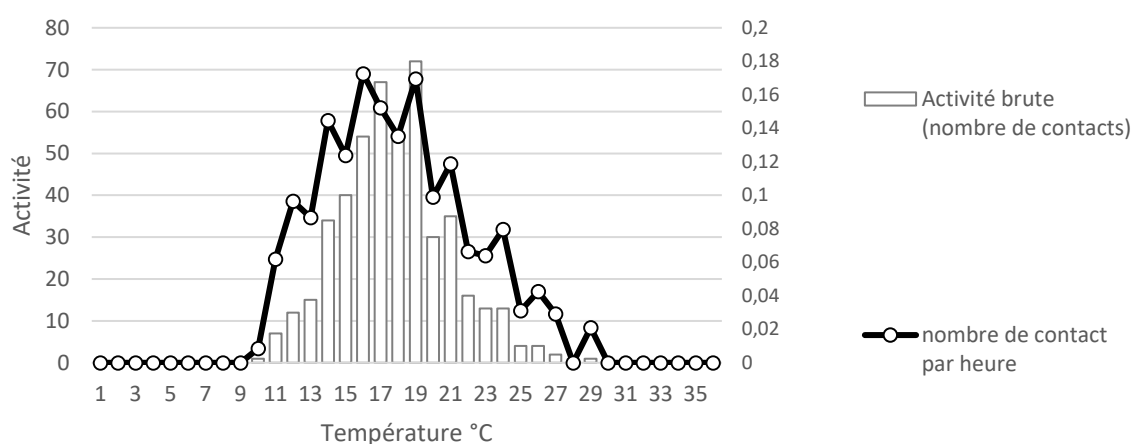
Graphique 9 : Activité des chiroptères en fonction de la vitesse de vent (m.s⁻¹) sur l'éolienne E2 du parc de Saint-Congard

III.1.5. Activité en fonction de la température

Les graphiques 10 et 11 présentent l'activité brute contactée sur site et évalue le ratio de l'activité des animaux en altitude en fonction du nombre d'heures collectées pour chaque température. La totalité

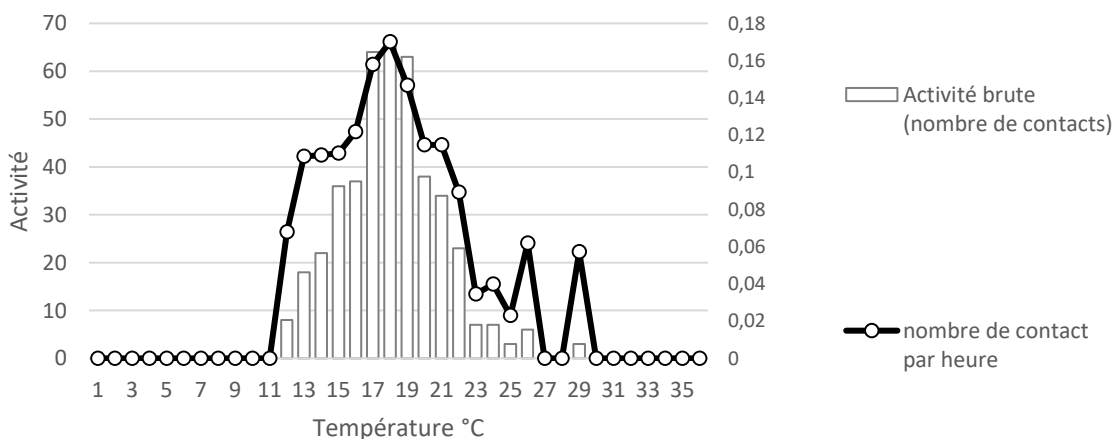
de l'activité des animaux est enregistrée pour des températures comprises entre 8°C et 30°C, ce qui correspond aux valeurs habituellement trouvées. Plus de 90% des contacts sont enregistrés lorsque la température est comprise entre 12 et 30°C. Le plus grand nombre de contacts a été enregistré pour une température de 18 et 19°C à partir de laquelle, l'activité diminue peu à peu. Aucun contact n'a été enregistré pour des températures inférieures à 8°C et supérieures à 30°C : cela ne signifie pas forcément que l'activité est nulle après 30°C, mais qu'aucune valeur supérieure à cette température n'a été enregistrée de nuit sur le site. Lorsque l'activité des différentes espèces de chauves-souris est analysée séparément en fonction de la température, nous pouvons voir que les Pipistrelles communes est l'espèce qui supporte la plus grande amplitude thermique (de 8 à 30°C).

Activité des chauves-souris en fonction de la température (°C) sur E1



Graphique 10 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) sur l'éolienne E1 du parc éolien de Saint-Congard

Activité des chauves-souris en fonction de la température (°C) sur E2



Graphique 11 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) sur l'éolienne E2 du parc éolien de Saint-Congard

III.1.6. Activité en fonction de la température et de la vitesse de vent

Les tableaux 6 et 7 présentent l'activité des chiroptères en fonction de la température et de la vitesse du vent combinées.

Sur E1, l'activité est maximale avec 29 contacts, pour une combinaison de valeurs de température de 16°C et de vitesse de vent de 5 m.s⁻¹. Plus de 90% des contacts sont enregistrés pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s⁻¹ pour des températures supérieures à 12°C.

Temp/Vent	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Total général
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6
11	0	0	0	0	3	7	1	0	0	0	0	0	11
12	0	0	0	1	1	7	3	1	1	0	0	0	14
13	0	0	2	4	4	6	2	0	0	0	0	0	18
14	1	5	3	5	4	11	11	1	2	0	0	0	43
15	0	0	5	4	7	8	17	2	0	0	0	0	43
16	1	1	4	7	16	29	7	1	0	0	0	0	66
17	0	0	5	12	14	16	16	1	0	0	0	0	64
18	0	1	5	6	4	19	19	2	1	0	0	0	57
19	1	0	5	8	17	15	16	2	0	0	1	0	65
20	0	0	3	8	7	13	3	0	0	0	0	0	34
21	0	0	6	4	4	3	7	1	0	0	0	0	25
22	0	0	2	1	3	5	1	0	0	0	0	0	12
23	0	0	0	2	7	6	0	1	0	0	0	0	16
24	0	0	0	1	3	1	2	0	0	0	0	0	7
25	0	0	1	0	1	2	2	0	0	0	0	0	6
26	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	3
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total général	3	7	41	70	97	148	108	12	4	0	1	0	491

Tableau 7 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) sur l'éolienne E1

Temp/Vent	0	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	2	1	1	0	0	5
12	0	0	0	5	5	4	0	0	0	14
13	0	0	1	0	7	5	2	1	0	16
14	0	5	3	8	10	8	0	1	0	35
15	2	3	3	4	10	11	1	0	0	34
16	0	2	5	5	33	4	1	0	0	50
17	0	4	11	22	23	16	1	0	0	77
18	2	4	15	12	18	19	1	1	0	72
19	0	3	7	9	13	11	0	2	0	45
20	0	1	5	6	18	11	0	0	0	41
21	0	0	4	2	5	6	2	0	0	19
22	0	0	3	0	8	6	0	0	0	17
23	0	0	1	0	2	2	1	0	0	6
24	0	0	1	2	1	1	0	0	0	5
25	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
26	0	0	2	2	0	2	0	0	0	6
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	4	22	65	78	156	107	10	5	0	447

Tableau 8 : Activité des chiroptères en fonction de la température (°C) et de la vitesse du vent (m.s⁻¹) sur l'éolienne E2

Sur E2, l'activité maximale se retrouve pour des valeurs plus proches de celles trouvées dans la bibliographie : 33 contacts sont enregistrés pour une température de 16°C, avec 4 m.s⁻¹ de vent. Plus de 90% des contacts sont également enregistrés pour des vitesses de vent de inférieures à 5 m.s⁻¹ pour des températures supérieures à 13°C.

⇒ Synthèse du suivi d'activité chiroptérologique sur le parc éolien de Saint-Congard

Sur le parc éolien de Saint-Congard, 90% de l'activité des chauves-souris a lieu :

- Entre le 26 avril et le 20 septembre 2018,
- Entre 20h et 5h,
- Pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s⁻¹,
- Pour des températures comprises entre 12 et 30°C.

L'activité est faible, avec en moyenne 0,31 contact/heure. Près de la moitié des contacts enregistrés sont des Pipistrelles communes, puis 20% des contacts appartiennent à la Pipistrelle de Kuhl, 18% à la Pipistrelle de Nathusius. Ensuite, la Noctule commune enregistre 6% de la totalité des contacts. Pour finir, la Sérotine commune et la Noctule de Leisler représentent entre 3 et 4% des contacts.

III.2. Suivi de la mortalité automatisée des chiroptères

Sur les 5 526 contacts filmés sur l'éolienne E2, 5 d'entre eux présentent une interaction avec les pales, soit 0,001% des trajectoires filmées.

Les interactions ont eu lieu :

- 1) Le 02/06/2018 à 23h21, pour une vitesse de vent de 4,3 m.s⁻¹ et une température de 19,4°C,
- 2) Le 07/07/2018 à 00h55, pour une vitesse de vent de 5 m.s⁻¹ et une température de 18,5°C,
- 3) Le 04/08/2018 à 00h17, pour une vitesse de vent de 5,8 m.s⁻¹ et une température de 21,8°C,
- 4) Le 17/08/2018 à 00h05, pour une vitesse de vent de 6,4 m.s⁻¹ et une température de 15°C,
- 5) Le 23/08/2018 à 23h43, pour une vitesse de vent de 4,3 m.s⁻¹ et une température de 16,7°C.

Il apparaît que les interactions ont eu lieu pour des vitesses de vent assez élevées pour une activité de chiroptères (4 jusqu'à 6 m.s⁻¹) et une température comprise entre 15 et 22°C. Les passages pour le suivi de mortalité au sol en parallèle n'ont pas permis la découverte de ces cadavres car les dates de recherche ne correspondaient pas (passages de mi-mai à fin mai, puis du 19 juin à fin juin, puis du 17 au 19 juillet).

En recroisant avec les contacts enregistrés par le TrakBat en nacelle, il est fort probable que les individus impactés soit :

- 1) Une Pipistrelle de Kuhl ou une Pipistrelle de Nathusius, car un contact de ces 2 espèces a été enregistré à moins de 5 minutes de l'heure de l'image de l'interaction,
- 2) Une Pipistrelle commune, car un contact de cette espèce a été enregistré à 00h53,
- 3) Une Pipistrelle de Kuhl, car un contact de cette espèce a été enregistré à 00h16,
- 4) Une Pipistrelle de Nathusius, car un contact de cette espèce a été enregistré à 00h01,
- 5) Une Pipistrelle commune, car un contact de cette espèce a été enregistré à 23h41.

III.3. Sensibilités des chiroptères aux éoliennes

III.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 (Osborn et al., 1996 ; Puzen, 2002 ; Johnson et al, 2003).

En Europe, des études ont vu le jour sur le sujet à la suite des protocoles de suivi sur la mortalité des oiseaux qui ont révélé des cas de collisions avec les chauves-souris. Ces études se sont déroulées principalement en Allemagne (travaux de Bach *et al.*, 1999 ; Bach, 2001 ; Rhamel *et al.*, 1999 ; Dürr 2002, 2004, 2007 ; Brinkmann 2006) et en Espagne (Lekuona 2001 ; Benzal & Moreno, 2001 et Alcade, 2003). L'étude de cette problématique a été plus tardive en France (Dulac 2008, Lagrange *et al.*, 2009, Albouy 2009, Cornut et Vincent 2010, Allouche 2010, Beucher *et al.*, 2011, Lagrange *et al.* 2011, Rico *et al.*, 2012).

Depuis ces suivis de mortalités 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. (http://www.eurobats.org/sites/default/files/documents/pdf/Standing_Committee/Doc_StC9_AC19_12_ReportIWG_WindTurbines%20incl_Annexes.pdf).

La compilation chiffrée des données disponibles est régulièrement mise à jour, au niveau européen par T. Dürr (<http://www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb2.c.451792.de>). Apparemment les éoliennes induiraient une mortalité plus importante sur les chiroptères que sur les oiseaux (Dürr, 2007). Ainsi, en Allemagne les compilations de données réalisées en 2011 par Tobias Dürr décrivaient 1414 cas de mortalité de chiroptères et 1251 pour les oiseaux. De la même manière, aux Etats Unis, la mortalité annuelle évaluée sous les éoliennes serait de 888 000 chauves-souris pour 573 000 oiseaux (Smallwood K.S., 2013). Cependant, la dernière actualisation des données de mortalité en Europe réalisée par T. Dürr le 1^{er} août 2017, montre une mortalité plus importante d'oiseaux (13985 cadavres) que de chauves-souris (7883 cadavres). Cette différence par rapport à 2011 peut être due au fait que le repérage des cadavres d'oiseaux est beaucoup plus facile que celui des chauves-souris. L'intérêt croissant concernant cette problématique les 15 dernières années, avec une meilleure prise en compte dans les études d'impact et les suivis environnementaux, induit un effort de recherche active plus conséquent et nous fait constater qu'il s'agit d'un réel enjeu à prendre en compte.

La sensibilité particulière des chiroptères à l'éolien pourrait être due à plusieurs phénomènes :

- Une possible attraction des chauves-souris par les éoliennes. Les chauves-souris pourraient être attirées par les insectes concentrés autour des parties chaudes des éoliennes, rechercher des gîtes dans les éoliennes (Kunz et al., 2007), ou simplement explorer les éoliennes par curiosité (Cryan & Barclay, 2009). Ces animaux pourraient également être attirés par les émissions sonores des machines, même s'ils approchent aussi bien les machines à l'arrêt que celles en fonctionnement (Horn *et al.* 2004).
- 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 ultra-sons 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 décrit par Baerwald et al. (2008), Seiche (2008), puis par Baerwald et 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.

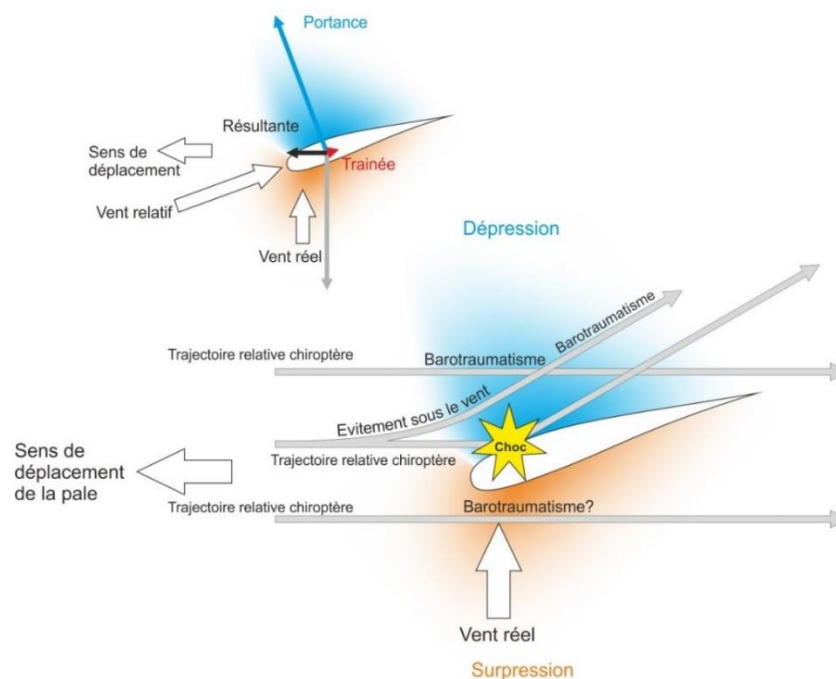


Figure 16 : Description du phénomène de barotraumatisme

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, 2017), les espèces migratrices (Jameson *et al.*, 2014), ou même en fonction du sexe, avec une possible attirance des femelles de Noctule commune (Roekerle, 2018) ;

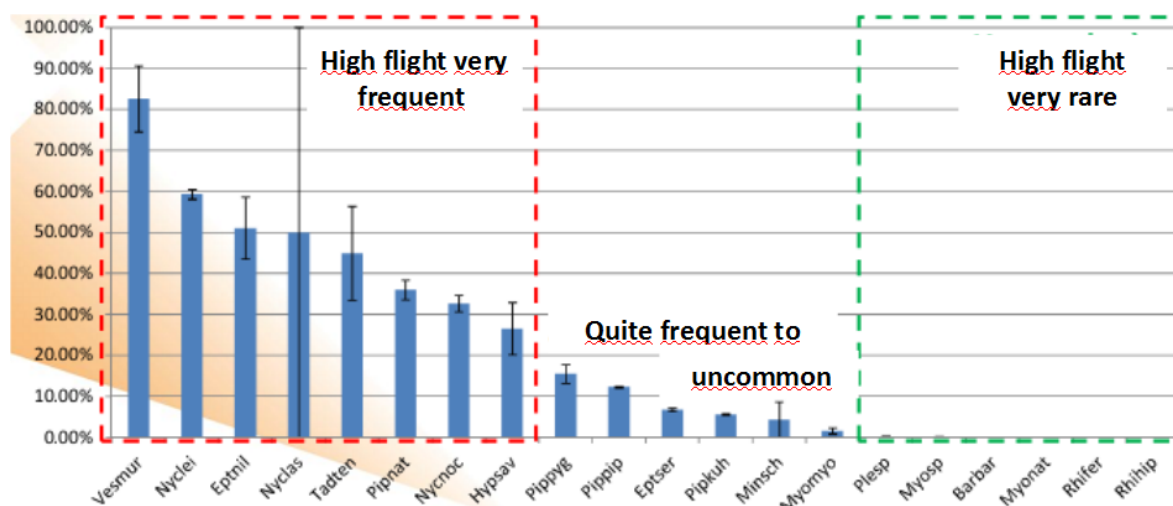


Figure 17 : Pourcentage du nombre de contacts au-dessus de 25 m de haut, enregistrés sur 10 sites en France, en fonction des espèces contactées

- du milieu d'implantation des éoliennes avec des mortalités plus importantes en milieu forestier, sur des crêtes ou des zones littorales, moins importantes en milieu agricoles diversifiées et minimales sur des plaines agricoles (Rydell *et al.*, 2011 ; Johnson, 2008) ;
- 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 (Marx, 2018 ; Heitz & Jung, 2017) ;
- de l'heure, avec une période d'activité maximale en début de nuit (Haquart *et al.* 2012) ;
- des conditions climatiques, avec une sensibilité maximale les nuits sans précipitations, faible vent souvent au-dessous de 6,5 m/s (Behr *et al.* 2007) et avec hautes températures (Joiris, 2012) ;
- des caractéristiques des éoliennes (hauteur du mât, diamètre du rotor, longueur des pâles, vitesse de rotation), avec une sensibilité maximale pour les éoliennes de moins de 30 m de garde au sol et un grand diamètre de rotor qui implique une plus grande surface balayée (Heitz & Jung, 2017).

III.3.2. Sensibilités des espèces contactées en altitude

Toutes les espèces de chauves-souris présentes en France sont intégralement protégées par l'Arrêté Ministériel du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères protégés sur l'ensemble du territoire. 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.

Nom Français	Nom latin	Bern	Bonn	DHFF	UICN	LRF	LRRB	Espèce PNA	Sensibilité à l'éolien
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	III	II	IV	LC	NT	LC	X	3
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	II	II	IV	LC	LC	LC		2,5
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	II	II	IV	LC	NT	NT	X	3,5
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	II	II	IV	LC	NT	LC	X	2,5
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	II	II	IV	LC	VU	NT	X	3,5
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	II	II	IV	LC	NT	NT	X	3

Tableau 9 : Tableau de synthèse des statuts de protection et de conservation et de sensibilités à l'éolien des espèces contactées

Bern-Bonn = Convention de Bern/ Bonn

LRFr = Liste rouge Française (2017)

UICN = Liste rouge mondiale (2017)

LR RB = Liste rouge régionale & Responsabilité biologique régionale Mammifères de Bretagne (2015)

CR = En danger critique

LC = Préoccupation mineure

EN = En danger

DD = Données insuffisantes

VU = Vulnérable

NA = Non applicable

NT = Quasi menacée

NE = Non évalué

Sensibilités à l'éolien = Méthodologie pour le diagnostic chiroptérologique des projets éoliens, SFEPM

Le tableau 9 présente l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi annuel en fonction de leur caractère patrimonial (statuts de protection et de conservation) et résume les sensibilités vis-à-vis de l'éolien pour chacune des espèces contactées sur le site.

La Noctule commune apparaît comme l'espèce qui a l'enjeu le plus important sur ce site (vulnérable sur la liste rouge française), puis viennent la Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Nathusius qui sont considérées comme quasi-menacées en France et en région Bretagne.

L'ensemble des six espèces présentes sur le site, Noctule commune, de Leisler, Pipistrelle commune, de Nathusius et de Kuhl, Sérotine commune sont sensibles aux éoliennes, mais la Pipistrelle de Nathusius et la Noctule commune présentent les sensibilités les plus importantes. La Noctule de Leisler et commune figurent parmi les espèces les plus impactées en Europe, totalisant 30% des cas de mortalité.

III.3.3. Zoom sur les espèces présentes

a) *Pipistrelle commune* (*Pipistrellus pipistrellus*)



Espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II)

Classé comme « Quasi-menacée » (Liste rouge UICN, France métropolitaine)

Figure 18 : *Pipistrelle commune*

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 30m 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, 2009), très rarement à plus de 5 km (Arthur et 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 20km 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 Y., com. pers.).

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

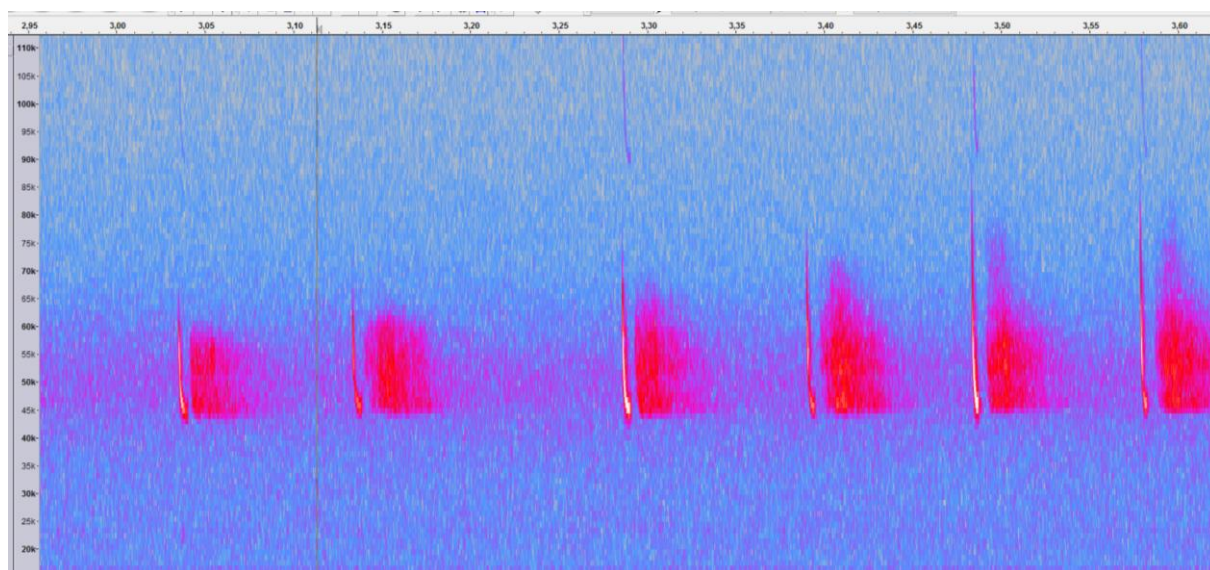


Figure 19 : Sonogramme de cris émis par une *Pipistrelle commune*

Dans le cadre de notre étude, l'activité de la Pipistrelle commune s'est traduite par un total de 242 contacts sur E1 et 194 sur E2, soit 46% des contacts totaux. L'ensemble des contacts a été enregistré pour :

- Pour des vents inférieurs à 6.5 m.s^{-1} , et le nombre maximal de contacts ($n=93$) pour des vents de 5 m.s^{-1} ,
- Pour des températures se situant entre 9 et 29°C , et le nombre maximal de contacts ($n=67$) pour des températures de 18°C ,
- entre le 26/04 et le 25/10, et le nombre maximal de contacts ($n=38$) a été enregistré le 12/07,
- entre 19h et 7h, et le nombre maximal de contacts ($n=65$) a été enregistré à 21h.

Espèce 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 (MJ Dubourg-Savage, 2004). Concernant la mortalité, 1653 cas ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle commune. La France avec 471 cadavres est placée comme le deuxième pays après l'Allemagne (658 cadavres) à avoir signalé les cas de mortalité les plus élevés pour la Pipistrelle commune. De plus, il faut rajouter à ces chiffres les 392 cas de mortalité où la détermination n'a pu être faite entre la Pipistrelle commune et la Pipistrelle pygmée, mais aussi les 879 cas de mortalité de Pipistrelle sp, où l'indentification jusqu'à l'espèce n'a pas pu être possible. C'est l'espèce dont les cas de mortalités relevés par Dürr (2017) sont les plus nombreux en Europe. 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.

Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii)



Espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II)

Classé comme « Préoccupation mineur » (Liste rouge UICN, France métropolitaine)

Figure 20 : Pipistrelle de Kuhl

La Pipistrelle de Kuhl est une petite chauve-souris au pelage dorsale variable brun à caramel et au ventre beige à gris. Les membranes alaires et le ventre sont brun sombre. Un large liseré blanc sur le bord libre des ailes caractérise la Pipistrelle de Kuhl. Ces petites oreilles sont triangulaires avec un tragus arrondi, incurvé vers l'intérieur et long. Il est possible de la confondre avec les autres espèces de Pipistrelle.

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 le 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, les 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.

Dans le cadre de notre étude, l'activité de la Pipistrelle de Kuhl s'est traduite par un total de 96 contacts sur E1 et 86 sur E2, soit 20% des contacts totaux. L'ensemble des contacts a été enregistré pour :

- Pour des vents inférieurs à $6,5 \text{ m.s}^{-1}$, et le nombre maximal de contacts ($n=27$) pour des vents de 5 m.s^{-1} ,
- Pour des températures se situant entre 9 et 27°C , et le nombre maximal de contacts ($n=26$) pour des températures de 16°C ,
- entre le 26/04 et le 31/10, et le nombre maximal de contacts ($n=18$) le 31/05,
- entre 20h00 et 6h00, avec un pic ($n=37$) à 21h.

L'espèce est abondante et même en expansion depuis quelques années. Elle jouit d'une grande aire de répartition. C'est une espèce répandue dans la région. Son état de conservation est jugé comme « favorable » dans les régions atlantiques et continentales de France mais « Défavorable inadéquat » en région alpine et méditerranéenne.

Du fait de 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, 2009). Les suivis de mortalité réalisés sur les éoliennes montrent que la Pipistrelle de Kuhl est la 8ème espèce la plus impactée, soit par collision, soit par barotraumatisme, avec 273 cadavres recensés en Europe, dont 120 en France (Dürr, 2017). Ceci s'explique par son affinité pour les milieux ouverts, sa tendance à suivre les structures verticales et par sa curiosité (LPO Rhône-Alpes). Comme les autres pipistrelles, elle est sensible aux éoliennes situées à proximité de lisières.

Pipistrelle de Nathusius (Pipistrellus nathusii)



Espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II)

Classé comme « Quasi menacé » (Liste rouge UICN, France métropolitaine)

Figure 21 : *Pipistrelle de Nathusius*

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'hivernation 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 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.

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...) 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 à 20m 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.

Ces émissions sonores sont comprises entre 34 et 42 kHz, d'une durée de 4 à 11 ms.

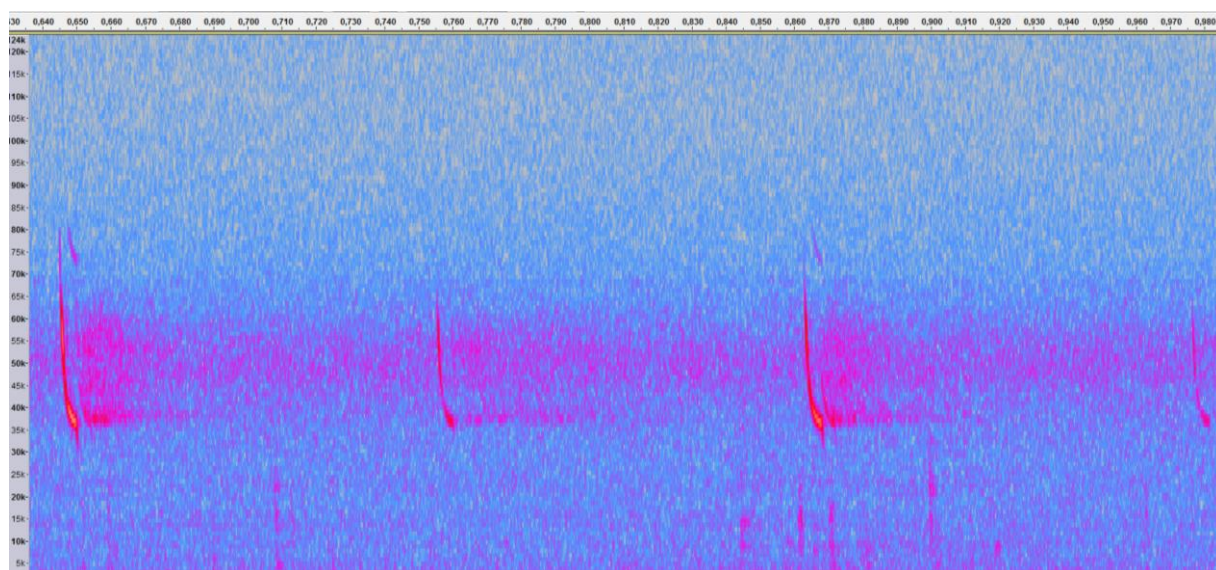
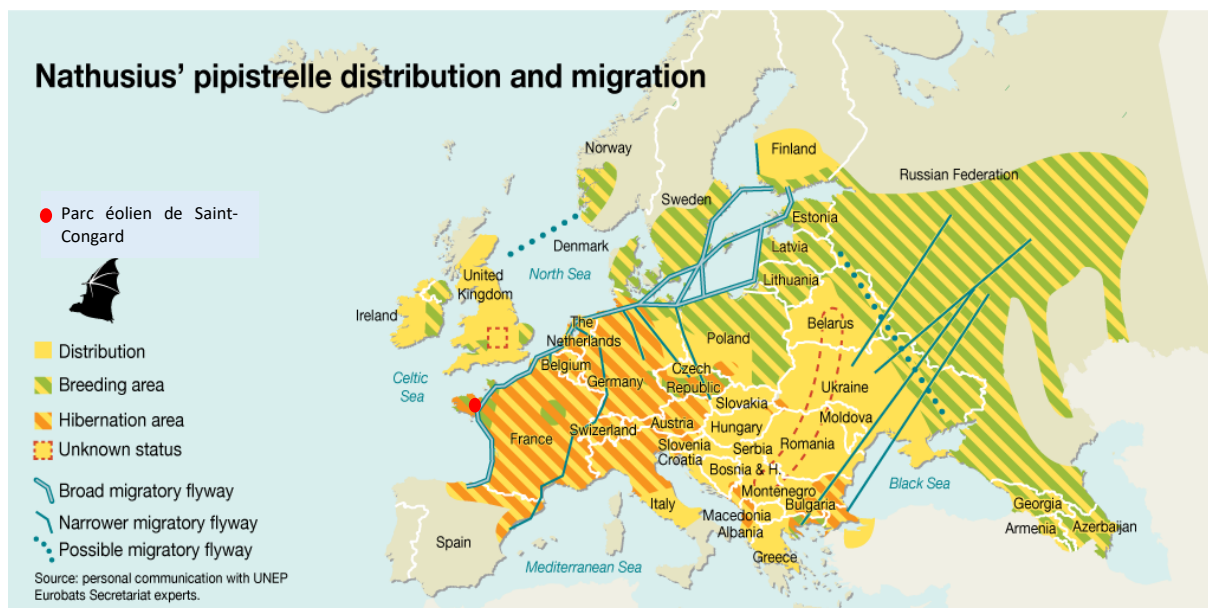


Figure 22 : Sonogramme des cris de Pipistrelle de Nathusius/Kuhl

La Bretagne constitue une halte pour cette migratrice au long cours, attestée par plusieurs observations d'individus bagués dans l'Est de l'Europe. Cette région est une étape sur la route migratoire plus méridionale, en raison de sa propension à longer les côtes lors de ses migrations, mais il est également probable de par sa position excentrée, que cette région constitue la destination hivernale de nombre d'entre elles. L'individu letton capturé à Séné en 1990 représente un trajet minimal de 1880 km, et avoisine le record de distance enregistré pour cette espèce (1905 km dans le Sud-Ouest de la France).



Carte 5 : Carte de répartition et de migration de la pipistrelle de Nathusius

Dans le cadre de notre étude, l'activité de la Pipistrelle de Nathusius s'est traduite par un total de 75 contacts sur E1 et 76 sur E2, soit 18% des contacts totaux. L'ensemble des contacts a été enregistré pour :

- Pour des vents inférieurs à $6,5 \text{ m.s}^{-1}$, et le nombre maximal de contacts ($n=26$) pour des vents de $4,5 \text{ m.s}^{-1}$,
- Pour des températures se situant entre 8 et 29°C , et le nombre maximal de contacts ($n=8$) pour des températures de 16°C ,
- entre le 26/04 et le 25/10, et le nombre maximal de contacts ($n=18$) le 09/08,
- entre 19h et 6h, avec un pic ($n=23$) à 23h.

En ce qui concerne la mortalité relevée sous les parcs éoliens (Dürr 2017), 1258 cas de mortalité ont été attribués de manière certaine à la Pipistrelle de Nathusius en Europe, dont 145 renseignés en France, ce qui en fait la 3ème espèce de chiroptère la plus touchée par ce type d'impact. Elle apparaît comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes, soit par collision directe avec la destruction d'individus soit à cause du barotraumatisme causé par les machines. 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. Il en va de même pour les éoliennes situées au niveau des voies de migrations de cette espèce. En ce qui concerne le risque de destruction de gîte, cette espèce reste sensible dans le cadre de projets éoliens en forêt. La perte d'habitat sera surtout liée à l'assèchement de zones humides ou à la coupe d'arbres (en forêt ou de linéaire).

Sérotine commune (*Eptesicus serotinus*)



Espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II)

Classé comme « Préoccupation mineure » (Liste rouge UICN, France métropolitaine)

Figure 23 : Sérotine commune

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...). 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 coupes feu. Son territoire de chasse est souvent situé à moins de 5km 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... 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 Y., com. pers.). 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 15km². 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 durant 1 à 2 heures et demi. Elle chasse en petite escadrille ou en solitaire (Arthur et Lemaire, 2009).

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

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

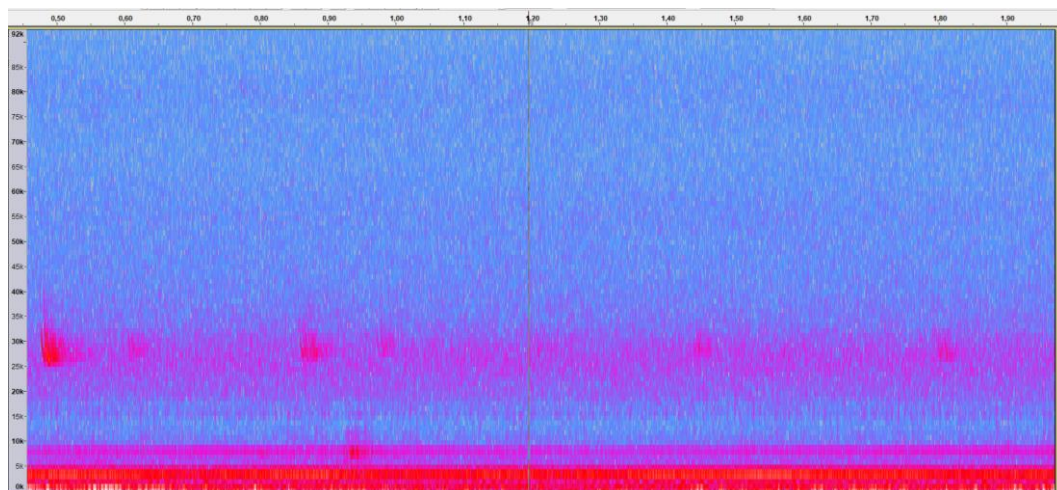


Figure 24 : Sonogramme de cris émis par une Sérotine commune

Dans le cadre de notre étude, l'activité de la Sérotine commune s'est traduite par un total de 29 contacts sur E1 et 6 sur E2, soit 4% des contacts totaux. L'ensemble des contacts a été enregistré pour :

- Pour des vents inférieurs à $9,5 \text{ m.s}^{-1}$, et le nombre maximal de contacts ($n=7$) pour des vents de 5 m.s^{-1} ,
- Pour des températures se situant entre 10 et 27°C , et le nombre maximal de contacts ($n=8$) pour une température de 16°C ,
- entre le 26/04 et le 31/10, et le nombre maximal de contacts ($n=4$) le 28/06,
- entre 20h50 et 6h20, avec un pic à 22h.

La Sérotine commune est la 5ème espèce la plus impactée par l'éolien : 95 cas ont été attribués de manière certaine à la Sérotine commune, et 27 cas où la détermination n'a pu discriminer la Sérotine commune et la Sérotine isabelle (Dürr, 2017). Les éoliennes situées à proximité de lisières semblent être les plus à risque. 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.

Noctule commune (Nyctalus noctula)



Espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II)

Classé comme « Quasi menacé » (Liste rouge UICN, France métropolitaine)

Figure 25 : Noctule commune

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 différents (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 100m). Ses territoires de chasse sont vastes (jusqu'à 50ha) et sont éloignés du gîte d'environ 10km en moyenne (Dietz, 2009). Elle chasse le plus souvent en groupe, et consomme ses proies en vol. Exclusivement insectivore, et opportuniste son régime alimentaire va des micro-Diptères aux Coléoptères (Arthur et Lemaire, 2009). Elle hiberne de novembre à mars, souvent en groupe mixte, en forêt (larges cavités, loges de pics, ...) comme en ville (corniches de pont, immeuble, ...). 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. Comparée à toutes les autres espèces, la Noctule commune montre une très courte espérance de vie estimée à 2,2 ans (Arthur et Lemaire, 2009). Actuellement, le record de longévité connu n'est que de douze ans.

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

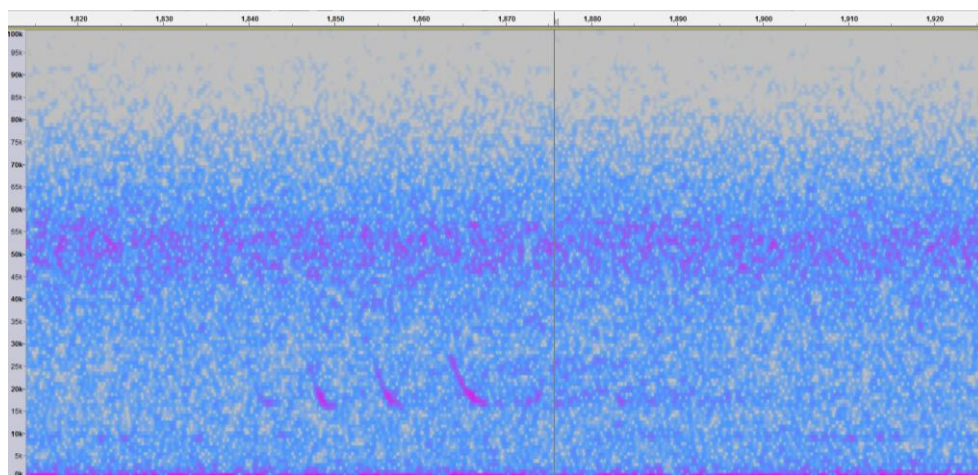


Figure 26 : Sonogramme de cris émis par une Noctule commune

Dans le cadre de notre étude, l'activité de la Noctule commune s'est traduite par un total de 29 contacts sur E1 et 28 sur E2, soit 6% des contacts totaux. L'ensemble des contacts a été enregistré pour :

- Pour des vents inférieurs à 6 m.s^{-1} , et le nombre maximal de contacts ($n=12$) pour des vents de 5 m.s^{-1} ,
- Pour des températures se situant entre 11 et 27°C , et le nombre maximal de contacts ($n=15$) pour une température de 18°C ,
- Entre le 26/04 et le 11/10, et le nombre maximal de contacts ($n=9$) le 13 septembre,
- entre 20h10 et 7h, avec un pic ($n=9$) à 22h.

Avec 1324 cas de mortalité signalés en Europe (Dürr, 2017), dont la plupart en Allemagne (1130) et en France (82), la Noctule commune est la 2ème espèce la plus impactée après la Pipistrelle commune. Ceci peut s'expliquer par sa technique de chasse en hauteur, ses grands déplacements à des altitudes à risque et son caractère migrateur. En ce qui concerne la destruction de gîtes, cette espèce reste sensible aussi dans le cadre de projets éoliens forestiers. La perte d'habitat sera surtout liée à l'assèchement de zones humides ou à la coupe d'arbres (en forêt ou de linéaire) et concernera plutôt la diminution des ressources alimentaires. Cette espèce est également sensible dans le cadre de projets éoliens forestiers à cause du risque de destruction de gîte.

Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*)



Espèce d'intérêt communautaire (Directive Habitats, Annexe IV ; Convention Bonn, Annexe II et EUROBATS Annexe I ; Convention de Berne, Annexe II)

Classé comme « Quasi menacé » (Liste rouge UICN, France métropolitaine)

Figure 27 : Noctule de Leisler

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 100m, notamment au-dessus de la canopée. Ses proies sont de petite et de moyenne taille : Diptères, Lépidoptères, Coléoptères, Hémérobiiidés, Chrysopidés et aussi Ephéméroptères, Trichoptères ou Chironomes (Arthur et Lemaire, 2009). Durant la migration et les phases de transit, il est probable que les hauteurs de vols soient assez élevées (de l'ordre de 100m). 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 1567 km entre le Nord de l'Allemagne et l'Espagne). Son espérance de vie moyenne est estimée à 2,7 ans, la plus vieille connue a atteint l'âge de onze ans.

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

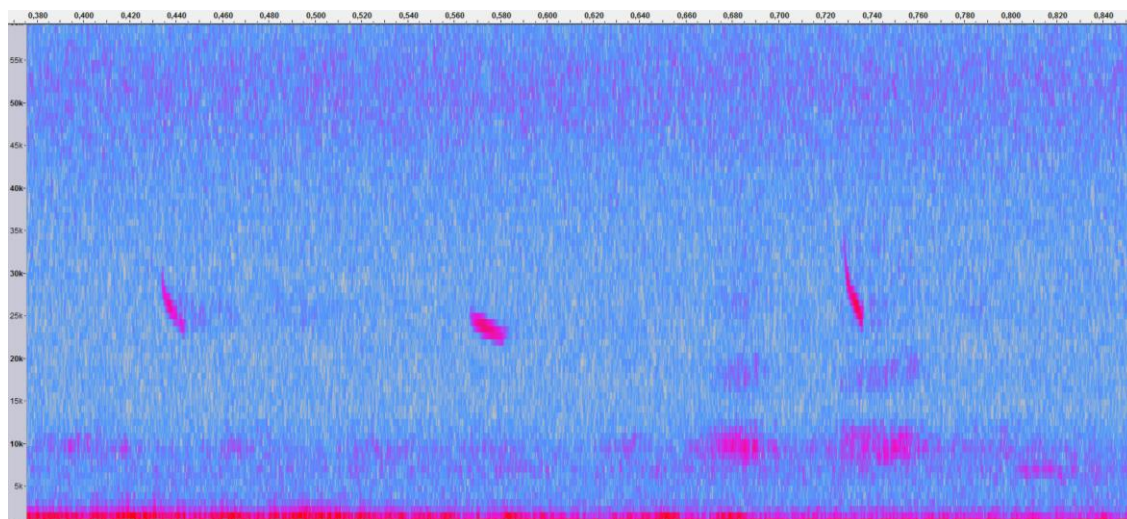


Figure 28 : Sonogramme de cris émis par une Noctule de Leisler

Dans le cadre de notre étude, l'activité de la Noctule de Leisler s'est traduite par un total de 15 contacts sur E1 et 10 sur E2, soit 3% des contacts totaux. L'ensemble des contacts a été enregistré pour :

- Pour des vents inférieurs à $7,5 \text{ m.s}^{-1}$, et le nombre maximal de contacts ($n=6$) pour des vents de 5.5 m.s^{-1} ,
- Pour des températures se situant entre 11 et 24°C , et le nombre maximal de contacts ($n=7$) pour une température de 18°C ,
- entre le 26/04 et le 11/10, et le nombre maximal de contacts ($n=8$) du 13 au 20 septembre,
- entre 20h et 7h00, avec u pic ($n=6$) à 22h.

La Noctule de Leisler, a été découverte seulement au cours du printemps 2000 dans les Côtes d'Armor. Sa présence a depuis été mise en évidence dans le golfe du Morbihan, le long de la Rance dans les Côtes d'Armor et dans plusieurs massifs domaniaux du nord de l'Ille-et-Vilaine, seuls secteurs ayant permis de confirmer la reproduction locale de l'espèce. Des recherches plus ciblées menées sur un massif forestier ont permis de mettre en lumière la relative abondance de l'espèce à l'échelle de ce massif (plusieurs dizaines d'individus) et de constater que des mâles fréquentent ce secteur et sont retrouvés au moins en partie sur les même territoires que les femelles, à l'inverse de ce qui a été décrit en Europe centrale (Bretagne vivante, 2019).

Quatrième espèce la plus touchée par l'impact dû aux éoliennes en Europe (Dürr 2017) avec 545 cas attribués de manière certaine à cette espèce, elle apparait comme très sensible au risque de mortalité lié aux éoliennes, notamment dû à sa technique de chasse en hauteur et ses grands déplacements à des altitudes à risque, combinés avec son aptitude au survol des zones ouvertes. Cette espèce est également sensible dans le cadre de projets éoliens forestiers à cause du risque de destruction de gîte. La perte d'habitat de la Noctule de Leisler est liée à la raréfaction des ressources alimentaires suite à l'assèchement des zones humides ou à la coupe d'arbres.

IV. Modélisations de bridage pour les chiroptères

Dans cette partie, différentes modélisations de bridages sont appliquées sur les données météorologiques et d'activité des chiroptères enregistrées sur le site de Saint Congard en 2018 :

- Modélisation suivant un bridage du 1^{er} avril au 31 octobre, toute la nuit, pour des températures supérieures à 10°C et pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s^{-1} ;

- Modélisation selon un algorithme multifactoriel modélisant l'activité théorique des chiroptères,
- Modélisation selon ProBat.

La préservation des chiroptères et les pertes de productible associées à chacun de ces bridages sont détaillées.

Les pertes de productible sont calculées à partir de la production réelle transmise par l'exploitant toutes les 10 minutes. La production est ramenée à 0 pour chaque arrêt de 10 minutes pour les chiroptères.

IV.1. Modélisation d'un bridage sur seuils

Afin d'augmenter la préservation des chauves-souris, le bridage sur les seuils suivants a été modélisé :

- du 1^{er} avril au 31 octobre,
- toute la nuit,
- pour des températures supérieures à 10°C,
- pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s⁻¹.

Le bridage signifie que lorsque les 4 conditions « date », « heure », « température » et « vitesse de vent » sont réunies, alors les éoliennes sont stoppées.

Les plages théoriques d'arrêt peuvent être visualisées sur les figures suivantes (Figure 29 et 30). La mise en place de cette régulation génèrerait :

- sur E1 : 416 arrêts pour un temps d'arrêt total de 1440 heures et 30 minutes. Au total, 23 passages de chauve-souris auraient eu lieu alors que les éoliennes auraient été en fonctionnement, soit 95% de contacts préservés. La perte de productible qui aurait été générée est évaluée à 7,8% de la production annuelle ;
- sur E2 : 390 arrêts pour un temps d'arrêt total de 1420 heures et 30 minutes. Au total, 25 passages de chauve-souris auraient eu lieu alors que les éoliennes auraient été en fonctionnement, soit 94,3% de contacts préservés. La perte de productible qui aurait été générée est évaluée à 11,1% de la production annuelle.

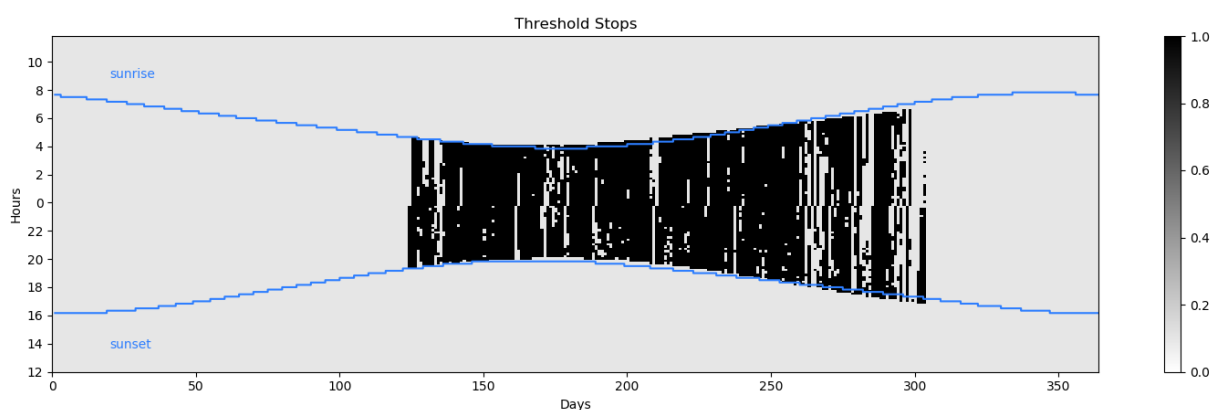


Figure 29 : Modélisation des arrêts sur E1 en fonction d'un bridage sur seuils

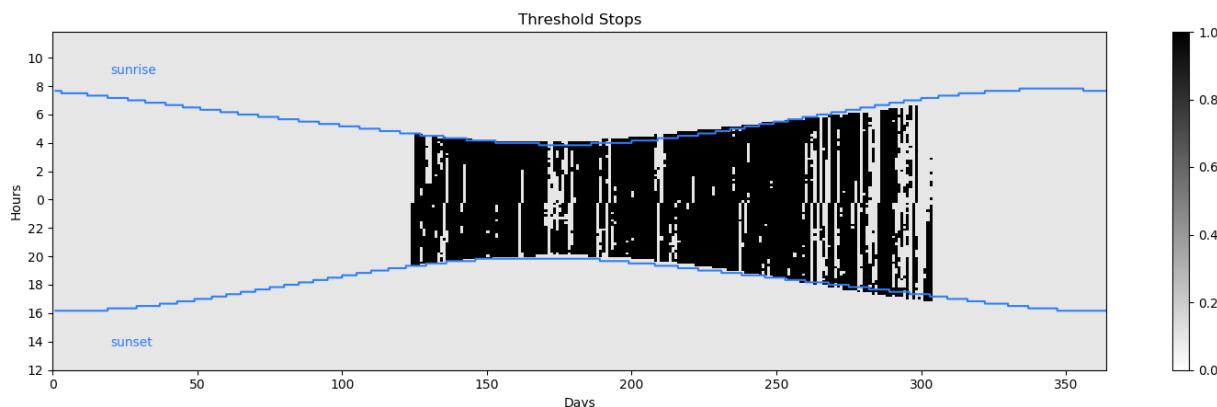


Figure 30 : Modélisation des arrêts sur E2 en fonction d'un bridage sur seuils

En ajoutant le paramètre « pluie » au bridage sur seuils (n'induisant pas d'arrêt en cas de pluie, même faible) :

- Sur E1, 394 arrêts sont lancés, soit 22 arrêts en moins, pour un gain de productible de 0,05% sur la production annuelle,
- Sur E2, 372 arrêts sont lancés, soit 18 arrêts en moins, pour un gain de productible de 0,05% sur la production annuelle.

IV.2. Modélisation du bridage en fonction d'un algorithme multifactoriel

Certaines régulations plus évoluées que le bridage sur seuils utilisent la combinaison de plusieurs paramètres environnementaux pour définir le niveau d'activité théorique des chiroptères. Cette modélisation est basée sur plus de 10 ans de collecte de données et d'observation qui ont permis de modéliser l'activité des chiroptères en croisant les paramètres métrologiques.

L'activité des chiroptères est modélisée selon une courbe pour chaque paramètre (vitesse de vent, date, heure, température). La combinaison des 4 formules modélisant chaque courbe amène à un algorithme multifactoriel. Cet algorithme modélise l'activité des chiroptères en 4 dimensions selon la température, la vitesse de vent, la date et l'heure.

Ainsi lorsque le bridage sur seuils indique une présence/absence des chiroptères selon si les conditions environnementales sont favorables ou non à l'activité des chauves-souris, l'algorithme multifactoriel prévoit un risque en pourcentage. Chaque paramètre pondère ce risque. Contrairement au bridage sur seuils, si la température passe de 10°C à 9°C et que tous les autres paramètres sont très favorables à l'activité, le risque diminuera, mais ne deviendra pas nul.

Ainsi, par exemple, pour une vitesse de vent de 7 m.s⁻¹, une température de 9°C en début de nuit, en été, l'activité attendue sera faible selon le modèle multivarié, et non nulle comme l'indiquerait un bridage sur seuils. Le niveau d'activité théorique calculé à partir de la combinaison des facteurs environnementaux peut être visualisé sur les Figures 31 et 32.

Les plages théoriques d'arrêt génèreraient :

- Sur E1, 404 arrêts, pour un temps d'arrêt total de 1129 heures et 20 minutes. En moyenne 73 passages de chauve-souris auraient eu lieu alors que cette éolienne aurait été en fonctionnement, soit 84,6% de contacts préservés. La perte de productible générée est évaluée à 4,6 % de la production annuelle ;
- Sur E2, 385 arrêts pour un temps d'arrêt total de 1128 heures. En moyenne 66 passages de chauve-souris auraient eu lieu alors que cette éolienne aurait été en fonctionnement, soit

84,8% de contacts préservés. La perte de productible est évaluée à 9,2% de la production annuelle.

La répartition de ces arrêts peut être visualisée sur les Figures 31 et 32.

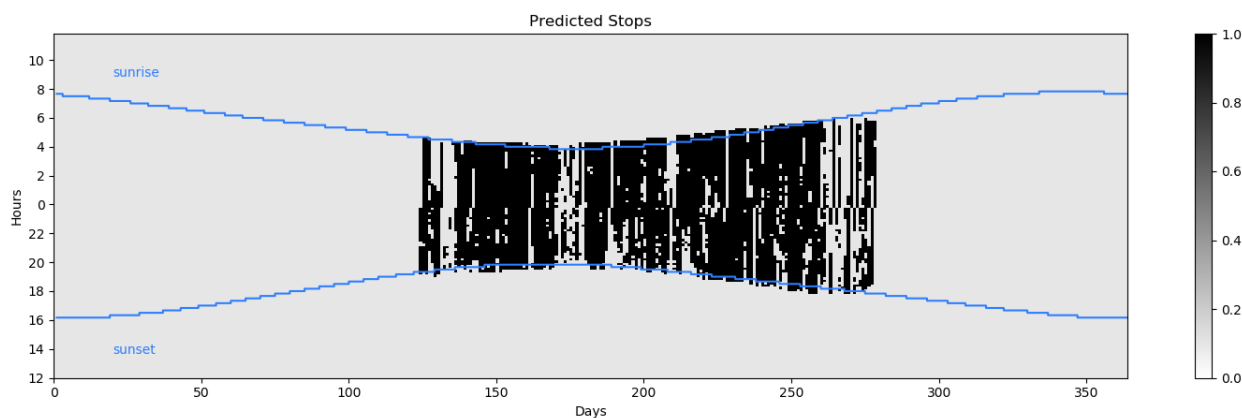


Figure 31 : Arrêts envisagés par les algorithmes multifactoriels sur E1 du 26 avril au 31 octobre 2018

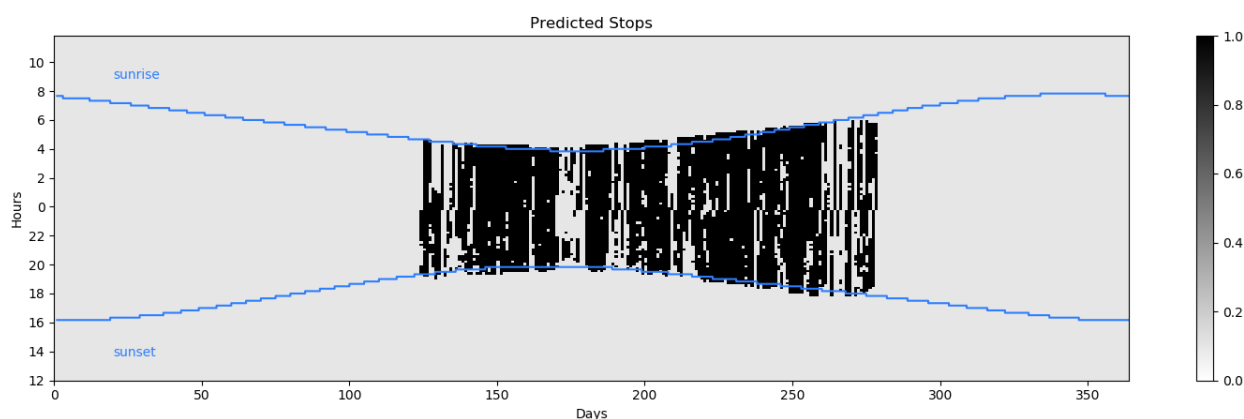


Figure 32 : Arrêts envisagés par les algorithmes multifactoriels sur E2 du 26 avril au 31 octobre 2018

En ajoutant le paramètre « pluie » à l'algorithme multifactoriel (n'induisant pas d'arrêt en cas de pluie, même faible) :

- Sur E1, 391 arrêts sont lancés, soit 13 arrêts en moins, pour un gain de productible de 0,002% sur la production annuelle,
- Sur E2, 375 arrêts sont lancés, soit 10 arrêts en moins, pour un gain de productible de 0,002% sur la production annuelle.

IV.3. Arrêts réalisés par ProBat

Le système ProBat développé par Sens Of Life permet de réguler pertinemment les éoliennes pour préserver les chiroptères. Cet outil est basé 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.

Les données enregistrées par les stations météorologiques et par les enregistreurs ultrasonores sont transmises à un automate local situé dans le poste de livraison. Les sons détectés sur le site d'étude sont analysés automatiquement en temps réel et seul l'indice d'activité (nombre de contact par minute toutes espèces confondues) est transmis vers le poste de livraison. L'automate local utilise ces données pour calculer le risque de collision.

L'automate local analyse le niveau de risque de collision suivant le procédé présenté dans la figure 66. En cas d'activité importante (+ de 10 % de l'activité maximale enregistrée sur le site), le PC envoie une alarme aux éoliennes concernées pour lancer un arrêt.

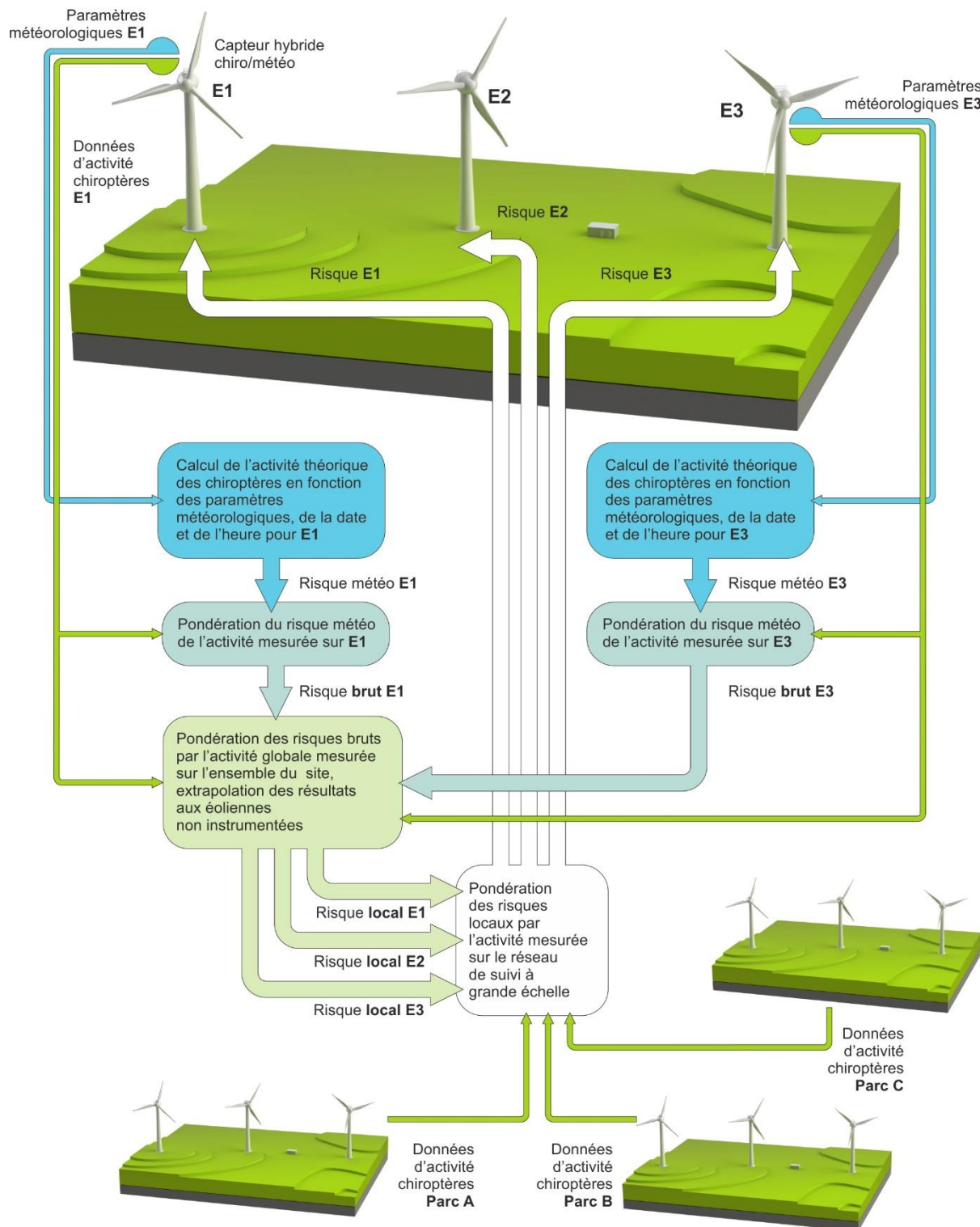


Figure 33: Principe de fonctionnement du système ProBat

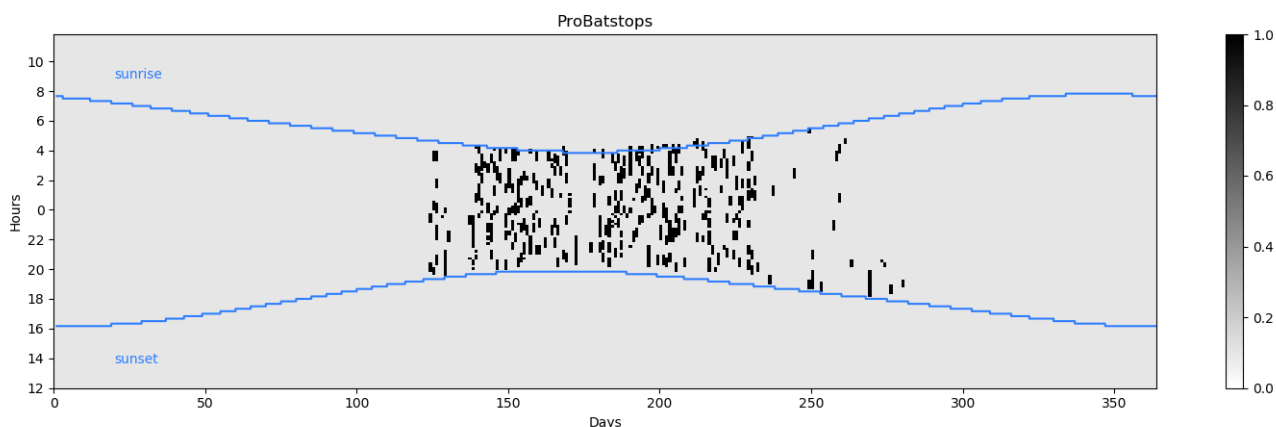


Figure 34 : Arrêts réalisés par ProBat sur E1 du 26 avril au 31 octobre 2018

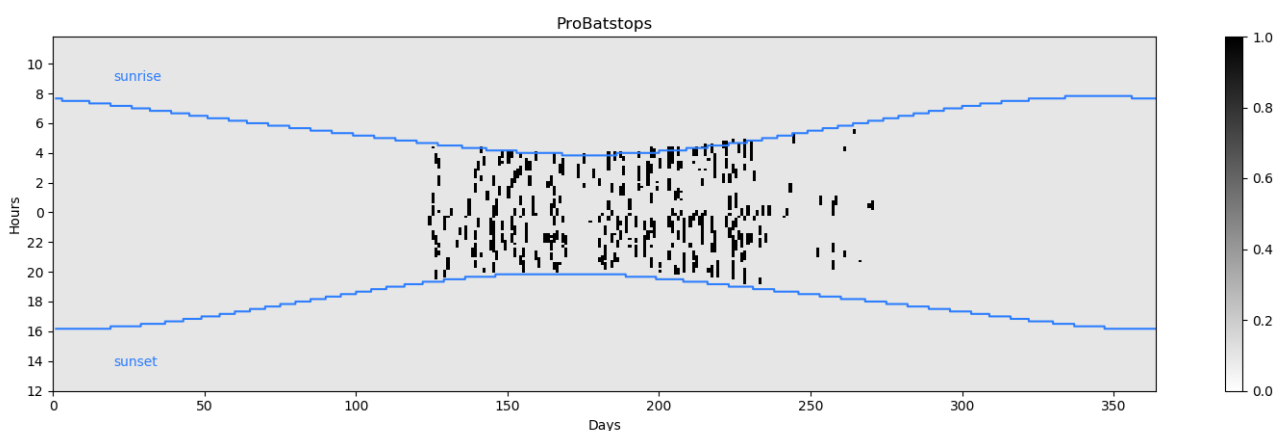


Figure 35 : Arrêts réalisés par ProBat sur E2 du 26 avril au 31 octobre 2018

La combinaison de la régulation prédictive et de la régulation basée sur la détection des chiroptères en temps réel aurait abouti à la réalisation de :

- Sur E1, 291 plages d'arrêt, représentant un temps d'arrêt total de 199 heures et 20 minutes. Les pertes de productibles générées par cette régulation sont évaluées à 0,7 % du productible annuelle. Au total, 90 passages de chauve-souris auraient eu lieu alors que l'éolienne aurait été en fonctionnement, soit 81% de baisse de mortalité,
- Sur E2, 262 plages d'arrêt, représentant un temps d'arrêt total de 180 heures et 40 minutes. Les pertes de productibles générées par cette régulation sont évaluées à 1,5% du productible annuelle. Au total, 87 passages de chauve-souris auraient eu lieu alors que l'éolienne aurait été en fonctionnement, soit 80% de baisse de mortalité.

IV.4. Evaluation du risque résiduel

Pendant la régulation modélisée pour les seuils, 48 passages cumulés de chauves-souris ont été détectés alors que les éoliennes E1 et E2 auraient été fonctionnement. Rapporté aux 938 passages cumulés enregistrés sur les éoliennes, la régulation aurait donc été active pendant 94,7% de l'activité des chauves-souris, générant une perte de production moyenne de 9,4%.

Pendant la régulation modélisée pour l'algorithme multifactoriel, 139 passages cumulés de chauves-souris ont été détectés alors que les éoliennes E1 et E2 auraient été en fonctionnement. Rapporté aux 938 passages cumulés enregistrés sur les éoliennes, la régulation aurait donc été active pendant 84,7% de l'activité des chauves-souris, générant une perte de production moyenne de 6,9%.

Pendant la régulation modélisée pour ProBat, 177 passages cumulés de chauves-souris ont été détectés alors que les éoliennes E1 et E2 auraient été en fonctionnement. Rapporté aux 938 passages cumulés enregistrés sur les éoliennes, la régulation aurait donc été active pendant 80,5% des passages enregistrés sur le parc éolien générant une perte de production moyenne de 1,1 %.

La répartition temporelle des passages de chauves-souris alors que les rotors des éoliennes étaient encore en rotation est représentée en Figures 36 et 37.

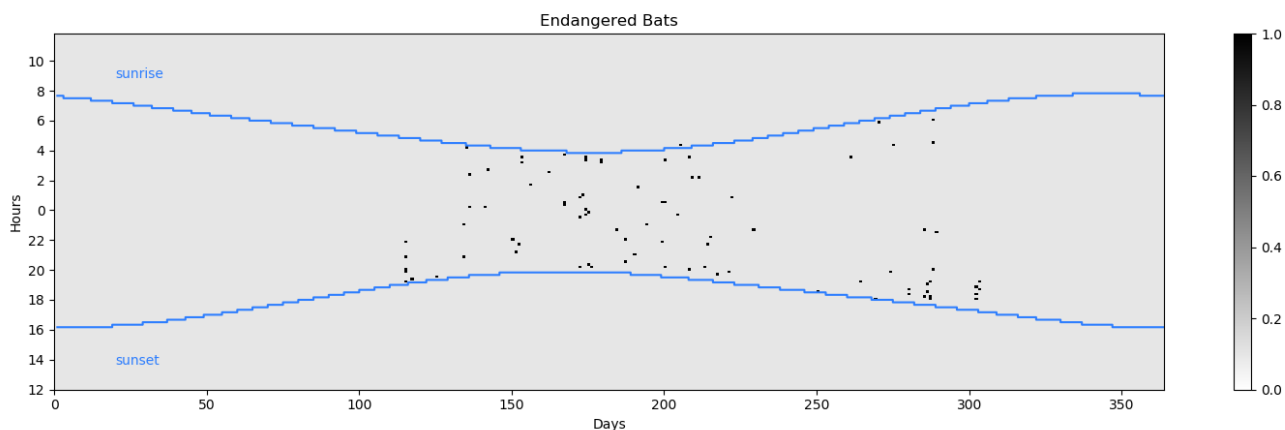


Figure 36 : Activité des chauves-souris alors que le rotor de E1 tournait

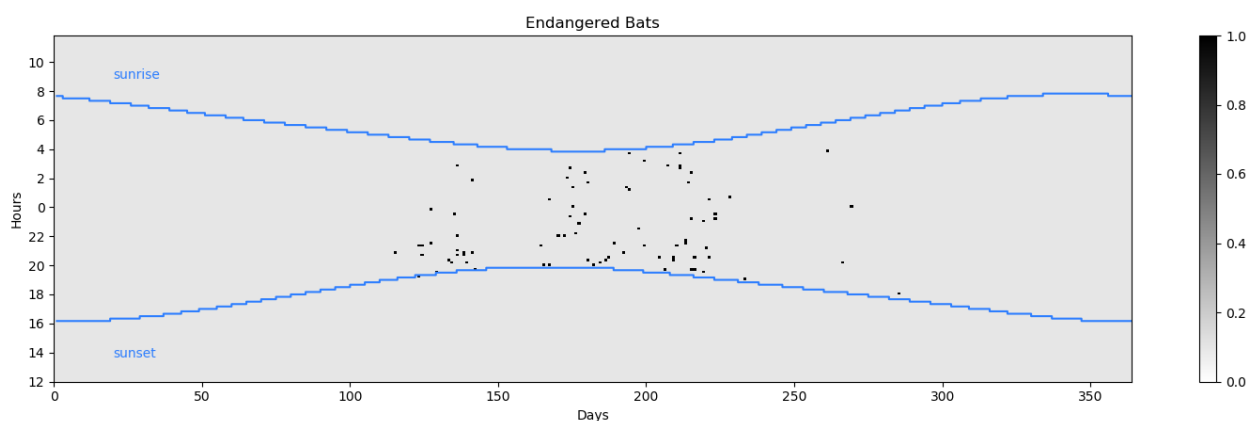


Figure 37 : Activité des chauves-souris alors que le rotor de E2 tournait

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 (45 m) laissent envisager que les 15 derniers mètres ne sont pas suivis. Inversement, le disque parcouru par les pales a au plus une épaisseur de 5 mètres alors que le volume de détection est beaucoup plus important.
- Les études réalisées avec des caméras thermiques en 2015 (une éolienne dans la Province du Hainaut - 7 interactions sur 352 passages (2%), une éolienne dans la province de Namur - 6

interactions sur 295 passages (2 %) et en 2016 (une éolienne dans la province de Namur 5 interactions sur 307 passages (1,6 %)) laissent penser que le risque de collision est de 0.0210 +/- 0.0016 par passage.

Pour rappel, 5 526 trajectoires de chiroptères ont été filmées sur l'éolienne E2 du parc de Saint Congard, dont seules 5 représentant une interaction avec les pales, soit 0,001% de la totalité de l'activité filmée.

A partir des contacts collectés en nacelle de E2, alors 5 cas de mortalité apparaissent pour 447 contacts de chiroptères, soit 1,1% de mortalité résiduelle sur le nombre de contacts total. En appliquant ce ratio sur les passages de chauves-souris détectés alors que les éoliennes tournaient, la mortalité résiduelle est de :

- 0,6 chiroptère pour les 2 éoliennes bridées avec des seuils,
- 1,5 chiroptère pour les 2 éoliennes bridées avec un algorithme multifactoriel,
- 2,0 chiroptères pour les 2 éoliennes avec ProBat.

⇒ Synthèse des modélisations de bridage sur le parc éolien de Saint Congard

Le fonctionnement de la régulation du parc éolien de Saint Congard a été modélisé sur 2 éoliennes (E1 et E2) au cours de l'année 2018 pour réduire son impact sur les populations de chauves-souris fréquentant ce site. Elle a été réalisée en comparant :

- un bridage sur seuils, du 1^{er} avril au 31 octobre, de coucher au lever du soleil, pour des températures supérieures à 10°C et une vitesse de vent inférieure à 6 m.s⁻¹ ;
- un système prédictif utilisant un algorithme multifactoriel,
- 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.

Moyenne des bridage sur E1 et E2	Perte de productible	Nombre de contacts de chiroptères préservés	Mortalité résiduelle théorique
Bridage sur seuils	9,4%	94,7%	0,6
Bridage prédictif	6,9 %	84,7%	1,5
Bridage ProBat	1,1 %	80,5%	2

Tableau 10 : Modélisation de la mortalité résiduelle et des pertes de production pour différents systèmes de bridage sur le parc éolien de Saint Congard

En théorie, la régulation annuelle du parc éolien de Saint Congard aurait impliqué :

- une baisse de mortalité de 94,7% pour une perte de production de 9,4%, par la régulation en fonction des seuils,
- une baisse de mortalité de 84,7% pour une perte de production de 6,9%, avec une régulation avec un algorithme prédictif,
- une baisse de mortalité de 80,5% pour une perte de production de 1,1%, par ProBat.

L'inclusion du paramètre « pluie » (fonctionnement des machines si la pluie est supérieure à 3mm/h) dans les modèles de régulation permet de réduire les pertes de productible de 0,002% supplémentaire dans le bridage prédictif, et de 0,05% pour le bridage sur seuils.

V. Conclusion

V.1. Suivi d'activité ultrasonore

Sur le parc éolien de Saint-Congard, 90% de l'activité des chauves-souris a lieu :

- Entre le 26 avril et le 20 septembre 2018,
- Entre 20h et 5h,
- Pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s^{-1} ,
- Pour des températures supérieures à 12°C .

L'activité est faible, avec en moyenne 0,31 contact/heure. Près de la moitié des contacts enregistrés sont des Pipistrelles communes, puis 20% des contacts appartiennent à la Pipistrelle de Kuhl, 18% à la Pipistrelle de Nathusius. Malgré ce fort pourcentage, des pics de migrations de Pipistrelle de Nathusius n'ont pas été mis en évidence sur le parc éolien de Saint Congard. Ensuite, viennent la Noctule commune (6%), la Sérotine commune (4%) et la Noctule de Leisler (3%).

V.2. Suivi d'activité et de mortalité filmée

Sur les 5 526 contacts filmés sur l'éolienne E2, les caméras ont permis de mettre en évidence 5 cas de mortalité dont 1 de barotraumatisme.

Les caméras filment les déplacements des individus du pied de mât jusqu'en nacelle, il est donc normal d'avoir plus d'activité filmée que d'activité ultrasonore, et il est également normal d'avoir moins de trajectoires filmées que le nombre attendu de contacts ultrasonores habituellement enregistrés au sol, car les vidéos sont analysées en termes d'individus, qui peuvent émettre plusieurs ultrasons au cours de la vidéo.

Les caméras ont filmé 5 interactions sur l'éolienne E2. En comparant avec d'autres suivis effectués en France et en Belgique (Tableau 10), il apparaît que les caméras de Saint Congard ont enregistré le plus grand nombre de trajectoires de chiroptères, mais c'est aussi un des parcs qui a été suivi le plus longtemps (7 mois). Ces 9 éoliennes comparables étaient toutes équipées d'un enregistreur ultrasonore en nacelle pour effectuer un suivi d'activité et de caméras infrarouges pour le suivi de mortalité. Il apparaît alors, en comparant le taux d'interactions par rapport à l'activité ultrasonore enregistrée que 0,01% des chiroptères contactés interagissent avec la machine. Sur les 9 éoliennes suivies, l'éolienne de Saint Congard occupe le 2^{nde} position du plus faible pourcentage d'interactions filmées/nombre de contacts enregistrés.

Site	Année	Contexte	Durée de l'étude	Nombre de contacts filmés	Nombre d'interactions filmées	Ratio mortalité / activité
Saint Congard E2	2018	Bocager	De 04 à 10 - 7 mois	5 526	5	0,001%
Sud Ardèche E1	2018	Forestier	de 03 à 10 - 8 mois	2 755	29	1,1%
Sud Ardèche E2	2018	Forestier	de 03 à 10 - 8 mois	2 318	54	2,3%
Sud Ardèche E3	2018	Forestier	de 03 à 10 - 8 mois	2 161	21	1,0%
Sud Ardèche E4	2018	Forestier	de 03 à 10 - 8 mois	2 379	23	1,0%
Sud Ardèche E5	2018	Forestier	de 03 à 10 - 8 mois	2 131	20	0,9%
Parc Sud Ardèche	2018	Forestier	de 03 à 10 - 8 mois	9 583	147	1,5%
Beaumont	2015	Bocage	de 03 à 10 - 8 mois	295	6	2,0%
Frasnes	2015	Bocage	de 03 à 10 - 8 mois	352	7	2,0%
Wallonie	2017	Bocage	de 04 à 10 - 6 mois	307	5	1,6%
Grand Est	2018	Plaine agricole	de 09 à 10 - 2 mois	12	0	0,0%

Tableau 11 : Comparaison du taux de mortalité des chiroptères par rapport à l'activité sur différents sites

Les interactions ont eu lieu début juin, début juillet et 3 ont eu lieu en août. Il apparaît que les interactions ont eu lieu pour des vitesses de vent assez élevées pour l'activité chiroptérologique (4 jusqu'à 6 m.s⁻¹) et une température comprise entre 15 et 22°C.

En recroisant avec les contacts enregistrés par le TrakBat en nacelle, les espèces impactées sont identifiées comme :

- 2 Pipistrelles communes,
- Une Pipistrelle de Kuhl,
- Une Pipistrelle de Nathusius,
- Une Pipistrelle de Kuhl ou une Pipistrelle de Nathusius, de manière incertaine, ces 2 espèces ayant été contactées à une heure correspondant à celle de l'interaction.

Les passages pour le suivi de mortalité au sol en parallèle (par le bureau d'études B.E.T.) n'ont pas permis la découverte de ces cadavres car les dates de recherche ne correspondaient pas (passages de mi-mai à fin mai 2018, puis du 19 juin à fin juin 2018, puis du 10 au 19 juillet 2018). Le suivi de mortalité par caméras a apporté un réel avantage puisqu'il a permis de mettre en évidence 5 cas d'interactions violentes entre une chauve-souris et une pale, tandis qu'aucun cadavre n'a pu être récupéré au sol sur la même période de suivi.

Il est donc possible de dire que la mortalité filmée est de 5 chiroptères pour l'éolienne E2 de fin avril à fin octobre. Selon les extrapolations grâce aux formules de calcul d'estimation de mortalité réelle, les résultats du bureau d'études B.E.T. estime une mortalité de 3,2 à 12 chiroptères/éolienne/mois. Pour un cycle biologique complet de l'activité des chiroptères sur 7 mois, la mortalité estimée avec des recherches de cadavres au sol est donc de 22 à 84 chiroptères impactés par an par éolienne.

Il faut noter ici l'importance des biais prédation et observateur qui surestiment la mortalité réellement observée.

Selon Rydell *et al.* (2010), le contexte paysager du site d'implantation influence le taux de mortalité des éoliennes, qui est maximal dans les parcs situés dans le littoral ou sur des crêtes (5-20 individus) et moins important dans des parcs sur des plaines agricoles homogènes (0-3 individus impactés/éolienne/an) ou des paysages bocagers et agricoles (2-5 individus impactés/éolienne/an). Le contexte paysager du parc éolien de Saint-Congard, situé dans un boisement favorable aux chiroptères, est assimilable à la troisième configuration décrite par cet auteur. Les valeurs de mortalité filmée sur le parc éolien de Saint-Congard correspondent donc à la limite supérieure des chiffres annoncés dans

la bibliographie pour les chiroptères. La mortalité estimée par les recherches de cadavres au sol est cependant plus de 10 fois supérieure à la mortalité attendue.

V.3. Modélisation des bridages

Le suivi de mortalité par caméras présente un 3^{ème} avantage en plus de celui de permettre des suivis objectifs (sans biais) et efficaces sur du long terme : les conditions des interactions horodatées sont connues précisément. Il est ainsi possible d'établir un plan de bridage relatif à la mortalité et non à l'activité car les vitesses de vent correspondant au maximum de l'activité ($2,5 \text{ m.s}^{-1}$) ne sont pas celles auxquelles a lieu la mortalité (entre 4 et 6 m.s^{-1}). Ce raisonnement est logique puisque les pales commencent réellement à tourner aux alentours de $2,5 \text{ m.s}^{-1}$ (selon les modèles), et donc induisent de la mortalité pour des vitesses de vent supérieures.

Ainsi, un bridage de début avril à fin octobre, pour des vitesses de vent inférieures à 6 m.s^{-1} , des températures supérieures à 10°C et durant toute la nuit aurait permis d'éviter 4 des 5 interactions filmées.

Cependant, la modélisation d'un tel bridage a été modélisée sur la période de fonctionnement des caméras. Son efficacité en termes de baisse de mortalité est confirmée avec la préservation de 94,7% des contacts des chiroptères. Mais il est attendu 9,4% de pertes de productible, ce qui est conséquent.

La régulation avec des bridages plus pertinents a également été modélisée. En théorie, la régulation du parc éolien de Saint Congard aurait impliqué :

- une baisse de mortalité de 84,7% pour une perte de production de 6,9%, avec une régulation avec un algorithme prédictif,
- une baisse de mortalité de 80,5% pour une perte de production de 1,1%, par ProBat.

En incluant le facteur « pluie » dans le bridage prédictif et sur seuils, le gain de productible est respectivement de 0,002 à 0,05% de la production annuelle.

Le bridage ProBat semble le plus pertinent en termes de préservation des chiroptères et de pertes de productible.

VI. Bibliographie

Albouy, S., Clément, D., Jonard, A., Massé, P., Pagès, J.-M. & Nea, P. (1997). Suivi ornithologique du parc éolien de Port-la-Nouvelle : rapport final, 67 p. Abiès, Géokos consultants, LPO Aude.

Albouy S. (2010). Suivi de l'impact éolien sur l'avifaune et les chiroptères. Exemples de parcs audois (11). Séminaire national LPO Eolien et Biodiversité, Reims le 16 septembre 2010. Abies Energie & Environnement, présentation Power Point 31 p.

Albouy S., Dubois Y., Picq H. (2001) Suivi Ornithologique Des Parcs Éoliens Du Plateau de Garrigue Haute (Aude). Abies & LPO Aude. Publication ADEME. Consultable ici : <http://aude.eolienne.free.fr/fichiers/SuiviOrnitho.pdf>.

Alcalde, J. T. (2003). Impacto de los parques eólicos sobre las poblaciones de murciélagos. *Barbastella*, 2: 3–6.

Allouche L., AVES environnement & le Groupe Chiroptères de Provence (2010). Etude de la mortalité des Chiroptères. Parc éolien du Mas de Leuze, commune de Saint-Martin-de-Crau (13), 17 mars – 27 novembre 2009. Pour Energie du Delta. 36 p.

Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49(3), 227-266.

Ahlen I., Baagøe Hans J., Bach L. (2009). Behavior of Scandinavian bats during migration and foraging at sea. *J Mammal.* 90(6):1318–1323.

Anderson R.L., Erickson W., Strickland D., Bourassa M., Tom J. & Neumann N. (2001). Avian Monitoring and Risk Assessment at Tchachapi Pass and San Gorgonio Pass Wind Resource Areas, California. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California, May 2001 : 53-54.

Andre Y. (2004). Paragraphe "Mortalité", Protocole de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. LPO. Doc. Int. 20 p.

Arnett EB (2005). Relationships between bats and wind turbines in Pennsylvania and West Virginia : an assessment of bat fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA.

Arnett EB, Hayes JP, Huso MMP (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. Edited by bat conservation international. Austin, Texas, USA. http://www.batsandwind.org/pdf/precon_pa.pdf. Accessed 25 June 2013

Arnett EB, Brown WK, Erickson WP, Fiedler JK, Hamilton BL, Henry TH et al (2008). Patterns of bat fatalities at wind energy facilities in North America. *J Wildl Manag.* 72(1):61–78. doi:10.2193/2007-221

Arnett EB, Hein CD, Patterson R (2011a) Synthesis of activities (2004–2011). Key findings and next steps. Edited by bats and wind energy cooperative. http://www.batsandwind.org/pdf/BWEC_Synthesis_2004-2011.pdf. Accessed 21 July 2014

Arnett EB, and EF Baerwald (2013). Impacts of wind energy development on bats : implications for conservations. Pages 435-456 in R. Adams and S.C. Pedersen, editors. *Bat evolution, ecology, and conservation*. Springer, New-York.

Arnett EB, Schirmacher MR, Husi MMP, et al. (2009). Patterns of bat fatality at the casselman Wind Project in south-central Pennsylvania. Austin, TX : Bat Conservation International. [Wwwbatsandwind.org/pdf/2008patbatfatal.pdf](http://www.batsandwind.org/pdf/2008patbatfatal.pdf).

Arthur L. et Lemaire M. (2009). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse, Collection Parthénope. Biotope éditions, Publications scientifiques du muséum. 544 p.

- Aubauer, R. (1994). Dreidimensionale Flugbahnverfolgung von Fledermäusen Fortschritte der Akustik—DAGA 94 Bad Honnef: DPGGmbH
- Bach L., R. Brinkmann, HJGA Limpens, U. Rahmel, M. Reichenbach, and A. Roschen (1999). Bewertung und planerische Umsetzung von Fledermausdaten im Rahmen der Windkraftplanung. - Bremer Beiträge fuer Naturkunde und Naturschutz, Band 4. Themenheft "Vogel und Windkraft" : 163-170.
- Bach L. (2001). Fledermäuse und Windenergienutzung—reale probleme oder einbildung. Vogelkdl. Ber. Niedersachs. 33:119-124.
- Bach, L. (2002). Auswirkungen von Windenergieanlagen auf das Verhalten und die Raumnutzungen von Fledermäusen al Beispiel des Windparks. Hohe Geest "Midlum-Endbericht. - unpublished. Gutachten i.A. des Insituts für angewandte Biologie, Freiburg/Niederelbe : 46 p.
- Bach L., Rahmel U. (2004). Summary of wind turbine impacts on bats—assessment of a conflict. Bremer Beiträge für Naturkunde und Naturschutz 7:245–252.
- Baerwald EF, D'Amours GH, Klug BJ, Barclay R (2008). Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. Curr Biol 18(16):R695–696
- Baerwald EF, Barclay R (2009). Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. J Mammal 90(6):1341–1349
- Baerwald EF and Barclay RMR (2011). Patterns of activity and fatality of migratory bats at a wind energy facility in Alberta, Canada. The Journal of Wildlife Management, 75: 1103–1114. doi: 10.1002/jwmg.147
- Bailey H., Senior B, Simmons D., Rusin J., Picken G., Thompson PM. (2010). Assessing underwater noise levels during pile-driving at an offshore windfarm and its potential effects on marine mammals. Mar Pollut Bull. 60(6):888–897.
- Barataud, M. (2012). Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse. Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344 p.
- Bastos R., Santos M., Cabral JA (2013). A new stochastic dynamic tool to improve the accuracy of mortality estimates for bats killed at wind farms. Ecological Indicators 34:428-440
- Behr O., Brinkmann R., Niermann I., Korner-Nievergelt F. (2011). Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen. In Brinkmann R, Behr O, Niermann I, Reich Michael (eds.) (2001) Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Umwelt und Raum, Cuvillier Verlag, Göttingen, Bd. 4: 177–286
- Bergström L., Kautsky L., Malm T., Ohlsson H., Wahlberg M., Rosenberg R., Åstrand Capetillo N. (2013a). Effects of offshore windfarms on marine wildlife—a synthesis for Swedish waters. Presentation CWE, Stockholm, Sweden 5-7 February, 2013. http://www.naturvardsverket.se/upload/miljoarbete-i-samhallet/miljoarbete-i-sverige/forskning/vindval/cwe/Life%20under%20the%20surface/CWE_Bergstr%C3%B6m.pdf. Accessed 21 July 2014
- Betke M., Hirsh D, Makris NC, McCracken GF, Procopio M., Hristov NI, Tang S., Bagchi A., Reichard JD, Horn J. (2008). Thermal imaging reveals significantly smaller Brazilian free-tailed bat colonies than previously estimated. J Mammal. 89(1):18–24.
- Beucher Y. (2007), Suivi évaluation de l'impact sur les oiseaux du parc éolien de Ségur (12). Campagne 2007, première année d'exploitation. 66p.
- Beucher Y., Kelm V., Geyelin M., Pick D. (2011). Réduction significative de la mortalité des chauves-souris liée aux éoliennes – Poster

- Blanchard A., Cosson E., Salles J.M. (2014) : Stratégie régionale pour le suivi/monitoring des gîtes majeurs chiroptères des sites Natura 2000. Guide technique. DREAL PACA, 38 p.
- Brinkmann R., Schauer-Weissahn H., Bontadina F. (2006). Untersuchungen zu möglichen betriebsbedingten Auswirkungen von Windkraftanlagen auf Fledermäuse im Regierungsbezirk Freiburg. Gundelfingen, Germany. <http://www.rp-freiburg.de/servlet/PB/show/1158478/rpf-windkraft-fledermaeuse.pdf>. Accessed 7 August 2013
- Brinkmann R., Behr O., Niermann I., Reich M. (2011). Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Ergebnisse eines Forschungsvorhabens. Göttingen : Cuvillier (Umwelt und Raum, 4)
- Cade T.J. (1994). Industry Research : Kenetech Windpower. In : PNAWPPM I, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting I, Denver, Colorado, July 1994. 179 p.
- Camiña, Á. (2013). Guidelines for wind farm planning on birds and bats: Lessons learned from operating wind farms. Washington, DC, USA: Biodiversity & Ecosystem Services in Impact Assessment Inter-American Development Bank.
- Carl G., Thelander C.G. & Rugges D.L. (2001). Examining relationships between bird Risk behaviours and fatalities at the Altamont Wind Resource Area : a second year's progress report. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National AvianWind Power Planning Meeting IV, Carmel, California : 5-14.
- Cornut J., Vincent S. (2010). Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du sud de la région Rhône-Alpes. Rapport 43 p.
- Curry R.C. & Kerlinger P. (2000). Avian Mitigation Plan : Kenetech Model Wind Turbines, Altamont Pass WRA, California. In : PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 18-27.
- Cryan PM, Brown AC. (2007). Migration of bats past a remote island offers clues toward the problem of bat fatalities at wind turbines. *Biol Conserv.* 139(1–2):1–11.
- Cryan PM, Barclay R. (2009). Causes of Bat Fatalities at Wind Turbines : hypotheses and Predictions. *J Mammal.* 90(6):1330–1340.
- Cryan PM, Gorresen CD, Hein MR, Schirmacher RH, Diehl MM, Huso DTS, Hayman PD, Fricker FJ, Bonaccorso DH, Johnson, K Heist, and DC Dalton (2014). Behavior of bats at wind turbines. *PNAS.* 111: 15126-15131
- CSD Ingénieurs (2013). Suivi de mortalité des chauves-souris et batmonitoring sur le parc éolien de Perwez. Rapport 94 p.
- De Lucas M, Janss GFE, Whitfield DP, Ferrer M (2008) Collision fatality of raptors in wind farms does not depend on raptor abundance. *J Appl Ecol* 45(6):1695–1703. doi: 10.1111/j.13652664.2008.01549.x
- Desholm M., Fox AD, Beasley PDL, Kahlert J. (2006). Remote techniques for counting and estimating the number of bird–wind turbine collisions at sea: a review. *Ibis* 148(s1) :76-89.
- Dietz C. & von Helvesen O. (2004). Illustrated identification key to the bats of Europe. Electronique publication, version 1.0 released 15/12/2004, Tuebingen & Erlangen (Germany). 72 p.
- Dirksen S., Spaans A.L. & van der Winden J. (2000). Studies on Nocturnal Flight Paths and Altitudes of Waterbirds in Relation to Wind Turbines : A Review of Current Research in The Netherlands. In : PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 97-109.
- Dodelin B. (2002). Identification des chiroptères de France à partir de restes osseux. Gap. 48 p.

- Dooling & Lohr, 2001 . Dooling, R. J., & Lohr, B. (2001). The role of hearing in avian avoidance of wind turbines. In Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting IV (ed. PNAWPPM-IV) (pp. 115-127).
- Doty AC, Martin AP (2012). Assessment of bat and avian mortality at a pilot wind turbine at Coega, Port Elizabeth, Eastern Cape. South Africa. *N Z J Zool.* 40(1):75–80.
- Dulac P. (2008). Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, la Roche sur Yon - Nantes, 106 p.
- Dürr T. (2002). Fledermäuse als Opfer von Windkraftanlagen in Deutschland. *Nyctalus.* 8(2):115–118.
- Dürr T. (2003). Kollision von Fledermäuse und Vögel durch Windkraftanlagen. Daten aus Archiv der Staatlichen Vogelschutzwarte Brandenburgs. Edited by Staatliche Vogelschutzwarte Brandenburg. Buckow. <http://www.lugv.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>. Accessed 20 June 2013
- Dürr T. (2009). Zur Gefährdung des Rotmilans *Milvus milvus* durch Windenergieanlagen in Deutschland. *Inf dienst Nat schutz Niedersachs.* 29 (3):185–191
- Dürr T. (2011). Dunkler Anstrich könnte Kollisionen verhindern: vogelunfälle an Windradmasten. *Falke.* 58(12):499–501.
- Dürr T. (2017). Synthèse des bilans de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Europe, bilan de novembre 2017.
- Erickson W.P., Johnson G.D., Young D.P. (2005). A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. USDA Forest Service General Technical Report PSWGTR-191, 1029-1042.
- Evans W.R. (2000). Applications of Acoustic Bird Monitoring for the wind power Industry. In : PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego, California, June 2000 : 141-151.
- Furmankiewicz J, Kucharska M. (2009). Migration of bats along a large river valley in Southwestern Poland. *J Mammal.* 90(6):1310–1317.
- Garvin J.C., Jennelle C.S., Drake D., Grodsky S.M. (2011) Response of raptors to a windfarm. *J Appl Ecol* 48(1):199–209. doi: 10.1111/j. 1365-2664.2010.01912.x
- Gauthreaux SA, Livingston JW (2006). Monitoring bird migration with a fixed-beam radar and a thermal-imaging camera. *Journal of Field Ornithology* 77(3):319-328.
- Gensbol B. (2004) – Guide des rapaces diurnes, Europe, Afrique du Nord et Moyen Orient – Coll° Les guides du naturaliste – Ed° Delachaux et Niestlé. Paris. 403 p.
- Groupe Chiroptères de la SFEPM (2018). Diagnostic chiroptérologique des projets éoliens terrestres. Actualisation 2018 des recommandations SFEPM, Version 2.1 (février 2018). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 33 pages + annexes.
- Grünkorn T., Diederichs A., Stahl B., Dörthe D. & Nehls G. (2005). Entwicklung einer Method zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergian lagen. Rapport inédit pour Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein.
- Guyonne J. & Clave A.T. (2000 In press). A study of bird behavior in a wind farm and adjacent areas in Tarifa (Spain); management considerations. Proc. Nat. Avian-Wind Power Planning Meeting III, San Diego.
- Hall L.S., Richards G.C. (1972). Notes on *Tadarida australis* (Chiroptera : Molossidae). *Australian Mammalogy* 1: 46-47.

- Hacquart A., Bas Y., Tranchard J. et Lagrange H. (2012). Suivi annuel continu de l'activité des chiroptères sur 10 mâts de mesure : évaluation des facteurs de risque lié à l'éolien. Biotope, Bourges. 54 p.
- Heitz C. & Jung L. (2017). Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions. Etude bibliographique. Ecosphère. Rapport, 149 p.
- Helldin JO, Jung J., Neumann W., Olsson M., Skarin A., Widemo F. (2012). The impacts of wind power on terrestrial mammals. A synthesis. Edited by Swedish Environmental Protection Agency (Report 6510). Stockholm, Sweden
- Hernandez-Pliego, J., M. de Lucas, A.-R. Munoz, and M. Ferrer (2015). Effects of wind farms on Montagu's Harrier (*Circus pygargus*) in southern Spain. *Biological Conservation* 191: 452–458.
- Hill R., Hill K., Aumüller R., Schulz A., Dittmann T., Kulemeyer C., Coppack T. (2014). Of birds, blades and barriers: Detecting and analyzing mass migration events at alpha ventus. In: Federal Maritime and Hydrographic Agency, Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety (eds.) *Ecological Research at the Offshore Windfarm alpha ventus*, Springer Fachmedien, Wiesbaden 2014, pp 111–131.
- Horn JW, Arnett EB, Kunz TH. (2008). Behavioral responses of bats to operating wind turbines. *J Wildl Manag.* 72(1):123–132.
- Hötter H., Thomsen K., Köster H. (2005). Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. Edited by Bundesamt für Naturschutz (BfN). *Naturschutzbund (NABU). Bonn, Germany (BfN-Skripten, 142)*
- Hull CL, Cawthen L. (2013). Bat fatalities at two wind farms in Tasmania, Australia: bat characteristics, and spatial and temporal patterns. *N Z J Zool.* 40(1):5–15.
- Huso M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*, 22(3), 318–329
- Hutterer et al. (2005). Bat migrations in Europe : a review of banding datas and littérature. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 28, 180p.
- James R.D. & Coady G. (2003). Exhibition Place wind turbine bird monitoring program in 2003. Toronto Hydro Energy Services Inc., Toronto, Ont., and Windshare, Toronto, Ont.
- Janss, G. (2000). Bird Behaviour in and Near a Wind Farm at Tarifa, Spain: Management Considerations. In *PNAWPPM-III*, p110-114.
- Johnson, G.D., W. P. Erickson, M. D. Strickland, M. F. Shepherd, D.A. Shepherd, and S. A. Sarappo (2002). Collision mortality of local and migrant birds at a large-scale wind-power development on Buffalo Ridge, Minnesota. *Wildlife Society Bulletin* 30: 879–887.
- Johnson G.D., Erickson WP, Strickland MD, Shepherd M, Shepherd D, Sarappo S. (2003). Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. *Am Midl Nat.* 150(2):332–342.
- Johnston, N.N., J. E. Bradley, and K. A. Otter (2014). Increased flight altitudes among migrating Golden Eagles suggest turbine avoidance at a Rocky Mountain wind installation. *PLOS One* 9:e93030. doi:10.1371/journal.pone.0093030
- Jain A. (2005). Bird and bat behavior and mortality at a northern Iowa windfarm. Master Thesis. Iowa State University, Ames, Iowa, USA. http://batsandwind.org/pdf/Jain_2005.pdf. Accessed 26 August 2013

- Johnson GD, Erickson WP, Strickland MD, Shepherd M, Shepherd D, Sarappo S. (2003). Mortality of Bats at a Large-scale Wind Power Development at Buffalo Ridge, Minnesota. *Am Midl Nat.* 150(2):332–342.
- Johnson GD, Perlik MK, Erickson WP, Strickland MD (2004). Bat activity, composition, and collision mortality at a large wind plant in Minnesota. *Wildl Soc Bull.* 32(4):1278–1288.
- Johnson JS, Watrous KS, Giumarro GJ, Peterson TS, Boyden SA, Lacki MJ. (2011). Seasonal and geographic trends in acoustic detection of tree-roosting bats. *Acta Chiropterolog.* 13(1):157–168.
- Jones G., Jacob D., Kunz T., Willig M., Racey P. (2009). Carpe noctem: the importance of bats as bioindicators. *Endangered Species Research* 8:93-115.
- Kerns J., Erickson WP, Arnett EB (2005). Bat and bird fatality at wind energy facilities in Pennsylvania and West Virginia, chapter 2: 24–95. In: Arnett EB (tech. ed.): 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. A final report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative. Bat Conservation International. Austin, Texas, USA. <http://www.batsandwind.org/pdf/ar2004.pdf>. Accessed 20 June 2013
- Kerlinger P., Gehring J.L., Erickson W.P., Curry R., Jain A. & Guarnaccia J. (2010). Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. *Wilson Journal of Ornithology* 122: 744–754.
- Kingsley A. & Whittam B. (2001). Potential impacts of wind turbines on birds at North Cape, Prince Edward Island. *Bird Studies Canada*, Sackville, New Brunswick, Canada.
- Kitano M. & Shiraki S. (2013). Estimation of bird fatalities at wind farms with complex topography and vegetation in Hokkaido, Japan. *Wildlife Society Bulletin* 37:41–48.
- Korner-Nievergelt, F., Korner-Nievergelt, P., Berh O., Niermann I., Brinkmann R. & Hellriegel B. (2011). A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildlife Biology*, 17(4), 350-363
- Korner-Nievergelt, F., Brinkmann, R., Niermann, I., & Behr, O. (2013). Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. *PloS one*, 8(7), e67997.
- Kunz TH, Arnett EB, Erickson WP, Hoar AR, Johnson GD, Larkin RP, et al. (2007). Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ.* 5(6):315–324.
- Lagrange et al. (2009) Bilan des tests d’asservissement sur le parc éolien de Bouin, en Vendée. ADEME, Biotope : 47p.
- Lagrange H., Rico P. (2013). Bilan des tests d'asservissement sur le parc éolien de FrontLine et Bisnett (Ontario, Canada) – BORALEX.
- Lekuona Sanchez J. (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. *Rapport Technique* 155 p.
- Lovich JE, Ennen JR. (2013). Assessing the state of knowledge of utility-scale wind energy development and operation on non-volant terrestrial and marine wildlife. *Appl Energy*. 103:52–60.
- Marques, A.T., Batalha H., Rodrigues S., Costa H., Pereira M.J.R., Fonseca C., Mascarenhas M. & Bernardino J. (2014). Understanding bird collisions at wind farms: An updated review on the causes and possible mitigation strategies. *Biological Conservation* 179:40–52.
- Martin, G.R. (2012). Through birds’ eyes: Insights into avian sensory ecology. *Journal of Ornithology* 153 (Supplement 1): S23–S48.

- Marx G. (2018). Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune. Etude des suivis de mortalité réalisées en France de 1997 à 2015. LPO France.
- Mathews F., Swindells M., Goodhead R., August TA, Hardman P., Linton D.M., Hosken D.J. (2013) Effectiveness of search dogs compared with human observes in locating bat carcasses at wind turbine sites ; A blinded randomized trail. - *Wildlife Society Bulletin* 37 : 34 - 40
- Morinha F., Travassos P., Seixas F., Martins A., Bastos R., Carvalho D., *et al.* (2014) Differential mortality of birds killed at wind farms in Northern Portugal. *Bird Study* 61(2): 255–259. doi: 10.1080/00063657.2014.883357
- Olea, P.P. (2001). Postfledging dispersal in the endangered Lesser Kestrel *Falco naumanni*. *Bird Study*, 48(1), 110-115.
- Osborn R.G., Dieter C.D., Higgins K.F. & Usgaard R.E. (1998) Bird flight characteristics near wind turbines in Minnesota. *American Midland Naturalist*, 139, 20–38.
- Osborn, R. G., Higgins, K. F., Dieter, C. D., & Usgaard, R. E. (1996). Bat collisions with wind turbines in southwestern Minnesota. *Bat Research News*, 37(4), 105-108.
- Pagel J.E., Kritz K.J., Millsap B.A., Murphy R.K., Kershner E.L. & Covington S. (2013). Bald and Golden eagle mortalities at wind energy facilities in the contiguous United States. *Journal of Raptor Research* 47: 311–315.
- Paula, J., Leal, M. C., Silva, M. J., Mascarenhas, R., Costa, H., & Mascarenhas, M. (2011). Dogs as a tool to improve bird-strike mortality estimates at wind farms. *Journal for Nature Conservation*, 19(4), 202-208.
- Pearce-Higgins J.W., Stephen L., Douse A. & Langston R.H.W. (2012). Greater impacts of wind farms on bird populations during construction than subsequent operation: results of a multi-site and multi-species analysis. *J Appl Ecol* 49(2): 386–394. doi: 10. 1111/j.1365-2664.2012.02110.x
- Pedersen M.B. & Poulsen E. (1991) Avian Response to the Implementation of the Tjaereborg Wind Turbine at the Danish Wadden Sea. *Studies on Danish Fauna Report* 47. Denmark Institute of Ecological Studies, Kalø, Denmark.
- Percival, S.M. (1998). Birds and wind turbines - managing potential planning issues. Pages 345-350 in S. Powles, editor. *British Wind Energy Association*. Bury St. Edmunds, Cardiff.
- Percival, S.M. (2001). Assessment of the effects of offshore wind farms on birds. *Ecology consulting*. 66 p.
- Peron G., Hines J.E., Nichols J.D., Kendall W.L., Peters K.A. & Mizrahi D.S. (2013) Estimation of bird and bat mortality at wind-power farms with superpopulation models. *Journal of Applied Ecology*, 50, 902-911. doi: 10.1111/1365-2664.12100
- Piorkowski MD, O'Connell TJ. (2010). Spatial pattern of summer bat mortality from collisions with wind turbines in mixed-grass prairie. *A Midl Nat.* 164(2):260–269.
- Puzen, S. C. (2002). Bat interactions with wind turbines in northeastern Wisconsin. *Wisconsin Public Service Corporation*, Green Bay, USA.
- Recommandation EUROBATS : Distances Maximales Des Terrains de Chasse Par Espèce et Hauteurs de Vol." Accessed June 23, 2017. https://www.sfepm.org/pdf/Annexe_3_distance_max.pdf.
- Richardson W.J. (2000). Bird Migration and Wind Turbines : Migration Timing, Flight Behavior, and Collision Risk. In : *PNAWPPM III, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting III*, San Diego, California, June 2000 : 132-140.
- Rico P., Lagrange H., Cosson E., Fourasté S., Allouche L. (2012). Bilan des tests d'asservissement sur le parc éolien du Mas de Leuze-commune de Saint Martin de Crau (13). *ADEME/Biotope* : 84p.

- Rico P., Lagrange H., Kerbiriou C. (2013). Bilan de six années de recherche sur la régulation en faveur des chiroptères. EWEA 2013, « Conference on wind turbines and environmental impacts » Stockholm, Suède. Power point 19p.
- Rocamora & Yeatman-Berthelot (1999). Oiseaux menacés et à surveiller en France. Liste rouge et priorités. Société d'Etudes ornithologiques de France / Ligue pour la protection des oiseaux. Paris. 560p.
- Roeleke M., Blohm T., Kramer-Schadt S., Yovel Y. & Voigt C.C. (2018). Habitat use of bats in relation to wind turbines revealed by GPS tracking. *Sci. rep.* 6, 28961;doi:10.1038/srep28961
- Rodrigues, Bach L., Dubourg-Savage MJ, Karapandza B., Kovac D., Kervyn T., Dekker J., Kepel A., Bach P., Collins J., Harbush C., Park K., Micevski B., Minderman J. (2015). Guidelines for consideration of bats in windfarm projects. Revision (2014) EUROBATS Publication Series No. 6 (English version). UNEP/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany. 133 p.
- Rollins KE, Meyerholz DK, Johnson GD, Capparella AP, Loew SS. (2012). A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: barotrauma or traumatic injury? *Vet Pathol.*49(2):362–371. [PubMed]
- Rydell J. (2006). Bats and their insect prey at streetlights. In *Ecological Consequences of Artificial Night Lighting* (eds C. Rich and T. Longcore), pp. 43–60. Island Press, Washington.
- Rydell J., Bach L, Dubourg-Savage M, Green M, Rodrigues L, Hedenström A. (2010). Bat mortality at wind turbines in northwestern europe. *Acta Chiropterolog.* 12(2):261–274.
- Rydell J., Engström H., Hedenström A., Larsen J.K., Pettersson J., Green M. (2012). The effect of wind power on birds and bats. A synthesis. Report 6511, August 2012. Swedish Environmental Protection Agency (ed), Stockholm Sweden
- Rydell J., Wieslaw B., Boonman A., Pettersson S., Sucheka E., Pomorski J.J. (2018). Bats may eat diurnal flies that rest on wind turbines. *Mammalian Biology*, 81 : 331-339.
- Schuster E., Bulling, L., & Köppel, J. (2015). Consolidating the State of Knowledge: A Synoptical Review of Wind Energy's Wildlife Effects. *Environmental Management*, 56(2), 300–331. <http://doi.org/10.1007/s00267-015-0501-5>
- Shaffer J.A. & Buhl D.A. (2018). Effects of wind-energy facilities on breeding grassland bird distributions. *Conservation Biology* 30: 59–71.
- Seiche, K. (2008). Fledermäuse und Windenergieanlagen in Sachsen 2006. Report to Freistaat Sachsen. Landesamt für Umwelt und Geologie. www.smul.sachsen.de/lfug
- Smallwood KS, Thelander CG. (2008). Bird mortality in the altamont pass wind resource area, California. *J Wildl Manag.* 72(1):215–223.
- Smallwood K.S. (2013). Comparing bird and bat fatality-rate estimates among North American wind-energy projects. *Wildlife Society Bulletin*, 37(1), 19-33.
- Smith J.A. & Dwyer J.F. (2018). Avian interactions with renewable energy infrastructure: An update. *The Condor. Ornithological Application*. Vol 18, pp. 441-423. DOI: 10.1650/CONDOR-15-61.1
- Soufflot, J. (2010). Synthèse des impacts de l'éolien sur l'avifaune migratrice sur cinq parcs en Champagne-Ardenne. LPO Champagne-Ardenne. <http://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lposynthesesuivis.pdf>.
- Strickland M.D., Johnson G., Erickson W.P. & Kronner K. (2001). Avian Studies at Wind Plants Located at Buffalo Ridge, Minnesota and Vansycle Ridge, Oregon. In : PNAWPPM IV, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting IV, Carmel, California, May 2001 : 38-52.

Thomas R. (2000). An Assessment of the Impact of Wind Turbines on Birds at Ten Windfarm Sites in the UK. Sustainable Development International 2 : 215-219.

UICN 2017 – La liste rouge des espèces menacées de France. Chapitre Oiseaux nicheurs de France métropolitaine. 12 p.

Van Diermen J., Van Manen W. & Baaij E. (2009). Terreengebruik en activiteitspatroon van Wespandieven *Pernis apivorus* op de Veluwe. De takkeling, 17(2), 109-133.

Walters K., Kosciuch K. & Jones J. (2013). A Critical Review of the Effects of Tall Structures on Birds. In: Naturvårdsverket (ed): Book of Abstracts. Conference on Wind Power and Environmental Impacts (CWE2013) Stockholm 5–7 February. Report 6546, Stockholm, Sweden. p 106

Whitfield D.P. & Madders M. (2006). A review of the impacts of wind farms on hen harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. Natural research information note 1 (revised). Aberdeen. 32 p.

Winkelmann, J.E. (1989). Birds and the wind park near Urk ; collision victims and disturbance of ducks, geese and swans. RIN Rep. 89/15. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, The Netherlands. P. 122-166, in Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting Lakewood ; Colorado, July 20-21. 145p.

Winkelman J.E. (1992). De invloed van de Sep-proefwindcentrale te Oosterbierum (Fr.) op vogels. 1: aanvaringsslachtoffers. [The impact of the Sep wind park near Oosterbierum (Fr.), The Netherlands, on birds, 1: collision victims.] RIN-rapport92/2. DLO-Instituut voor Bos-en Natuuronderzoek, Arnhem.

Winkelman J.E. (1985). Bird impact by middle-sized wind turbines on flight behaviour, victims, and disturbance. Limosa, 58, 117–121.

Winkelmann J.E. (1989). Birds and the wind park near Urk: collision victims and disturbance of ducks, geese and swans. RIN Rep. 89/15. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem, The Netherlands. Pp.122-166, in: Proceedings of National Avian-Wind Power Planning Meeting, Lakewood, Colorado, July 20-21, 1994. 145 p.

Winkelmann J.E. (1994). Bird/Wind Turbine Investigations in Europe. In : PNAWPPM I, Proceeding of the National Avian-Wind Power Planning Meeting I, Denver, Colorado, July 1994. 179 p.

Zehnder S., S. Akesson, F. Liecht and B. Bruderer (2001). Nocturnal autumn bird migration at Falsterbo, south Sweden. Journal of Avian Biology. 32:329-248

VII. Annexes

VII.1. Présentation de Sens Of Life

VII.1.1. Sens Of Life, une start-up innovante

Sens Of Life (abréviation de « Sensors Of Life » - « capteurs de vie ») est une jeune entreprise innovante. A la confluence des métiers de l'environnement, de la recherche et de l'industrie, elle fonctionne pour sous la forme d'un réseau d'experts pluridisciplinaires : biologistes, développeurs électroniques, programmeurs, physiciens, ingénieurs financiers...

Tous sont pionniers dans leurs travaux, totalement indépendants, animés par un esprit d'exploration et de recherche. Ils partagent une passion pour le développement de nouveaux outils et de nouvelles méthodes dans le but :

- D'améliorer notre connaissance du vivant,

- De concilier nos sociétés avec un environnement riche et préservé,
- De partager et transmettre des expériences et des savoirs faire autour des problématiques environnementales.

Pour atteindre ces objectifs, Sens Of Life développe une recherche collaborative et participative, basée sur l'échange, les réseaux et le plaisir de progresser en partageant.

VII.1.2. Moyens Humains

Sens Of Life est composée d'une jeune équipe dynamique, travaillant à 100% dans l'éolien, dont certains depuis plus de 10 ans, composée pour l'instant de 5 personnes regroupant toutes les compétences nécessaires au bon déroulement d'une étude de qualité :

- un technicien en électronique également formé pour les suivis de mortalité ,
- une programmeuse et ornithologue à double compétences,
- une naturaliste spécialisée en ornithologie,
- une directrice d'étude spécialisée en herpétologie et chiroptérologie,
- un directeur R&D senior, également docteur en écologie forestière, avec de grandes compétences en botanique et milieux naturels,
- un directeur administratif et financier épaulant l'équipe de naturalistes sur les volets sociaux, comptables et juridiques.

Sens Of Life est une structure robuste et performante, en plein développement national et international avec 1/3 de son activité en Belgique et en Allemagne. Cette start-up présente près d'un an de trésorerie d'avance et de commercial assuré. Le chiffre d'affaire doublant d'année en année depuis 2015, l'équipe s'agrandit au fur et à mesure en parallèle. Ces éléments nous permettent d'avoir une visibilité sur notre fonctionnement à moyen terme et nous engager sur des projets nécessitant la poursuite de missions sur plusieurs années.

VII.1.3. Une équipe expérimentée dans le suivi d'activité en altitude des chiroptères

L'étude elle-même sera coordonnée par une directrice de projets, Pauline Rico, dédiée et disponible pendant toute la durée de l'étude, vous garantissant une grande réactivité d'intervention et la tenue des délais. Nous vous transmettrons des comptes rendus réguliers des principales observations de terrain, nous vous alerterons rapidement si un enjeu fort est mis en évidence sur le terrain. L'accompagnement par un consultant sénior offre l'un des meilleurs retours d'expérience existant quant à ces problématiques du grand éolien pour la préservation des milieux naturels. Les expériences de l'équipe et leurs curriculum vitae sont consultables en Annexes I et II.

Pauline Rico – *Ingénieure écologue, co-fondatrice de Sens Of Life, 5 ans d'expérience* – Pauline était chef de projet du programme de régulation d'éoliennes Chirotech pour Biotopie jusqu'en juin 2014. Elle est aujourd'hui fondatrice et présidente de Sens Of Life, une jeune entreprise innovante en environnement. Pauline a acquis une expertise internationale sur les problématiques liées aux chiroptères pour le grand éolien. Son investissement dans ces programmes a déjà permis de sauver des milliers de chauves-souris et d'envisager le déploiement de procédés de régulation d'une nouvelle génération. Lors de ses interventions dans les congrès internationaux, Pauline propose une meilleure prise en compte des chiroptères lors de la conception et l'exploitation de parcs éoliens, tout en présentant les techniques de régulation des éoliennes. Pauline sera en charge des suivis chiroptérologiques et remplacera, si nécessaire, Maria pour les suivis avifaunistiques. Elle gèrera également l'installation, le bon fonctionnement et la récupération des données des TrackBats, des caméras ProBird et des caméras infrarouges.

Dr. Hubert Lagrange - *Docteur en biologie forestière, expert en nouvelles technologies, 15 ans d'expériences* - Hubert a initié Chirotech en 2005 avant de rejoindre Biotopie, entreprise dans laquelle

il a travaillé 8 ans. A la tête du service R&D de cette entreprise, Hubert a piloté l'ensemble des programmes d'enregistrement d'activité de chauve-souris en altitude, puis développé les premières régulations d'éoliennes en France et au Canada. Il a également initié l'ensemble des programmes de développement de solutions d'imagerie visible, infrarouge, thermique et radar développé par cette société. Passionné par les problématiques d'intégration environnementales liées à l'aménagement des territoires, et auteur de plusieurs brevets, il a quitté Biotopie en juin 2014 pour créer une nouvelle société de R&D et poursuivre le développement d'outils innovants. Hubert effectuera les sorties « flore et habitats », accompagnera Pauline sur les points d'écoute pour les chiroptères et pour l'installation des TrackBats, des caméras ProBird et thermiques.

Mathieu Lubac – *Co-fondateur de Sens Of Life, Directeur administratif et financier, 8 ans d'expériences*
– Mathieu, responsable administratif et financier, épaulera l'équipe naturaliste dans les domaines économiques. Eprouvé à la gestion budgétaire, il participe à l'élaboration des business plan, coordonne les achats de matériel afin d'effectuer des économies d'échelle et de faire bénéficier des meilleurs prix à nos clients.