



Suivis environnementaux 2019
Rapport de synthèse
Parc éolien de Goulien (29)



SOMMAIRE

I.	Introduction.....	4
II.	Contexte	4
II.1	Parc éolien de Goulien	4
II.2	Localisation	5
II.3	Zones naturelles proches	6
II.4	Contexte paysager et continuités	9
III.	Cadrage des suivis	11
III.1	Contexte réglementaire	11
III.2	Méthodologie – Suivi habitats naturels.....	12
III.3	Méthodologie du suivi de mortalité.....	13
III.4	Méthodologie du suivi en nacelle des chiroptères.....	16
IV.	Résultats des suivis	21
IV.1	Résultats du suivi habitats naturels.....	21
Sources : R. ARHURO		22
Sources : R. ARHURO & Q.LEDUC.....		22
IV.2	Suivi de mortalité des chiroptères et de l'avifaune	23
IV.3	Résultats du suivi en nacelle des chiroptères	44
V.	Bilan.....	54

Index des tableaux

Tableau 1 - Caractéristiques des éoliennes du parc de Goulien	4
Tableau 2 - Période sur laquelle doit être effectué le suivi de mortalité en fonction des enjeux chiroptérologiques et enjeux avifaunistiques.....	11
Tableau 3 - Regroupement d'espèces possibles.....	18
Tableau 4 - Distances des détections des chauves-souris en fonction des espèces et leur coefficient de détectabilité en fonction du milieu.....	19
Tableau 5 - Evaluation du seuil d'activité pour chaque espèce de chauves-souris en Bretagne	20
Tableau 6 - Habitats EUNIS dans la surface inventoriée.....	21
Tableau 7 - Planning de réalisation du suivi de mortalité	23
Tableau 8 - Planning de réalisation des tests de persistance	26
Tableau 9 - Types d'habitats rencontrés et surfaces associées.....	29
Tableau 10 - Tests de persistance	34
Tableau 11 - Taux de détection composite par prospection (exemple de E3)	36
Tableau 12 – Taux de détection composite par éolienne.....	37
Tableau 13 - Estimations de la mortalité réelle des chiroptères sur le parc éolien de Goulien	42
Tableau 14 - Estimations de la mortalité réelle de l'avifaune sur le parc éolien de Goulien	42
Tableau 15 - Mortalité réelle supposée par taxon et par éolienne sur le parc de Goulien	43
Tableau 16 : Nombre de contacts par espèce de chauves-souris	44
Tableau 17 : Espèces inventoriées en nacelle	44
Tableau 18 - Evaluation du niveau d'activité des espèces inventoriées par écoute en nacelle.....	45
Tableau 19 - Niveau d'activité par espèce observé en nacelle par mois (en ct/h)	46
Tableau 20 - Calcul du niveau d'enjeu des chiroptères.....	47
Tableau 21 - Niveau d'enjeu.....	48
Tableau 22 - Statut de protection et de conservation es espèces inventoriées et leur niveau d'enjeu...	48
Tableau 23 - Niveau de risque de collision avec les éoliennes selon les groupes d'espèces	48
Tableau 24 - Note de sensibilité face à l'éolien.....	49
Tableau 25 - Comportement et sensibilité des espèces.....	49
Tableau 26 - Calcul du niveau de vulnérabilité.....	49

Tableau 27 - Vulnérabilité des espèces de chauves-souris	50
Tableau 28 - Niveau d'enjeu et de vulnérabilité des espèces sur le parc éolien de Goulien	53

Index des figures

Figure 1- Localisation du parc éolien de Goulien.....	5
Figure 2 - Contexte topographique et hydrographique du parc éolien de Goulien.....	6
Figure 3 - Zones naturelles autour du parc éolien de Goulien	7
Figure 4 - Sites Natura 2000 à proximité du parc éolien de Goulien.....	8
Figure 5 - Continuités écologiques et corridors autour du parc éolien de Goulien.....	10
Figure 6 - À gauche : ensemble du matériel d'enregistrement ; À droite : barre de fixation	17
Figure 7 - Schéma de principe des recherches de terrain	24
Figure 8 - Localisation des quadrats du suivi de mortalité du site éolien de Goulien.....	24
Figure 9 - Exemple de transect réalisé au pied de l'éolienne E1 du parc de Goulien	25
Figure 10 - Répartition des probabilités en fonction d'une valeur théorique de mortalité réelle	28
Figure 11 - Habitats simplifiés dans les quadrats des éoliennes du site de Goulien 1/2.....	30
Figure 12 - Habitats simplifiés dans les quadrats des éoliennes du site de Goulien 2/2.....	31
Figure 13 - Représentation de la surface prospectée en fonction des dates d'inventaires	32
Figure 14 - Moyenne des surfaces prospectées par éoliennes	32
Figure 15 – Leurre fabriqué en tissu / Source : photo ALTHIS	33
Figure 16 - Test 1, nombre de cadavres restant par jour.....	35
Figure 17 - Test 2, nombre de cadavres par jour	35
Figure 18 - Répartition des cas de mortalité par groupe	38
Figure 19 - Répartition des cas de mortalité par espèce.....	38
Figure 20 - Chronologie des observations de mortalité par taxon.....	39
Figure 21 - Répartition des cas de mortalité par éolienne.....	39
Figure 22 - Localisation des cadavres sur les éoliennes ayant de la mortalité	40
Figure 23 - Distance des cas de mortalité par rapport aux mâts des éoliennes	41
Figure 24 - Evolution de l'activité et de la diversité spécifique au cours de la saison	45
Figure 25 - Evolution de l'activité des chiroptères en fonction de la température	46
Figure 26 - Evolution de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent.....	47
Figure 27 - Carte de répartition	50
Figure 28 : Carte de répartition	51
Figure 29 - Carte de répartition	51
Figure 30 - Activité (en ct/h) de la pipistrelle commune au cours de la saison au niveau de l'éolienne 7	52
Figure 31 - Activité (en ct/h) de la pipistrelle de Nathusius au cours de la saison au niveau de l'éolienne 7	52
Figure 32 - Activité (en ct/h) e la sérotine commune au cours de la saison au niveau de l'éolienne 7 ...	53

I. Introduction

Total Quadran exploite sur la commune de Goulien dans le Finistère (29) le parc éolien de Goulien, via sa société Centrale éolienne de Goulien. Le parc compte 8 aérogénérateurs. Comme tout parc éolien, la réglementation impose un suivi environnemental.

Le bureau d'études ALTHIS est missionné pour réaliser ce suivi post-implantation. Ce dernier comprend à la demande de Total Quadran, les volets suivants :

- ❖ **Suivi des habitats naturels ;**
- ❖ **Suivi des chiroptères (enregistreur automatisé en nacelle) ;**
- ❖ **Suivi de la mortalité des chiroptères et de l'avifaune.**

La présente étude fait le bilan de ces différents suivis conduits par ALTHIS, entre la semaine 20 et 43.

II. Contexte

II.1 Parc éolien de Goulien

Le parc éolien de Goulien Repowering comporte 8 éoliennes du modèle ENECON E48, pour une puissance de 6,4 MW. Le repowering a permis d'augmenter la production de la centrale éolienne d'environ 20% par rapport à la précédente, en remplaçant des éoliennes NEG MICON N48 de 750kW par des unités de 800kW. Ainsi, c'est désormais 4 375 foyers (10 000 habitants) qui peuvent être alimentés, pour 2 600 auparavant. De plus, bien qu'installées à la même hauteur que les précédentes machines, elles sont plus performantes et silencieuses que leurs prédécesseurs de 20 ans.

ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE	CARACTÉRISTIQUES MAXIMALES DU GABARIT
Mât	Hauteur du moyeu : 47,2 m
Rotor / pales	Diamètre du rotor : 48 m Longueur de la pale : 24 m

Tableau 1 - Caractéristiques des éoliennes du parc de Goulien

II.2 Localisation

II.2.1 - Situation géographique et administrative

Goulien est une commune de la pointe sud du Finistère (29), en région Bretagne, faisant partie de la Communauté de Communes Cap Sizun. Elle est majoritairement dans un contexte paysager agricole et se situe à 12km à l'est du site touristique de la pointe du Raz et à 40km à l'ouest de la ville de Quimper. Le site éolien se situe quant à lui entre Beuzec-Cap-Sizun et Goulien, à l'ouest du bourg.



Figure 1- Localisation du parc éolien de Goulien

II.2.2 - Topographie et hydrographie

Le site éolien est installé sur un plateau culminant entre 80 et 100 mètres d'altitude, ce qui est relativement haut étant donné les reliefs peu élevés des alentours.

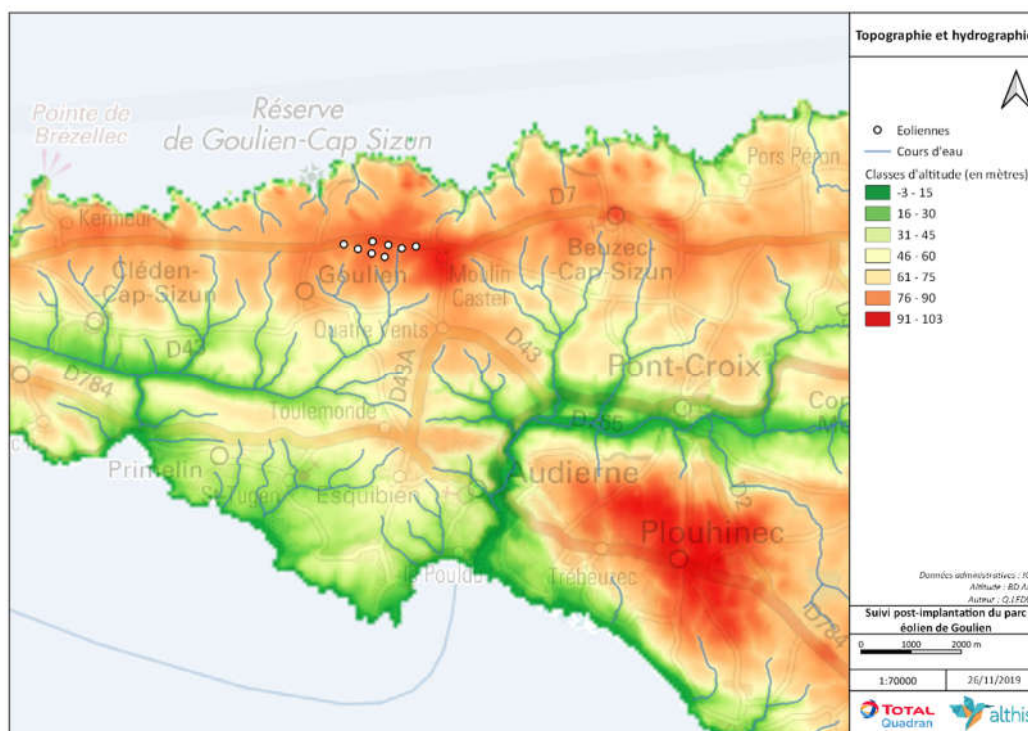


Figure 2 - Contexte topographique et hydrographique du parc éolien de Goulien

II.3 Zones naturelles proches

La zone naturelle la plus proche est située à moins d'un kilomètre du site éolien (ZNIEFF de type 1 / site Natura 2000). Dans ses alentours relativement proches d'autres types de ZNIEFF sont présents.

II.3.1 - ZNIEFF

Source : inpn.mhn.fr

Il existe deux types de Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique :

- ❖ Les ZNIEFF de type 1 sont caractérisées par leur intérêt biologique remarquable (présence d'espèces protégées, associations d'espèces ou espèces rares, menacées ou caractéristiques du patrimoine régional).
- ❖ Les ZNIEFF de type 2 sont de grands ensembles naturels riches et peu modifiés, qui offrent des potentialités biologiques importantes (ces zones peuvent par définition inclure plusieurs zones de type I)
- ❖ Les ZNIEFF MER sont l'une des quatre thématiques divisant les inventaires ZNIEFF et elles reposent ainsi sur le même principe, en se basant sur les milieux marins.

Cependant, il y a un cas particulier sur les oiseaux marins, car des ZNIEFF MER peuvent être classées en type II pour le territoire d'alimentation, tandis que le site de nidification sera en ZNIEFF continentale de type I (SIMIAN et al 2009). Malheureusement il n'y a pas d'information sur la zone naturelle « Cap Sizun face Nord » sur le site de l'INPN.

À noter que le classement des ZNIEFF, justifié scientifiquement en se fondant sur des espèces et des habitats d'intérêts patrimoniaux, n'a pas de portée réglementaire. Cependant, il est pris en considération par les tribunaux administratifs et le Conseil d'Etat pour apprécier la légalité d'un acte administratif, surtout s'il y a présence d'espèces protégées au sein de la ZNIEFF.

La délimitation des ZNIEFF a souvent servi de support pour la création de sites Natura 2000.

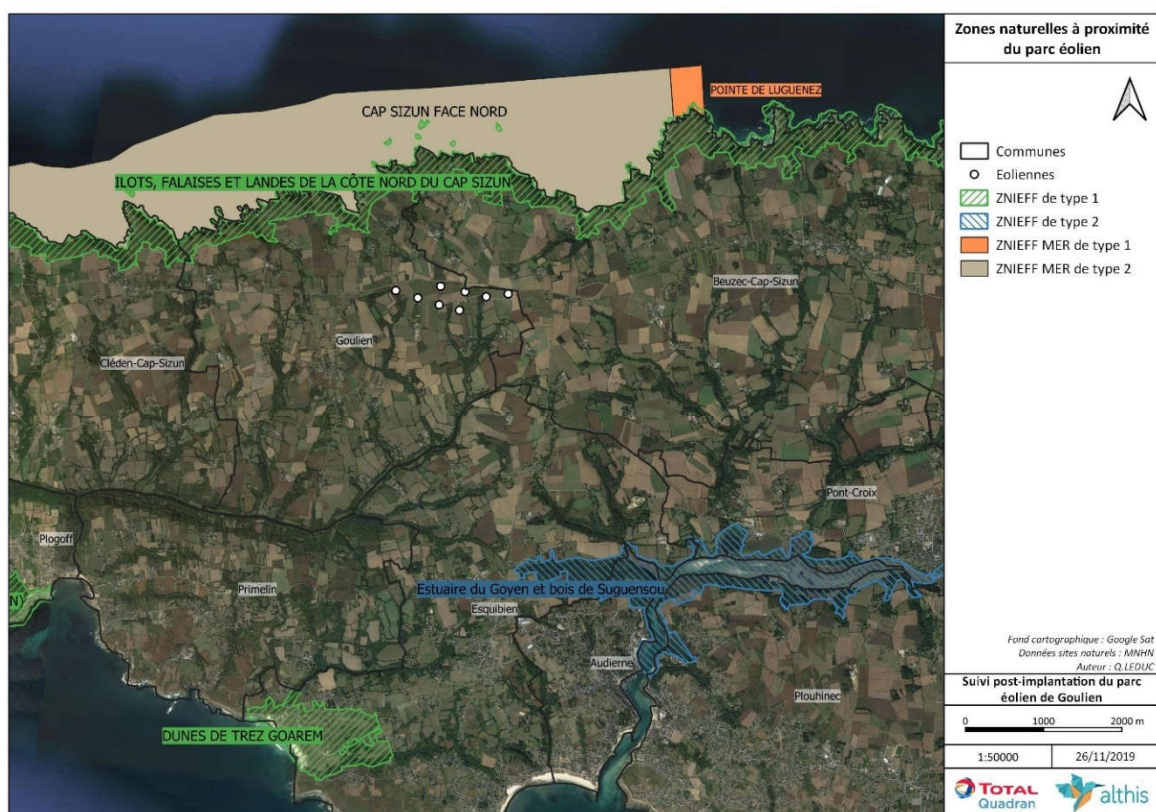


Figure 3 - Zones naturelles autour du parc éolien de Goulien

II.3.2 - Sites Natura 2000

Source : inpn.mhn.fr

Le réseau de sites européen Natura 2000 se divise en deux zones de protection réglementaires afin de préserver des espèces protégées et conserver des milieux :

- ❖ Zone de Protection Spéciale (ZPS), basée sur la liste d'espèces d'oiseaux sauvages au sein de l'annexe 1 de la Directive « Oiseaux » ou qui servent d'aires de reproduction, de mue, d'hivernage ou de zones de relais à des oiseaux migrateurs.
- ❖ Zone Spéciale de Conservation (ZSC), basée sur les habitats et espèces animales et végétales au sein des annexes I et II de la Directive « Habitats ».

De plus cette dernière possède une protection stricte pour les espèces d'intérêt communautaire présent à l'annexe IV, l'évaluation des incidences de travaux d'aménagement, ainsi que l'évaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire.

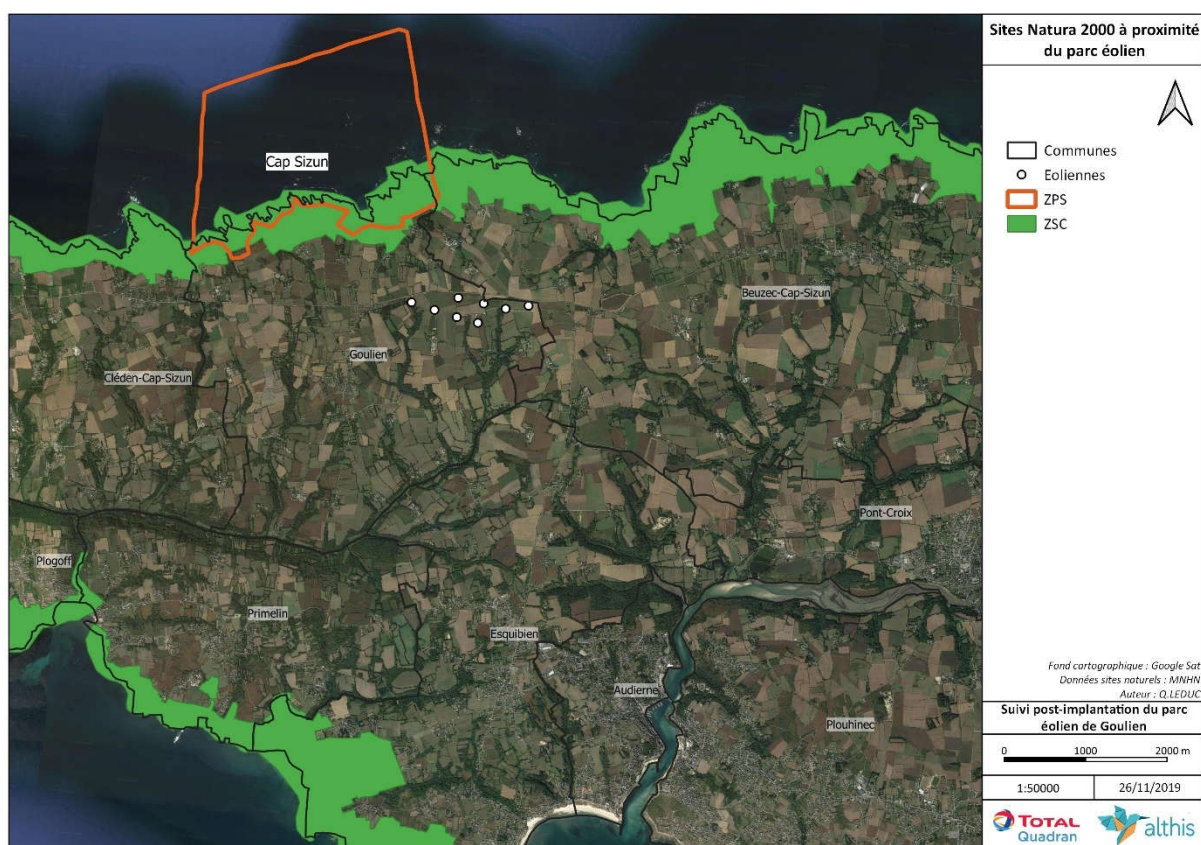


Figure 4 - Sites Natura 2000 à proximité du parc éolien de Goulien

II.3.3 - Informations complémentaires

A proximité du site éolien, la réserve naturelle du « Cap Sizun » est présente depuis 1959 sur une surface de 35 hectares, pour ses enjeux sur les colonies d'oiseaux nichant dans les falaises. Elle se superpose à la ZNIEFF de type 1 et aux ZPS et ZSC « Cap Sizun ».

Cependant, elle n'a pas le statut réglementaire de Réserve Naturelle d'État. Depuis 1973 des parcelles ont été acquises par le Département au titre des Espaces Naturels Sensibles et la gestion du site a été confiée à l'association Bretagne Vivante.

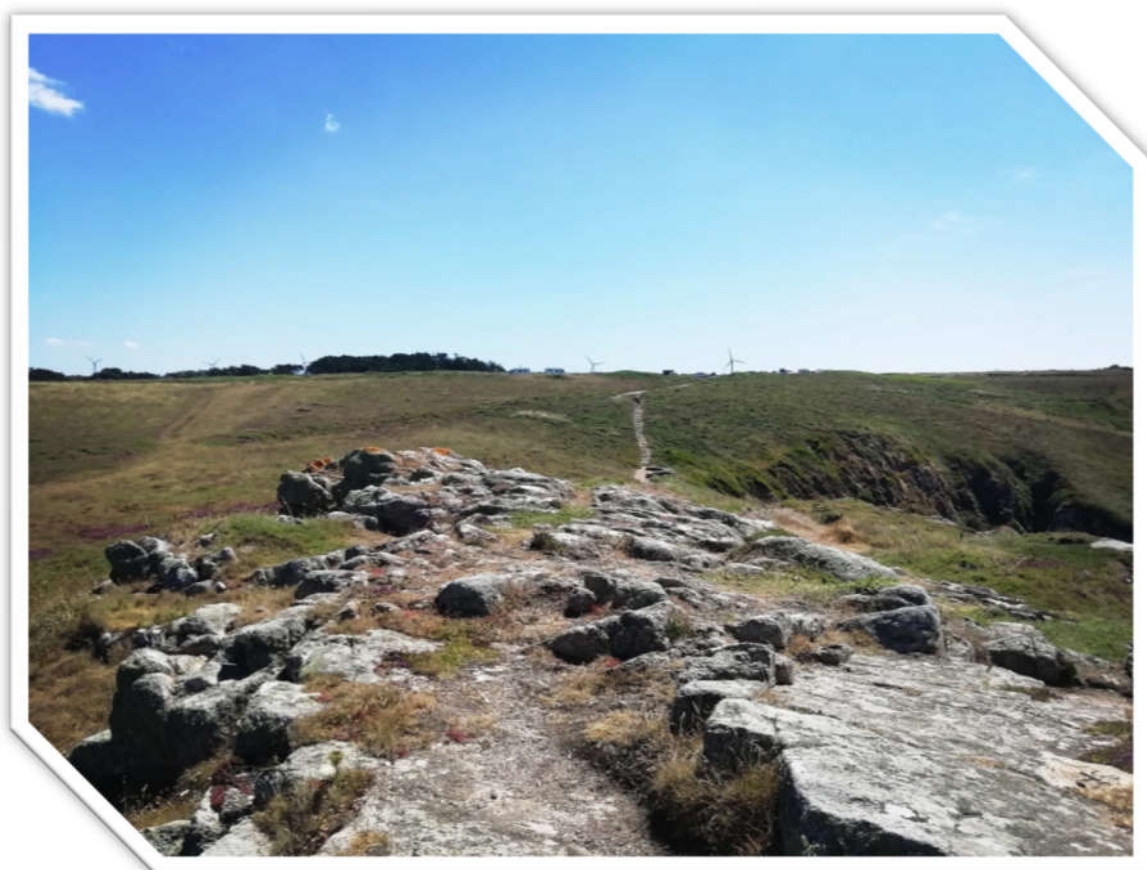


Photo 1 - Vue du site éolien de Goulien depuis la réserve du "Cap Sizun"

II.4 Contexte paysager et continuités

Le site éolien de Goulien se trouve dans un contexte majoritairement agricole comportant de nombreuses cultures et prairies, dont l'utilisation est en alternance avec des pâturages de bovins. De plus, un maillage de haies parsème le territoire, donnant un aspect de bocage au paysage, bien que la départementale 7 le traverse d'Est en Ouest, au nord du site.

C'est une route assez fréquentée, car c'est l'une des deux seules avec la D784, qui amène jusqu'à la pointe sud du Finistère. De fait, elle est particulièrement utilisée durant la période estivale par les vacanciers. De plus, la D7 permet aussi d'avoir une fenêtre sur le site éolien. Durant le suivi de mortalité, des passants se sont arrêtés à plusieurs reprises sur les plateformes (E1, E2, E3, E6) afin de voir les éoliennes au plus près.

Des bois sont aussi présents, à proximité de E1, ainsi qu'entre E5 et E8. C'est d'ailleurs à ce niveau-là que le maillage de haies est le plus dense et que deux cours d'eau sont présents au sein de ces bandes boisées. Ils forment ainsi deux corridors écologiques qui finissent par se rejoindre plus au sud.



Figure 5 - Continuités écologiques et corridors autour du parc éolien de Goulien

III. Cadrage des suivis

Les cadres méthodologiques de l'étude d'ALTHIS sont présentés avec chaque volet, ils s'inscrivent dans un double cadre, celui de la réglementation et celui des cahiers des charges, qui sont présentés ici.

III.1 Contexte réglementaire

L'arrêté ministériel du 26 août 2011, relatif aux « installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation, au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) », cadre la prise en compte des parcs éoliens en tant qu'ICPE.

Cette législation en vigueur s'appuie sur un protocole de suivi environnemental. En l'occurrence, il s'agit du Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, dans sa révision de 2018 (MTES, 2018), reconnu par le ministre chargé des installations classées.

Un suivi standardisé complété sur des périodes adaptées au besoin est prévu pour chaque parc dans les 3 premières années de la mise en service, et donc initié dans les 2 ans qui suivent cette mise en service. Deux volets principaux sont développés : un suivi de l'activité des chiroptères en altitude sur la durée d'activité et un suivi de mortalité pour l'avifaune et les chiroptères.

Il est demandé de suivre toutes les éoliennes dans le cas de parcs comprenant 1 à 8 éoliennes, avec un minimum de 20 prospections entre mi-mai et octobre, par éolienne (Tableau 2). Cette période est la plus sensible en général pour les chiroptères et l'avifaune (périodes de reproduction, de dispersion et de migration post-nuptiale).

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

Tableau 2 - Période sur laquelle doit être effectué le suivi de mortalité en fonction des enjeux chiroptérologiques et enjeux avifaunistiques

III.2 Méthodologie – Suivi habitats naturels

III.2.1 - Rappel de la commande

La commande de la société Total Quadran établit qu'un rayon de 50m minimum autour des éoliennes fera l'objet d'une typologie préalable des secteurs homogènes de végétation et d'une cartographie des habitats selon la typologie EUNIS. La surface retenue par ALTHIS est un quadrat de 100m par 100m autour de chaque éolienne pour 1ha de relevé par éolienne. Ainsi les habitats inventoriés correspondent aux quadrats des suivis de mortalité. La surface inventoriée est même plus importante que des cercles de 50m de rayon avec 7 850m² contre 10 000m² pour les quadrats de 100x100m.

III.2.2 - Protocole mis en œuvre

III.2.2.1 - La typologie EUNIS

Les habitats (unités écologiques) sont recensés selon la typologie EUNIS, qui succède à CORINE Biotope¹. Cette typologie mise au point et utilisée au niveau européen permet une présentation scientifiquement reconnue et acceptée par tous les acteurs environnementaux. Celle-ci s'intéresse à la classification des habitats dits "naturels", mais aussi aux habitats dits "semi-naturels" voire artificiels (milieux dont l'existence et la pérennité sont essentiellement dues à l'action des activités humaines : friches agricoles, pâturages extensifs, carrières, etc.).

Cette typologie repose sur la description des particularités physiques (en s'appuyant sur une approche physiognomique et physique) et secondairement par la végétation (en s'appuyant sur une approche physiognomique et floristique). Organisée selon un système hiérarchique à huit niveaux maximum, on progresse dans la typologie en partant du niveau le plus élevé, qui représente les grands types de milieux présents en Europe, auxquels est attribué un code à une lettre ; puis en progressant vers des types d'habitats de plus en plus précis, on rajoute un nouveau chiffre au code, jusqu'à aboutir au code de l'habitat que l'on observe. Les 2 premiers niveaux suivent une description uniquement physique, et sont séparés des suivants par un point. Au fur et à mesure de la progression, la végétation devient prédominante pour guider les choix.

EUNIS est une représentation hiérarchisée, avec un nombre de niveaux non homogène. La caractérisation se fait au niveau le plus fin lorsque la végétation exprimée le permet.

La représentation cartographique illustre à la fois les grands ensembles d'habitats pour une compréhension globale du site et le détail de tous les habitats EUNIS pour apporter un maximum de précision.

III.2.2.2 - Choix pratiques retenus

Dans les quadrats du suivi de mortalité, les habitats ont été traités, en plus, spatialement en s'appuyant sur 3 éléments discriminants :

- ❖ Les limites d'habitats,
- ❖ Les limites parcellaires (parcellaire agricole plutôt que cadastral)
- ❖ Les limites du carré de suivi de mortalité

Pour ce suivi de mortalité, l'occupation du sol au pied des éoliennes est nécessaire (dans un carré de 100 m par 100 m).

¹ La typologie EUNIS (European Nature Information System) est un référentiel des habitats naturels, semi-naturels et artificiels présents sur le sol et les mers européens, mis en place à partir de 1998 à travers une gouvernance partagée experts / Agence Européenne de l'Environnement.

L'objectif d'EUNIS est de disposer d'un catalogue des habitats du territoire européen, comme outil de description et d'évaluation.

Les habitats inférieurs à 25 m² n'ont pas été identifiés, ainsi que les habitats linéaires non structurants de moins de 1 mètre de large. Ainsi les végétations perturbées des accotements routiers, ou les fines bandes de végétation spontanée séparant 2 parcelles n'apparaissent pas. En revanche, les haies, éléments structurants du paysage, sont intégrées.

Les chemins d'exploitation, quoique non goudronnés, ont été considérés comme infrastructures routières.

III.3 Méthodologie du suivi de mortalité

III.3.1 - Protocoles de terrain proposés

Le principe de départ est simple, il consiste à parcourir une surface-échantillon adaptée autour de chaque éolienne afin de détecter les cadavres associés à la mortalité éolienne.

L'échantillonnage peut se faire en carré ou en cercle, de longueur ou diamètre de 100 m ou du diamètre du rotor pour les éoliennes à pales de plus de 50 m. Seules les zones avec une végétation suffisamment ouverte sont prises en compte.

La surface-échantillon est parcourue à pied en suivant des transects (lignes de prospection), espacés de 5 à 10 m pour couvrir la totalité de celle-ci. Le temps de prospection attendu est de 30 à 45 minutes pour une surface-échantillon de base.

Cependant trois facteurs principaux mènent à une sous-estimation de la mortalité, en se contentant de compter les oiseaux et les chiroptères trouvés morts au pied des éoliennes (Dulac, 2008) :

- ✓ la disparition des cadavres entre le moment où l'oiseau ou la chauve-souris tombe et le moment de la recherche sur le terrain (prédation par les charognards, enfouissement par des insectes nécrophages, dégradation rapide par les fortes pluies, enfouissement des cadavres au moment des labours) ;
- ✓ la difficulté à repérer les animaux, en particulier pour les animaux de petite taille et pendant les périodes où la végétation est la plus haute ;
- ✓ la réduction ponctuelle de la surface de prospection en fonction des conditions locales

On peut aussi évoquer la mortalité différée (animal blessé se déplaçant largement hors de l'aire de recherche avant de décéder), qui n'est actuellement pas évaluée.

La prise en compte de ces 3 facteurs implique différentes adaptations, dont certaines sur le terrain.

La prédation se produit essentiellement au cours du jour (prédateurs et charognards nocturnes ou crépusculaires en début et fin de journée, et des aurores à la tombée de la nuit pour les prédateurs et charognards diurnes). En pleine nuit, la prédation est limitée aux espèces réellement nocturnes.

La prospection doit se faire le plus tôt possible afin de limiter cette prédation.

La détectabilité diminue si la luminosité est trop faible, il n'est donc pas possible de commencer aux aurores. La prospection doit donc commencer au plus tôt, à partir du lever du soleil.

En cas de travaux agricoles sur une partie de la surface, de présence de biocides, d'évolution défavorable du couvert végétal, la surface prospectée sera réduite provisoirement. Un état des lieux de l'occupation des sols au pied des éoliennes doit être conduit en conséquence.

III.3.2 - Prise en compte des biais

Pour compléter la prise en compte des facteurs évoqués précédemment, sources de biais, des coefficients correcteurs sont appliqués aux résultats obtenus sur le terrain.

Winkelman a le premier intégré (1989, 1992) ces coefficients correcteurs (in Dulac, 2008). Le principe a été repris et amélioré par la suite. Une formule résume la prise en compte de ces coefficients par Winkelman :

$$N_{\text{estimé}} = C / (p \cdot d) \cdot A$$

N_{estimé} : = nombre de cadavres total

C = nombre de cadavres comptabilisés

d = taux de détection

p = taux de persistance durant l'intervalle de suivi

A = coefficient correcteur de surface = **S_{ap}** / **S_p**

S_p : Surface prospectée

S_{ap} : Surface à prospecter (zone de prospection théorique de 100m*100m)

1. Mortalité détectée et attribuable à l'éolienne

Afin de prendre en compte la mortalité uniquement imputable au fonctionnement du parc éolien, les éventuels cadavres liés à d'autres causes de mortalité que l'éolien (**N_b**) ne sont pas intégrés.

N_a : Nombre de cadavres découverts

N_b : Nombre de cadavres découverts dont la mort n'est pas liée aux éoliennes

C = nombre de cadavres comptabilisés = **N_a** - **N_b**

Trois coefficients pondérateurs sont appliqués afin de corriger les biais de la méthodologie.

2. Coefficient de détectabilité (**d**)

Ce coefficient correspond à l'efficacité de l'observateur à retrouver des cadavres sur une surface donnée, avec un couvert identifié.

Il est déterminé à partir d'un test mené en parallèle au suivi en tant que tel. Il est compris entre 0 (aucun cadavre détecté) à 1 (tous les cadavres sont retrouvés).

3. Durée de persistance (**\bar{t}**)

Il remplace **p**, proportion de cadavres restant à la fin de l'intervalle de suivi, auquel il est lié, dans les calculs plus développés des estimateurs retenus.

Ce coefficient correspond à la durée moyenne de persistance d'un cadavre avant sa disparition (tout en considérant qu'au-delà de plus de 2 semaines, la prédation d'un cadavre par un charognard devient presque nulle).

4. Pondération de surface de prospection

En théorie la surface prospectée est minimum de 1ha (100m*100m) pour un carré et de 0,78 ha pour un cercle. En pratique, des éléments comme une végétation trop haute, un traitement par biocide au mauvais moment, etc., empêchent l'observateur d'accéder à certaines parcelles.

Afin de prendre en compte les surfaces pour lesquelles aucune prospection n'est effectuée, un coefficient **A** est calculé en divisant la surface réellement prospectée (**Sp**) par la surface théorique de prospection (**Sap** = 100m*100m). Cette pondération est actualisée chaque prospection et pour chaque éolienne.

L'évolution des cultures est souvent le facteur principal de modification des surfaces prospectées. Une parcelle ayant un couvert végétal supérieur à 30 cm de haut est systématiquement non prospectée, la détection diminuant alors très fortement.

5. Prise en compte conjointe de la détectabilité et du couvert

La formule ci-devant peut s'écrire également :

$$N_{\text{estimé}} = (C / p) * (A / d)$$

Le taux de détection peut donc être traité avec le coefficient correcteur de surface, ce qui permet de calculer des taux de détection en fonction du couvert et de déterminer un taux pondéré pour chaque éolienne.

$$A / d = (S_{ap} / S_p) / d = S_{ap} / (S_p * d)$$

Dans le cas de plusieurs surfaces à taux de détection différents, on a donc $\frac{A}{d} = \frac{S_{ap}}{\sum S_p \times \sum d}$

$A / d = S_{ap} / (\text{Somme } S_{p1} \text{ à } S_{pi} * \text{Somme } d1 \text{ à } di)$. La même approche peut être utilisée avec les formules utilisées, qui dérivent de cette formule initiale.

Avec **N_{estimé}** : Nombre de cadavres par éolienne

P : Coefficient de prédation sur le site

d : Coefficient de détectabilité de l'observateur (en fonction du milieu)

Sp : Surface prospectée (en fonction du milieu)

Sap : Surface à prospecter (zone de prospection théorique de 100m*100m)

III.4 Méthodologie du suivi en nacelle des chiroptères

III.4.1 - Rappel de la commande

Il s'agit d'un suivi à hauteur de nacelle. Un enregistrement de l'activité des chiroptères doit être réalisé en continu (sans échantillonnage) entre les semaines 20 à 43 (mi-mai à fin octobre). Le suivi ne concerne qu'une éolienne. À noter que l'accès aux nacelles ne peut se faire sans une personne habilitée. Ainsi, la mise en place du Batcorder sur le parc de Goulien a dû se faire en présence du personnel de la société Total Quadran et l'enregistreur a été installé sur l'éolienne E7.

III.4.2 - Protocole mis en œuvre

III.4.2.1 - Principe d'écholocation chez les chauves-souris et suivis par acoustique

Les chauves-souris européennes utilisent le principe du sonar, appelé écholocation, pour se déplacer et pour chasser. Elles émettent ainsi des ultrasons qui leur permettent de se déplacer dans la nuit. En effet, les ultrasons (non audible pour l'oreille humaine) rebondissent sur les obstacles ou les proies et leurs échos sont captés par les chauves-souris au niveau des oreilles. C'est cet écho qui va leur permettre d'évaluer la distance et la forme des objets détectés (BARATAUD, 2015).

Les ultrasons sont émis soit avec le nez dans le cas des rhinolophes, soit avec la bouche dans le cas des Vespertilions.

En plus de ces ultrasons, les chiroptères peuvent également émettre des « cris sociaux » qui sont des cris de communication et qui sont également audibles par l'homme. Ils dépendent de paramètres liés aux habitats dans lesquels les individus évoluent, à la morphologie de ces derniers et à la taille des proies. Chaque espèce possède donc des gammes de signaux qui lui sont propres. Il est alors possible d'identifier une espèce à partir de cris sociaux enregistrés. Toutefois, en fonction du contexte, il peut exister des recouvrements (signaux ayant les mêmes caractéristiques), rendant l'identification plus délicate (Boonman et al., 1995 ; Siemers et Schnitzler, 2000).

Ainsi, le suivi des chiroptères par acoustique, à l'aide d'un enregistreur à ultrasons, permet donc d'obtenir des informations sur les espèces présentes dans un milieu donné. De plus, la présence d'un enregistreur est discrète (silencieux, sans éclairage et immobile) et n'affecte pas le comportement des chauves-souris. En plus de l'espèce, il peut être relevé si l'individu capté est en chasse ou transit par la structure et le rythme des signaux émis.

III.4.2.2 - Écoute en nacelle

❖ Matériel utilisé

Selon la révision 2018 du Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (MEDDE, 2018), les dispositifs automatisés de suivi d'activité en nacelle doivent pouvoir enregistrer sur l'ensemble de la nuit, sur l'intégralité de la saison. Ils doivent également capter la totalité des signaux acoustiques des chauves-souris.

Il a ainsi été choisi d'utiliser un GSM-Batcorder, développé par EcoObs, qui répond à tous les critères précédents. Ce dispositif est conçu spécialement pour l'écoute prolonger des chauves-souris en nacelle. Il est composé de :

1 - Un GSM-Batcorder (10 x 17 x 3 cm)

2 - Une batterie (7 x 10 x 5 cm ; taille du fil : 46 cm)

3 - Un microphone en disque (partie extérieure : 10 cm ; grand disque : 14 cm ; longueur du fil : 60 cm)

4 - Une alimentation (longueur du fil : 1,75 m)

5 - Une barre de fixation (8 x 25 x 4 cm)

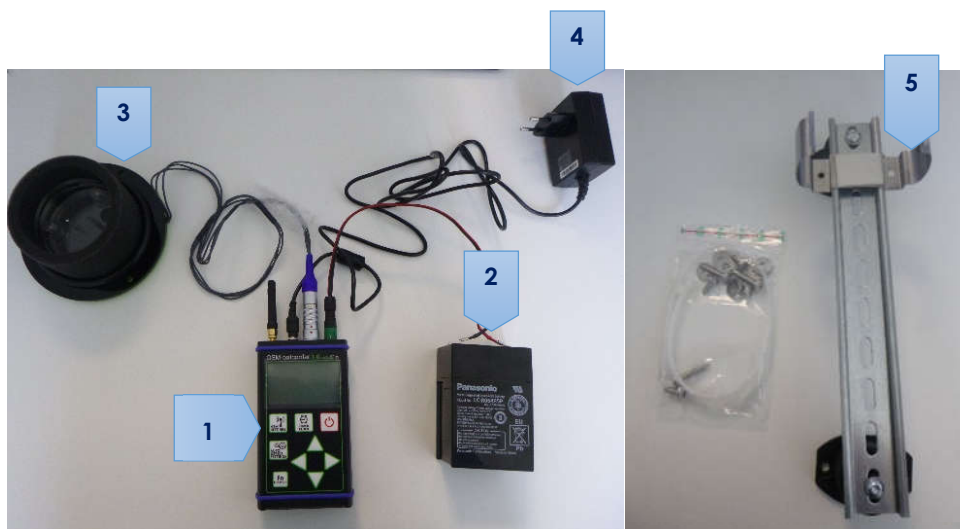


Figure 6 - À gauche : ensemble du matériel d'enregistrement ; À droite : barre de fixation

❖ Installation

Le module GSM-Batcorder se place donc dans la nacelle de l'éolienne n°7. La barre de fixation est attachée au sol de la nacelle avec quatre vis, fournies, d'une longueur de 1,2 cm. Cela nécessite donc de percer dans la tôle de la nacelle. Le boîtier vient par la suite se clipser sur la barre de fixation. La batterie vient se positionner à côté du boîtier et peut être fixée sur la barre à l'aide de collier de serrage en plastique. Dans le cas du microphone en disque, un trou de 10 cm de diamètre doit être percé dans le sol de la nacelle. Le micro ressort ainsi sous la nacelle et le disque de plus grand diamètre vient fermer le trou. Celui-ci est également fixé dans la tôle grâce à trois vis de 2,8 cm. Un joint est présent afin d'empêcher l'eau et l'air de rentrer dans la nacelle.

Dans notre cas, le module a été installé dans la nacelle de l'éolienne 7 du parc éolien de Goulien, le 18 juin 2018. Le choix de l'éolienne s'appuie sur la présence à proximité immédiate d'un boisement (attractif pour les chauves-souris). C'est a priori l'éolienne qui présente le risque de mortalité le plus important.

❖ Fonctionnement

Le fonctionnement du Batcorder est simple. Différents paramètres sont réglables directement via le boîtier : heures d'enregistrement, durée minimale de ces derniers, seuil de fréquences... Le boîtier enregistre sur une carte SD les séquences. Une carte SIM peut être insérée dans le Batcorder et permet ainsi à celui-ci d'envoyer après chaque nuit un SMS de statut de l'appareil. Il est également possible de changer les paramètres du boîtier en cours de saison via l'envoi de SMS avec ce dernier.

Une fois l'enregistreur paramétré et installé dans la nacelle, celui-ci est autonome. En effet, en journée, le Batcorder est alimenté par la prise secteur et recharge en même temps la batterie sur laquelle il est également branché. Lorsqu'il est en « dormance », il est possible d'accéder aux données qu'il a enregistrées. Il se déclenche lui-même aux horaires programmés pour enregistrer. À ce moment-là, il se coupe de l'alimentation secteur pour basculer sur la batterie. Il n'est également plus possible d'accéder aux données qu'il a acquises. Il rebascule sur l'alimentation secteur à sa mise en « dormance » et envoie un SMS à ce moment.

III.4.2.3 - Analyse des signaux et identification des espèces

Plusieurs centaines de séquences sont obtenues à la fin de l'étude. Cependant, toutes ne correspondront pas à l'enregistrement de chauves-souris, mais à des bruits « parasites » dus à l'éolienne. Le logiciel BcAdmin couplé au logiciel BatIdent (EcoObs) permet de faire le tri dans ces fichiers-ci.

Une fois les fichiers du Batcorder intégrés à la base de données de BcAdmin, le logiciel analyse les séquences et BatIdent fait une analyse automatique de celles-ci.

BatIdent est conçu pour donner un indice de confiance pertinent, en pourcentage pour chacune de ses déterminations. Il est toutefois important de vérifier dans les séquences dites « parasites » qu'il n'y a pas de chauves-souris dessus.

La détermination manuelle, à l'aide de l'onglet « visualisation » du logiciel BcAdmin, permet d'obtenir des informations plus précises telles que les fréquences initiales et terminales, les intervalles entre les signaux ..., afin d'identifier l'espèce dont il est question sur l'enregistrement.

Cependant, il n'est pas toujours possible d'aboutir à une espèce sur certains fichiers, dû à une mauvaise qualité de l'enregistrement, à des signaux de trop faible intensité ou encore à l'absence de critère discriminant. Dans ce cas, l'identification ne va pas plus loin que le genre et c'est le nom du groupe d'espèce qui est retenu. Les différents groupes d'espèces possibles sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3 - Regroupement d'espèces possibles

Groupe d'espèces	Espèces comprises
P35	Pipistrelle de Kuhl (<i>Pipistrellus kuhlii</i>) Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>)
P40	Pipistrelle de Nathusius (<i>Pipistrellus nathusii</i>) Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>)
P50	Pipistrelle commune (<i>Pipistrellus pipistrellus</i>) Pipistrelle pygmée (<i>Pipistrellus pygmaeus</i>)
Plecotus sp	Oreillard gris (<i>Plecotus austriacus</i>) Oreillard roux (<i>Plecotus auritus</i>)
Myotis sp	Tous les Murins
Sérotule	Sérotine commune (<i>Eptesicus serotinus</i>) Noctule commune (<i>Nyctalus noctula</i>) Noctule de Leisler (<i>Nyctalus leisleri</i>)

Lors de l'analyse des risques, c'est l'espèce la plus sensible du groupe qui sera alors retenue.

Une fois l'ensemble identifié, les résultats sont convertis en nombre de contact par heure afin de lisser les biais liés au temps d'écoute. Un coefficient de correction sera également appliqué pour lisser les biais liés à la distance de détection. En effet, la distance de détection s'avère différente en fonction espèces. Un petit rhinolophe ne sera pas capté au-delà de 5m du micro tandis qu'une noctule commune sera enregistrée jusqu'à 150m. Les coefficients appliqués seront ceux préconisés par Michel BARATAUD dans son livre « Écologie acoustique des chiroptères d'Europe » (BARATAUD, 2015).

Il est également important de noter qu'une absence de contact ne signifie pas forcément une absence de l'espèce sur le site étudié (MOTTE & LIBOIS, 2002).

Tableau 4 - Distances des détections des chauves-souris en fonction des espèces et leur coefficient de détectabilité en fonction du milieu

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

Source : MEEM, 2016 d'après Barataud, 2012

Le niveau d'activité des chauves-souris se détermine en fonction d'une échelle à 4 échelons :

- Nulle ou très faible : nombre de contacts/heure < 20
- Faible : 20 ≤ nombre de contacts/heure < 50
- Moyenne : 50 ≤ nombre de contacts/heure < 100
- Forte : 100 ≤ nombre de contacts/heure

La diversité spécifique observée est également définie de la façon suivante :

- Nulle ou très faible : nombre d'espèces = 0 à 2
- Faible : nombre d'espèces = 3 à 4
- Moyenne : nombre d'espèces = 5 à 7
- Forte : nombre d'espèces = 8 et plus

Pour chaque espèce, le seuil d'activité sera toutefois hiérarchisé selon les niveaux établis pour la région Bretagne.

Tableau 5 - Evaluation du seuil d'activité pour chaque espèce de chauves-souris en Bretagne

Espèce	Indice de détectabilité	Niveau d'abondance en Bretagne	Seuil d'activité (n = nombre de contacts/h)				
			Nul à très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Pipistrelle commune	Moyen	Commune à très commune	$n < 8$	$8 \leq n < 32$	$32 \leq n < 60$	$60 \leq n < 120$	$120 \leq n$
Pipistrelle de Kuhl	Moyen	Commune	$n < 4$	$4 \leq n < 16$	$16 \leq n < 30$	$30 \leq n < 60$	$60 \leq n$
Pipistrelle de Nathusius	Moyen	Peu commune	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Pipistrelle pygmée	Moyen	Rare	$n < 0,5$	$0,5 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3,75$	$3,75 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n$
Barbastelle d'Europe	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Sérotine commune	Fort	Commune	$n < 6$	$6 \leq n < 24$	$24 \leq n < 45$	$45 \leq n < 90$	$90 \leq n$
Noctule commune	Très fort	Rare	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Noctule de Leisler	Très fort	Rare	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Vespertilion bicoloré	Très fort	Anecdotique	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Grande Noctule	Très fort	Anecdotique	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Oreillard roux	Fort	Assez commune	$n < 3$	$3 \leq n < 12$	$12 \leq n < 22,5$	$22,5 \leq n < 45$	$45 \leq n$
Oreillard roux	Moyen	Assez commune	$n < 2$	$2 \leq n < 8$	$8 \leq n < 15$	$15 \leq n < 30$	$30 \leq n$
Oreillard roux	Faible	Assez commune	$n < 0,5$	$0,5 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3,75$	$3,75 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n$
Oreillard gris	Fort	Assez commune	$n < 3$	$3 \leq n < 12$	$12 \leq n < 22,5$	$22,5 \leq n < 45$	$45 \leq n$
Oreillard gris	Moyen	Assez commune	$n < 2$	$2 \leq n < 8$	$8 \leq n < 15$	$15 \leq n < 30$	$30 \leq n$
Oreillard gris	Faible	Assez commune	$n < 0,5$	$0,5 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3,75$	$3,75 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n$
Grand Rhinolophe	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Petit Rhinolophe	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Murin d'Alcathoe	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Murin de Bechstein	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Murin à oreilles échancrées	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Murin de Natterer	Faible	Assez commune	$n < 0,5$	$0,5 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3,75$	$3,75 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n$
Murin à moustache	Faible	Assez commune	$n < 0,5$	$0,5 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3,75$	$3,75 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n$
Murin de Daubenton	Faible	Commune	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Grand Murin	Moyen	Peu commune	$n < 1$	$1 \leq n < 4$	$4 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n < 15$	$15 \leq n$
Grand Murin	Faible	Peu commune	$n < 0,2$	$0,2 \leq n < 1$	$1 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3$	$3 \leq n$
Minioptère de Schreibers	Moyen	Rare	$n < 0,5$	$0,5 \leq n < 2$	$2 \leq n < 3,75$	$3,75 \leq n < 7,5$	$7,5 \leq n$
Légende :							
Tout milieu		Milieu ouvert	Milieu semi-ouvert	Milieu fermé			Milieux ouvert et semi-ouvert

IV. Résultats des suivis

IV.1 Résultats du suivi habitats naturels

En tout ce sont 10 habitats naturels EUNIS différents qui sont inventoriés dans les 8 quadrats autour des éoliennes.

Les prairies de fauches atlantiques (E2.21) et les pâtures (E2.1) sont largement dominantes et recouvrent presque la moitié de la surface étudiée (45.2%). Puis, les monocultures intensives (I1.1) occupent 27.1% et sont principalement localisées nord. Les autres habitats sont présents de façon plus sporadique comme les fourrés à *Ulex europaeus* (1.5%), les sites industriels ruraux (13%) ou le bocage (4.8%).

Tableau 6 - Habitats EUNIS dans la surface inventoriée

Habitats EUNIS	Surface (en m²)	Pourcentage
E2.1 Pâturages permanents mésotrophes et prairies de post-pâturage	21336	26,7%
E2.61 Prairies améliorées sèches ou humides	557	0,7%
E5.15 Champs d'herbacées non graminoides des terrains en friche	2447	3,1%
F2.21 Prairies de fauches atlantiques	14834	18,5%
F3.131 Ronciers	2881	3,6%
F3.15 Fourrés à <i>Ulex europaeus</i>	1189	1,5%
I1.1 Monocultures intensives	21684	27,1%
J2.32 Sites industriels ruraux	10379	13,0%
J4.2 Réseaux routiers	812	1,0%
X10 Bocages	3875	4,8%
	79994	100,0%



Photo 2 : Prairies de fauches atlantiques



Photo 3 : Fourrés à *Ulex europaeus*

Sources : R. ARHURO



Photo 4 : Sites industriels ruraux (plateforme)

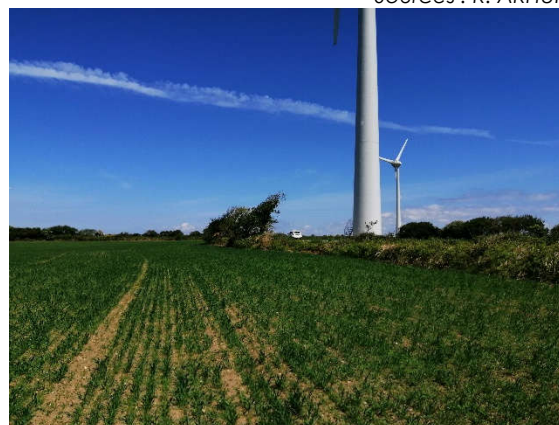


Photo 5 : Monoculture intensive

Sources : R. ARHURO & Q.LEDUC

IV.2 Suivi de mortalité des chiroptères et de l'avifaune

IV.2.1 - Protocole mise en œuvre

IV.2.1.1 - Suivi de mortalité

Fréquence de suivis

Les interventions ont été réalisées de mi-mai à fin octobre (semaine 20 à 44), soit 25 interventions au cours de l'année 2019.

Dates	Intervenants
13/05/2019	Q.LEDUC
20/05/2019	Q.LEDUC
27/05/2019	Q.LEDUC
03/06/2019	Q.LEDUC
11/06/2019	Q.LEDUC
17/06/2019	Q.LEDUC
24/06/2019	Q.LEDUC
01/07/2019	F.HEMERY
08/07/2019	Q.LEDUC
15/07/2019	Q.LEDUC
22/07/2019	Q.LEDUC
29/07/2019	Q.LEDUC
05/08/2019	Q.LEDUC
12/08/2019	Q.LEDUC
19/08/2019	Q.LEDUC
26/08/2019	Q.LEDUC
02/09/2019	Q.LEDUC
09/09/2019	Q.LEDUC
16/09/2019	Q.LEDUC
23/09/2019	Q.LEDUC
30/09/2019	Q.LEDUC
07/10/2019	Q.LEDUC
14/10/2019	Q.LEDUC
21/10/2019	Q.LEDUC
28/10/2019	Q.LEDUC

Tableau 7 - Planning de réalisation du suivi de mortalité

Protocole de terrain

Le protocole de terrain est inspiré de celui mis au point par la Ligue de Protection des Oiseaux (LPO, 2004).

Les prospections s'effectuent à pied sous les 8 aérogénérateurs. La surface à prospecter correspond à un carré de 100m*100m, soit une surface de 1ha autour de chaque éolienne. Il est considéré que cette surface est suffisante pour obtenir une valeur précise de la mortalité induite par les éoliennes.

Pour réaliser cette prospection, l'observateur utilise une tablette de terrain munie d'un logiciel de cartographie (CartoLander®) et d'un GPS. Chaque éolienne est entourée par un quadrat (périmètre de la surface à prospecter). Celui-ci est ligné par des transects. L'observateur visualise sa position dans l'espace directement sur le logiciel. Il n'a plus qu'à suivre les transects pour rechercher efficacement les cadavres, tout en respectant leurs longueurs et leurs écartements. L'espacement entre transects est de 10m.

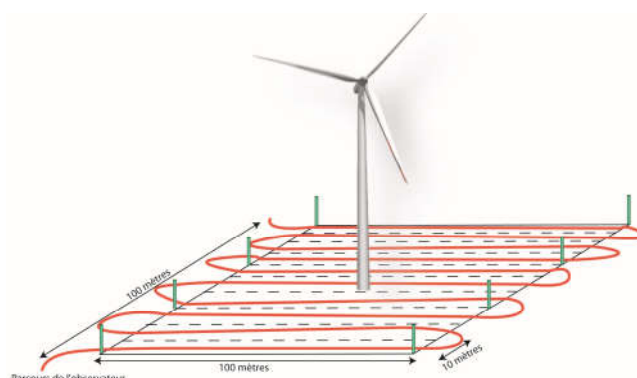


Figure 7 - Schéma de principe des recherches de terrain

Source : LPO, 2004



Figure 8 - Localisation des quadrats du suivi de mortalité du site éolien de Goulien



Figure 9 - Exemple de transect réalisé au pied de l'éolienne E1 du parc de Goulien

Pour toutes les journées de suivi et pour chaque aérogénérateur, une base de données est remplie, même en l'absence cadavre. Elle contient entre autres : la date, le prospecteur, et au besoin, l'espèce localisée, une estimation de son âge, son état, etc.

De plus, chacun des quadrats prospectés est pris en photo, ainsi que tous les cadavres trouvés.

IV.2.1.2 - Test de détection

Le test de détection permet d'établir le coefficient de détectabilité. Celui-ci est personnel, associé à un intervenant et varie aussi selon l'occupation du sol (couvert végétal).

De ce fait, ALTHIS a utilisé une méthodologie de test alternative permettant d'avoir un coefficient de détectabilité par type de végétation pour les deux intervenants et en particulier l'opérateur ayant réalisé la quasi-totalité des suivis.

IV.2.1.3 - Test de persistance

Pour déterminer ce coefficient, 10 cadavres de poussins et 10 cadavres de souris sont disséminés et répartis au pied des huit éoliennes du site. Les cadavres sont dénombrés le lendemain et lors d'une série de contrôles, courant jusqu'à disparition des cadavres où à concurrence de 14 jours.

La durée moyenne de persistance des cadavres est calculée ainsi : $\bar{t} = \frac{\sum \text{Persistance par cadavre}}{\text{Nbre cadavres}}$

Deux tests ont été menés, en début et fin de période de suivi.

Dates	Intervenants	Interventions
20/05/2019	Q.LEDUC	Mise en place du test
21/05/2019	G.LE PEUTREC	Contrôle
22/05/2019	F.MEREL	Contrôle
24/05/2019	R.ARHURO	Contrôle
27/05/2019	Q.LEDUC	Contrôle

07/10/2019	Q.LEDUC	Mise en place du test
08/10/2019	M.FEON	Contrôle
09/10/2019	R.ARHURO	Contrôle
11/10/2019	Q.LEDUC	Contrôle
14/10/2019	Q.LEDUC	Contrôle

Tableau 8 - Planning de réalisation des tests de persistance

IV.2.2 - Estimateurs de mortalité utilisés

IV.2.2.1 - Formule d'Erickson

Dans la méthode d'Erickson, le taux de persistance des cadavres, de la formule initiale de Winkelmann, est remplacé par la durée moyenne de persistance. L'avantage de cette méthode est de pouvoir réaliser des estimations de mortalité même quand le taux de persistance à la fin de l'intervalle de suivi vaut 0 (intervalle de suivi long).

La forme d'Erickson (ERICKSON & al., 2000 in DULAC, 2008) est la suivante :

$$N = \frac{I \times C}{\bar{t} \times d} \times A$$

I est la fréquence de passage en jour. C est le nombre de cadavres trouvés. A est le coefficient de correction de surface. d est le taux de détection. \bar{t} est la durée moyenne de persistance des cadavres.

IV.2.2.2 - Formule de Jones

Pour son estimation de la mortalité, Jones et al. (in DULAC 2008) propose une méthode de calcul en retravaillant la valeur du paramètre de la persistance des cadavres. Il considère que la mortalité est constante dans le temps et que la persistance des cadavres suit une loi exponentielle négative. Cette méthode suppose que la probabilité moyenne de disparition d'un cadavre sur l'intervalle est égale à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé au milieu de l'intervalle de temps. Ainsi, la valeur de p est définie par l'équation suivante :

$$p = \exp(-0.5 \times I/\bar{t})$$

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

Avec Coefficient correcteur d'intervalle effectif $\hat{e} = \frac{\text{Min}(I;\bar{t})}{I}$

Jones et al. ajoute la notion d'intervalle effectif en considérant que plus l'intervalle est long, plus le taux de persistance s'approche de 0. Ainsi, un cadavre retrouvé à la fin d'un intervalle de suivi

long n'est pas tombé au début de l'intervalle, mais plus probablement au cours de cet intervalle. Il convient donc de redéfinir l'intervalle réellement suivi appelé intervalle effectif \hat{I} qui correspond à la période pendant laquelle le taux de persistance est supérieur à 1%.

Sa valeur vaut donc : $\hat{I} = \log(-0,01 \times \bar{t})$

Pour les calculs, la valeur de I prend la valeur minimale entre I et \hat{I} (CORNUT & VINCENT, 2010 in DULAC 2008).

IV.2.2.3 - Formule de Huso

Huso part de la formule de Jones (HUSO, 2010 in DULAC 2008), mais elle considère que la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre. Elle considère également que la mortalité est constante.

$$p = \frac{\bar{t} \times (1 - \exp^{-I/\bar{t}})}{I}$$

$$\text{D'où : } N = \frac{c}{d \times \frac{\bar{t} \times (1 - \exp^{-I/\bar{t}})}{I} \times \hat{e}} \times A$$

De même, dans les calculs, I prend la valeur minimale entre I et \hat{I} .

IV.2.2.4 - Mise en œuvre

Les 3 estimateurs sont disponibles, pour une mise en œuvre, de façon simple, sur le site du Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive : <https://shiny.cefe.cnrs.fr/EolApp/>

Les données sont fournies sous une forme précise :

- le nombre de cas de mortalité est saisi par passage dans un fichier,
- la durée de persistance par cadavre est saisi dans un fichier,
- 4 autres données sont fournies : l'intervalle entre passages, les nombres de leurres posés et retrouvés pour la détection, et le pourcentage de surface prospectée.

Avec ces éléments, le programme fournit l'estimation médiane et les intervalles de confiance à 95% et 80% pour chaque estimateur. Les 3 modèles utilisés ne sont pas comparés et sont moyennés pour obtenir la médiane et l'intervalle de confiance à 80%.

La médiane est retenue comme l'ordre de grandeur de la mortalité.

Le chiffre réel est considéré comme très probablement dans l'intervalle de confiance à 80%

IV.2.2.5 - Rappels théoriques

Pour ceux qui ne sont pas familiers avec le traitement statistique et probabiliste, les résultats donnés par les estimateurs peuvent paraître étonnants, voire incohérents. En premier lieu, les calculs donnent des résultats décimaux (qui sont arrondis dans le texte), pour des nombres de cas de mortalité.

De plus, les estimateurs fonctionnent sur un certain nombre de probabilités estimées à partir des données de terrain. Afin de rendre compte de la variabilité potentielle des situations initiales, de nombreux cas théoriques sont simulés.

Par exemple, si 10 cadavres sont retrouvés, ça peut correspondre à 10 cas effectifs de mortalité, comme à 100 cas effectifs.

En simulant à de nombreuses reprises les possibilités correspondant à un ensemble de données, par tirage aléatoire d'une mortalité théorique, il est possible d'établir 3 éléments :

- La médiane, cas théorique le moins extrême. Il y a autant de cas théoriques avec une mortalité moindre qu'avec une mortalité supérieure.
- L'intervalle de confiance de 80%, borné par 2 valeurs (IC 10 et IC 90), qui indique que 80% des cas théoriques testés sont situés entre les 2 bornes. Dans la plupart des cas, la situation réelle est dans cet intervalle. Plus cet intervalle est grand, moins les résultats sont certains.
- L'intervalle de confiance de 95%, borné par les 2 valeurs IC 2,5 et IC 97,5. Il indique donc que 95% des cas théoriques testés sont situés entre ces 2 bornes. Comme il s'agit de cas théoriques, il est toujours possible de proposer des cas extrêmes ayant d'infimes probabilités de convenir à la situation réelle. En cela, les cas ne peuvent être bordés par un minimum ou un maximum (quoique la mortalité ne pouvant être négative, la borne inférieure peut mathématiquement atteindre 0, minimum absolu). Cet intervalle, dans ce contexte, joue le rôle de définir les minimum et maximum.

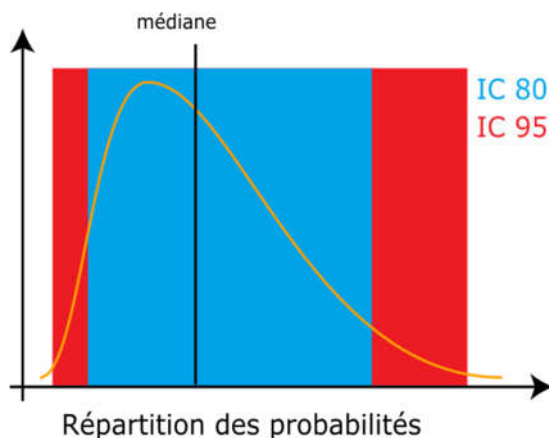


Figure 10 - Répartition des probabilités en fonction d'une valeur théorique de mortalité réelle

Les estimateurs travaillant avec des séries aléatoires de cas théoriques pour tester les possibilités, la même estimation faite 2 fois conduira à des résultats différant légèrement.

Les estimateurs ne calquent pas les bornes inférieures des intervalles sur le nombre de cas enregistrés. Il est donc possible que le calcul indique une borne inférieure au nombre de cas. Quand il est fait état de l'intervalle, ce sont les limites calculées qui sont indiquées. Quand il est évoqué le chiffre réel, la borne inférieure est ajustée au nombre de cas enregistrés.

Quand on segmente l'analyse (par exemple la période complète en 2 périodes, ou le parc entier en analyse par éolienne), les résultats peuvent paraître incohérents ($P \neq P1 + P2$).

Un des éléments, qui explique cet effet, est que les calculs s'appuient sur des proportions de surface. Or le calcul pour une éolienne est fait par rapport à sa surface à prospecter propre, et non par rapport à l'ensemble de la surface du parc. De plus, les calculs pour le parc entier lissent les variations (proportions de surface prospectée, taux de détection en fonction du couvert). Dernière explication, d'ordre mathématique : il faudrait additionner la mortalité à la médiane du total, et non à la médiane de chaque composante.

IV.2.3 - Occupation du sol au pied des éoliennes

Quatre types de couverts sont majoritairement présents : cultures, pâturages, prairies et voiries (chemins d'exploitation et plateforme).

Les cultures sont majoritaires avec 27,14 % de la surface totale des quadrats. Elles comprennent selon les parcelles et la saison : maïs, blé et couvre-sol.

Les pâturages représentent ensuite 26,7 % du total, avec des alternances de la présence des vaches entre les différentes parcelles au cours du suivi, ainsi que deux parcelles qui étaient fauchées, sur E7 et E8. Les prairies de fauches ont quant à elles un pourcentage de surface de 22,26 %.

Ces différents couverts fluctuent en hauteur au fil du suivi. Ce qui n'est pas le cas des voiries et des zones rudérales composées par les plateformes éoliennes et de leurs chemins d'accès à hauteur de 13,95 % de la surface totale. Néanmoins, des pylônes électriques sont présents sur la plateforme de E2, ainsi que des bottes de foin qui sont restées plusieurs semaines sur E2 et E7, mais n'empêchant pas la bonne tenue du suivi.

Enfin, les haies, forêts et le bâtiment sont en minorités avec respectivement 6,28 %, 3,62 % et 0,06 % de la surface totale des quadrats.

Typologie simplifiée des habitats	Surface (en ha)	Pourcentage
Cultures	2,17	27,14 %
Pâturages	2,136	26,7 %
Prairies de fauches	1,78	22,26 %
Voiries	1,116	13,95 %
Haies	0,503	6,28 %
Forêts	0,289	3,62 %
Bâtiments	<0.01	0.06 %

Tableau 9 - Types d'habitats rencontrés et surfaces associées

Ces couverts induisent 5 types de surface, du point de vue du suivi :

- les voiries sont considérées comme des « surfaces planes » ;
- les prairies et les pâturages sont en « végétation basse », « végétation moyenne » ou « végétation haute », selon la période ;
- les cultures sont soit « non prospectables », soit « surfaces planes », soit « végétation basse », « végétation moyenne » ou « végétation haute », selon la culture et son développement ;
- les haies, forêts et bâtiments sont classés comme « non prospectables ». Néanmoins, pour les deux seuls bâtiments présents, en l'occurrence sur E6, il était possible de voir le toit via l'échelle d'accès à l'entrée de l'éolienne. En s'aidant d'une paire de jumelles, il était possible de constater ou non la présence d'un cadavre. De ce fait, les bâtiments sont comptés dans le cadre de ce suivi post-implantation comme « surfaces planes ».



Figure 11 - Habitats simplifiés dans les quadrats des éoliennes du site de Goulien 1/2



Figure 12 - Habitats simplifiés dans les quadrats des éoliennes du site de Goulien 2/2

IV.2.4 - Surfaces prospectées

La surface globale prospectée est plus ou moins homogène au cours de la période de prospection, sans atteindre le maximum possible prospectable (7,21 ha).

La majorité des surfaces prospectées a lieu entre juillet mi-septembre, grâce aux prairies fauchées sur l'éolienne E5 et l'éolienne E6 le 7 juillet, ainsi qu'au blé récolté sur l'éolienne E8 le 29 juillet. De plus, il y a une rotation entre les pâturages qui empêche la végétation de trop pousser et qui se combine au manque d'eau important de cet été.

Néanmoins deux baisses notables apparaissent au cours du suivi :

- Le 11 juin, les prairies ne sont plus prospectables sur les éoliennes E5 et E6, le champ de blé présent sur l'éolienne E7, ainsi que différentes parcelles dont la végétation est devenue trop haute par l'absence de pâturages sur les éoliennes E2 et E8.
- Le 7 octobre, le champ de maïs n'a toujours pas été récolté au pied des éoliennes E3, E4 et E8, et les conditions météorologiques particulièrement difficiles (vent et pluie horizontale), rendent la détection quasi nulle sur des prairies où la végétation est supérieure à basse.

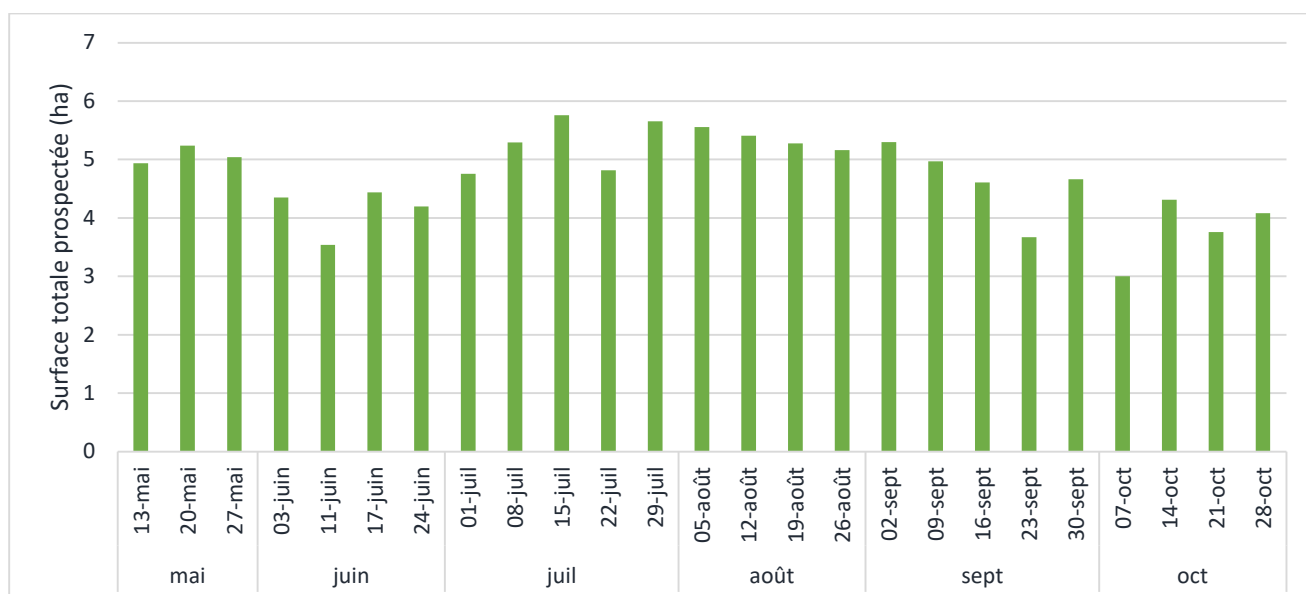


Figure 13 - Représentation de la surface prospectée en fonction des dates d'inventaires

L'éolienne E2 a été la plus prospectée au cours du suivi de 2019, grâce à une rotation tout au long du suivi entre les différentes parcelles de pâturages.

Deux groupes se dessinent pour les autres éoliennes. La surface moyenne prospectée pour le premier (E1/E6/E7/E8) s'étend de 0,61 à 0,66 hectares, tandis que le second (E3/E4/E5) à une moyenne plus basse entre 0,44 et 0,48 hectares.

Le premier groupe a une dominance de prairies de fauche et de pâturages. Le second groupe a quant à lui une dominante de cultures. Une partie comporte du maïs qui n'a pas été récolté, une autre partie inclut des parcelles qui ont été laissées en jachère avec un fauchage très tardif. De plus, la présence de haies et d'un bois rendent impossible la prospection sur ces parcelles tout au long du suivi.

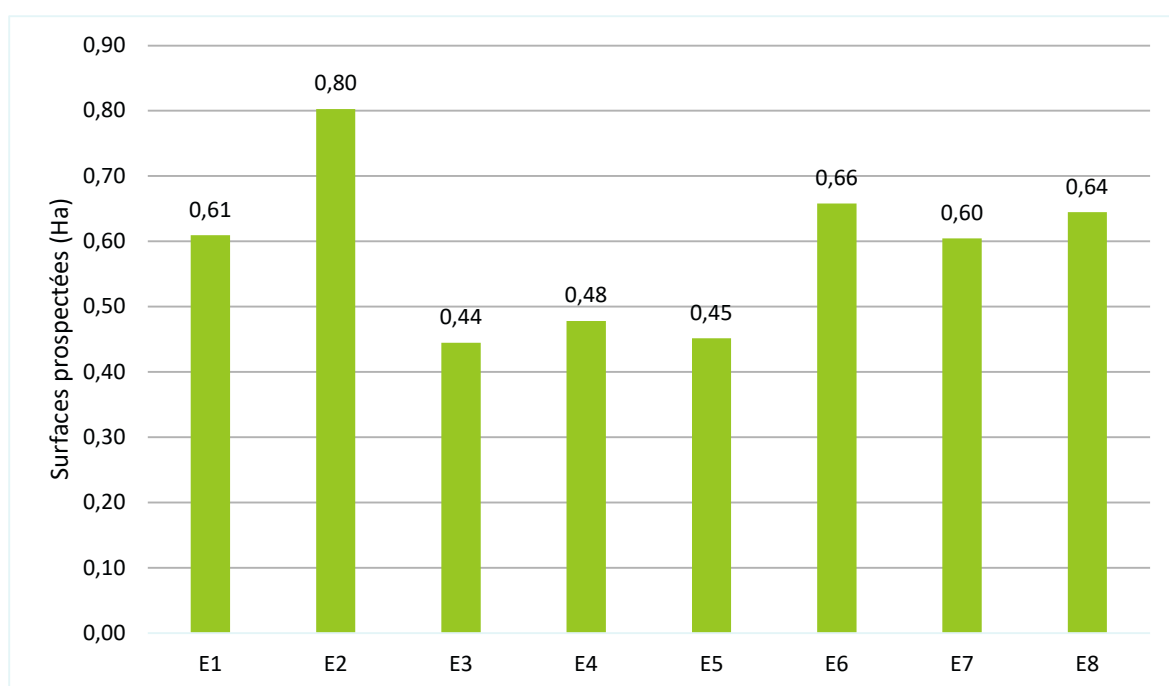


Figure 14 - Moyenne des surfaces prospectées par éoliennes

IV.2.5 - Coefficients de correction

IV.2.5.1 - Test de détection

Chaque intervenant du suivi de mortalité participe à des tests de détection. Ces derniers permettent de définir le coefficient de détectabilité pour chaque intervenant. Deux tests doivent être réalisés à des périodes différentes pour chaque intervenant, avec différents types de végétation pour chaque test (surface plane, végétation basse, moyenne, haute). Il faut utiliser 15 à 20 leurres et effectuer la prospection en respectant le protocole établi, tout en ayant un contrôle strict du timing en fonction de la surface (pour limiter l'intensification de la recherche au-delà de la pratique régulière).

Normalement, les intervenants ignorent qu'ils sont en test. Dans les faits, dès qu'un intervenant observe un leurre, il intègre qu'un test est en cours. Le biais n'est ainsi que partiellement compensé. Seule l'utilisation de véritables cadavres permettrait de leurrer l'intervenant, à condition de tester avec de faibles quantités. De plus, les contraintes pratiques (transport, préparation) font qu'il est compliqué de mettre en place ce type de test.

Cette année Althis a réalisé de nombreux suivis de mortalité. La quasi-totalité des passages sur les différents sites éoliens ont été effectués par un seul opérateur. De ce fait, Althis a utilisé une méthodologie de test alternative permettant d'avoir un taux de détection par type de végétation pour chaque intervenant et en particulier cet opérateur qui a réalisé plus de tests que les autres.

Le prospecteur principal de ce suivi a réalisé 3 tests génériques et 2 tests autour d'éoliennes. Ces derniers n'ont pas été réalisés à Goulien, mais ils possèdent les mêmes types d'habitats et sont donc comptabilisés.

Pour chaque test, un préparateur dépose (par jet en l'air) un nombre de leurres qu'il définit (l'objectif étant de disposer d'un lot de données suffisantes), selon une disposition tirée au sort sous SIG (disposition aléatoire). Les leurres en tissu foncé ont été réutilisés, ainsi que des leurres en coton brun plus clair, et des leurres plus réalistes, mais moins nombreux.

L'intervenant principal a été testé sur un total de 96 leurres lors des trois tests génériques ainsi que sur 11 cadavres de poussins/souris et 9 leurres « chiroptères » lors d'un test sur site. Ces tests ont été mis en place sur une surface de 2000 m². Enfin, il a été sujet à un test surprise avec 17 leurres répartis sur deux éoliennes. Les résultats des tests sont utilisés directement dans Tableau 12 – Taux de détection composite par éolienne.



Figure 15 – Leurre fabriqué en tissu / Source : photo ALTHIS

IV.2.5.2 - Test de persistance

Le test consiste à disperser, comme proies, des cadavres de 10 poussins et 10 souris au pied des éoliennes, dans la zone prospectée, et à suivre leur disparition progressive. Le premier test a été mené au pied des éoliennes le 5 juin ; le second le 7 octobre.

Tests	Date de passage	Nbre de proies restantes	Persistance (j)
Test 1 du 20 mai	20/05/2019	20	-
Test 1 du 20 mai	21/05/2019	10	0,5
Test 1 du 20 mai	22/05/2019	3	1,5
Test 1 du 20 mai	24/05/2019	3	1,5
Test 1 du 20 mai	27/05/2019	0	5,5
Test 2 du 7 octobre	07/10/2019	20	-
Test 2 du 7 octobre	08/10/2019	20	-
Test 2 du 7 octobre	09/10/2019	11	1,5
Test 2 du 7 octobre	11/10/2019	8	3
Test 2 du 7 octobre	14/10/2019	0	5,5

Tableau 10 - Tests de persistance

Les deux tests montrent une persistance faible, tous les cadavres ayant disparus en moins de sept jours. La disparition des cadavres est plus élevée en juin avec la quasi-totalité des cadavres qui ont disparus en 2 jours.

Le taux de persistance global est de 2,5 jours sur le parc éolien de Goulien.

Il est probable que les cadavres de poussins soient plus attractifs que les chiroptères. En effet, leur détection visuelle est plus facile (taille, couleur). La détection olfactive reste équivalente. Les charognards chassant à vue sont donc favorisés, ce qui peut induire un taux de prédation un peu plus élevé.

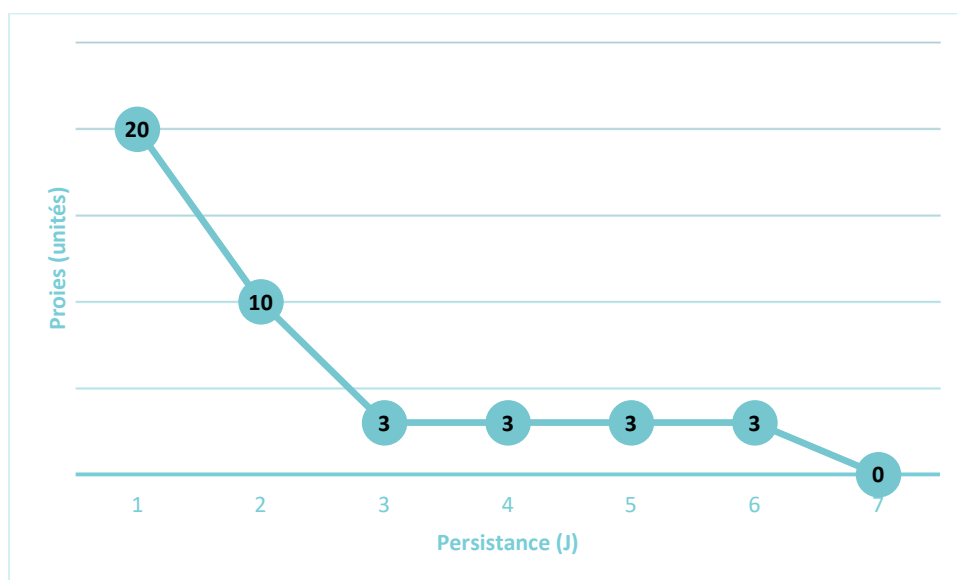


Figure 16 - Test 1, nombre de cadavres restant par jour

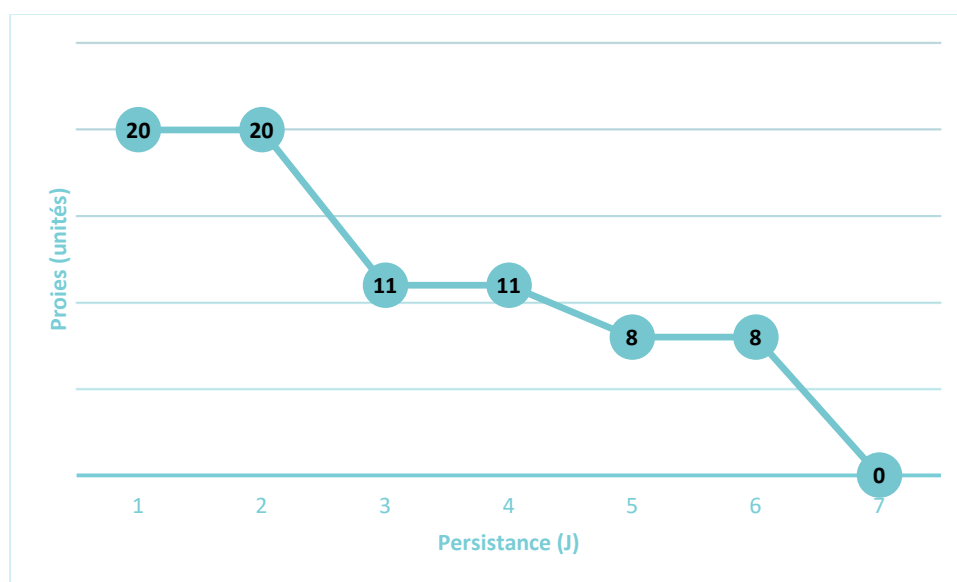


Figure 17 - Test 2, nombre de cadavres par jour

IV.2.6 - Prise en compte conjointe de la détectabilité et du couvert

À chaque type de couvert, et à chaque intervenant est associé un taux de détection spécifique.

À chaque éolienne et à chaque passage est associé une surface par type de couvert.

On constitue ainsi un taux de détection composite par journée, en pondérant les taux de détection par les surfaces associées au type de couvert. La moyenne de ces taux sur la durée du suivi sera prise en compte par éolienne et pour l'ensemble du parc.

Passage	Intervenant	Sol nu (ha)	Couvert bas (ha)	Couvert moyen (ha)	Couvert haut (ha)	Taux de détection composite
13/05/2019	QL	0,1036	0,5922			0,70
20/05/2019	QL	0,1036	0,5922			0,70
27/05/2019	QL	0,1036	0,3064	0,1680		0,58
03/06/2019	QL	0,1036	0,3447	0,1440		0,59
11/06/2019	QL	0,1036	0,3447			0,45
17/06/2019	QL	0,1036	0,3447			0,45
24/06/2019	QL	0,1036	0,3066			0,41
01/07/2019	FH	0,1036	0,0005	0,1575		0,26
08/07/2019	QL	0,1036	0,0346		0,1080	0,25
15/07/2019	QL	0,1036	0,0373		0,1080	0,25
22/07/2019	QL	0,1036	0,0482		0,0120	0,16
29/07/2019	QL	0,1036	0,0414	0,0240	0,0120	0,18
05/08/2019	QL	0,1036	0,0482		0,0120	0,16
12/08/2019	QL	0,1036	0,0414		0,0024	0,15
19/08/2019	QL	0,1036	0,0006	0,0240	0,0024	0,13
26/08/2019	QL	0,1036	0,0414		0,0024	0,15
26/08/2019	QL	0,1036				0,10
02/09/2019	QL	0,1036	0,0414		0,0024	0,15
09/09/2019	QL	0,1036	0,0006	0,0240	0,0024	0,13
16/09/2019	QL	0,1036	0,0006	0,0240	0,0024	0,13
23/09/2019	QL	0,1036	0,0006	0,0240	0,0048	0,13
30/09/2019	QL	0,1036	0,0006	0,0240	0,0048	0,13
07/10/2019	QL	0,1036	0,0006	0,0240	0,0048	0,13
14/10/2019	QL	0,1036	0,2475	0,0240	0,0048	0,38
21/10/2019	QL	0,1036	0,2475		0,0072	0,36
28/10/2019	QL	0,1036	0,2475		0,0096	0,36

Tableau 11 - Taux de détection composite par prospection (exemple de E3)

Pour chaque éolienne, ainsi que pour le parc entier, un taux de détection composite peut être établi.

L'utilisation du programme du CEFE pour les calculs nécessite de fournir des chiffres de détection, issus des tests de terrain, en moyennant les différents observateurs. La prise en compte des différents couverts végétaux ne permet pas d'utiliser directement le programme. Des chiffres utilisables avec les taux composites sont donc créés.

Les tests initiaux ayant porté sur 96 leurres, le calcul d'un nombre de leurres théoriquement détecté dans chaque cas permet de fournir un chiffre au programme de calcul (nombre trouvé en détection).

Tableau 12 – Taux de détection composite par éolienne

Taux de détection composite moyen		Détection théorique /96
E1	0,41	39
E2	0,52	50
E3	0,29	28
E4	0,33	32
E5	0,3	29
E6	0,44	42
E7	0,42	40
E8	0,4	38
Moyenne parc	0,39	37

IV.2.7 - Données de mortalité constatée

Durant le suivi 2019 sur le parc de Goulien et ses 8 éoliennes, neuf cas de mortalité ont été enregistrés, portant sur des chiroptères et des oiseaux. Sur ces derniers, cinq plumées ont été retrouvées sur les quadrats lors de la prospection des transects. Néanmoins, il n'est pas toujours aisé d'avoir la certitude que la mortalité incombe à l'éolienne. C'est pour cette raison que deux des plumées retrouvées ne seront pas prises en compte dans les résultats.

La première est celle d'un bruant jaune retrouvée le 26 août sur E3, mais pour laquelle il y avait trop peu de plumes pour avoir la certitude de la présence d'une plumée. La seconde est celle d'un Goéland brun ou argenté retrouvé le 30 septembre sur E2. A l'inverse celle-ci avait énormément de plumes à disposition, mais un groupe de Goélands a déjà été vu à plusieurs reprises dans les pâturages entourant E2 ainsi que sur la plateforme où ils profitent d'une grande flaque d'eau pour s'hydrater, là où en l'occurrence les plumes ont été trouvées. Ainsi, il est impossible de dire si ces dernières sont liées à ce groupe d'individus ou si l'un d'eux a été heurté par l'éolienne et son cadavre prédaté sur la plateforme.

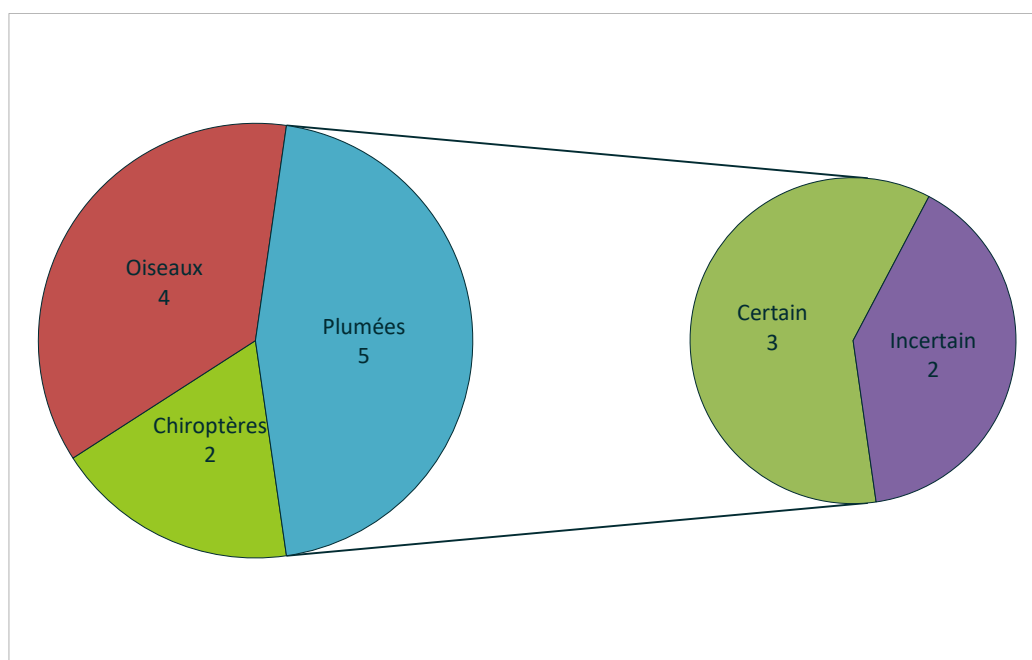


Figure 18 - Répartition des cas de mortalité par groupe

Sur les plumées retrouvées une a été limitée au genre « roitelet » ou « *Regulus* », car il est nécessaire de voir la tête de l'individu pour identifier l'espèce, la deuxième ne permettait pas d'aller plus loin qu'un passereau, enfin la dernière était identifiable jusqu'à l'espèce avec un pigeon ramier.

Pour les chiroptères, deux cadavres ont été retrouvés, mais le second n'était pas identifiable à cause de son état de décomposition. Cependant, il était tout de même possible de l'identifier jusqu'au genre « pipistrelle » ou « *Pipistrellus* »

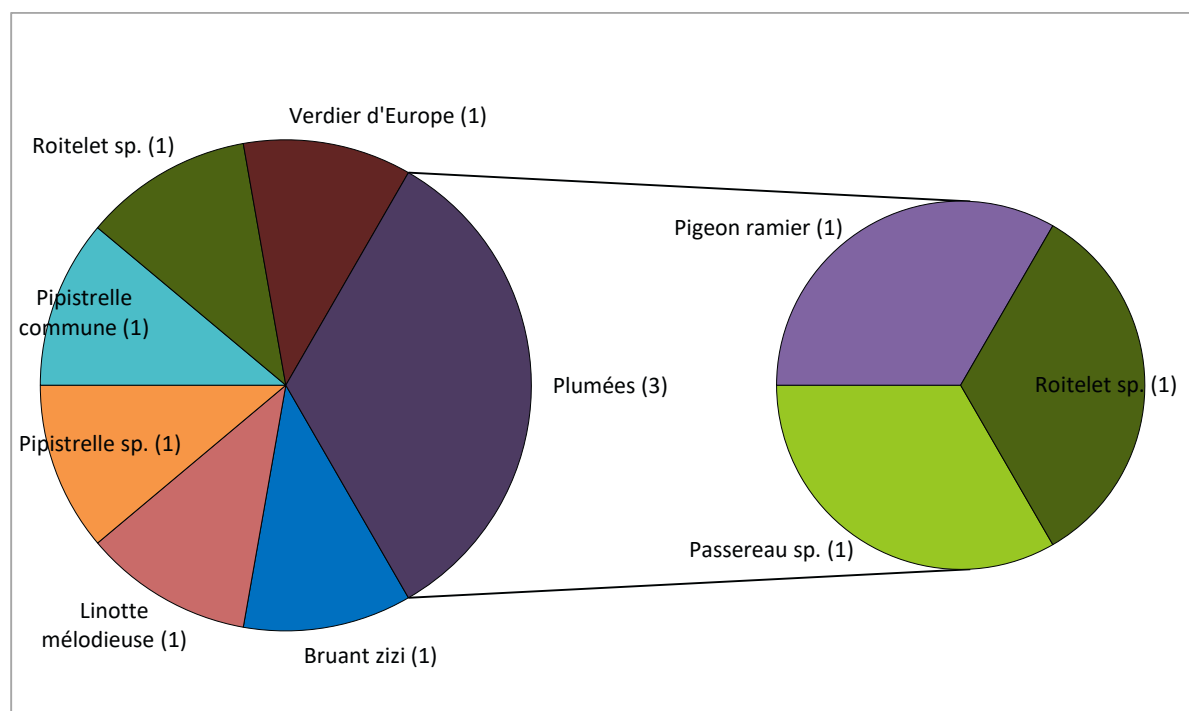


Figure 19 - Répartition des cas de mortalité par espèce

La mortalité a été plus importante à partir de fin août, jusqu'à la fin du suivi fin octobre. Cette période coïncide avec le transit automnal des chiroptères et la migration postnuptiale des oiseaux, ce qui explique l'augmentation de la mortalité durant cette phase considérée comme prioritaire dans les suivis de post-implantation.

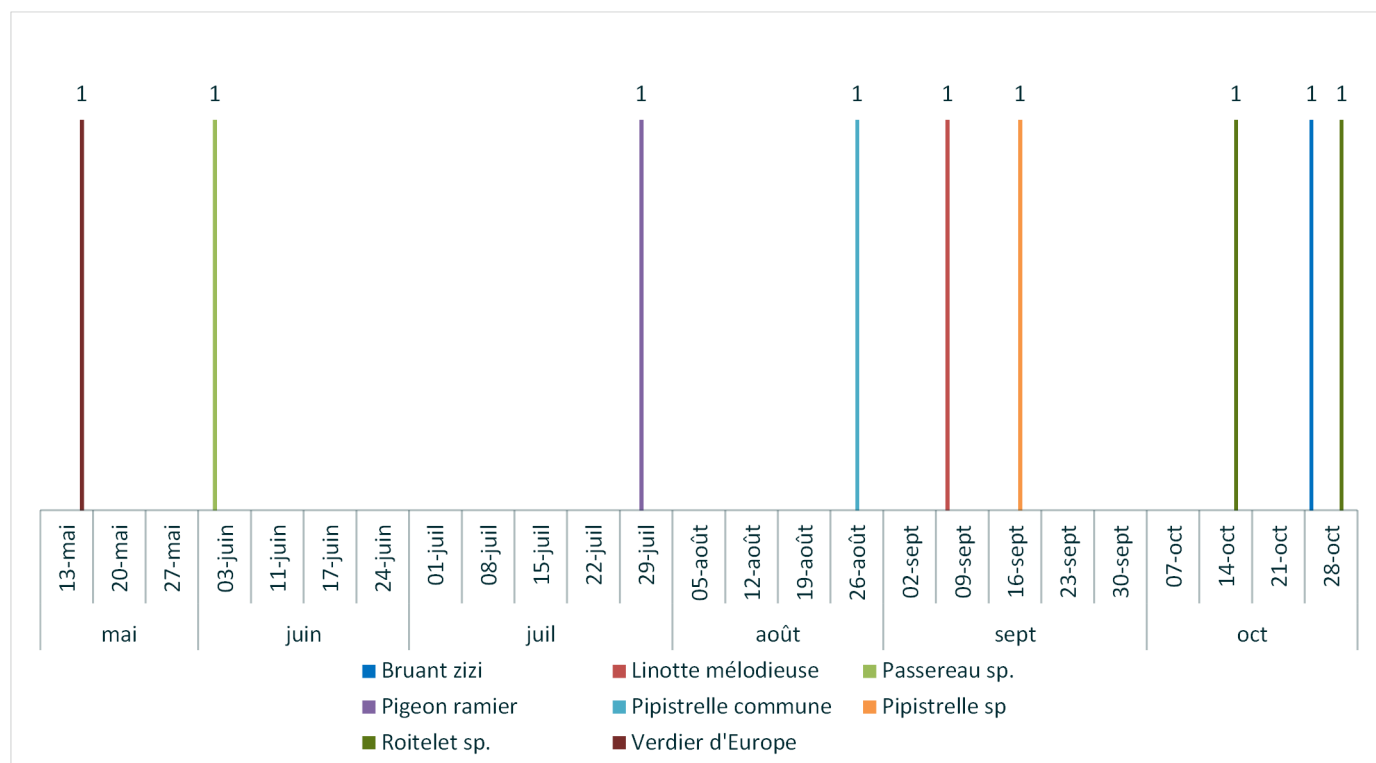


Figure 20 - Chronologie des observations de mortalité par taxon

La répartition de la mortalité est hétérogène sur le parc, E1, E3 et E7 comptabilisant deux cadavres, tandis que E2, E5 et E8 n'en n'ont qu'un. Enfin, il n'y a pas de mortalité recensée sur E4 et E6.

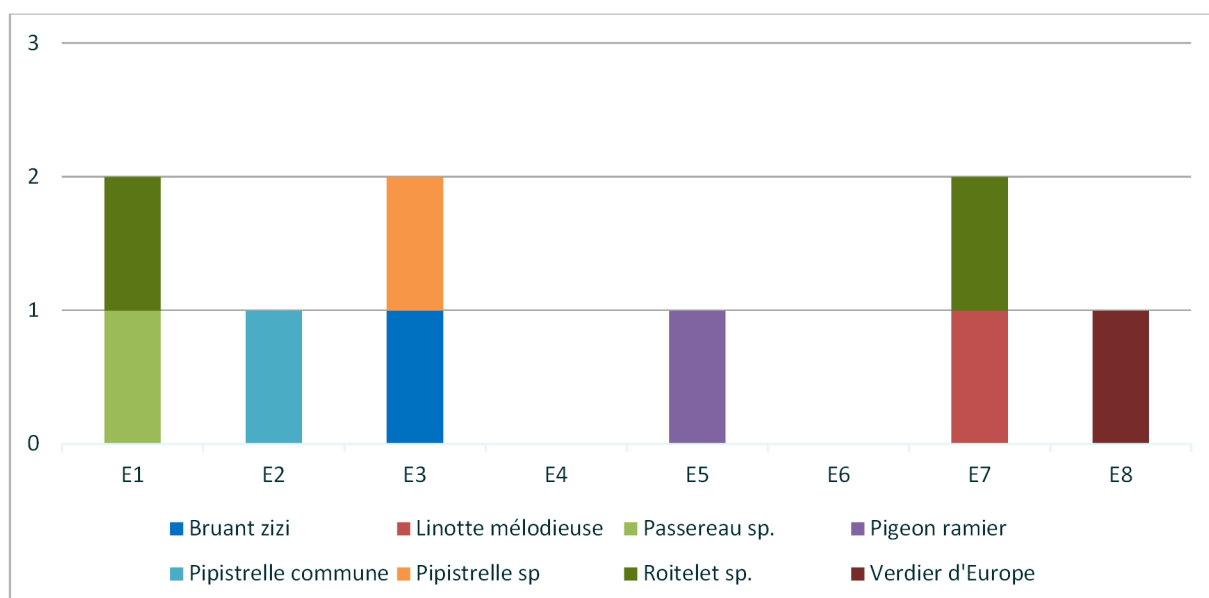


Figure 21 - Répartition des cas de mortalité par éolienne



Figure 22 - Localisation des cadavres sur les éoliennes ayant de la mortalité

Quatre cas de mortalité ont été retrouvés entre 0 et 10 mètres, presque la moitié du total (9). Les autres cas se situent entre 21 et 50 mètres, de manière presque homogène. Aucune mortalité n'a été trouvée entre 11 et 20 mètres, ainsi qu'à plus de 50 mètres.

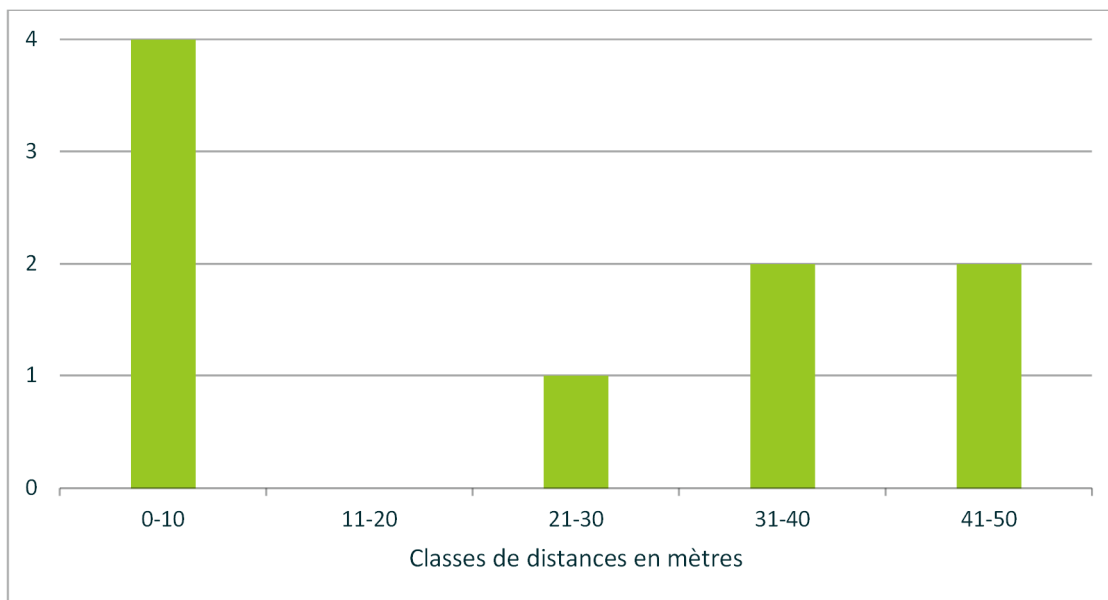


Figure 23 - Distance des cas de mortalité par rapport aux mâts des éoliennes

IV.2.8 - Évaluation de la mortalité réelle

IV.2.8.1 - Évaluation pour le parc entier

L'estimation de la mortalité est calculée via l'application <https://shiny.cefe.cnrs.fr/EolApp/> à l'échelle du parc entier et pour chaque éolienne. Les estimations sont données pour chaque taxon et sont basées sur l'ensemble de la période suivi.

Il n'est pas possible d'avoir une estimation pour l'année entière, car les périodes non couvertes sont a priori nettement moins accidentogènes.

Pour chaque estimateur, il est retenu la valeur médiane des simulations (autant de simulations avec moins que plus de mortalité). Deux intervalles de confiance (IC) sont aussi présentés. Celui à 95%, borné par IC 2,5 et IC 97,5 (95% des simulations sont comprises entre les deux bornes, 2,5% au-dessus et 2,5% au-dessous), et celui à 80%, borné par IC 10 et IC 90 (80% des simulations comprises entre les deux bornes, 10% au-dessus et autant en dessous). C'est ce dernier intervalle de confiance (IC), qui est retenu ici pour évaluer le chiffre réel.

❖ Chiroptères

Formule	Médiane	IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	15,74	0	44,1	0	32,84
Huso	16,83	0	46,46	0	34,75
Jones	22,72	0	69,36	0	49,45
	18			0	49

Tableau 13 - Estimations de la mortalité des chiroptères sur le parc éolien de Goulien

Pour le parc entier, la mortalité estimée pour les chiroptères est de l'ordre de 18 chauves-souris sur la saison de suivi, avec un chiffre réel probablement situé entre 0 et 49 individus.

❖ Avifaune

Formule	Médiane	IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	56,48	18,51	116,02	30,02	91,36
Huso	60,11	19,53	121,04	32,23	96,34
Jones	83	27,08	182,01	43,07	139,4
	67			30	139

Tableau 14 - Estimations de la mortalité estimée de l'avifaune sur le parc éolien de Goulien

Pour le parc entier, la mortalité estimée pour l'avifaune est de l'ordre de 67 oiseaux sur la saison de suivi, avec un chiffre réel probablement situé entre 30 et 139 individus.

IV.2.8.2 - Évaluation par éolienne

Le tableau ci-dessous présente la mortalité réelle supposée pour chaque éolienne où la mortalité a été avérée, obtenue grâce à l'application présentée précédemment. Comme pour le parc entier, c'est la moyenne des médianes des différentes simulations qui est retenue, par éolienne et par taxon. Les résultats sont présentés Tableau 15.

On observe une mortalité estimée presque homogène pour l'avifaune. Elle est plus faible sur E8, car elle a la surface prospectée moyenne la plus élevée parmi ces éoliennes. Du plus, il n'y a eu qu'un seul cadavre d'oiseau retrouvé. C'est aussi le cas sur E3 et E5, mais leurs surfaces moyennes prospectées sont bien inférieures, respectivement 0,44 ha et 0,45 ha.

C'est cette même variable qui explique la différence notable de mortalité estimée pour les chiroptères entre E2 et E3. En effet, E2 est l'éolienne du parc ayant la moyenne de surface prospectée la plus haute (0,80 ha) tandis que E3 a la moins élevée (0,44 ha).

Éolienne	Avifaune	Intervalle de confiance [10-90]	Chiroptères	Intervalle de confiance [10-90]
E1	25	[0-70]	-	-
E2	-	-	8	[0-25]
E3	25	[0-83]	25	[0-83]
E5	23	[0-78]	-	-
E7	25	[0-69]	-	-
E8	13	[0-41]	-	-

Tableau 15 - Mortalité réelle supposée par taxon et par éolienne sur le parc de Goulien

IV.3 Résultats du suivi en nacelle des chiroptères

IV.3.1 - Résultats des écoutes en nacelle

Les résultats enregistrés lors de la saison d'écoute sont synthétisés dans le tableau suivant.

Tableau 16 : Nombre de contacts par espèce de chauves-souris

Période	Date d'enregistrement	Nombres d'heures d'enregistrements	Espèces			Nombre de contact brut total	Nombre de contact / heure	Niveau d'activité
			Pp	Pn	Es			
Mai	du 06/05/2019 au 31/05/2019	204	-	-	-	0	0	Nul
Juin	du 01/06/2019 au 30/06/2019	243	-	-	1	1	0,004	Très faible
Juillet	Du 01/07/2019 au 31/07/2019	263,5	-	3	-	3	0,011	Très faible
Aout	du 01/08/2019 au 31/08/2019	294,5	1	-	1	2	0,007	Très faible
Septembre	du 01/09/2019 au 30/09/2019	300	-	-	2	2	0,007	Très faible
Octobre	du 01/10/2019 au 31/10/2019	310	-	-	-	0	0	Nul

Pp : Pipistrelle commune ; Pn : Pipistrelle de Nathusius ; Es : Sérotine commune

Observations globales

Ce sont au total 8 contacts qui ont été enregistrés lors de la saison pour une moyenne de 0.005 contacts par heure. L'activité chiroptérologique globale au niveau de l'éolienne 7 est donc considérée comme **très faible** selon la méthodologie.

Diversité spécifique

Ce sont 3 espèces de chauves-souris qui ont été recensées en nacelle.

Tableau 17 : Espèces inventoriées en nacelle

Groupe ou espèce	Nom scientifique
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>

Parmi les espèces recensées, on ne retrouve que des espèces à forte sensibilité éolienne. La pipistrelle commune est également l'espèce qui a été retrouvée impactée lors des suivis mortalité du parc.

Abondance

L'évaluation de leur activité est calculée par l'application du coefficient de détectabilité ainsi qu'en fonction de leur niveau d'abondance en Bretagne comme expliqué dans la méthodologie.

L'intégralité des contacts a été pris en compte lors de l'analyse.

Tableau 18 - Evaluation du niveau d'activité des espèces inventoriées par écoute en nacelle

Groupe ou espèce	Nom scientifique	Activité	Niveau d'activité
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	0,0006	Très faible
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	0,0019	Très faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	0,0016	Très faible

Toutes les espèces recensées en nacelle ont un niveau d'activité très faible.

L'espèce ayant l'activité la plus « intense » est la pipistrelle de Nathusius avec 0.0019 contact/heure, la deuxième espèce la plus impactée par les éoliennes en Europe.

Répartition temporelle des contacts

L'activité la plus forte est au mois de juillet (0.011 contacts/h) et la plus faible est au mois de mai et d'octobre (0 contact/h). La diversité spécifique est au maximum de 2 espèces pendant le mois d'août, sinon elle reste à 1 espèce durant les autres mois possédant une activité chiroptérologique.

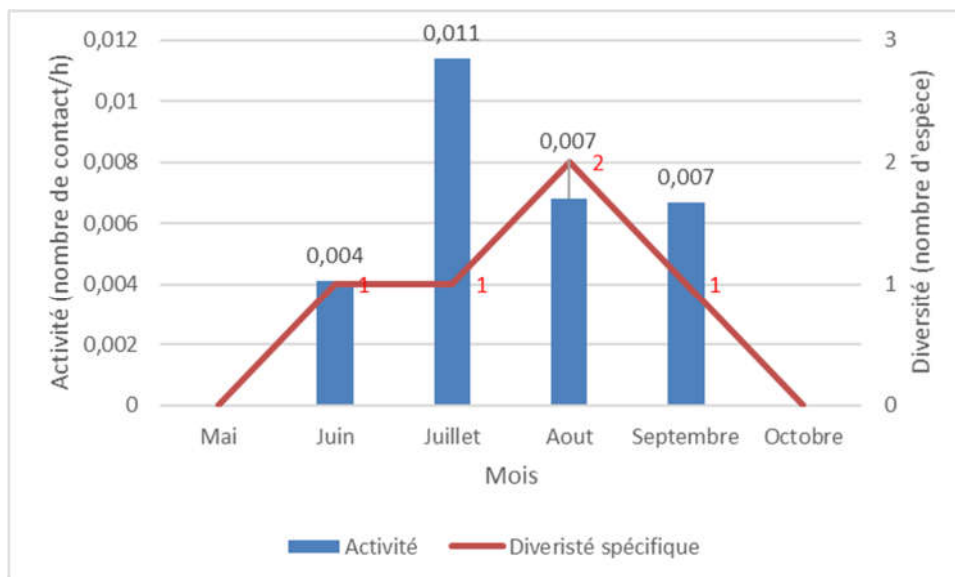


Figure 24 - Evolution de l'activité et de la diversité spécifique au cours de la saison

En prenant les espèces au cas par cas, il en va de même pour leur activité.

Globalement, il en ressort que :

- Toutes les espèces ont une activité très faible tout au long de la saison.
- L'espèce la plus contactée est la sérotine commune, elle est présente sur 3 mois d'écoute.
- La pipistrelle commune et la pipistrelle de Nathusius n'ont été contactées que dans la période estivale.

Tableau 19 - Niveau d'activité par espèce observé en nacelle par mois (en ct/h)

Période	Date d'enregistrement	Nombres d'heures	Espèces		
			Pp	Pn	Es
Mai	du 06/05/2019 au 31/05/2019	204	-	-	-
Juin	du 01/06/2019 au 30/06/2019	243	-	-	0,003
Juillet	Du 01/07/2019 au 31/07/2019	263,5	-	0,01	-
Aout	du 01/08/2019 au 31/08/2019	294,5	0,003	-	0,002
Septembre	du 01/09/2019 au 30/09/2019	300	-	-	0,004
Octobre	du 01/10/2019 au 31/10/2019	310	-	-	-

Impact de la température sur l'activité des chiroptères

La température est facteur pouvant influencer sur l'activité des chiroptères. Le graphique suivant montre l'évolution de l'activité des chauves-souris sur la période de suivi en fonction de la température.

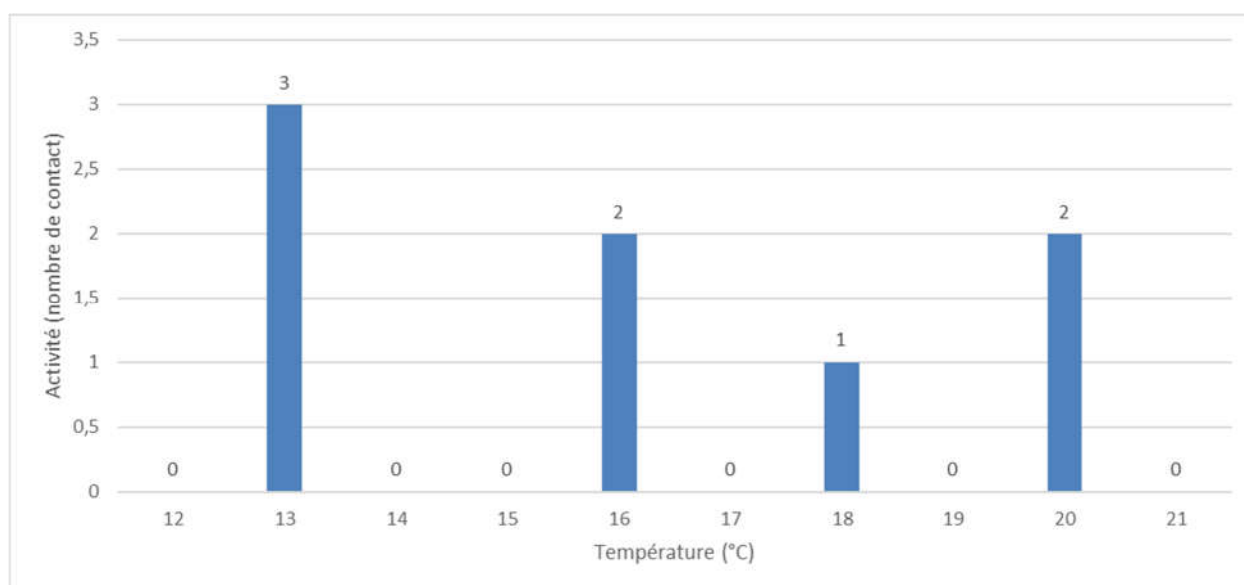


Figure 25 - Evolution de l'activité des chiroptères en fonction de la température

Les chauves-souris sont présentes à hauteur de pôle à partir de 13°C. Cependant, les résultats ne permettent pas une analyse de l'effet de la température pertinente à cause du trop faible nombre de chauves-souris contactées lors de la saison.

Impact de la vitesse du vent sur l'activité des chiroptères

De même que pour la température, la vitesse du vent influence l'activité des chiroptères.

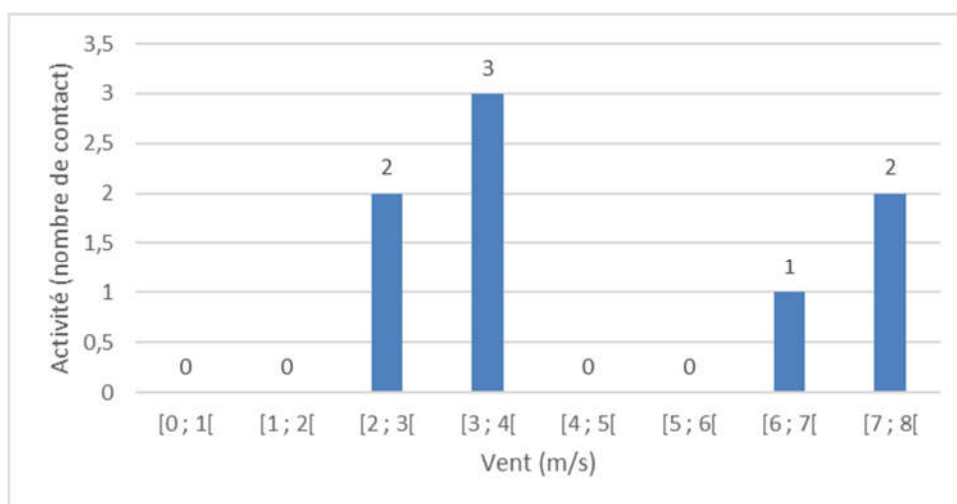


Figure 26 - Evolution de l'activité des chiroptères en fonction de la vitesse du vent

Les chauves-souris sont ainsi présentes à hauteur de pôle lorsque la vitesse du vent est comprise entre 2 et 4 m/s et entre 6 et 8 m/s. Cependant, comme pour la température, le trop petit nombre de contacts ne permet pas une analyse pertinente.

IV.3.2 - Evaluation du niveau de vulnérabilité face à l'éolien

Tout comme les oiseaux, les chauves-souris peuvent être impactées par les éoliennes, mais ne présentent pas toutes la même vulnérabilité face à celui-ci.

Ainsi, un niveau de vulnérabilité pour chaque espèce est calculé en fonction de leur niveau d'enjeu et de sensibilité face aux éoliennes.

$$\text{Niveau d'enjeu} + \text{niveau de sensibilité} = \text{niveau de vulnérabilité}$$

IV.3.2.1 - Définition des enjeux chiroptères

Détermination du niveau d'enjeu

Toutes les espèces de chauves-souris sont protégées en France mais les statuts de protection et de conservation varient en fonction des espèces. Trois statuts ont ainsi été choisis afin de déterminer le niveau d'enjeu : la liste rouge des mammifères de France métropolitaine (Moncorps et al., 2017), la liste rouge régionale des mammifères de Bretagne (GMB, 2016), l'inscription ou non de l'espèce à l'annexe II de la Directive Habitats (92/43/CEE).

L'addition de ces trois statuts permet ainsi d'évaluer le niveau d'enjeu de l'espèce sur un certain territoire et la notation se fait de la manière suivante :

Tableau 20 - Calcul du niveau d'enjeu des chiroptères

Statuts			Notation
LR France	LR régionale	Directive "Habitats"	
LC	LC		0
NT, DD	NT, DD	Annexe 2	0,5
VU, EN, CR	VU, EN, CR		1

Liste rouge : LC : Préoccupation mineure ; NT : Quasi menacée ; DD : données insuffisantes ; VU : vulnérable ; EN : en danger ; CR : en danger d'extinction critique

Quatre niveaux d'enjeu sont alors possibles :

Tableau 21 - Niveau d'enjeu

Points	Enjeu patrimonial
0	Nul
0,5	Faible
1	Fort
1,5 à 2,5	Très fort

Evaluation du niveau d'enjeu

Ce sont au total 3 espèces qui ont été inventoriées au niveau de l'éolienne 7. Toutes les espèces de chauves-souris sont protégées en France, mais elles n'ont pas le même statut.

Tableau 22 - Statut de protection et de conservation es espèces inventoriées et leur niveau d'enjeu

Nom vernaculaire	Nom scientifique	LR France	LR Bretagne	Directive habitat	Enjeu patrimonial
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	NT	NT	Annexe IV	Fort (1)
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	NT	LC	Annexe IV	Faible (0,5)
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	NT	LC	Annexe IV	Faible (0,5)

La pipistrelle de Nathusius est classée en enjeu fort, car classée comme quasi menacée sur les listes rouges nationales et régionales.

La pipistrelle commune et la sérotine commune ont un niveau d'enjeu faible dû à leurs statuts « quasi menacée » sur la liste rouge nationale.

IV.3.2.2 - Définition de la sensibilité des chiroptères

Le niveau de sensibilité pour chaque espèce est estimé à partir de l'état des connaissances actuelles et du travail mené par Eurobats (RODRIGUES & al., 2014), qui, pour chaque groupe d'espèces, a déterminé un niveau de sensibilité.

Tableau 23 - Niveau de risque de collision avec les éoliennes selon les groupes d'espèces

Risque fort	Risque moyen	Risque faible	Inconnu
<i>Nyctalus</i> spp.	<i>Eptesicus</i> spp.	<i>Myotis</i> spp.**	<i>Rousettus aegyptiacus</i>
<i>Pipistrellus</i> spp.	<i>Barbastella</i> spp.	<i>Plecotus</i> spp.	<i>Taphozous nudiventris</i>
<i>Vespertilio murinus</i>	<i>Myotis dasycneme</i> *	<i>Rhinolophus</i> spp.	<i>Otonycteris hemprichii</i>
<i>Hypsugo savii</i>			<i>Miniopterus pallidus</i>
<i>Miniopterus schreibersii</i>			
<i>Tadarida teniotis</i>			

*= dans les régions riches en eaux de surface

**= seulement *Myotis dasycneme* dans les régions riches en eaux de surface

Source : EUROBATS, 2014

Trois niveaux ressortent pour les espèces présentes en France et une note est attribuée en fonction de celui-ci.

Tableau 24 - Note de sensibilité face à l'éolien

Niveau de sensibilité	Notation
Pas de sensibilité	0
Sensibilité faible	1
Sensibilité moyenne à forte	2

Evaluation du niveau de sensibilité

Les chauves-souris n'ont pas toutes la même sensibilité face à l'éolien. Les espèces de haut vol et seront plus concernées par un risque de collision que les espèces de vol bas. Il en est de même pour les espèces pouvant effectuer de longues distances de déplacement.

Tableau 25 - Comportement et sensibilité des espèces

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Hauteur de vol (Eurobats, 2015)	Migration ou déplacements sur de longues distances	Attirée par la lumière	Mortalité avérée avec les éoliennes (Eurobats, 2016)	Risque de collision (Eurobats, 2014)	Niveau de sensibilité face à l'éolien
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Vol haut et bas	Oui	Oui	Oui	Fort	Fort (2)
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Vol haut et bas	Non	Oui	Oui	Fort	Fort (2)
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Vol haut et bas	Non	Oui	Oui	Moyen	Moyen (1)

Il ressort de ce tableau que 2 espèces ont une sensibilité forte à l'éolien. Il s'agit des deux espèces de pipistrelles recensées sur le site. La sérotine commune a quant à elle une sensibilité dite moyenne.

IV.3.2.3 - Définition de la vulnérabilité globale des chiroptères

Détermination du niveau de vulnérabilité

C'est donc l'addition des notes obtenues avec le niveau d'enjeu et le niveau de sensibilité qui permet de définir le niveau de vulnérabilité potentiel des espèces.

Tableau 26 - Calcul du niveau de vulnérabilité

Note enjeu + note sensibilité	Niveau de vulnérabilité
0 et 0,5	Faible ou à préciser
1 et 1,5	Modéré
2 et 2,5	Assez fort
3 et +	Fort

Evaluation du niveau de vulnérabilité

Le croisement des niveaux d'enjeux et de sensibilité permet d'obtenir le niveau de vulnérabilité de chaque espèce et permet ainsi de faire ressortir les espèces concernées par un parc éolien.

Tableau 27 - Vulnérabilité des espèces de chauves-souris

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Niveau de sensibilité face à l'éolien	Niveau de vulnérabilité
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Fort (1)	Fort (2)	Fort
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Faible (0,5)	Fort (2)	Assez fort
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Faible (0,5)	Moyen (1)	Moyen


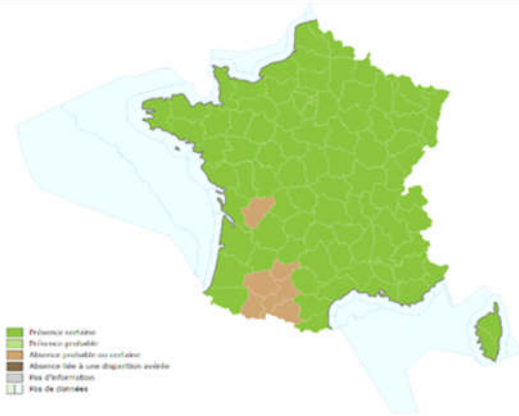
Une espèce est classée en vulnérabilité forte : la pipistrelle commune. Une espèce est classée en vulnérabilité assez forte : la pipistrelle commune. La sérotine commune présente un niveau de vulnérabilité moyen. Pour rappel, la sérotine commune a l'activité la plus « importante » sur le site d'étude.


Toutes les espèces présentes sont donc concernées par un niveau de vulnérabilité important et sont à prendre en compte.

Présentation des espèces classées vulnérables

Afin de mieux appréhender les espèces de chauves-souris présentant une vulnérabilité modérée à forte, elles sont présentées dans ce paragraphe.

Pipistrelle commune – <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Espèce de vulnérabilité assez forte
<p>La pipistrelle commune est une espèce de petite taille qui fréquente tous les milieux. Elle se retrouve en pleine forêt comme en villes ou en zones cultivées. Elle gîte dans les bâtiments, les greniers, les fissures de murs, les cavités arboricoles et des nombreux autres endroits.</p> <p>En France, la pipistrelle commune est très présente et est souvent l'espèce la plus contactée.</p> <p>En Bretagne, elle est également largement répartie.</p>	
 <p>Photo 6 - Pipistrelle commune Source : Photo ALTHIS</p>	 <p>Figure 27 - Carte de répartition Source : Carte INPN</p>

Pipistrelle de Nathusius – <i>Pipistrellus nathusii</i>	Espèce de vulnérabilité forte
<p>La pipistrelle de Nathusius est une espèce forestière qui fréquente préférentiellement les boisements avec de nombreux points d'eau. Il s'agit d'une espèce migratrice qui vole sur de grandes distances entre ses gîtes de mise bas et d'hibernation.</p> <p>En France, l'espèce est plus présente sur les zones littorales qu'au centre.</p> <p>En Bretagne, elle est considérée comme rare ou très localisée.</p>	
 <p>Photo 7 - Pipistrelle de Nathusius Source : Photo J.Wedd</p>	 <p>Figure 28 : Carte de répartition Source : Carte INPN</p>

Sérotine commune – <i>Eptesicus serotinus</i>	Espèce de vulnérabilité moyenne
<p>La sérotine commune est une chauve-souris robuste qui fréquente une grande variété de milieux, allant de la ville aux milieux forestiers, de culture... Pour ses gîtes d'été, la sérotine commune s'installe de préférence dans les bâtiments et très rarement dans les cavités arboricoles.</p> <p>En France, la sérotine commune est présente sur l'ensemble du territoire, mais est plutôt considérée comme une espèce de basse altitude.</p> <p>En Bretagne, elle est considérée comme commune.</p>	
 <p>Photo 8 - Sérotine commune Source : Photo Y. Ronchard</p>	 <p>Figure 29 - Carte de répartition Source : Carte INPN</p>

IV.3.2.4 - Vulnérabilité sur site

Afin d'appréhender au mieux la sensibilité sur le parc, la vulnérabilité de chaque espèce est redéfinie en fonction de son activité dans l'aire d'étude.

Pipistrelle commune

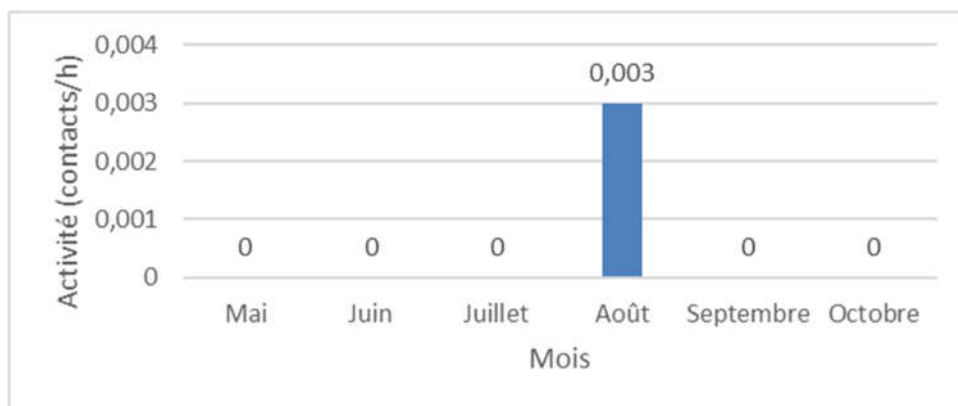


Figure 30 - Activité (en ct/h) de la pipistrelle commune au cours de la saison au niveau de l'éolienne 7

Espèce la moins présente et la mois active sur le site, la pipistrelle commune n'est présente qu'au moins d'août avec une activité très faible

A la vue de cette activité et en prenant en compte le risque de collision important pour cette espèce, **sa vulnérabilité est donc jugée faible sur site.**

Pipistrelle de Nathusius

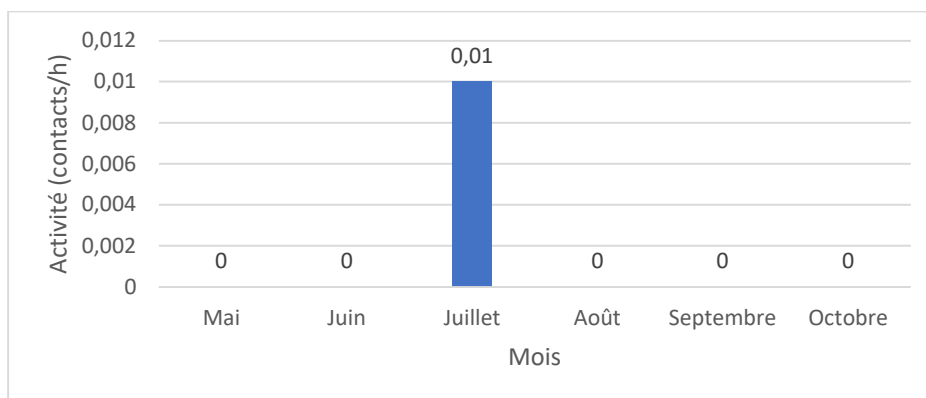


Figure 31 - Activité (en ct/h) de la pipistrelle de Nathusius au cours de la saison au niveau de l'éolienne 7

Deuxième espèce la plus présente, la pipistrelle de Nathusius n'a été contactée que durant le mois de juillet avec une activité très faible.

A la vue de cette activité et en prenant en compte le risque de collision important pour cette espèce, **sa vulnérabilité est donc jugée faible sur site.**

Sérotine commune

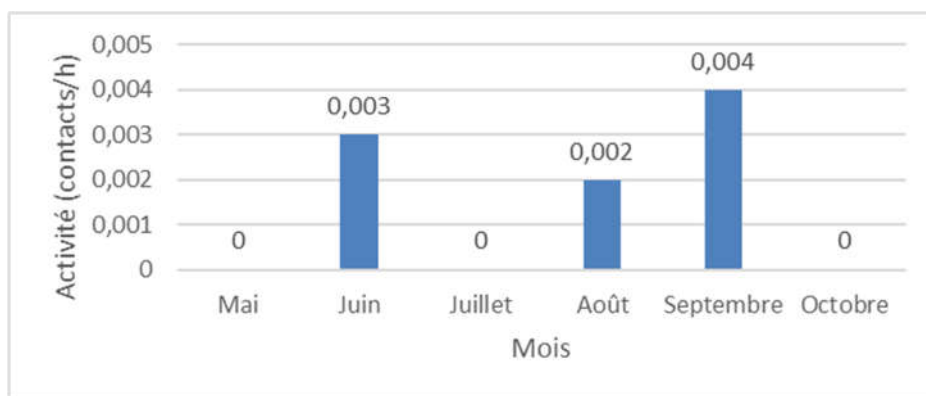


Figure 32 - Activité (en ct/h) e la sérotine commune au cours de la saison au niveau de l'éolienne 7

C'est l'espèce la plus présente sur le site avec 4 contacts répartis sur 3 mois (juin, août et septembre). L'activité de la sérotine commune est très faible durant toute la saison.

A la vue de cette activité et en prenant en compte le risque de collision important pour cette espèce, **sa vulnérabilité est donc jugée faible sur site.**

IV.3.3 - Synthèse des enjeux et vulnérabilités

Trois espèces ont été recensées à hauteur de nacelle sur le parc éolien de Goulien. Toutes sont sensibles aux collisions avec les éoliennes.

La sérotine commune est l'espèce la plus contactée en termes de saisonnalité. Cependant, c'est la pipistrelle de Nathusius qui possède la plus forte activité durant la saison. La pipistrelle commune est l'espèce la moins contactée. Cependant, un cadavre de pipistrelle commune a été retrouvé au pied de l'éolienne 2.

L'activité au niveau de la nacelle est qualifiée de très faible. Ceci peut s'expliquer par la faible attractivité du site pour les chiroptères. De plus, le parc est situé à l'extrémité ouest de la France, en limite d'aire de répartition des espèces de chauves-souris. Par conséquent, peu d'individus sont présents en limite d'aire de répartition.

Tableau 28 - Niveau d'enjeu et de vulnérabilité des espèces sur le parc éolien de Goulien

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Enjeu patrimonial	Niveau de sensibilité face à l'éolien	Niveau de vulnérabilité	Niveau de vulnérabilité sur le site
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Fort (1)	Fort (2)	Fort	Faible
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Faible (0,5)	Fort (2)	Assez fort	Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Faible (0,5)	Moyen (1)	Moyen	Faible

V. Bilan

Le parc éolien de Goulien géré par total Quadran se situe dans un contexte agricole marqué à la pointe Finistère. Le suivi en nacelle des chiroptères met en avant une très faible activité et seulement 3 espèces détectées.

Le suivi de mortalité des oiseaux et des chiroptères a été mené de la semaine 20 à 43 en 2019. Il met en avant la mortalité de 7 oiseaux et 2 chiroptères, avec des taux de mortalité estimés respectivement à 67 et 18 individus sur la période de suivi. La mortalité des chiroptères est donc faible et celle des oiseaux faible à modérée. Néanmoins, il s'agit de la première année de mise en place du protocole de suivi des parcs éoliens terrestres de 2018 ce qui oblige à prendre du recul à l'égard des résultats obtenus sans référence régionale ou nationale.