

Suivi du parc éolien de Béganne (56)



Mortalité des oiseaux et chiroptères

Activité des chiroptères

B.E.T Barussaud
Expertise Territoriale

Camesquel – 56190 ARZAL

06.18.47.67.74

info@bet-barussaud.fr

RCS Vannes 803 611 037

Février 2023

Table des matières

1.	Le parc éolien de Béganne et son contexte environnemental	3
1.1.	Localisation et caractéristiques du parc éolien de Béganne	3
1.2.	Contexte environnemental	3
1.3.	Rappel des résultats des suivis de mortalité depuis 2014	5
1.4.	Dispositif de bridage pour 2022	8
2.	Objectifs et méthodologie pour le suivi de 2022	10
2.1.	Objectifs du suivi	10
2.2.	Expérience du responsable de l'étude	10
2.3.	Périodes de prospection pour la recherche de cadavres	11
2.4.	Superficie prospectée et types de surfaces	11
2.5.	Tests d'efficacité des recherches	14
2.6.	Calcul du taux d'efficacité pondéré	15
2.7.	Tests de persistance des cadavres	16
2.8.	Limites de l'utilisation des leurres et comparaison avec la persistance réelle constatée	18
2.9.	Données des Trackbat : activité des chiroptères, conditions météorologiques et fonctionnement des éoliennes.....	20
3.	Résultats des prospections mortalité.....	21
3.1.	Cadavres découverts	21
3.2.	Correction des biais et estimation de la mortalité réelle.....	22
3.3.	Commentaire des estimations de la mortalité réelle.....	23
4.	Analyse des données pour E1 et E3 : activité des chauves-souris, données météorologiques et bridage.....	24
4.1.	Espèces de chauves-souris présentes	24
4.2.	Phénologie saisonnière des chauves-souris	25
4.3.	Analyse du bridage selon l'activité des chauves-souris	26
4.4.	Représentativité du suivi mortalité selon l'activité des chiroptères.....	27
4.5.	Pertinence du pilotage du bridage de E2 et E4 à partir de E1 et E3	29
5.	Conclusions et préconisations.....	32
5.1.	Rappel du contexte et de la démarche du suivi	32
5.2.	Conclusions concernant les chiroptères.....	32
5.3.	Conclusion concernant les oiseaux	35
	Annexe : fiches de mortalité	36

1. Le parc éolien de Béganne et son contexte environnemental

1.1. Localisation et caractéristiques du parc éolien de Béganne

Le parc éolien de Béganne se situe sur une crête surplombant la vallée de la Vilaine. Il est constitué de quatre éoliennes du modèle SENVION MM92 : hauteur mat + nacelle = 98,7 mètres ; hauteur en bout de pale = 144,89 mètres. Il est en activité depuis 2014.



Fig.1 : Localisation des quatre éoliennes

1.2. Contexte environnemental

Les éoliennes se situent dans un paysage composé en majorité de boisements et de landes issues de coupes forestières, le tout entrecoupé de cultures et de haies. Les éoliennes sont donc situées à proximité des lisières :

- l'éolienne 1 se trouve à 30 mètres d'une haie, mais dans un contexte plutôt agricole ; elle domine un champ de maïs
- l'éolienne 2 se trouve à 50 mètres d'une lisière de pinède, au milieu d'une parcelle forestière en pleine régénération (jeunes pins mêlés d'ajoncs et de molinie)
- l'éolienne 3 se trouve à 20 mètres de la lisière d'un bois mixte (feuillus et pins) ; elle domine une prairie de fauche
- l'éolienne 4 se trouve dans un environnement très boisé, à 15 mètres de la lisière forestière la plus proche

Des observations réalisées de manière opportuniste lors des prospections de mortalité montrent que ce site abrite une faune riche, avec des espèces typiques des landes et boisements, peu communes à l'échelle régionale (Bruant jaune, Vipère péliade, Miroir, Céphale...).

À une échelle plus large, le site se trouve à 2,6 kilomètres du site Natura 2000 « Marais de Vilaine », désigné au titre de la directive européenne « Faune, flore, habitats ». Ce site, principalement composé de marais et de prairies, abrite une faune diversifiée, et notamment les espèces suivantes de chauves-souris : le Grand Murin, le Grand Rhinolophe, le Petit Rhinolophe, la Barbastelle d'Europe, le Murin à oreilles échancrées et le Murin de Bechstein, soit 6 espèces inscrites à l'annexe II de la Directive 92/43/CEE.

Par ailleurs, l'église Saint Hermeland de Béganne accueille une colonie de Grands Murins. Découverte en 1994, cette colonie est intégrée dans le site Natura 2000 « Chiroptères du Morbihan ». Les Grands Murins peuvent se déplacer sur de longue distances pour se nourrir, jusqu'à 15 kilomètres dans le cas de cette colonie.



Fig.2 : Vue de l'environnement immédiat des quatre éoliennes ; en haut à gauche E1, en haut à droite E2, en bas à gauche E3 et en bas à droite E4

Le parc éolien de Béganne se situe donc dans un environnement boisé et riche en biodiversité, contrairement aux parcs développés dans des régions de grandes cultures intensives.

1.3. Rappel des résultats des suivis de mortalité depuis 2014

Le parc a fait l'objet de cinq suivis de mortalité depuis sa mise en service en 2014. Nous avons résumé les cas de mortalité constatés dans les tableaux présentés pages suivantes. Les suivis ont eu lieu sur des durées différentes, avec des protocoles difficilement comparables. Celui de 2015-2016 par exemple couvre les douze mois de l'année tandis que celui de 2017 ne porte que sur le mois de septembre.

Comme souvent dans les études naturalistes :

- Une observation positive n'offre qu'une interprétation possible : la présence du phénomène, dans notre cas la mortalité d'oiseau ou de chiroptère
- Une absence d'observation peut avoir deux interprétations possibles : une absence du phénomène ou bien un défaut (ou biais) de prospection

Nous analysons ici uniquement la mortalité constatée, qui ne pose pas de problème d'interprétation :

- Lors de chaque suivi, des cas de mortalité de chiroptères ont été constatés
- 32 cadavres de chiroptères ont été découverts depuis la mise en service du parc en 2014
- le mois de septembre représente à lui seul 19 cadavres
- 6 espèces de chiroptères ont été impactées : Pipistrelle commune, Pipistrelle de Kuhl, Pipistrelle de Nathusius, Sérotine commune, Noctule de Leisler et Vespertilion bicolore
- 7 cadavres d'oiseaux ont été découverts depuis la mise en service du parc en 2014 ; ils concernent 4 espèces : le Roitelet à triple-bandeau, l'Etourneau sansonnet, la Buse variable et l'Accenteur mouchet
- Au total, il a eu 37 cas de mortalité concernant des espèces protégées : tous les chiroptères, y compris les espèces non-identifiées, le Roitelet à triple-bandeau, la Buse variable et l'Accenteur mouchet.

Des mesures de bridages ont été mises en œuvre afin de juguler la mortalité des chiroptères, particulièrement problématique sur ce parc. Malgré cela, des cas de mortalité ont été constatés jusqu'ici lors de chaque suivi réalisé. Un nouveau dispositif de bridage est mis en œuvre en 2022 : le dispositif ProBat (voir ci-après).

Suivi du parc éolien de Béganne (56)

	2014, GMB				2015 - 2016, O-GEO				2017 O-GEO				2020 O-GEO				2021 Amikiro / Synergis				TOTAL mensuel	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
éolienne	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
janvier																						
février																						
mars																						
avril					1PC											1PC		1PC			3	
mai																						
juin			1PC	1PC		1PC													1PN		4	
juillet		1PSP	1PC																			2
août				1PSP	1PK		1PC									1PC						4
septembre		1PC, 2PSP, 1CSP	1VB, 1PC	2SC, 1NL, 6PC	2PC	1PC			1PC													19
octobre																						
novembre																						
décembre																						
TOTAL par éol.	0	5	4	11	4	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	1	
TOTAL parc	20				7				1				2				2					

PC : Pipistrelle commune ; PK : Pipistrelle de Kuhl ; PN : Pipistrelle de Nathusius ; PSP : Pipistrelle sp. ; SC : Sérotine commune ; NL : Noctule de Leisler ; VB : Vespertilion bicolore ; CSP : Chauve-souris sp.

période de suivi

Tab.1 : Résumé de la mortalité constatée pour les chiroptères lors des suivis précédents

Suivi du parc éolien de Béganne (56)

	2014, GMB				2015 - 2016, O-GEO				2017, O-GEO				2020 O-GEO				2021 Amikiro / Synergis				TOTAL mensuel	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
éolienne	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		
janvier																						
février					1ES																1	
mars																						
avril																						
mai																						
juin																						
juillet																	1AM					1
août																	1OSP					1
septembre					1RTB			1RTB	1BV							1BV						4
octobre																						
novembre																						
décembre																						
TOTAL par éol	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	
TOTAL parc	0				3				1				3				0					

RTB : Roitelet à triple bandeau ; ES : Etourneau sansonnet ; BV : Buse variable ; AM : Accenteur mouchet ; OSP : Oiseau sp.

période de suivi

Tab.2 : Résumé de la mortalité constatée pour les oiseaux lors des suivis précédents

1.4. Dispositif de bridage pour 2022

Un dispositif de bridage ProBat, développé par la société Sens of Life, a été mis en place en 2022, en application de l'arrêté préfectoral complémentaire du 2 juin 2022 :

ARTICLE 5 – Modalités de mise en œuvre du système de régulation dynamique

L'exploitant met en œuvre un système de régulation nocturne automatisée des éoliennes combinant une approche prédictive et une mesure en temps réel de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle :

- dispositif ProBat de la société Sens Of Life.

L'objectif de ce dispositif est de cibler la période de régulation nocturne sur les plages d'activité effective des chiroptères.

Le système est opérationnel du 01 avril au 01 novembre dans les conditions définies ci dessous :

- deux éoliennes présentant des habitats différents seront équipées de trackbat. L'activité mesurée au niveau du rotor de ces éoliennes par le système permettra de réguler le fonctionnement des quatre éoliennes constituant le parc ;
- le système est en fonction d'une heure avant le coucher du soleil à une heure après le lever du soleil, quels que soient les paramètres de vent et de température ;
- l'activation du dispositif 1 heure avant le coucher du soleil doit permettre d'enclencher un arrêt dès les 6 premières minutes positives cumulées ;
- les sons détectés par l'enregistreur en nacelle sont analysés automatiquement en temps réel ;
- les deux éoliennes pilotées par le même trackbat sont mises à l'arrêt si durant les 60 dernières minutes, au moins 6 minutes positives, différentes, et pas nécessairement à la suite, ont été enregistrées ;
- Les éoliennes restent à l'arrêt durant 30 minutes dès lors que cette condition cumulative reste positive sur la dernière heure.

L'objectif de préservation de l'activité des chiroptères minimal à atteindre est de 90 %.

La solution ProBat de Sens Of Life est un système de bridage dynamique qui stoppe les éoliennes lorsque la probabilité de risque de collision est jugée importante. Cette probabilité est calculée d'après :

- Les paramètres météorologiques : les seuils de température à 12°C et de vitesse du vent 6 m/s sont utilisés pour déterminer la probabilité de présence théorique. Ces variables sont mesurées de manière indépendante sur chaque éolienne.
- Une détection en temps réel de l'activité des chiroptères grâce aux enregistreurs Trackbat. Les éoliennes n°1 et n°3 sont équipées d'enregistreurs Trackbat. Le Trackbat de l'éolienne n°1 pilote les éoliennes n°1 et n°2. Le Trackbat de l'éolienne n°3 pilote les éoliennes n°3 et n°4 (fig.3).

Le système ProBat fonctionne à partir d'une heure avant le coucher du soleil jusqu'à une heure après le lever du soleil. L'analyse du risque et l'ordre d'arrêt se font en une seconde ; l'arrêt de l'éolienne nécessite 20 à 30 secondes supplémentaires.

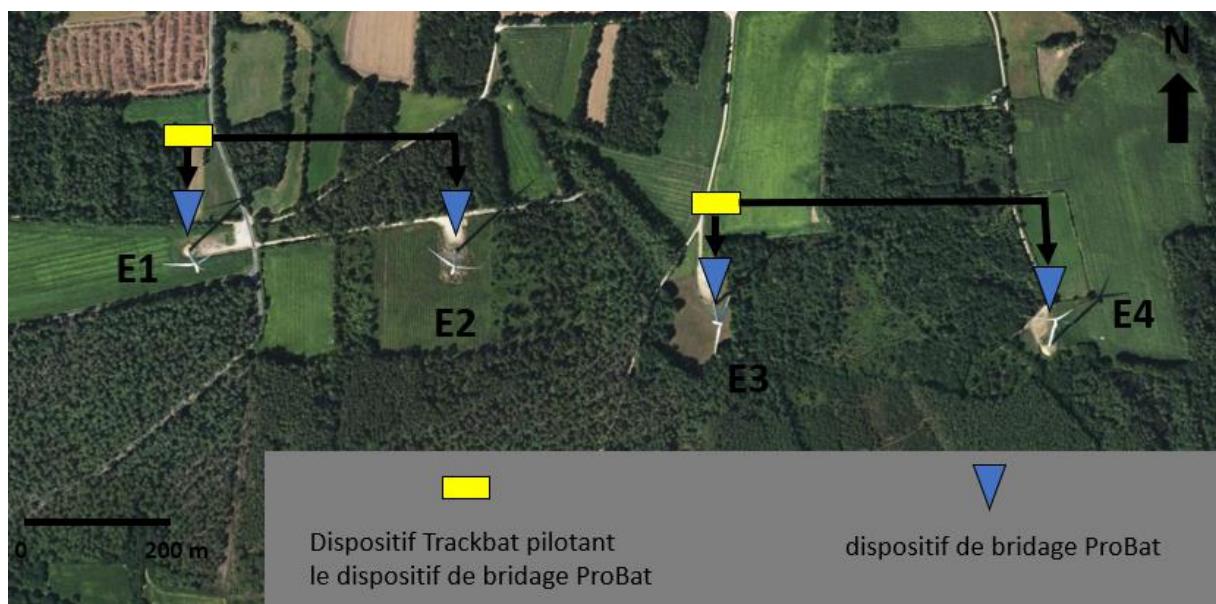


Fig. 3 : équipement des éoliennes par les dispositifs ProBat et Trackbat

2. Objectifs et méthodologie pour le suivi de 2022

2.1. Objectifs du suivi

Comme expliqué précédemment, un nouveau système de bridage a été mis en place en 2022 pour juguler la mortalité des chiroptères.

L'objectif principal de ce suivi est de répondre à la question suivante : le nouveau système de bridage permet-il de juguler la mortalité des chiroptères sur l'ensemble du parc éolien de Béganne ?

Pour cela, nous chercherons à répondre aux questions suivantes :

- Nous avons mis en place un suivi hebdomadaire couvrant les mois de mai, juin, juillet, août, septembre et octobre 2022 (voir méthodologie ci-après) : des cas de mortalité sont-ils observés sur cette période ? Quelles ont été les conditions de prospection sous les différentes éoliennes et quels biais limitent l'interprétation des résultats ? Outre, les chiroptères, la recherche de cadavre concerne également les oiseaux.
- Le dispositif de bridage permet-il effectivement un arrêt des éoliennes lorsque les chiroptères sont en activité à proximité ? Si oui, dans quelles proportions ?
- Quelle est la représentativité des suivis de mortalité par rapport à l'activité des chiroptères ? Autrement dit : des prospections de mortalité ont-elles été réalisées dans de bonnes conditions (% de surface au sol prospectable) et suffisamment tôt après les nuits de forte activité ? Et, à l'inverse, des pics d'activité ont-ils été insuffisamment suivis ? Nous pourrons répondre à cette question uniquement pour les éoliennes n°1 et n°3, les seules équipées de Trackbat.
- Dans quelle mesure les données Trackbat de l'éolienne n°1 sont-elles pertinentes pour piloter l'éolienne n°2 ? Même question pour l'éolienne n°3 rapport à l'éolienne n°4.

A l'issue de cette étude, nous conclurons sur l'efficacité du dispositif actuel (2022) et, le cas échéant, proposerons des améliorations pour les années à venir.

2.2. Expérience du responsable de l'étude

Les prospections concernant la mortalité ont été réalisées par Émilien Barussaud qui observe et étudie la faune sauvage depuis 30 ans, dont 15 années à titre professionnel à l'ONCFS (2008-2010), puis en tant que naturaliste indépendant (depuis 2010). Il est par ailleurs titulaire d'un DUT en Sciences Physiques, d'une Licence de Géographie, d'un Master Recherche en Environnement et d'un Master Professionnel en Géomatique et S.I.G.

Depuis 2012, Émilien Barussaud a réalisé le suivi de 10 parcs éoliens en Bretagne :

- Saint-Allouestre (Morbihan, 4 turbines)
- Parc éolien de l'Oust à Saint Congard (Morbihan, 4 turbines)
- Pigeon Blanc à Campénéac (Morbihan, 6 turbines)
- Saint-Servant-sur-Oust / Lizio (Morbihan, 6 turbines)
- Plélan-le-Grand (Ille-et-Vilaine, 6 turbines)

- Saint-Coulitz (Finistère, 4 turbines)
- Saint-Servais (Côtes d'Armor, 7 turbines)
- Beau Soleil à Taupont / Saint-Malo-des-Trois-Fontaines (Morbihan, 5 turbines)
- Croix des Trois Chesnots à Maure-de-Bretagne (Ille-et-Vilaine, 4 turbines)
- Landier du Rohallet à Régouiny / Crédin (Morbihan, 4 turbines)

2.3. Périodes de prospection pour la recherche de cadavres

La recherche de cadavres d'oiseaux et de chiroptères a été réalisée lors de 26 sorties de prospections à intervalle hebdomadaire, conformément au protocole national en vigueur dans sa version la plus récente (2018). Pour rappel, ce dernier recommande : « *Le suivi de mortalité des oiseaux et chiroptères sera constitué au minimum de 20 prospections, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre), en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site* ».

Compte-tenu de l'historique des suivis sur ce parc (voir 1.3.), nous avons étendu le suivi au-delà des 20 semaines minimum recommandées. La période que nous suivons couvre les mois de mai, juin, juillet, août, septembre et octobre 2022. Ces six mois de l'année correspondent à 90 % de la mortalité constatée lors des suivis précédents (35 sur 39). Seul le mois d'avril (3 cas de mortalité de chiroptères constatés) manque à ce suivi pour obtenir une couverture parfaite de la période à risques pour les chiroptères.

2.4. Superficie prospectée et types de surfaces

Lors de chaque sortie, toutes les éoliennes ont été prospectées conformément au protocole. Les recherches ont été réalisées sur un carré de 100 mètres, soit une superficie d'un hectare, comme demandé dans le protocole.

À chaque date, nous notons, au sein de cette surface d'un hectare, le pourcentage de surface :

- de type A : la surface est suffisamment lisse et uniforme pour que les cadavres ne puissent pas échapper à la vue de l'observateur ; c'est souvent le cas sur les plateformes dépourvues de végétation ou sur le sol nu et aplani des champs à certaines périodes de l'année
- de type B : la surface peut être prospectée mais les cadavres peuvent échapper à la vue de l'observateur dans une proportion qui sera évaluée par des tests (voir ci-dessous)
- de type C : la densité de végétation est telle que la prospection est rendue impossible

Cette méthode est en accord avec le protocole de 2018 : « *Ne prospector que les zones à ciel ouvert et praticables. Le reste de la surface échantillon devra faire l'objet d'une correction proportionnelle par coefficient surfacique.* »

La distance entre le cadavre et le mât de l'éolienne est mesuré. Le cadavre est laissé sur place de manière à évaluer son temps de persistance et de le comparer avec celui mesuré lors des tests.

Suivi du parc éolien de Béganne (56)



Fig.4 : Les trois types de surfaces : en haut, deux exemples de surfaces de type A ; au centre, deux exemples de surfaces de type B ; en bas, deux exemples de surfaces de type C (photographies prises sous les différentes éoliennes du parc durant la période de suivi).

Suivi du parc éolien de Béganne (56)

date	éolienne 1			éolienne 2			éolienne 3			éolienne 4		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
06/05/2022	85,5	2,5	12	12	2,5	85,5	10	8	82	14	2	84
13/05/2022	85,5	2,5	12	12	2,5	85,5	10	8	82	14	2	84
20/05/2022	88	0	12	14,5	0	85,5	12,5	5,5	82	14	10	76
27/05/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	12,5	2,5	85	12	9	79
03/06/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	10	5	85	14	11	75
10/06/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	5	85	14	11	75
17/06/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	11	75
24/06/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	11	75
01/07/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	11	75
08/07/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	0	86
14/07/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	31	55
22/07/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	31	55
29/07/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	31	55
05/08/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	18	35	47	14	31	55
12/08/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	18	35	47	14	31	55
19/08/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	15	38	47	14	31	55
26/08/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	15	38	47	14	31	55
02/09/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	15	38	47	14	31	55
09/09/2022	88	0	12	12	2,5	85,5	15	38	47	14	31	55
16/09/2022	88	0	12	14,5	0	85,5	15	38	47	14	11	75
23/09/2022	88	0	12	14,5	0	85,5	15	38	47	34	11	55
30/09/2022	88	0	12	14,5	0	85,5	15	38	47	34	2	64
06/10/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	12,5	40,5	47	14	20	66
14/10/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	12,5	40,5	47	14	0	86
21/10/2022	15	0	85	12	2,5	85,5	10	43	47	14	20	66
28/10/2022	12	2,5	85,5	12	2,5	85,5	10	43	47	14	22	64
MOYENNE	54,00	0,29	45,71	12,38	2,12	85,50	12,35	32,23	55,42	15,46154	17,03846	67,5

Tab.3 : Surfaces prospectées au pied de chaque éolienne à chaque date, en %. Pour rappel : surface A = prospection « idéale » ; surface B = prospection possible ; surface C = prospection impossible. * dates marquées d'un astérisque = décalage d'un jour par rapport à la date prévue pour des raisons pratiques

Le meilleur taux de prospection est obtenu pour l'éolienne n°1, avec une moyenne de 54 % de surface de type A, à savoir « prospection idéale ». Aux mois de mai, août et septembre, le sol nu et régulier offre des conditions idéales sur une large part de la surface à prospecter. Vient ensuite l'éolienne n°3 où les surfaces de types A et B représentent près de la moitié du total. Les conditions de prospection sont défavorables sous l'éolienne n°4 (67,5 % de type C en moyenne) et très défavorables sous l'éolienne n°2 où, quelle que soit la période de l'année, la surface prospectable se limite à 15 % en raison de la présence d'une lande très dense composée de jeunes pins, d'ajoncs et d'une végétation herbacée dense.

Les brusques changements d'une date à l'autre s'expliquent par les travaux agricoles : une parcelle récemment labourée ou fauchée devient prospectable ; à l'inverse une culture devenue trop haute et trop dense empêche la prospection ; de même les jeunes semis fragiles n'ont pas été parcourus pour ne pas nuire au travail des agriculteurs.

2.5. Tests d'efficacité des recherches

Pour les surfaces de type B, (pour rappel : celles où la prospection n'est ni parfaite, ni impossible), nous devons connaître le taux d'efficacité des recherches, c'est-à-dire, parmi n cadavres présents à une date donnée, la part de ceux que l'observateur découvre.

Pour les oiseaux, compte-tenu de la variabilité de leur taille et de leurs coloris, nous avons fabriqué 20 leurres correspondant aux profils des espèces communes en France. Les petits mesurent 10 cm, soit la taille approximative des Mésanges, Pinsons, Moineaux, Fauvettes, Roitelets, Pouillots, etc. et les grands 25 cm, soit la taille approximative des Etourneaux, Choucas, Tourterelles, etc.



Fig.5 : Les 20 leurres utilisés (à gauche) et l'exemple d'un leurre posé sur le terrain

Pour les chauves-souris, nous avons utilisé 12 fausses chauves-souris en plastique imitant la silhouette des vraies, avec deux coloris : 6 noires et 6 grises et marron. Elles mesurent environ 12 cm d'envergure, soit une dimension proche de celle des cadavres recherchés.



Fig.6 : Les leurres de chauves-souris disposés sur le terrain

Au total, six tests ont été réalisés : trois pour les oiseaux et trois pour les chauves-souris, à différentes dates et dans différents types de milieux correspondant à des surfaces de type B.

Une personne dispose les leurres puis l'observateur tente de les retrouver en parcourant le terrain à la même vitesse que lors des prospections réelles. Nous avons considéré que nous prospections la surface d'un hectare en 30 minutes environ (1500 mètres à une vitesse de 3 kilomètres / heure environ). Nous avons donc conservé ce rapport pour la recherche des leurres.

Au total, nous avons disposé 96 leurres : 3 x 20 faux oiseaux + 3 x 12 fausses chauves-souris.

Le taux de détection est en moyenne de 0,767.

La moyenne selon le type de leurre vaut 0,783 pour les oiseaux et 0,750 pour les chauves-souris.

date	milieu	type de leurre	nombre de leurres posés	nombre de leurres retrouvés	taux d'efficacité
en avril 2022	prairie	faux oiseaux (cartons colorés)	20	14	0,700
en mai 2022	prairie	fausses chauves-souris (plastique)	12	10	0,833
en juin 2022	prairie	fausses chauves-souris (plastique)	12	9	0,750
en octobre 2022	friche	faux oiseaux (cartons colorés)	20	16	0,800
en octobre 2022	chaumes de maïs	faux oiseaux (cartons colorés)	20	17	0,850
en octobre 2022	chaumes de maïs	fausses chauves-souris (plastique)	12	8	0,667
groupe	taux d'efficacité moyen				
Chauves-souris	0,750				
Oiseaux	0,783				
TOTAL	0,767				

Tab.4 : Résultats des tests de détection

2.6. Calcul du taux d'efficacité pondéré

Le taux d'efficacité des recherche doit être pondéré par la proportion de surface A et de surface B parmi la surface prospectable. Z pondéré = (Z surface A x taux A) + (Z surface B x taux surface B).

taux surface A sur le total	0,235
taux surface B sur le total	0,129
taux surface A dans la partie prospectable	0,646
taux surface B dans la partie prospectable	0,354
Z oiseaux en A	1,000
Z chauves-souris en A	1,000
Z oiseaux en B	0,783
Z chauves-souris en B	0,750
Z oiseaux pondéré	0,923
Z chauves-souris pondéré	0,911

Tab. 5 : Taux d'efficacité des prospections pondéré selon la nature des surfaces

2.7. Tests de persistance des cadavres

Nous avons réalisé des tests en juin et octobre avec de la viande de poulet (chair, peau et os). Nous avons utilisé des morceaux de différentes tailles, correspondant à la diversité des cadavres réels : pour chaque relevé, 14 petits morceaux (taille d'un petit oiseau ou d'une chauve-souris) et 6 gros morceaux (taille d'un gros oiseau), soit un total de 20, à raison de 5 cadavres par éolienne.

Nous avons réalisé deux séries de tests avec un relevé journalier pendant 7 jours : une en juin et une en octobre 2022, de manière à connaître le taux de persistance à chacune de deux périodes de suivi.

Nous repérons la position des morceaux de viande sur une image aérienne et à l'aide de repères fixes (nombre de pas dans telle direction depuis une borne ou un arbre, etc.).

Notre protocole correspond bien aux exigences du protocole 2018, lequel préconise « *deux tests de persistance (...) à des périodes distinctes* », avec « *trois à cinq cadavres par éolienne* » et « *au minimum, un retour le lendemain du jour de dispersion, puis 2 par semaines jusqu'à disparition des cadavres* ».



Fig.7 : Exemple de petit leurre (à gauche) et de grand leurre (à droite) disposés sur le parc en octobre

		J	J+1	J+2	J+3	J+4	J+5	J+6	J+7
test juin 2022	gros morceaux	6	4	1	0	0	0	0	0
	petits morceaux	14	6	4	3	0	0	0	0
	TOTAL	20	10	5	3	0	0	0	0
test octobre 2022	gros morceaux	6	4	4	1	1	1	1	0
	petits morceaux	14	10	6	6	6	6	2	1
	TOTAL	20	14	10	7	7	7	3	1

Tab.6 : Résultats des tests de persistance

	test juin 2022							
persistance en nombre de jour	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
nombre de leurres concernés	10	5	2	3	0	0	0	0
persistance moyenne en jour	1,400							
	test octobre 2022							
persistance en nombre de jour	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5
nombre de leurres concernés	6	4	3	0	0	4	2	1
persistance moyenne en jour	2,950							

Tab.7 : Calcul de la durée moyenne de persistance pour chaque période.

Nous considérons qu'un leurre disparu entre J et J+1 a persisté 0,5 jours. Le leurre ayant persisté jusqu'à 7 jours en octobre n'a pas été contrôlé entre J+7 et J+14 pour des raisons pratiques : nous ne pouvions pas envisager de retourner sur le site tous les jours pendant une semaine supplémentaire. Il avait disparu à J+14. La persistance de ce deux leurre a été fixée à 7,5 jours.

La persistance est de 1,4 jours en juin et de 2,95 jours en octobre. Notre suivi ayant été réalisé en continu sur la période allant de mai à octobre, nous prenons la moyenne de ces deux séries comme durée de persistance moyenne sur les six mois. Elle est donc de 2,175 jours. Nous verrons ci-dessous que les cadavres réels peuvent persister beaucoup plus longtemps.

Pour rappel, le temps de persistance calculé lors du suivi de 2015 variait de 1,5 à 4,5 jours selon les périodes, ce qui est cohérent avec nos résultats.

2.8. Limites de l'utilisation des leurres et comparaison avec la persistance réelle constatée

La principale limite dans l'évaluation de l'efficacité des recherches et de la persistance des cadavres vient du fait qu'il est difficile de reproduire avec les leurres les conditions de recherche et de persistance des vrais cadavres :

- d'une part, pour obtenir des moyennes ayant une valeur statistique, nous devons utiliser un nombre de leurres très nettement supérieur à la mortalité réelle ; cette dernière étant un événement rare. Cela induit un biais dans la capacité de prédation des charognards : ces derniers ne se comportent *a priori* pas de la même manière face à un seul cadavre réel et face à une vingtaine de leurres. On peut imaginer deux phénomènes aux effets inverses : une accoutumance au site des charognards et, à l'inverse, un effet de satiété provoquée par la quantité de viande disponible.
- par ailleurs, les leurres ne reproduisent pas les cadavres réels de manière exact : si la diversité potentielle des cadavre a pu être simulée pour le test d'efficacité des recherches (variation des formes et des couleurs), les tests de persistance ne peuvent pas être réalisés avec des cadavres d'oiseaux ou de chauves-souris appartenant à des espèces protégées.

Ces deux limites sont inhérentes au protocole recommandé à l'échelle nationale.

Considérons maintenant la durée de persistance des cadavres réels, constatée durant la durée de notre étude :

- nous avons découvert trois cadavres d'oiseaux au cours du suivi (voir 3.1)
- nous avons également découvert deux cadavres de rongeurs

Chaque cadavre a été laissé à sa place après sa découverte, sans être touché. L'emplacement a été matérialisé avec des morceaux de bois, en vue d'une recherche à J+7, J+14, etc.



Fig.8 : Exemple de cadavres laissé sur place pour évaluer leur durée de persistance réelle : un rongeur à gauche et un martinet, dont l'emplacement est délimité avec des morceaux de bois, à droite.

Le second cadavre de Martinet a été retrouvé pendant les 6 semaines qui ont suivi sa découverte, alors que le premier avait disparu à J+7. Il semblerait que les cadavres, une fois desséchés ou partiellement décomposés n'intéressent plus les prédateurs, c'est pourquoi ils pourraient persister pendant plusieurs semaines. Nous avons fait le même constat lors d'autres suivis de parcs éoliens : plusieurs cadavres de Buses variables et un cadavre de Pipistrelle de Kuhl ont été retrouvés à J+7 et au-delà.

Il n'y a toutefois pas suffisamment de cas sur chaque parc éolien pour établir des moyennes statistiquement significatives.



Fig.9 : Cadavre du Martinet noir lors de sa découverte le 5 août (à gauche), toujours présent au même endroit le 26 août (à droite). Son aspect a peu changé.

A titre indicatif, nous avons calculé le temps de persistance moyen des cinq cadavres précédemment évoqués. Cette moyenne est de 15,5 jours, soit 7 fois plus que les leurres.

Nous verrons par la suite que la durée de persistance joue un rôle primordial dans l'estimation de la mortalité avec les formules d'Erickson, Jones et Huso.

cadavre réel	temps de persistance constaté (en jours)
martinet 1	0,5
martinet 2	42
roitelet huppé	14
rongeur 1	7
rongeur 2	14
moyenne	15,5

Tab.8 : Durée de persistance constatée chez les cadavres réels sur le parc de Béganne en 2022

2.9. Données des Trackbat : activité des chiroptères, conditions météorologiques et fonctionnement des éoliennes

Les données relatives à l'activité des éoliennes, aux conditions météorologiques et au fonctionnement des éoliennes n°1 et n°3 ont été fournies à Barussaud Expertise Territoriale en décembre 2022 sous forme de fichiers Excel comportant des données par tranche de 10 minutes depuis le 01/03/22 jusqu'au 07/11/2022. La période des suivis de mortalité est entièrement couverte.

Sur chaque tranche de 10 minutes, nous disposons :

- De la date et de la tranche horaire
- De la vitesse du vent en m/s
- Du nombre de rotation par minute du rotor
- De la température
- De données en présence / absence (1 ou 0) pour les différentes espèces de chiroptères

L'activité des chiroptères n'est pas chiffrée en nombre de contacts (sur une plage de 10 minutes, il peut théoriquement y en avoir des dizaines) mais en présence / absence pour chaque espèce, de sorte que le total peut théoriquement varier entre 0 et le nombre d'espèces présentes, à savoir 8 dans notre cas. Nous interpréterons donc ce total comme un « indice d'activité » et n'utilisons pas le terme « nombre de contacts ».

Les fichiers transmis par Sens of Life contiennent une très grande quantité des données. Le fichier de l'éolienne n°3 par exemple contient 36.289 lignes sur 13 colonnes, soit près de 500.000 valeurs. Nous avons cherché à extraire de ces fichiers les informations les plus intéressantes compte-tenu des objectifs de notre étude. Nous avons travaillé à deux échelles de temps différentes :

- Analyse des données par tranche de 10 minutes, notamment pour analyser avec précision le bridage en relation avec l'activité des chiroptères ou pour comparer la phénologie horaire entre E1 et E3
- Agrégation des données nuit par nuit, notamment pour faire le lien entre l'activité des chiroptères et le suivi de mortalité hebdomadaire

dttm	date début nuit			Pip pip	Pip kuhl	Pip nat	KN	Nyc noc	Nyc lei	Eps ser	Nyct	Total	
		wind_speed	RPM	ambient_ter	1477,4 1780	112,88 136	272,24 328	38,18 46	38 152	24,18 78	158 316	3,4 20	2124,28 2856
18/03/2022 21:40		10,0	14,2	10,8	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	18/03/22				1	0	0	0	0	0	0	0	1
19/03/2022 21:50		6,2	11,7	11,0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
19/03/2022 22:20		6,7	11,5	11,0	1	0	0	0	0	0	0	0	2
20/03/2022 04:50		4,9	9,5	10,1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
20/03/2022 05:20		4,0	8,1	10,0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	19/03/22				4	0	0	0	0	0	1	0	5
20/03/2022 23:40		7,9	11,8	11,9	1	0	0	0	0	0	0	0	1
21/03/2022 02:50		7,7	11,8	10,7	1	0	0	0	0	0	0	0	1
21/03/2022 04:50		7,3	11,8	9,9	1	0	0	0	0	0	0	0	1
21/03/2022 05:10		7,5	11,8	9,9	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	20/03/22				4	0	0	0	0	0	0	0	4
21/03/2022 22:50		9,4	12,3	13,8	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	21/03/22				1	0	0	0	0	0	0	0	1
23/03/2022 20:40		4,8	0,0	13,8	1	0	0	0	0	0	0	0	1
24/03/2022 00:30		6,1	0,0	12,8	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	23/03/22				2	0	0	0	0	0	0	0	2
24/03/2022 20:30		4,7	0,0	16,0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
24/03/2022 21:10		6,3	0,0	16,2	1	0	0	0	0	0	0	0	1
	24/03/22				2	0	0	0	0	0	0	0	2
25/03/2022 20:50		9,0	14,2	15,6	1	0	0	0	0	0	0	0	1
25/03/2022 22:40		9,4	12,3	14,1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
25/03/2022 23:00		9,3	12,3	13,8	1	0	0	0	0	0	0	0	1
26/03/2022 05:00		10,1	15,1	9,9	1	0	0	0	0	0	1	0	2
	25/03/22				4	0	0	0	0	0	1	0	5

Fig. 10 : Exemple de traitement des données brutes : l'agrégation des données par nuit

3. Résultats des prospections mortalité

3.1. Cadavres découverts

Sur l'ensemble des 26 sorties, trois cadavres d'oiseaux ont été découverts :

- Un Martinet noir est découvert le 24/06/22 à 30 mètres du pied de l'éolienne n°1
- Un autre Martinet noir est découvert le 05/08/22 à 35 mètres du pied de l'éolienne n°1
- Un Roitelet huppé est découvert le 16/09/22 à 25 mètres du pied de l'éolienne n°4

Ces deux espèces sont protégées à l'échelle nationale et sont considérées comme « quasi-menacées » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine (2016). Le Martinet noir, migrateur, est présent en Bretagne de fin avril à fin août. Il niche dans les bâtiments. Le Roitelet huppé est présent en Bretagne toute l'année ; la date du 16 septembre correspond à la migration post-nuptiale.

Ces découvertes portent à 10 le nombre de cas de mortalité d'oiseaux constatés depuis 2014. Aucune de ces deux espèces n'avait été signalée sur le parc de Béganne auparavant. Les trois cadavres sont en assez bon état et permettent une identification de l'espèce.

Chaque découverte a été signalée le jour même à l'exploitant et une fiche de mortalité (voir en annexe) lui a été transmise.

Aucun cadavre de chiroptère n'a été découvert : c'est la première fois que cela arrive depuis la mise en place des suivis en 2014.



Fig.11 : Les trois cadavres découverts

Le suivi de 2022, avec le briding ProBat activé, est le premier qui n'aboutit à aucune découverte de mortalité de chiroptères. Pour rappel, des cadavres de chauves-souris avaient été découverts en 2014, 2015-2016, 2017, 2020 et 2021. En revanche, avec trois cas de mortalité d'oiseaux, le suivi de 2021 égale le maximum enregistré en 2015-2016 puis en 2020.

3.2. Correction des biais et estimation de la mortalité réelle

Plusieurs formules ont été proposées pour estimer la mortalité réelle à partir du nombre de cadavre découverts. Nous utilisons différentes formules dont les termes sont expliqués dans le tableau.

Formule d'Erickson (2000) :

$$N = \left(\frac{I \times C}{\bar{t} \times Z} \right) \times A$$

Formule de Jones (2009) :

$$N = \left(\frac{C}{Z \times \exp(-0.5 \times I/\bar{t}) \times \hat{e}} \right) \times A$$

Formule de Huso (2010) :

$$N_{\text{estimé}} = \left(\frac{C}{Z \times \frac{\bar{t} \times (1 - \exp^{-I/\bar{t}})}{I} \times \hat{e}} \right) \times A$$

termes des équations d'Erickson, Jones et Huso		oiseaux	chauves-souris
I	intervalle de temps entre deux passages (en jours)	7	7
C	nombre de cadavres comptés *	3	1
Z oiseaux	taux d'efficacité des prospections pondéré pour les oiseaux	0,923	0,911
t	durée de persistance moyenne des cadavres (en jours)	2,175	2,175
A	coefficient de correction surfacique (= 1/taux de prospection)	2,747	2,747
\hat{t}	$\hat{t} = -\log(0,01) \times t$	4,350	4,350
\hat{e}	coefficient correcteur d'intervalle (= min(I : \hat{t}) / I)	0,621	0,621
Estimation de la mortalité		oiseaux	chauves-souris
selon Erickson		28,7	9,7
selon Jones		71,8	24,3
selon Huso		48,2	16,3

Tab.9 : Estimation de la mortalité d'après les formules d'Erickson, Jones et Huso.

* Concernant les cadavres comptés, nous prenons 1 pour les chauves-souris (comme pour les oiseaux) afin de pouvoir réaliser les calculs, ce qui est impossible avec 0. Le résultat des chauves-souris doit donc être interprété comme une fourchette, par exemple avec la formule d'Erickson : entre 0 et 9,7 chauves-souris.

3.3. Commentaire des estimations de la mortalité réelle

Les estimations ont des ordres de grandeur cohérents : il y a un rapport de 2,5 entre les minima, obtenus avec la formule d'Erickson, et les maxima, obtenus avec celle de Jones. Huso donne une estimation intermédiaire : 48,2 oiseaux et entre 0 et 16,3 chauves-souris sur 26 semaines.

Pour rappel, le suivi de 2020 avait conclu, concernant les chiroptères, à une mortalité estimée entre 28,5 (formule d'Erickson) et 39,3 (formule de Jones) à partir de deux cadavres découverts*. En nous basant sur l'hypothèse « nombre de cadavres < 1 », nous obtenons une mortalité strictement inférieure à 24,3 (Jones), inférieure à 16,3 d'après Huso et même à 9,7 d'après Erickson. La mortalité estimée a donc diminué.

Les formules utilisées sont très sensibles au rapport « durée de persistance / intervalle des prospections ». Or, dans notre cas, la durée de persistance moyenne est de 2,175 jours, pour un intervalle de prospection de 7, d'où une estimation de mortalité assez élevée. Si l'on utilise maintenant le taux de persistance des cadavres réels – en gardant à l'esprit la faiblesse statistique de cette valeur, calculée à partir de 5 cas seulement (contre 40 pour les leurres) – nous obtenons des valeurs nettement moins élevées : la mortalité des oiseaux varie de 4 à 11,2 selon les formules, celle des chauves-souris est strictement inférieure à 3,8 (maxima donné par la formule de Jones) et même inférieure à 1,4 d'après Erickson.

Le taux d'efficacité des prospections, assez proche de 1, ne constitue pas un biais très important. En revanche, le coefficient de correction surfacique est très important puisque seuls 36,4 % de la surface sous les éoliennes ont pu être prospectés. Nous avons vu que les éoliennes n°2 et n°4 contribuaient fortement à ce faible taux de prospection.

En conclusion, la mortalité des chiroptères a diminué par rapport à 2020* quelle que soit la formule utilisée pour corriger les biais. Toutefois, ces derniers demeurent une importante source d'incertitude : l'évaluation de la durée de persistance des cadavres au moyen de leurres n'est guère satisfaisante (problème inhérent au protocole de 2018) et le taux de surface prospectable sur le parc de Béganne est trop faible. Des propositions sont formulées dans la conclusion de ce rapport pour tenter de remédier à ces deux problèmes.

*Pour rappel, en 2021 l'estimation de la mortalité réelle n'avait pas pu être effectuée, l'association Amikiro n'ayant pas fourni les données nécessaires.

4. Analyse des données pour E1 et E3 : activité des chauves-souris, données météorologiques et bridage

4.1. Espèces de chauves-souris présentes

Les données Trackbat mettent en évidence la présence de 6 espèces. On retrouve le même cortège autour de l'éolienne 1 et de l'éolienne 3. La Pipistrelle commune est l'espèce la plus régulièrement présente avec 173 nuits d'activité. Elle représente 62 % de l'activité sur E1 et 57 % sur E3. Les trois espèces de pipistrelles représentent 78,5 % de l'activité pour E1 et 77,3 % pour E3.

espèce	E1		E3	
	nombre de nuit avec activité	indice d'activité totale (nombre de tranches de 10 mn positives)	nombre de nuit avec activité	indice d'activité totale (nombre de tranches de 10 mn positives)
Pipistrelle commune	173	891	167	1055
Pipistrelle de Nathusius	73	164	66	157
Sérotine commune	80	158	71	140
Noctule commune	59	76	50	173
Pipistrelle de Kuhl	40	68	77	210
Noctule de Leisler	32	39	55	65
non identifiées	21	33	25	38
TOTAL		1429		1838

Tab.10 : Activité chiroptérologique par espèce enregistrée sur E1 et E3

On retrouve les mêmes espèces que lors des suivis en nacelle de 2020 et 2021. Seule la Barbastelle commune, avec une activité marginale de 5 contacts en septembre 2020, n'a pas été retrouvée. La composition du cortège d'espèces semble relativement stable au fil des ans.

4.2. Phénologie saisonnière des chauves-souris

La phénologie saisonnière est à peu près la même pour E1 et E3, avec une augmentation progressive de l'activité de fin mars à mi-juin, une activité forte de juin à octobre et une brusque chute début novembre.

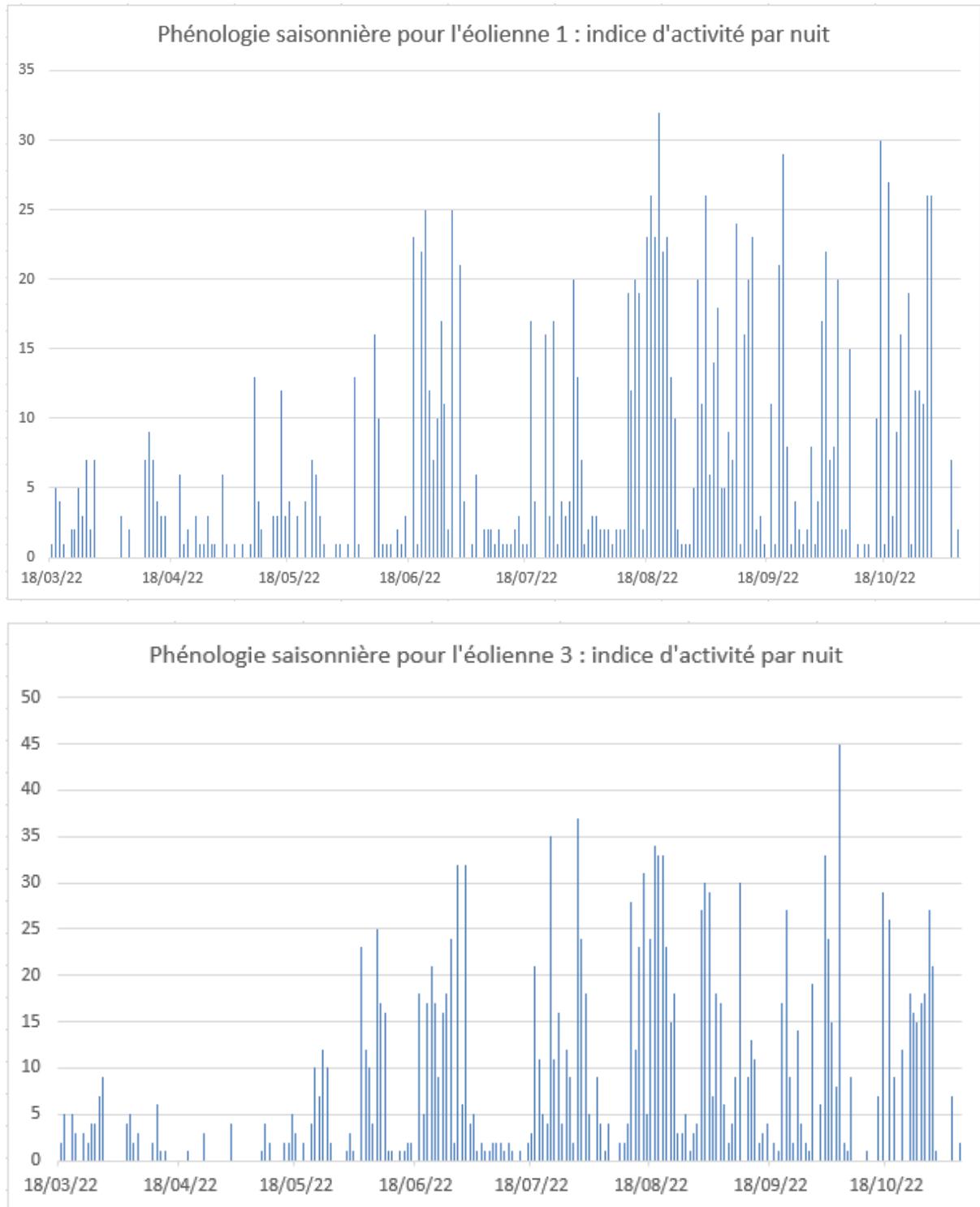


Fig.12 : Phénologie saisonnière pour E1 et E3, toutes espèces confondues

4.3. Analyse du bridage selon l'activité des chauves-souris

L'analyse a été réalisée par tranche de 10 minutes, c'est-à-dire à l'échelle de temps la plus fine dont nous disposons. Nous avons noté le nombre de rotation par minute sur chaque tranche de 10 minutes où une activité des chauves-souris est notée. Il en résulte que :

- Le rotor est totalement à l'arrêt pour 76,10 % de l'activité sur l'éolienne n°1 et sur 71,21 % de l'activité sur l'éolienne n°3
- Le système ProBat considère que le risque est écarté pour une vitesse de rotation inférieure à 2,5 par minute, soit une vitesse en bout de pale de 44 km/h. Cela correspond à 89,91 % de l'activité sur E1 et 90,44 % sur E3 (pour un objectif annoncé de 90 %)
- Une rotation très rapide (plus de 10 tours / minute, soit une vitesse en bout de pale > 173 km/h) est notée pour 8,20 % de l'activité sur E1 et 8,52 % de l'activité sur E3. Pour indication, la vitesse maximale enregistrée est de 15 tours par minute.

Pour rappel, avec le système ProBat l'analyse du risque et l'ordre d'arrêt se font en 1 seconde mais l'arrêt de l'éolienne nécessite 20 à 30 secondes supplémentaires.

Le dispositif ProBat a été défectueux du 11/10 au 16/10 qui fut heureusement une période de faible activité chiroptérologique. Cette période ne représente en effet que 13 plages de 10 minutes d'activité de chauves-souris (sur les 1427) dont 5 avec rotor en mouvement pour E1 et 8 plages de 10 minutes d'activité de chauves-souris (sur les 1737) dont 3 avec rotor en mouvement pour E3.

L'arrêté préfectoral complémentaire du 2 juin 2022 demandait une « préservation de l'activité des chiroptères » à hauteur de 90 % minimum. Si l'on considère le risque écarté en-dessous d'une vitesse de rotation de 2,5 tours par minute (vitesse en bout de pale < 44 km/h), cet objectif est atteint.

rotations par minute	activité cumulée	part en %
> 10	117	8,20
2,6 à 10	27	1,89
0,1 à 2,5	197	13,81
0 (arrêt complet)	1086	76,10
TOTAL	1427	100

Tab. 11 : Activité du rotor et activité des chiroptères pour l'éolienne E1, par tranche de 10 minutes

rotations par minute	activité cumulée	part en %
> 10	148	8,52
2,6 à 10	18	1,04
0,1 à 2,5	334	19,23
0 (arrêt complet)	1237	71,21
TOTAL	1737	100

Tab.12 : Activité du rotor et activité des chiroptères pour l'éolienne E3, par tranche de 10 minutes

4.4. Représentativité du suivi mortalité selon l'activité des chiroptères

Nous cherchons ici à évaluer la représentativité des suivis de mortalité, c'est-à-dire répondre à la question suivante : dans quelle mesure l'absence de mortalité de chiroptères constatée lors du suivi indique-t-elle une absence réelle d'impact ?

Pour chaque nuit où une activité chiroptérologique est constatée, nous notons :

- Le niveau d'activité de la nuit, toutes espèces confondues
- Le nombre de jours séparant cette nuit du passage de l'observateur ; ce nombre varie de 1 (passage le lendemain matin) à 7
- Le taux de surface prospectable lors du passage de l'observateur

A partir des deux dernières variables, nous établissons l'indice de représentativité suivant :

$$\text{Indice de représentativité} = ((8-\text{nb jours}) * \text{taux prospection}) / 7$$

Cet indice varie de 0 à 100. Il augmente lorsque la prospection a lieu rapidement après la nuit d'activité et lorsque cette prospection concerne un fort pourcentage de la surface à prospector. Nous réalisons ce calcul pour toutes les nuits d'activité, pour E1 puis pour E3 (voir tableaux pages suivantes).

Résultats pour l'éolienne E1 :

- Pour la troisième nuit de plus forte activité (le 22/09/22), l'indice de représentativité est de 88 sur 100. Autrement dit, si une collision avait eu lieu lors de cette nuit de très forte activité, un cadavre aurait très probablement été découvert, la prospection ayant eu lieu le lendemain matin, avec un taux de 88 % de surface prospectable.
- Parmi les 50 nuits de plus forte activité, la représentativité a été égale ou supérieure à 70/100 à 7 reprises seulement.
- Sur 8 des 10 nuits où l'activité est la plus forte, la représentativité est très mauvaise (inférieure à 15/100). En cause : une faible surface prospectable (en octobre par exemple) ou un passage trop éloigné dans le temps (le 19/08 et le 02/09 par exemple).

Résultats pour l'éolienne E3 :

- L'indice de représentativité ne dépasse jamais 53/100 en raison d'un taux de prospection surfacique toujours limité, quelle que soit la date. Cette valeur maximale est atteinte pour 6 des 50 nuits de plus forte activité.
- Les 5 nuits de plus forte activité ont un suivi très peu représentatif : l'indice est égal ou inférieur à 15/100
- Parmi les nuits les plus mal suivies, citons le 04/06 en raison d'une surface très peu prospectable et d'un passage intervenu au bout de 6 jours (représentativité = 4/100), ou encore les 28, 29 et 30 octobre, dates pour lesquels le suivi était déjà terminé (représentativité = 0/100)

Suivi du parc éolien de Béganne (56)

date	indice d'activité	indice de représentativité	date	indice d'activité	indice de représentativité
21/08/22	32	38	13/08/22	19	25
17/10/22	30	9	16/08/22	19	63
22/09/22	29	88	24/10/22	19	8
19/10/22	27	13	05/09/22	18	50
19/08/22	26	13	26/06/22	17	6
02/09/22	26	13	19/07/22	17	11
29/10/22	26	0	25/07/22	17	9
30/10/22	26	0	02/10/22	17	6
22/06/22	25	13	09/06/22	16	15
29/06/22	25	13	23/07/22	16	4
10/09/22	24	25	12/09/22	16	50
19/06/22	23	6	22/10/22	16	4
18/08/22	23	88	09/10/22	15	6
20/08/22	23	25	04/09/22	14	38
23/08/22	23	63	09/05/22	13	50
14/09/22	23	75	04/06/22	13	4
21/06/22	22	11	31/07/22	13	38
22/08/22	22	50	24/08/22	13	75
03/10/22	22	9	16/05/22	12	50
01/07/22	21	2	23/06/22	12	15
21/09/22	21	75	14/08/22	12	38
30/07/22	20	25	26/10/22	12	12
15/08/22	20	50	27/10/22	12	15
31/08/22	20	75	27/06/22	11	9
13/09/22	20	63	01/09/22	11	88
06/10/22	20	15	19/09/22	11	50

Tab. 13 : Représentativité du suivi pour les 50 nuits de plus forte activité chiroptérologique pour E1

date	indice d'activité	indice de représentativité	date	indice d'activité	indice de représentativité
06/10/22	45	8	15/08/22	23	30
30/07/22	37	15	22/08/22	23	30
23/07/22	35	15	22/06/22	21	45
19/08/22	34	8	19/07/22	21	38
20/08/22	33	15	30/10/22	21	0
21/08/22	33	23	29/09/22	19	53
02/10/22	33	23	19/06/22	18	23
29/06/22	32	45	26/06/22	18	23
01/07/22	32	8	01/08/22	18	30
16/08/22	31	38	24/08/22	18	45
01/09/22	30	53	04/09/22	18	23
10/09/22	30	15	24/10/22	18	30
02/09/22	29	8	28/10/22	18	0
17/10/22	29	30	09/06/22	17	15
13/08/22	28	15	21/06/22	17	38
31/08/22	27	45	23/06/22	17	53
22/09/22	27	53	05/09/22	17	30
29/10/22	27	0	21/09/22	17	45
19/10/22	26	45	27/10/22	17	53
08/06/22	25	13	10/06/22	16	8
27/06/22	24	30	25/06/22	16	15
31/07/22	24	23	25/07/22	16	30
18/08/22	24	53	25/10/22	16	38
03/10/22	24	30	23/08/22	15	38
04/06/22	23	4	04/10/22	15	38

Tab. 14 : Représentativité du suivi pour les 50 nuits de plus forte activité chiroptérologique pour E3

Le bilan en termes de représentativité est très mitigé : nous avons eu à plusieurs reprise des prospections très représentatives sur l'éolienne E1 qui n'ont pas révélé de mortalité. Ces cas, au nombre de 7, tendent à prouver que le dispositif de bridage est efficace. Malheureusement, notre suivi a « manqué » beaucoup de nuits de forte activité qui auraient pu conforter ce constat. Dans certain cas, cela tient à la faible surface prospectable, problème auquel on peut difficilement remédier. Dans d'autres cas, une adaptation de la date de passage aurait permis de disposer d'un suivi plus représentatif. Les prospections à dates fixes imposées par le protocole de 2018 nous ont fait manquer la grande majorité des dates importantes.

Malgré la demande faite par le bureau d'études B.E.T dans ce sens, il n'a pas été possible à Sens of life de transmettre en temps réel des « alertes » en cas d'activité chiroptérologique particulièrement forte.

D'après Sens of life « *une interface est néanmoins en développement pour répondre à ce besoin. Elle permettra de visualiser les contacts d'une des nuits précédentes au choix et indiquera les heures de ces contacts.* »

Un tel outil permettrait d'améliorer sensiblement la représentativité des suivis.

4.5. Pertinence du pilotage du bridage de E2 et E4 à partir de E1 et E3

Le suivi de mortalité montre que le bridage du dispositif ProBat semble efficace pour l'éolienne E1 qui possède son propre Trackbat. Pour E3, même si la faible représentativité est plus limitée, cette efficacité est *a priori* la même puisque cette éolienne possède également son propre Trackbat : il n'y a *a priori* pas de raison que le système qui fonctionne en E1 ne fonctionne pas en E3, le cortège d'espèces étant le même et le niveau ainsi que la phénologie d'activité étant proches.

En revanche, rien ne permet pour l'instant de conclure que l'extrapolation des données d'activité de E2 et de E4 à partir des Trackbat situés respectivement sur E1 et E3 permette d'atteindre le même niveau d'efficacité. En effet :

- Aucun élément ne prouve que l'activité chiroptérologique au niveau de E2 est similaire à celle au niveau de E1, idem pour E4 par rapport à E3
- L'environnement immédiat de E2, plutôt forestier, est sensiblement différent de celui de E1, plus agricole (voir partie 1). Cette différence est moins marquée entre E3 et E4.
- Enfin, et surtout, le taux de surface non prospectable est très élevé sous E2 (88,5 % toute l'année) et élevé sous E4 (67,5 % en moyenne, maximum de 86 % et minimum de 55 % selon les dates) ce qui rend les suivis de mortalité très peu représentatifs et donc l'absence de cadavre de chiroptères peu interprétable.

Rappelons toutefois que la mesure d'activité des chauves-souris n'est pas le seul élément déterminant pour le déclenchement du bridage (voir partie 1.4) : les paramètres météorologiques, enregistrées indépendamment par chaque éolienne, permettent de calculer un risque théorique.

Dans l'impossibilité de prouver l'efficacité du bridage de E2 et E4 par le suivi de la mortalité, nous pouvons, à défaut, essayer de répondre à cette question : y'a-t-il un rapport entre l'activité constatée autour de E1 et l'activité constatée autour de E3, ces deux éoliennes étant séparées de 720 mètres et situées dans des environnements légèrement différents ? Si l'activité s'avère très semblable, nous aurons de bonnes raisons de croire que E2, située entre E1 et E3, connaît elle aussi une activité similaire.

Nous comparons donc les données d'activité chiroptérologique par tranche horaire de 10 minutes entre E1 et E3 : quand une activité est constatée sur E1, une activité est-elle constatée sur E3 ? Et réciproquement. Nous utilisons comme échantillon le mois de septembre où l'activité est particulièrement élevée et qui comporte 4320 plages de 10 minutes, ce qui est bien suffisant d'un point de vue statistique.

Sur les 4320 plages analysées, la très grande majorité indique une activité nulle. Les plages positives sont au nombre de 237 (soit 5,49 %) pour E1 et de 262 (soit 6,06 %) pour E3.

Si l'on suppose qu'il n'y a aucun lien entre l'activité de E1 et celle de E3, le nombre de plages où E1 et E3 enregistrent simultanément une activité devrait être de 14. En effet, la probabilité de l'événement « E1 positif et E3 positif » vaut $0,0549 \times 0,0606 = 0,003327$. Sur 4320 plages d'activité, l'événement « E1 positif et E3 positif » doit donc théoriquement se produire 14 fois ($0,003327 \times 4320$).

A l'inverse, si l'on suppose une activité la plus similaire possible entre E1 et E3, le nombre de plages où E1 et E3 enregistrent simultanément une activité devrait être de 237.

Dans les faits, le nombre de plage où E1 et E3 enregistrent simultanément une activité est de 61 : c'est donc 4,35 fois plus que dans l'hypothèse « aucun lien entre E1 et E3 » mais 3,9 fois moins que dans l'hypothèse « activité la plus similaire possible ». Il y a donc un lien notable entre l'activité chiroptérologique sur E1 et sur E3 mais ce lien est loin d'être une parfaite similitude.

		E3		
		0	non nul	TOTAL
E1	0	3882	201	4083
	non nul	176	61	237
	TOTAL	4058	262	4320

Tab.15 : Répartition croisée des plages sans activité (« 0 ») et avec activité (« non nul ») pour E1 et E3

Une explication de cette variabilité de l'activité des chiroptères réside dans la différence de micro-climat, influencé par l'environnement immédiat des éoliennes. Considérons par exemple la vitesse du vent. Nous avons ci-après analysé la relation entre la vitesse du vent enregistrée sur E1 et celle enregistrée sur E3 sur un échantillon 400 plages horaires correspondant à la nuit et à l'aube : 50 par mois, de mars à octobre (8 mois).

La relation (fig.13) est linéaire avec un coefficient directeur de 1,017 et une ordonnée à l'origine de – 0,091. La qualité de la régression linéaire est loin d'être parfaite : $R^2 = 0,9465$.

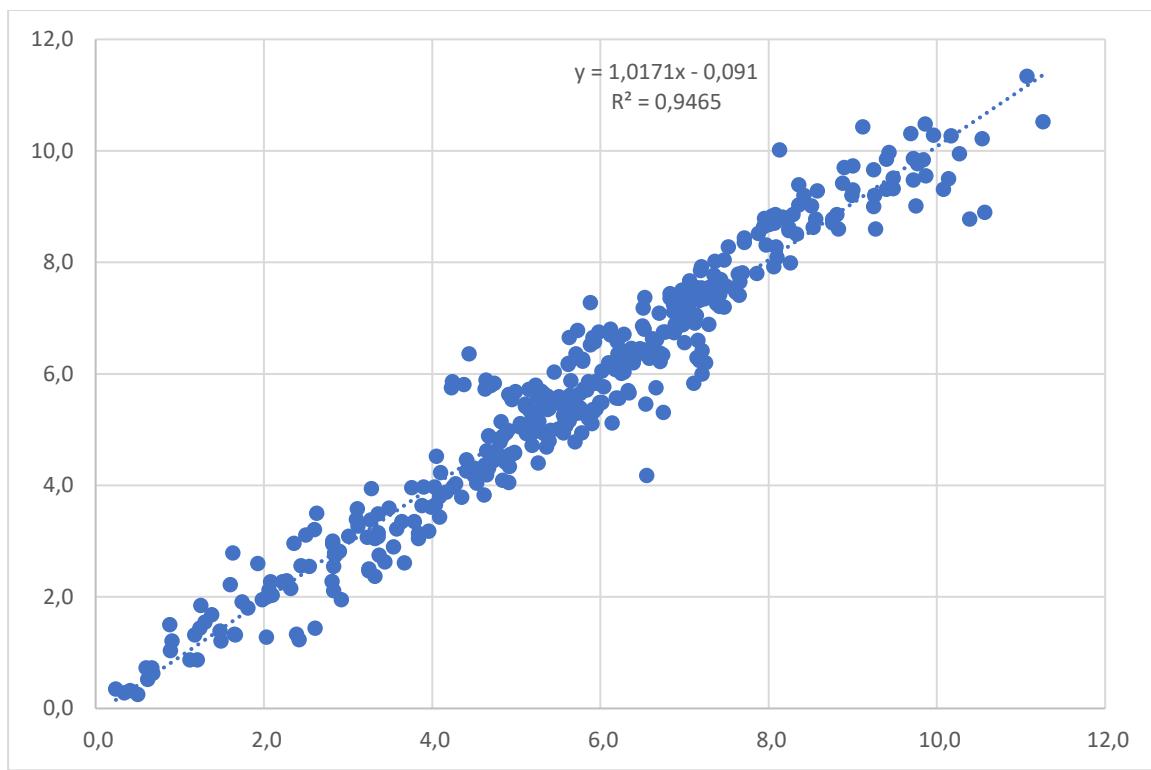


Fig.13 : Variation de la vitesse du vent (en m/s) enregistrée sur E3 en fonction de celle enregistrée sur E1

En conclusion, la phénologie horaire de l'activité chiroptérologique varie sensiblement d'une éolienne à l'autre, en lien avec le micro-climat, et nous ne pouvons pas considérer le parc comme homogène de ce point de vue. Mais rappelons également que le dispositif n'enclenche pas le bridage à partir des seules données d'activité des chiroptères mais aussi en se basant sur les paramètres météorologiques, ces derniers étant mesurés de manière indépendante sur chaque éolienne.

5. Conclusions et préconisations

5.1. Rappel du contexte et de la démarche du suivi

Le présent suivi est le sixième réalisé depuis la mise en service du parc éolien de Béganne (2014) et le premier depuis la mise en œuvre du dispositif de bridage ProBat de la société Sens of Life. Le principal objectif de notre étude était d'évaluer l'efficacité de ce dispositif pour juguler la mortalité des chiroptères.

Pour cela, nous nous sommes basés sur un suivi de mortalité de 26 semaines à fréquence hebdomadaire et sur l'analyse des données enregistrées en nacelle sur E1 et E3 (paramètres météorologiques, rotation, activité des chiroptères). Tout en respectant les préconisations du protocole de suivi des parcs éoliens terrestres (version 2018), nous sommes allés plus loin dans le traitement et l'interprétation des données afin de répondre à trois questions fondamentales : « Le rotor s'est-il bien arrêté sur les plages de temps où une activité chiroptérologique a été détectée ? », « Les suivis de mortalité ont-ils été représentatifs sous chaque éolienne ? » et « Le pilotage du bridage de E2 par E1 et de E3 par E4 peut-il être considéré comme pertinent ? ».

Ci-dessous, nous présentons **les conclusions de notre étude (en noir)**, **les points à améliorer (en rouge)** et **les solutions proposées (en vert)**.

5.2. Conclusions concernant les chiroptères

Le cortège d'espèces présente semble stable par rapport aux suivis précédents et l'activité est forte principalement de juin à octobre. Pour la première fois depuis le début des suivis, aucun cadavre de chauves-souris n'a été découvert.

Le dispositif ProBat peut être considéré comme efficace sur E1 dans la mesure où :

- Aucune mortalité n'a été constatée sous E1 malgré un taux de prospection élevé (85,5 % de la surface en moyenne).
- Plus particulièrement, aucun cadavre n'a été trouvé lors des sorties effectuées le lendemain de nuits de forte activité : le 23 septembre (3^{ème} nuit de plus forte activité pour E1), le 19 août (13^{ème} nuit de plus forte activité) et le 2 septembre (48^{ème} nuit de plus forte activité). Sur ces trois dates, la surface prospectable représente 88 %. La représentativité est donc forte et l'absence de cadavre significative.
- L'objectif de « *préservation de l'activité des chiroptères* » fixé à « 90 % » par l'arrêté préfectoral complémentaire du 2 juin 2022 est atteint si l'on considère le risque écarté pour une vitesse de rotation inférieure à 2,5 tours / minute. L'arrêt du rotor est total pour 76,1 % de l'activité.

Le suivi à intervalle régulier, recommandé par le protocole de 2018, nous a malheureusement empêché d'obtenir davantage de preuves de l'efficacité du bridage : des suivis réalisés le 22 août (lendemain de la nuit de plus forte activité) ou le 3 septembre (lendemain de la 6^{ème} nuit de plus forte activité) auraient eu une très bonne représentativité, la surface prospectable étant par ailleurs de 88% à ces dates.

La mise en place d'une plateforme ou de tout autre système permettant de consulter en temps réel l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle permettrait de réaliser des suivis « réactifs » très représentatifs les lendemains de nuits ayant connu une forte activité. Cette méthode, qui se démarquerait du protocole actuellement recommandé, permettrait d'obtenir une plus grande quantité d'informations en un plus petit nombre de sorties. Elle nécessiterait toutefois une bonne réactivité du responsable du suivi de mortalité.

Le dispositif ProBat peut être considéré comme efficace sur E3 dans la mesure où :

- Aucune mortalité n'a été constatée sous E3, notamment le 2 septembre (lendemain de la 11^{ème} nuit de plus forte activité), le 23 septembre (lendemain de la 17^{ème} nuit de plus forte activité), le 30 septembre (lendemain de la 31^{ème} nuit de plus forte activité) et le 27 juin (lendemain de la 41^{ème} nuit de plus forte activité). La surface prospectable à ces quatre dates était de 53 %, ce qui constitue le maximum obtenu pour cette éolienne. Cette valeur n'est malheureusement pas aussi élevée que pour E1 et l'absence de mortalité n'est donc pas aussi significative.
- L'objectif de « *préservation de l'activité des chiroptères* » fixé à « 90 % » par l'arrêté préfectoral complémentaire du 2 juin 2022 est atteint si l'on considère le risque écarté pour une vitesse de rotation inférieure à 2,5 tours / minute. L'arrêt du rotor est total pour 71,2 % de l'activité.
- A l'instar de E1, le bridage de E3 est piloté par son propre Trackbat : ce dispositif fonctionnant pour E1 (voir ci-dessus), il n'y a pas de raison qu'il ne fonctionne pas pour E3 où l'activité chiroptérologique, le cortège d'espèces et les conditions météorologiques sont comparables, à défaut d'être tout à fait identiques. On peut raisonnablement considérer qu'un même dispositif utilisé dans des conditions proches obtient les mêmes résultats.

Comme pour E1, le suivi à intervalle régulier, recommandé par le protocole de 2018, nous a malheureusement empêché d'obtenir davantage de preuves de l'efficacité du bridage sur E3 : des suivis réalisés le 7 octobre (lendemain de la nuit de plus forte activité) ou le 31 juillet (lendemain de la 2^{ème} nuit de plus forte activité) auraient eu une bonne représentativité.

Comme pour E1, la mise en place d'une plateforme ou de tout autre système permettant de consulter en temps réel l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle permettrait de réaliser des suivis représentatifs les lendemains de nuits ayant connu une forte activité. La présence d'une large part de boisements dans la surface de prospection continuerait toutefois de limiter la représentativité des suivis.

L'efficacité du dispositif ProBat ne peut pas être connue avec certitude pour E2 et E4, même si aucun cadavre de chiroptère n'a été découvert sous ces éoliennes. En effet :

- La surface prospectable sous E2 se limite à 14,5 %, et ce tout au long de l'année, en raison de la présence d'une lande très dense sous l'éolienne. La probabilité de découvrir un cadavre dans ces conditions est très faible.
- La surface prospectable sous E4 n'est que de 32,5 % en moyenne, avec un maximum de 45 % en juillet, août et début septembre.
- Les éoliennes E2 et E4 ne possèdent pas leurs propres Trackbat : leur bridage est en partie piloté par les données d'activité issues respectivement de E1 et E3. Or, l'activité des chauves-souris n'est pas uniforme à l'échelle du parc éolien. Nous l'avons montré en comparant les données issues de E1 et de E3, distantes de 720 mètres.

Pour E2 et E4, l'efficacité d'un bridage piloté en partie de l'extérieur (activité des chiroptères) ne peut pas être prouvée à partir des suivis de mortalité, à moins de défricher totalement leurs abords, ce qui poserait bien d'autres problèmes environnementaux. Elle ne peut pas non plus se déduire à partir de l'efficacité du bridage de E1, le dispositif n'étant pas tout à fait similaire. Enfin, sans Trackbat, nous ne pouvons pas connaître l'activité chiroptérologique aux abords de E2 et E4 ni la comparer avec la vitesse de rotation des pales comme nous l'avons fait pour E1 et E3.

Équiper les éoliennes E2 et E4 de leur propre Trackbat permettrait :

- De disposer sur ces éoliennes d'un dispositif strictement identique à celui ayant fait ses preuves sur E1 et E3
- De disposer de données d'activité sur E2 et E4, qui pourront être, entre autres, comparées aux données de vitesse de rotation des pales

Le dispositif de bridage semble efficace d'après les données dont nous disposons sur E1 et E3 (activité des chauves-souris, rotation des pales et mortalité constatée). Pour E2 et E4, le dispositif est probablement efficace mais il est impossible d'apporter une preuve formelle de cette efficacité sans équiper ces éoliennes de leur propre Trackbat. Avec E2 et E4 équipées de Trackbat, nous pourrions considérer le bridage comme efficace sur l'ensemble du parc puisque les quatre éoliennes seraient équipées du même dispositif. Par ailleurs, nous pourrions disposer d'une preuve supplémentaire de cette efficacité en comparant les données « activité des chiroptères » et « vitesse de rotation », ce qui pallierait, dans une certaine mesure, l'absence d'un suivi de mortalité représentatif.

Il n'y aurait alors pas besoin de réaliser de nouveaux suivis dans l'immédiat. Nous proposons toutefois, dans le cadre des suivis décennaux prévus par l'arrêté ministériel du 26 août 2011, d'utiliser – en complément du protocole de 2018 – un suivi de mortalité « réactif », ciblant les lendemains des nuits où une forte activité est enregistrée. La présence d'un Trackbat sur chaque éolienne permettrait d'ailleurs de cibler plus particulièrement l'une ou l'autre des machines.

5.3. Conclusion concernant les oiseaux

La mortalité des oiseaux n'était pas le sujet central de cette étude. Hormis pour la recherche de cadavres, les oiseaux n'ont pas particulièrement été étudiés sur le site.

Le suivi de mortalité a mis en évidence **trois cas de mortalité : deux Martinets noirs et un Roitelet huppé**. Ces deux espèces sont protégées à l'échelle nationale. Elles sont considérées comme « quasi-menacées » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs de France métropolitaine (2016) mais comme « préoccupation mineure » sur la liste rouge de Bretagne (2015).

La mortalité estimée serait comprise entre 28,7 et 71,8 oiseaux sur 6 mois et sur l'ensemble du parc selon les formules utilisées (minimum : Erickson ; maximum : Jones). Par comparaison, les routes tueraient chaque année 30 à 75 millions d'oiseaux en France* et 80 millions aux Etats-Unis**, soit entre 1 et 6 oiseaux par mois et par kilomètre. Les chats seraient quant à eux responsables de la mort de 65 à 70 millions d'oiseaux par année en France*, et d'environ 100 millions aux Etats-Unis.**

Contrairement aux chiroptères qui constituent un groupe relativement homogène, les oiseaux présentent des phénologies et des habitudes de vol très diverses. Il est donc très difficile de déterminer les conditions dans lesquelles les éoliennes présentent un danger particulier.

* GIRARD O. 2011. *La mortalité aviaire due à la circulation routière en France*. Alauda 79 : 249-257 (première partie) et Alauda 80 : 3-12 (deuxième partie).

** ERICKSON W. P., JOHNSON G. D., YOUNG D. P. Jr. 2005. *A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions*. USDA Forest Service General Technical Report. PSW-GTR-191

Annexe : fiches de mortalité

Signalement de deux cas de mortalité de Martinet noir lors du suivi du parc éolien de Béganne par Émilien BARUSSAUD - août 2022

Contexte : un suivi de la mortalité oiseaux / chiroptères est réalisé sous les 4 éoliennes du parc éolien de Béganne depuis le 06/05/22 par Émilien Barussaud, responsable du bureau d'études BARUSSAUD EXPERTISE TERRITORIALE (Arzal, 56). La recherche a lieu sous chaque éolienne tous les vendredis matin, selon le protocole en vigueur (version 2018). Après chaque sortie, Émilien Barussaud signale la présence ou l'absence de mortalité à l'exploitant du parc.

Mortalité constatée : sous l'éolienne n°1 – celle située le plus à l'ouest – un premier cadavre de Martinet noir a été découvert le 24/06/22 (sur la plateforme, à 30 mètres du mât) puis un second cadavre de Martinet noir a été découvert le 05/08/22 (dans le champ de maïs récemment ensilé, à 35 mètres du mât).

Statut du Martinet noir : le Martinet noir (*Apus apus*) est une espèce protégée en France (Arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection). D'après les listes rouges (critères UICN), le statut de l'espèce est :

- Préoccupation mineure à l'échelle mondiale
- Préoccupation mineure à l'échelle européenne
- Quasi-menacé en France métropolitaine
- Préoccupation mineure en Bretagne



Photographies des deux cadavres de Martinet noir lors de leur découverte : à gauche le 24 juin 2022, à droite le 5 août 2022

Fait par Émilien BARUSSAUD, le 08 août 2022

**Signalement d'un cas de mortalité de Roitelet huppé
lors du suivi du parc éolien de Béganne
par Émilien BARUSSAUD - septembre 2022**

Contexte : un suivi de la mortalité oiseaux / chiroptères est réalisé sous les 4 éoliennes du parc éolien de Béganne depuis le 06/05/22 par Émilien Barussaud, responsable du bureau d'études BARUSSAUD EXPERTISE TERRITORIALE (Arzal, 56). La recherche a lieu sous chaque éolienne tous les vendredis matin, selon le protocole en vigueur (version 2018). Après chaque sortie, Émilien Barussaud signale la présence ou l'absence de mortalité à l'exploitant du parc.

Mortalité constatée : sous l'éolienne n°4 – celle située le plus à l'est – un cadavre de Roitelet huppé a été découvert le 16/09/22 sur la plateforme, à 25 mètres du mât

Statut du Roitelet huppé : le Roitelet huppé (*Regulus regulus*) est une espèce protégée en France (Arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection). D'après les listes rouges (critères UICN), le statut de l'espèce est :

- Préoccupation mineure à l'échelle mondiale
- Préoccupation mineure à l'échelle européenne
- Quasi-menacé en France métropolitaine
- Préoccupation mineure en Bretagne



Photographies du cadavre de Roitelet huppé lors de sa découverte le 16/09/22

Fait par Émilien BARUSSAUD, le 23 septembre 2022