

**TOTAL
Quadran**

Rapport 2019

Suivis post-implantation

Parc éolien de Treffendel (35)

Source photos : Althis



(Source photos : Althis)

SOMMAIRE

I. Introduction	4
II. Contexte	4
II.1 Parc éolien de Treffendel	4
II.2 Localisation	4
II.3 Zonages naturels proches	6
II.4 Contexte paysager et continuités	8
III. Cadrage du suivi.....	9
III.1 Contexte réglementaire	9
III.2 Cadre méthodologique générique du suivi de mortalité.....	9
III.3 Spécificité des suivis de mortalité Althis	14
IV. Suivi de la mortalité.....	19
IV.1 Méthodologie	19
IV.2 Résultats.....	23
V. Analyse	37
V.1 Rappel résultats 2018	37
V.2 Suivi de la mortalité	37
VI. Conclusion.....	43
Bibliographie	44

Index des tableaux

Tableau 1 – Caractéristique des éoliennes du parc de Treffendel	4
Tableau 2 - Période sur laquelle doit être effectué le suivi de mortalité en fonction des risques chiroptérologiques et enjeux avifaunistiques.....	9
Tableau 3 – Exemple de notation des types de couvert	15
Tableau 4 – Exemple de coefficients de détectabilité	16
Tableau 5 – Exemple de calculs de A et d.....	17
Tableau 6 – Taux de détection moyens par éolienne.....	17
Tableau 10 - Planning de réalisation du suivi de mortalité	19
Tableau 11 - Planning de réalisation des tests de persistance	23
Tableau 12 – Types d'habitats rencontrés et surfaces associées	24
Tableau 13 – Coefficients de détectabilité	26
Tableau 14 - Tests de persistance	27
Tableau 15 – Taux de détection composites par prospection (exemple de E4).....	29
Tableau 16 – Taux de détection moyens par éolienne.....	30
Tableau 17 – Estimations de la mortalité réelle des chiroptères, parc entier	32
Tableau 18 – Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E1.....	32
Tableau 19 - Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E2	32
Tableau 20 - Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E3	32
Tableau 21 - Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E4	33
Tableau 22 – Distances des éoliennes aux reliefs paysagers.....	37

Index des Figures

Figure 1 – Répartition des probabilités en fonction d'une valeur théorique de mortalité réelle	14
Figure 2 – Leurre fabriqué en tissu.....	16
Figure 3 - Schéma de principe des recherches de terrain.	20
Figure 4 - Représentation de la surface prospectée en fonction des dates d'inventaires	26
Figure 5 – Nombre de cadavres restants par jour de suivi – Test 1	27
Figure 6 - Nombre de cadavres restants par jour de suivi – Test 2	28
Figure 7 - Répartition des cas de mortalité par espèce	30
Figure 8 - Chronologie des observations de mortalité, par taxon	31
Figure 9 - Répartition des cas de mortalité, par éolienne	31
Figure 10 – Direction du vent en fonction du moment de la nuit ou en période « journée »	34
Figure 11 – Vitesse moyenne maximale du vent (m/s) en première partie de nuit.....	35
Figure 12 – Niveau d'activité de l'éolienne en première partie de nuit (tours/minutes)	35
Figure 13 – Chronologie des découvertes de roitelet à triple bandeau (niveau national).....	38
Figure 14 – Chronologie des découvertes de martinet noir.....	39
Figure 15 - Chronologie des découvertes de faucon crécerelle	40
Figure 16 – Position des cadavres découverts autour des éoliennes.....	42

I. Introduction

EOLE BROCELIANDE est responsable de l'exploitation de 4 aérogénérateurs sur la commune de Treffendel (35). La réglementation prévoit, suite à la mise en service de tels parcs, un suivi environnemental.

Le bureau d'études ALTHIS est missionné pour réaliser le suivi environnemental post-implantation sur ce parc éolien. En 2019, ce dernier comprend à la demande de EOLE BROCELIANDE, le volet suivant :

❖ Suivi de la mortalité

La présente étude fait le bilan du suivi de mortalité qui s'est déroulé entre mi-mai 2019 et fin octobre 2019 (Semaine 20 à semaine 44), sur et autour du parc de Treffendel et de ses 4 éoliennes.

II. Contexte

II.1 Parc éolien de Treffendel

Le parc éolien de Treffendel, d'une puissance de 8 MW, est constitué de 4 aérogénérateurs du modèle Vestas V100.

Tableau 1 – Caractéristique des éoliennes du parc de Treffendel

ÉLÉMENT DE L'ÉOLIENNE	CARACTÉRISTIQUES MAXIMALES DU GABARIT
Mât	Hauteur du moyeu : 95 m Largueur à la base du mât : 5 m
Rotor / pales	Diamètre du rotor : 100 m Longueur de la pale : 49 m

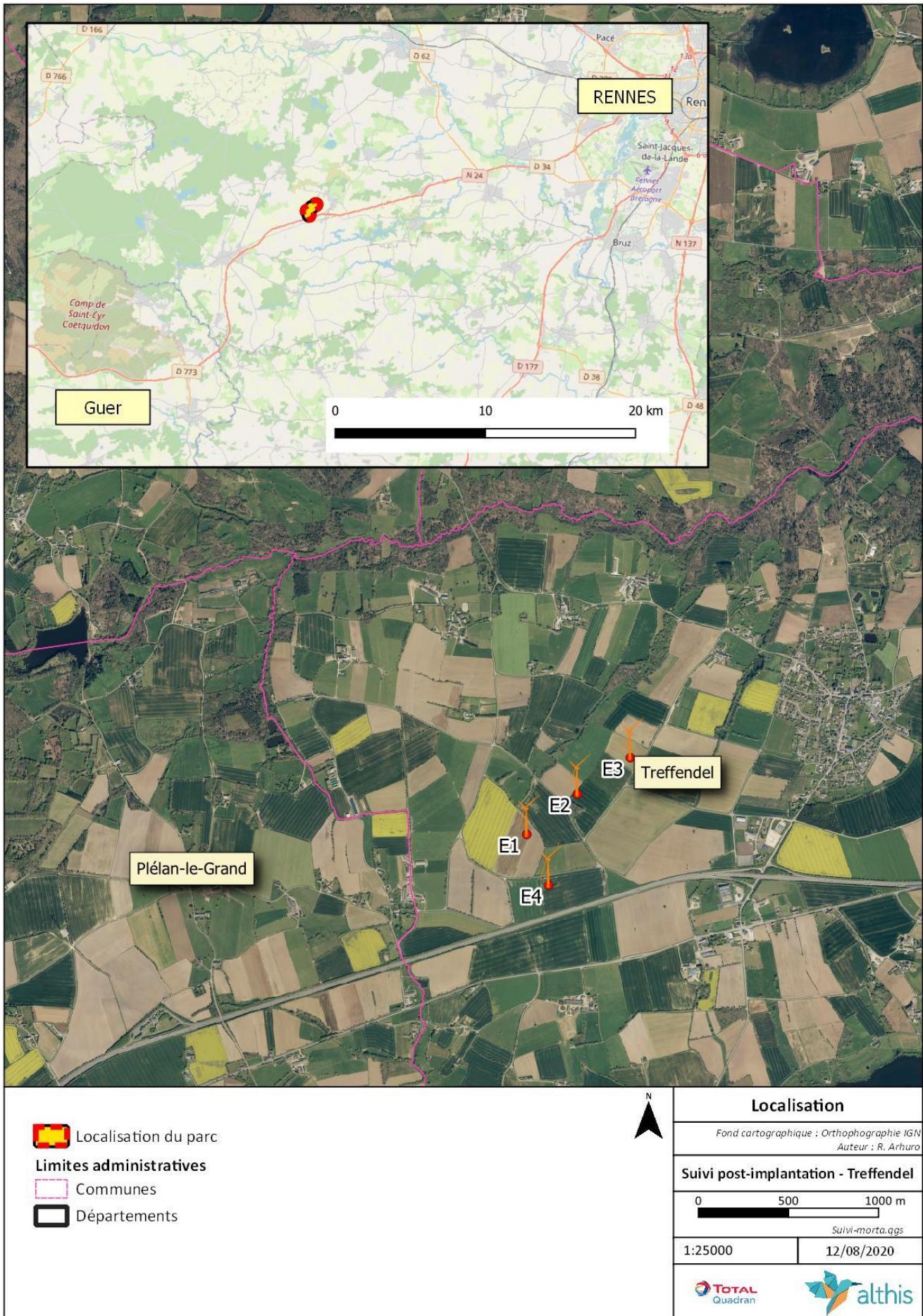
Cette centrale électrique est composée, outre les éoliennes, de leurs annexes :

- ✓ une aire stabilisée en pied d'éolienne (plateforme),
- ✓ un réseau de câbles enterrés,
- ✓ un poste de livraison électrique,
- ✓ un réseau de chemins d'accès aux éoliennes et au poste de livraison.

II.2 Localisation

II.2.1 - Situation géographique et administrative

Treffendel, commune d'Ille et Vilaine (35) est située à l'ouest du département, proche de la limite du Morbihan, à environ 25 kilomètres à l'ouest-sud-ouest de Rennes. Le parc est localisé au centre ouest de la commune, au sud-ouest du bourg, dans un contexte paysager majoritairement agricole (voir Carte 1 ci-dessous). Il est à proximité de la commune voisine de Plélan-le-Grand.



Carte 1- Localisation du parc éolien de Treffendel

II.2.2 - Topographie

L'étude d'impact produite par Ouest Am indique :

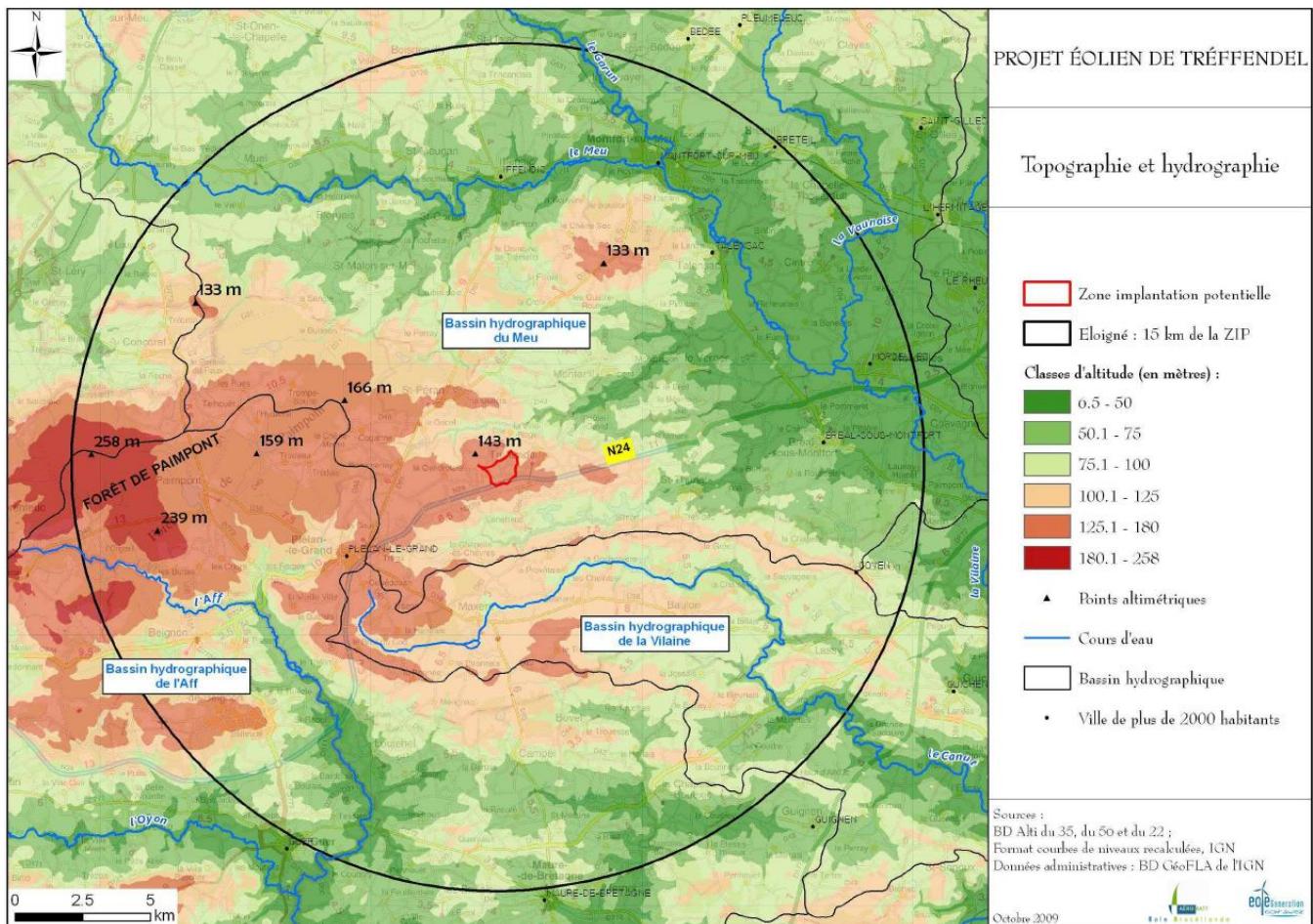
Le site éolien est situé sur un large plateau d'une altitude moyenne de 130 m, en contrebas du massif de la Forêt de Brocéliande culminant à 253 m. Le modelé est relativement doux.

Le plateau du site éolien est bordé par de larges vallées : au sud-ouest par la vallée de l'Aff, au sud par celle du Combs et ses affluents, au nord-est par celles du Meu et du Garun. [...]

La topographie de la commune de Treffendel est marquée par la présence d'un plateau central avec une ligne de crête empruntée par la RN 24 ; cette ligne sépare le bassin versant de la Chèze au sud, du bassin versant du Serein au nord.

Le plateau du site éolien est situé sur le bassin versant du Serein. D'une altitude moyenne de 130 mètres, il présente une surface relativement plane marquée par les douces ondulations des vallées.

Le secteur d'implantation lui-même se caractérise par un relief peu marqué. Le point haut culmine à l'ouest à 137 m NGF et le point le plus bas est situé au nord, dans la vallée du ruisseau des Vallées (109 m NGF).

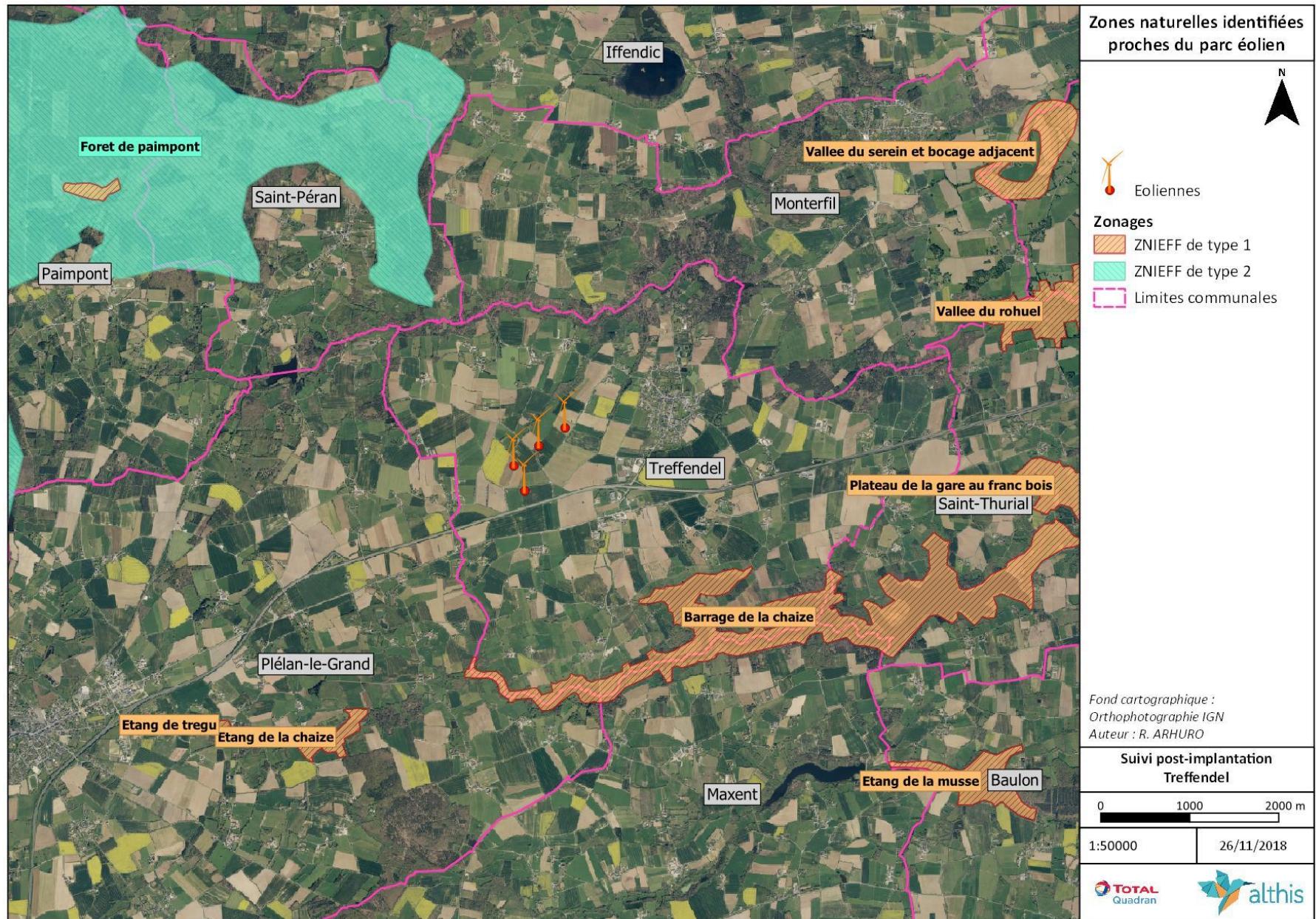


Source : Ouest Am, 2009

Carte 2- Contexte topographique du parc éolien de Treffendel

II.3 Zonages naturels proches

S'il n'existe aucune zone naturelle à proximité immédiate du parc éolien de Treffendel, plusieurs zones sont recensées dans les alentours, à partir de 2 kilomètres de distance. Il y a des zones naturelles d'intérêt écologique, floristique et faunistique (ZNIEFF), de type 1 et 2, mais pas de site Natura 2000, de site soumis à arrêté préfectoral de protection de biotope (APPB), ni de réserve naturelle.



Une ZNIEFF de type 2 se situe au nord-ouest. Il s'agit de la forêt de Paimpont, grand ensemble pouvant servir de réservoir de biodiversité pour les espèces forestières.

Les ZNIEFF de type 1 correspondent davantage à des zones humides (étang, vallée). Ce contexte est favorable à une partie de l'avifaune. Il est souvent une zone d'activité pour les chiroptères.

II.4 Contexte paysager et continuités

Le contexte essentiellement agricole comporte majoritairement des cultures, et quelques prairies (plutôt temporaires). Un bois isolé se trouve au milieu du parc éolien, à proximité immédiate de l'éolienne E2.

Plusieurs haies maillent lâchement le territoire. Leur qualité biologique semble inégale.

Une partie des éléments de la matrice paysagère se concentre le long d'un vallon, au nord du parc. Le long d'un petit ruisseau se combinent des haies, voire des bandes boisées, des plans d'eau et des prairies. S'il y a des prairies permanentes sur le secteur, ce sont alors ces prairies étroites qui longent le cours d'eau.



Carte 4- Continuités écologiques autour du parc éolien de Treffendel

Ce vallon forme avec son prolongement un corridor marqué de la trame boisée. Les haies restantes complètent celui-ci, comme continuités écologiques potentielles.

Un élément fort dans la matrice paysagère est la voie express N24, au sud du parc, qui se présente comme une barrière aux continuités écologiques. Même pour les espèces volantes, l'effet barrière peut exister (pour les espèces forestières qui s'éloignent peu des arbres).

III. Cadrage du suivi

Si 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 de moins de 9 éoliennes, avec un minimum de 20 prospections entre mi-mai et octobre, par éolienne (cas standard, Tableau 2 suivant). Cette période est la plus sensible en général pour les chiroptères et l'avifaune (périodes de reproduction, de dispersion et de migration post nuptiale. Des compléments (plus intense, pas de temps plus long) peuvent être définis par l'étude d'impact ou l'arrêté d'exploitation (Tableau 2).

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

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

III.2 Cadre méthodologique générique du suivi de mortalité

III.2.1 - 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 (prédateur 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 prédateur 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 prédateur est limitée aux espèces réellement nocturnes.

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

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.2.2 - 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 :

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

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 prospector (zone de prospection théorique de 100m*100m)

III.2.2.1 - 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 (Nb) 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.

III.2.2.2 - 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).

III.2.2.3 - 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 prédateur d'un cadavre par un charognard devient presque nulle).

III.2.2.4 - 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 (**S_p**) 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.

III.2.2.5 - Estimateurs de mortalité utilisés

❖ 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 formule 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 coefficient de détectabilité. **\bar{t}** est la durée moyenne de persistance des cadavres.

❖ 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 :

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

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

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

Jones et al. ajoutent 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{t} qui correspond à la période pendant laquelle le taux de persistance est supérieur à 1%.

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

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

❖ 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 l et \hat{l} .

❖ Mise en œuvre

Les 3 estimateurs sont disponibles, pour une mise en œuvre, de façon simple et fiable, 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 saisie 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%.

III.2.3 - Rappels théoriques

Pour ceux qui ne sont pas familiers avec le traitement statistique et probabiliste, les résultats donnés par les estimateurs peuvent paraître étonnantes, 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. Cet intervalle, dans ce contexte, joue le rôle de définir les minimum et maximum.

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 calculés absolu (quoique la mortalité ne pouvant être négative, la borne inférieure peut mathématiquement atteindre 0, minimum absolu).

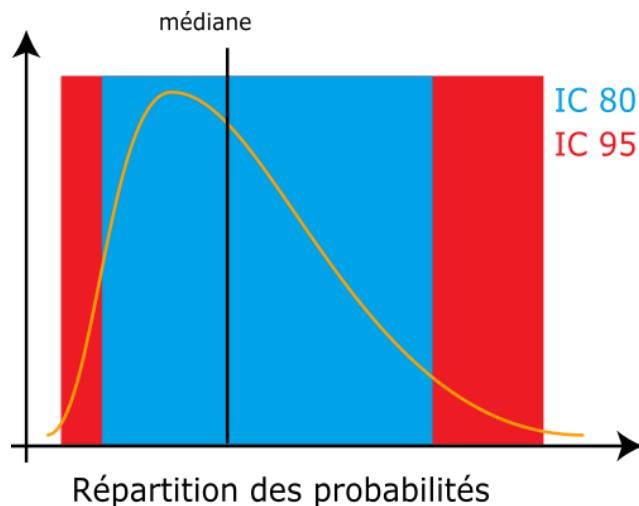


Figure 1 – Répartition des probabilités en fonction d'une valeur théorique de mortalité réelle

Les estimateurs travaillant avec des séries aléatoires de cas théoriques pour tester les possibilités, la même estimation faite 2 fois conduira à des résultats différent 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 ($P \neq P_1 + P_2$).

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 lisent les variations (proportions de surface prospectée, coefficient de déetectabilité 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.

III.3 Spécificité des suivis de mortalité Althis

III.3.1 - Prise en compte du type de surface

Comme chacun a pu s'en rendre compte, il n'est pas aussi facile de chercher un objet sur une surface goudronnée que dans 30 cm d'herbe. Partant de ce constat, il est apparu logique de traiter de façon différenciée les différents types de surface dans les processus de suivi, de test et d'analyse.

Pour ceci, 5 types de surface sont définis :

- Surfaces planes (voies, certaines plateformes, champs labourés nivelés)
- Végétation basse (moins de 15 cm, moins de 25 cm avec un port dressé et un recouvrement inférieur à 20%, sol nu très irrégulier)
- Végétation moyenne (plus de 15 cm ou plus de 25 avec port dressé, mais moins de 40 cm de hauteur moyenne)
- Végétation haute (plus de 40 cm, mais pouvant être parcouru)
- Inaccessible (fourré dense, zone clôturée...)

Seules les 3 premières sont prises en compte en pratique dans le suivi, la quatrième pouvant néanmoins révéler des espèces de grande taille.

Ce type de surface varie au fil du temps. Chaque quadrat prospecté peut donc être divisé, à chaque prospection, en plusieurs polygones avec des types de surface différents. Ceci est relevé à chaque fois, afin de pouvoir suivre l'évolution des types de couvert.

Tableau 3 – Exemple de notation des types de couvert

Eoliennes A	surface plane	végétation basse	non prospectable
Semaine 1	0,6 ha	0,4 ha	0 ha
Semaine 2	0,5 ha	0,3 ha	0,2 ha
Semaine 3	0,5 ha	0,3 ha	0,2 ha

III.3.2 - Test de détection

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

❖ Limites du test de détection du protocole

Le test originel est prévu pour chaque intervenant, au moins 2 fois, pour et sur chaque site, dans des conditions réelles, sans que l'intervenant ne soit prévenu, avec un nombre suffisant de leurres posés.

Dans les faits, deux aspects importants se conjuguent, qui limitent la portée :

- L'aspect surprise est vite éventé ; dès qu'un intervenant observe unurre, il intègre qu'un test est en cours. Seule la recherche jusqu'à la découverte du premierurre n'est pas biaisée. 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.
- Le développement de la végétation au fil des semaines est rapide au début de la saison de suivi. Le contexte local qui sert de référence pour le suivi n'est donc pas nécessairement pertinent au-delà d'une courte période (maximum 2-3 semaines en début de saison).

De plus, en fonction de l'équipe de suivi, le nombre d'intervenants à tester peut être important (intervenants réguliers et remplaçants potentiels). Avec en outre la distance, l'organisation devient complexe, et les contraintes techniques et financières peuvent amener à ne pas se conformer strictement au protocole, surtout quand plusieurs parcs différents sont pris en charge.

Il paraît également raisonnable de penser que la capacité de détection d'un observateur est globalement la même entre deux jeunes champs de maïs de même développement ou entre deux plateformes gravillonnées.

❖ Adaptation du test de détection

Althis a mis en place une méthodologie de test alternative, qui permet d'optimiser la définition du coefficient de détectabilité tout comme l'organisation des tests.

Hormis le constat de départ sur le test de détection, il a été choisi de prendre en compte la variation du coefficient de détectabilité selon le type de surface (III.3.1 -).

Le test de détection adapté est calqué sur le test originel, avec pour différences :

- La surface totale est généralement inférieure à 1 ha, elle comprend un ou plusieurs types de surface.
- La disposition des leurres est tirée au sort sous SIG (disposition aléatoire avec distance minimale de 4m) afin de limiter le biais testeur. Elles sont lâchées en l'air au point prévu.
- Le test est chronométré, avec des temps minimal et maximal définis selon la surface du test en proportion des surfaces réelles (base 1 h/ha). Ceci limite le biais observateur averti, puisque celui-ci, au courant par principe du test en cours, ne peut augmenter sensiblement son temps de recherche et ainsi intensifier celle-ci.
- Le nombre de leurres cumulés sur plusieurs tests augmente la fiabilité du coefficient de détectabilité (en principe 20 à 30 leurres par test).

Trois types de leurre sont utilisés : tissu (forme en tissu marron), fibre (forme en fibres brunes non tissées) et réaliste (confectionné avec des plumes de ramier ou de corneille). Les résultats des tests permettent de comparer les différents leurre en vue de l'amélioration de ceux-ci.

Le nombre de tests adaptés n'est pas limité (modalités pratiques de mise en place moins lourdes). Un cumul des tests sur plusieurs années est aussi prévu. Un test sur site est généralement réalisé (pour un intervenant régulier), afin de contrôler la cohérence des résultats (avec séparation des types de surfaces). Des corrections peuvent être appliquées en compensation.

Chaque intervenant du suivi de mortalité participe à des tests de détection. Ces tests permettent de définir le coefficient de détectabilité pour chaque intervenant. On obtient donc, pour chaque intervenant un coefficient de détectabilité pour chaque type de surface, selon le modèle ci-dessous.

Tableau 4 – Exemple de coefficients de détectabilité

Intervenant	surface plane	végétation basse	végétation haute
Intervenant 1	0,85	0,4	0,2
Intervenant 2	0,84	0,28	0,14



Figure 2 – Leurre fabriqué en tissu
Source : photo ALTHIS

III.3.3 - Prise en compte conjointe de la détectabilité et du couvert

❖ Principe

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

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

Il est donc possible de définir pour chaque journée un coefficient moyen journalier de détectabilité et la surface prospectée journalière. Sur la période de suivi, on peut prendre en compte les moyennes pour le suivi, ce qui donne la surface prospectée moyenne, donc le coefficient correcteur de surface, et le coefficient composite de détectabilité qui sont nécessaires pour la mise en œuvre des calculs.

$$A = \frac{\sum_{i=0}^n (\frac{Sp + Sb + Sh}{Sap})}{n}$$

$$d = \frac{\sum_{i=0}^n (dp \times Sp + db \times Sb + dh \times Sm)}{n}$$

A : Coefficient correcteur de surface

S_p : Surface prospectée journalière en surface plane

S_b : Surface prospectée journalière en végétation basse

S_m : Surface prospectée journalière en végétation moyenne

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

d : Coefficient composite de détectabilité des observateurs

d_p : Coefficient de détectabilité de l'observateur en surface plane

d_b : Coefficient de détectabilité de l'observateur en végétation basse

d_m : Coefficient de détectabilité de l'observateur en végétation moyenne

Tableau 5 – Exemple de calculs de A et d

Eolienne A	Intervenant	surface plane			végétation basse			non prospectable	détectabilité moyenné	correction de surface prospectée
		S _p	d _p	S _p * d _p	S _b	d _b	S _b * d _b			
Semaine 1	Intervenant 1	0,6	0,85	0,51	0,4	0,4	0,16	0 ha	0,67	1
Semaine 2	Intervenant 2	0,5	0,84	0,42	0,3	0,28	0,084	0,2 ha	0,504	0,8
Semaine 3	Intervenant 1	0,5	0,85	0,425	0,3	0,4	0,12	0,2 ha	0,545	0,8
Bilan		0,53	0,847	0,45	0,33	0,36	0,12	0,13 ha	0,573	0,87

❖ Utilisation des coefficients de détectabilité composites

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. On recrée donc des chiffres utilisables avec les taux composites.

Le nombre de leurres des tests de détection est pris en référence. Combiné avec le coefficient de détectabilité composite par prospection, le nombre de leurres théoriquement détecté dans chaque cas est calculé. Ceci permet de fournir un chiffre au programme de calcul (nombre trouvé en détection).

Tableau 6 – Taux de détection moyens par éolienne

Coefficient de détectabilité composite moyen	Détection théorique /70
E1	0,822
E2	0,800
E3	0,822
E4	0,867
Moyenne parc	0,827
	58

III.3.4 - Utilisation des données météorologiques et de fonctionnement

III.3.4.1 - Définitions

❖ Moments de la journée

Le maximum d'activité des chauves-souris intervient dans la demi-heure précédente et les 3 heures suivant le coucher du soleil. En vue de faciliter les analyses, la journée a été découpée en 5 périodes : le crépuscule ($\frac{1}{2}$ heure avant le coucher du soleil), le début de nuit (jusqu'à 3 h après le coucher de soleil), le milieu de nuit (entre le début et la fin), la fin de nuit (à partir de 2 h avant le lever du soleil) et la période « journée » (du lever à 9 h, puis de 19 h au crépuscule).

Le crépuscule et le début de nuit forment conjointement la première partie de nuit.

III.3.4.2 - Vents et activité des éoliennes

Une éolienne est retenue comme référence pour caractériser l'activité des éoliennes et le vent au fil du suivi. Le choix se porte sur la plus impactante.

Les données fournies par l'exploitant sont utilisées, avec un relevé de vent (vitesses et orientation) et d'activité de l'éolienne toutes les dix minutes (entre 19 h et 9 h).

Étant donné également que le vent est un élément important pour l'activité des chauves-souris, dont le maximum d'activité intervient dans la demi-heure précédent et les 3 heures suivant le coucher du soleil, l'analyse porte principalement sur le vent durant cette période. Elle s'appuie sur la division de la journée en 5 périodes (III.3.4.1 -).

On peut ainsi établir une répartition d'orientation par période, avec des orientations cardinales (NE, E, SE, S, SO, O, NO, N).

IV. Suivi de la mortalité

IV.1 Méthodologie

IV.1.1 - Rappel de la commande

La commande de la société EOLE BROCELIANDE établit que le suivi de la mortalité des oiseaux et des chiroptères devra être réalisé entre les semaines 20 à 44 (mi-mai à fin octobre), et que le bureau d'études devra réaliser au minimum 20 sorties (un passage par semaine). Le suivi concerne les 4 éoliennes que comporte le parc de Treffendel. L'offre d'ALTHIS comprend 25 sorties réalisées à partir de la semaine 20 (fin mai) jusqu'à la semaine 44 (fin octobre).

Le suivi du parc éolien de Treffendel se conforme au protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, dans sa révision de 2018 (MTES, 2018).

IV.1.2 - Protocole mis en œuvre

IV.1.2.1 - 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.

Tableau 7 - Planning de réalisation du suivi de mortalité

Dates	Intervenants
15/05/19	Q.LEDUC
22/05/19	Q.LEDUC
29/05/19	Q.LEDUC
05/06/19	Q.LEDUC
12/06/19	Q.LEDUC
19/06/19	Q.LEDUC
26/06/19	Q.LEDUC
03/07/19	Q.LEDUC
10/07/19	Q.LEDUC
17/07/19	Q.LEDUC
24/07/19	M.FEON
31/07/19	Q.LEDUC
07/08/19	Q.LEDUC
13/08/19	Q.LEDUC
20/08/19	Q.LEDUC
28/08/19	Q.LEDUC
04/09/19	Q.LEDUC
11/09/19	Q.LEDUC
18/09/19	Q.LEDUC
25/09/19	Q.LEDUC
01/10/19	Q.LEDUC
09/10/19	Q.LEDUC
16/10/19	Q.LEDUC
23/10/19	Q.LEDUC
30/10/19	Q.LEDUC

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 de terrain s'effectuent à pied sous les 4 aérogénérateurs.

La surface à prospector 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 prospector). 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.

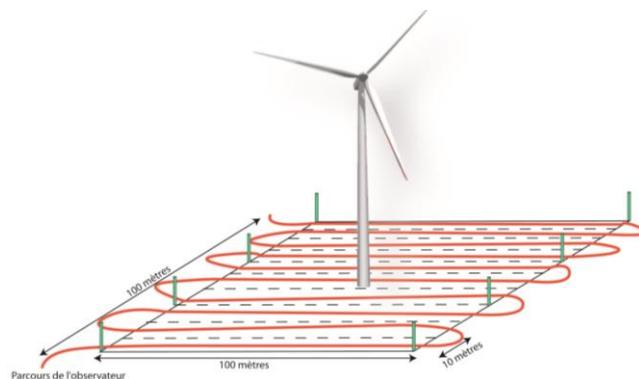
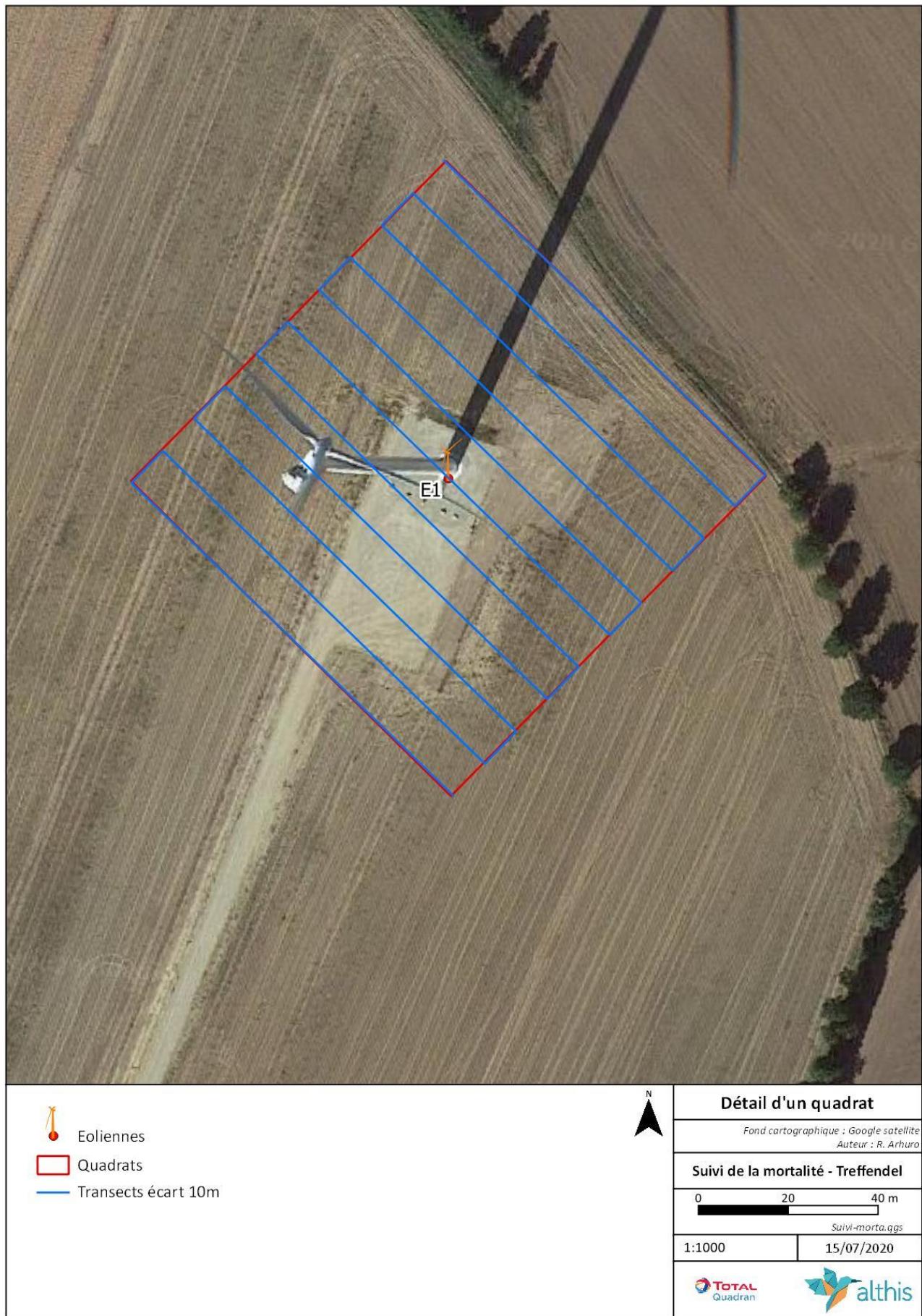


Figure 3 - Schéma de principe des recherches de terrain.

Source : LPO, 2004



Carte 5- Localisation des quadrats d'étude.



Carte 6 – Exemple de transect réalisé au pied de l'éolienne E1 du parc de Treffendel

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.1.2.2 - Test de détection

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

Chaque intervenant a participé à au moins deux tests de détection pour différents couverts végétaux, similaires à ceux présents dans cette étude. L'intervenant principal a effectué un premier test qui a eu lieu sur le parc de Treffendel le 15/05/2019 ; le second a eu lieu hors site, sur un parcours de test, le 7/06/2019. L'intervenant secondaire a été testé sur des parcours de test, hors site ; son efficacité a pu être comparée avec l'intervenant principal. Il est donc possible de mettre en regard un coefficient de détectabilité pour chaque opérateur et chaque type de milieu.

IV.1.2.3 - Test de persistance

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

Tableau 8 - Planning de réalisation des tests de persistance

Dates	Intervenants	Interventions
03/06/2019	Q.LEDUC	Mise en place du test
04/06/2019	Q.LEDUC	Contrôle
11/06/2019	F.MEREL	Contrôle
12/06/2019	Q.LEDUC	Contrôle
13/06/2019	E.FAUCHER	Contrôle
19/06/2019	Q.LEDUC	Contrôle
04/09/2019	Q.LEDUC	Mise en place du test
05/09/2019	Q.LEDUC	Contrôle
06/09/2019	M.FEON	Contrôle
09/09/2019	M.FEON	Contrôle
11/09/2019	Q.LEDUC	Contrôle
12/09/2019	Q.LEDUC	Contrôle

IV.2 Résultats

IV.2.1 - Occupation du sol au pied des éoliennes

Il y a 3 types de couverts principaux sur le sol des quadrats (voir Tableau 9 ci-dessous). Il s'agit de cultures, de prairies et de voiries (chemins d'exploitation et plateformes).

Les cultures (I1.1) sont prépondérantes avec 81 % de la surface totale des quadrats (3,23 ha sur 4). Les cultures comprennent différentes espèces selon les parcelles et la saison : blé, maïs et colza / couvre-sol.

Les prairies (E2.61) viennent ensuite, représentant 6 % de la surface totale. Ces couverts fluctuent en hauteur au fil du suivi.

Enfin, les voiries et les zones rudérales composées par les plateformes des éoliennes (J2.32) représentent 14 % de la surface totale des quadrats. Ces couverts restent normalement constants.

Tableau 9 – Types d'habitats rencontrés et surfaces associées.

Typologie simplifiée des habitats	Surface (en ha)	Pourcentage
Cultures	3,23	80,7 %
Prairies	0,23	5,7 %
Voiries	0,54	13,6 %
Total	4	100 %

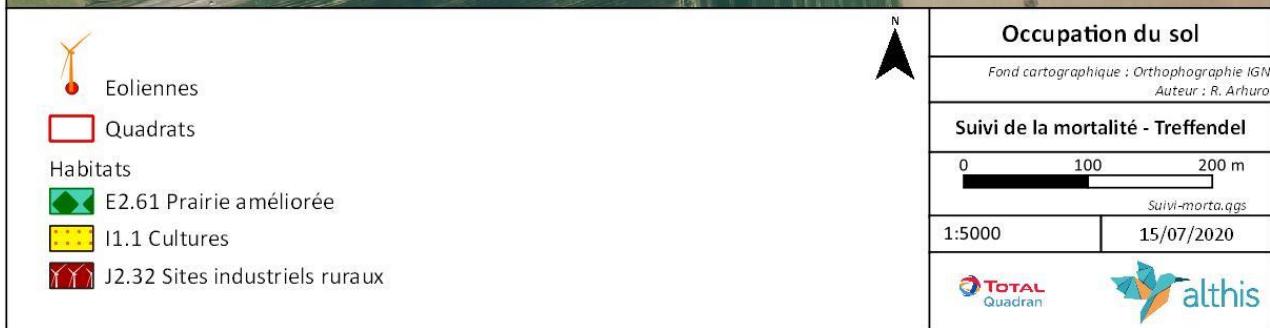
Ces couverts induisent 5 types de surface (non prospectables, surfaces planes, végétation basse, végétation moyenne et végétation haute), du point de vue du suivi :

- les voiries sont considérées comme des « surfaces planes »,
- les prairies 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.

Pour l'analyse des résultats, les différences entre les éoliennes sont peu significatives en type de couvert.

Les surfaces en prairies sont occupées par des prairies dites améliorées, dont la biodiversité est faible. Ces prairies et les cultures sont donc des milieux a priori peu favorables. Leur différence d'enjeu n'est pas suffisamment importante au vu des surfaces impliquées pour permettre d'individualiser les éoliennes.

Le couvert en fonction de l'avancement des cultures est lui plus significatif. Il se traduit surtout dans la prospection ou la non-prospection, et dans la détectabilité dans le premier cas.



Carte 7 - Occupation du sol dans les quadrats d'étude

IV.2.2 - Surfaces prospectées

En 2019, la surface globale prospectée a varié au cours de la période de prospection. Cette année les cultures de blé étaient majoritairement présentes (2,72 ha). E1 et E3 sont les deux éoliennes ayant uniquement du blé à proximité, tandis que les cultures proches d'E4 sont divisées entre blé et maïs.

Pour cette raison, les surfaces prospectées sont assez faibles jusqu'au 24/07 (récolte du blé). Fin septembre le maïs est récolté, permettant la prospection sur la quasi-totalité des éoliennes. Néanmoins, les champs de blés ainsi que celui de colza (sur E2), ayant été laissés en herbe, la prospection se réduit progressivement sur E1 et E2. Cette diminution atteint un pic le 16/10 combinée à une utilisation de pesticide sur E4 (qui interdit le suivi).

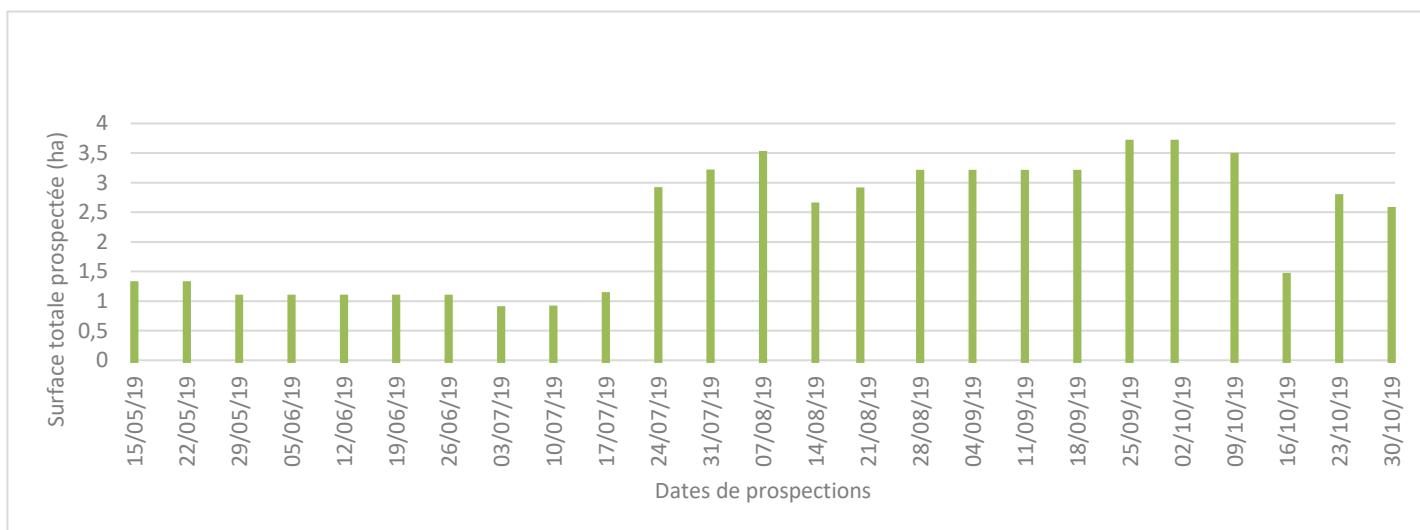


Figure 4 - Représentation de la surface prospectée en fonction des dates d'inventaires

IV.2.3 - Coefficients de correction**IV.2.3.1 - Test de détection**

Chaque intervenant du suivi de mortalité a participé au minimum à deux tests de détection. Ces tests permettent de définir le coefficient de détectabilité pour chaque intervenant.

À l'issue de chaque test, les résultats obtenus ont permis de définir les coefficients de détectabilité suivants :

Tableau 10 – Coefficients de détectabilité

Intervenant	surface plane	végétation basse	végétation haute
Q.LEDUC	0.9	0.68	0.24
M.FEON	0.85	0.4	0.1

IV.2.3.2 - 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 4 septembre.

Tableau 11 - Tests de persistance

Test	Date de passage	Nbre de proies restantes	Persistance (j)
Test 1 du 5 juin	05/06/2019	20	-
Test 1 du 5 juin	06/06/2019	6	0,5
Test 1 du 5 juin	07/06/2019	5	1,5
Test 1 du 5 juin	11/06/2019	1	-
Test 1 du 5 juin	12/06/2019	1	-
Test 1 du 5 juin	13/06/2019	1	-
Test 1 du 5 juin	19/06/2019	1	-
Test 1 du 5 juin	26/06/2019	0	17,5
Test 2 du 4 septembre	04/09/2019	20	-
Test 2 du 4 septembre	05/09/2019	15	0,5
Test 2 du 5 septembre	06/09/2019	9	1,5
Test 2 du 5 septembre	09/09/2019	5	3,5
Test 2 du 5 septembre	11/09/2019	3	6
Test 2 du 5 septembre	12/09/2019	0	7,5

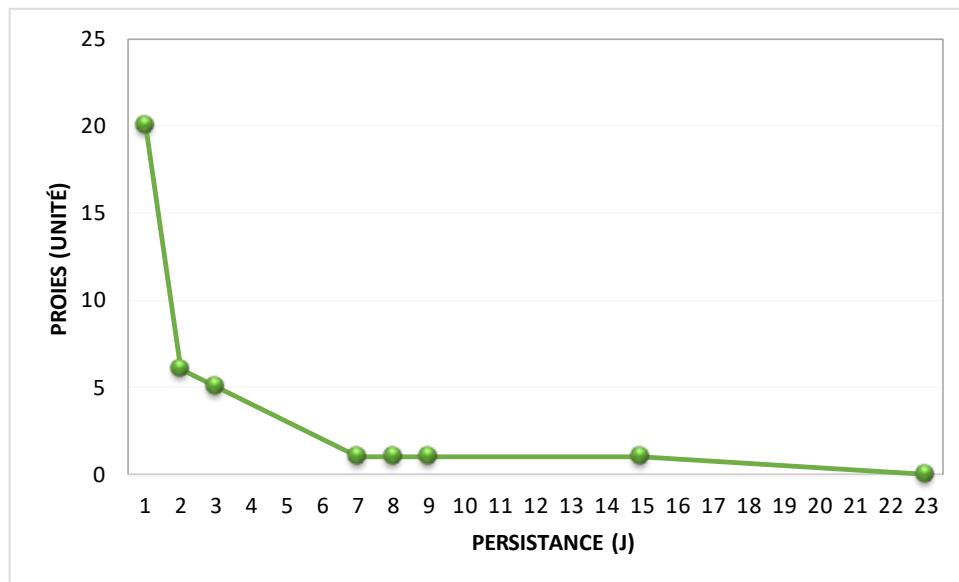


Figure 5 – Nombre de cadavres restants par jour de suivi – Test 1

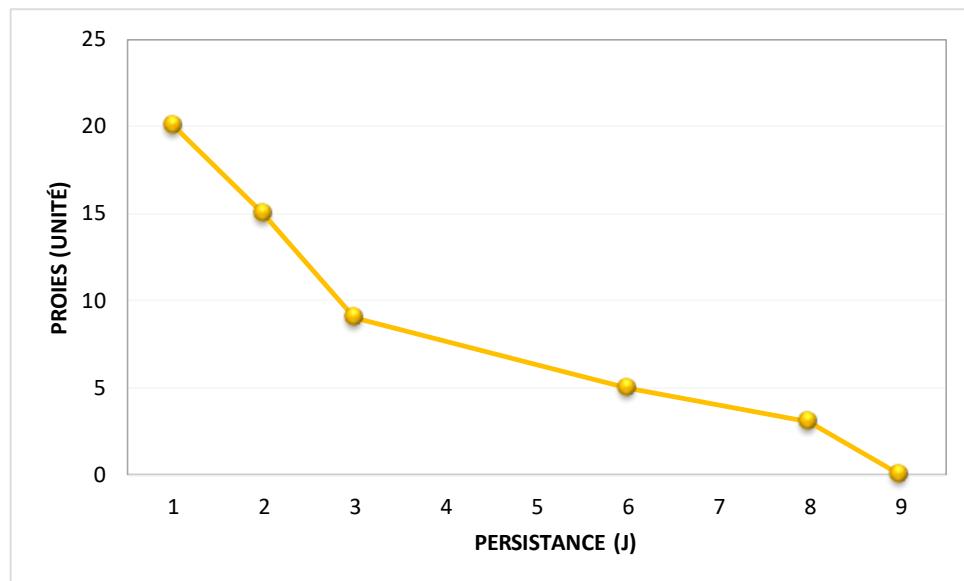


Figure 6 - Nombre de cadavres restants par jour de suivi – Test 2

Les deux figures précédentes montrent que la prédation des appâts est plus importante au mois de juin 2019 qu'au mois de septembre 2019.

Il est probable que les cadavres de poussins et de souris 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.

Le taux de persistance global est de 2,4 jours sur le parc éolien de Treffendel.

IV.2.4 - 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.

Tableau 12 – Taux de détection composites par prospection (exemple de E4)

Nom	Eolienne	Taux sol nu	Taux couvert bas	Taux Couvert moyen	Taux couvert haut	Taux de détection moyenne/ha
QL	E4	0,1005	0,3456			0,72
QL	E4	0,1005	0,3456			0,72
QL	E4	0,1005	0,3456			0,72
QL	E4	0,1005	0,3456			0,72
QL	E4	0,1005	0,3456			0,72
QL	E4	0,1005	0,3456			0,72
QL	E4	0,1005		0,2036		0,49
QL	E4	0,1005			0,0216	0,61
QL	E4	0,1005			0,0216	0,61
QL	E4	0,1005				0,90
MF	E4	0,0949	0,1513			0,50
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,2572			0,73
QL	E4	0,1005	0,6040			0,70
QL	E4	0,1005	0,6040			0,70
QL	E4	0,1005	0,6040			0,70
QL	E4	0,1005	0,6040			0,90
QL	E4	0,1005	0,6040			0,70
QL	E4	0,1005	0,6040			0,70

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 pour un lot de leurres, sans différencier les observateurs ni le type de couvert.

Il est donc nécessaire de créer un chiffre composite, avec une moyenne pondérée des différents observateurs et des différents couverts (cf. III.3.3 -).

Les tests initiaux ayant porté sur 72 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 13 – Taux de détection moyens par éolienne

Taux de détection composite moyen		Détection théorique /96
E1	0.7881	76
E2	0.7221	69
E3	0.7727	74
E4	0.7074	68
Moyenne parc	0.7476	72

IV.2.5 - Données de mortalité constatée

Le parc éolien de Treffendel fait l'objet en 2019 d'un suivi de mortalité des chiroptères et des oiseaux.

Cinq observations de mortalité sont enregistrées et ne concernent que des oiseaux. Aucun cadavre de chauves-souris n'est retrouvé.

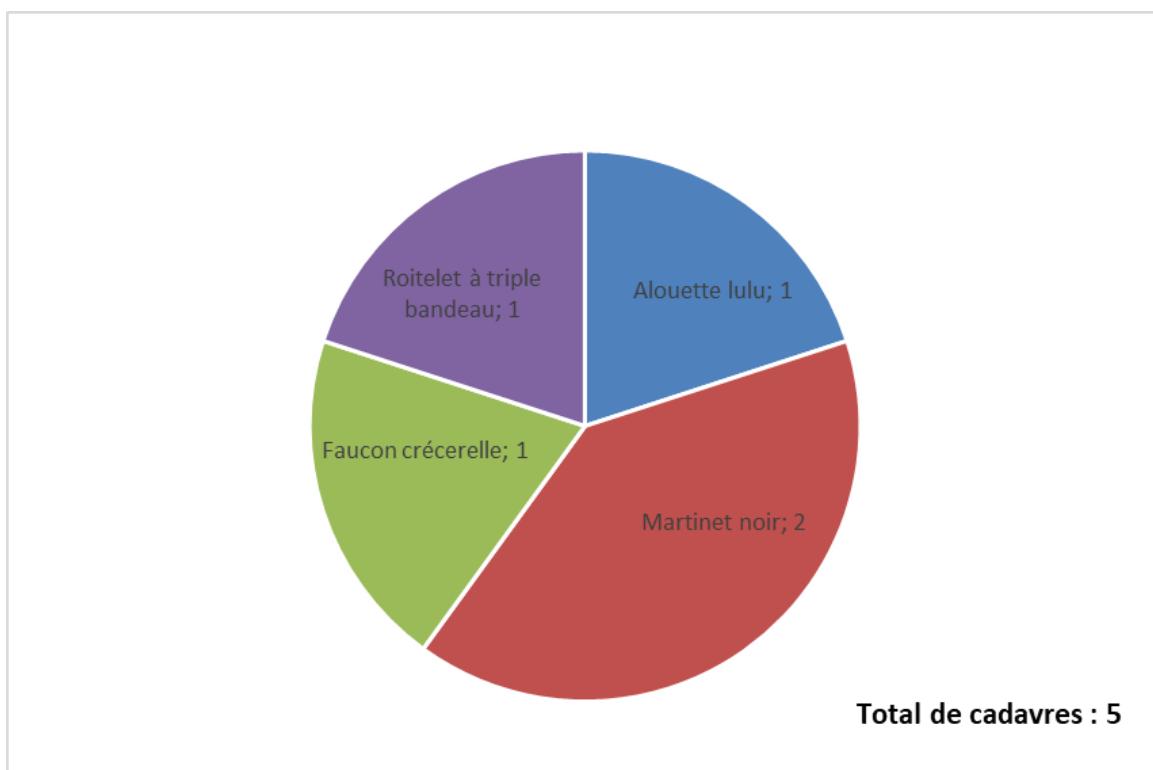


Figure 7 - Répartition des cas de mortalité par espèce

Au terme du suivi, l'analyse des résultats met en avant une mortalité faible et répartie au long du suivi, avec une absence de mortalité durant sept semaines entre mai et juillet. À noter aussi qu'il n'y a pas de hausse de mortalité durant la période charnière qu'est septembre/octobre, lors de la migration de l'avifaune et des chiroptères.

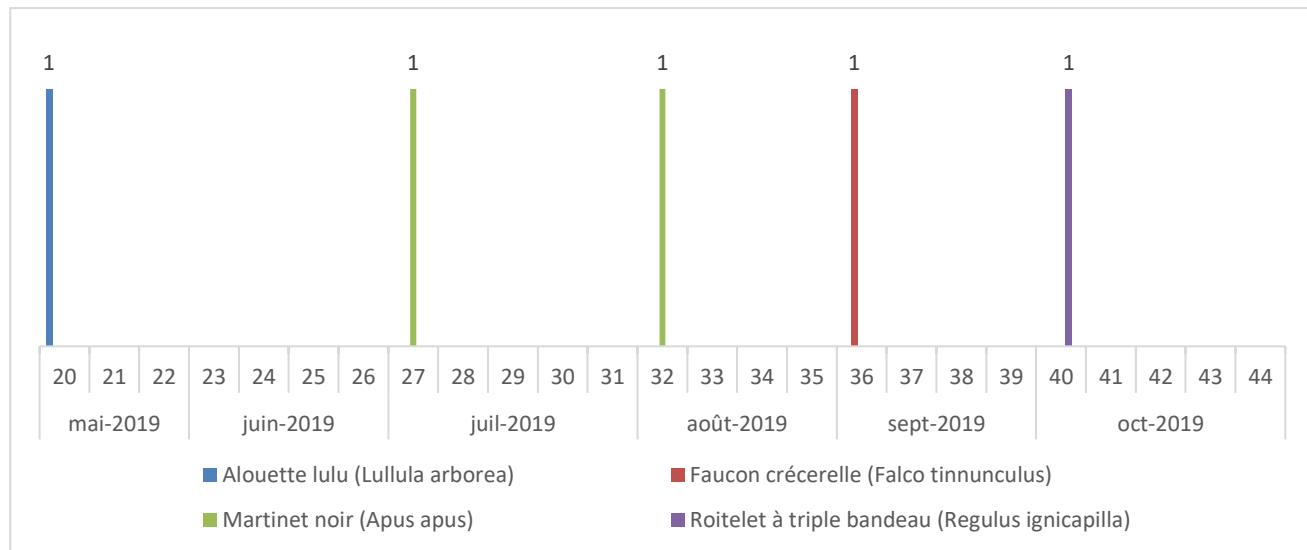


Figure 8 - Chronologie des observations de mortalité, par taxon

La répartition de la mortalité est homogène sur le parc, bien que deux cadavres aient été retrouvés sur E2.

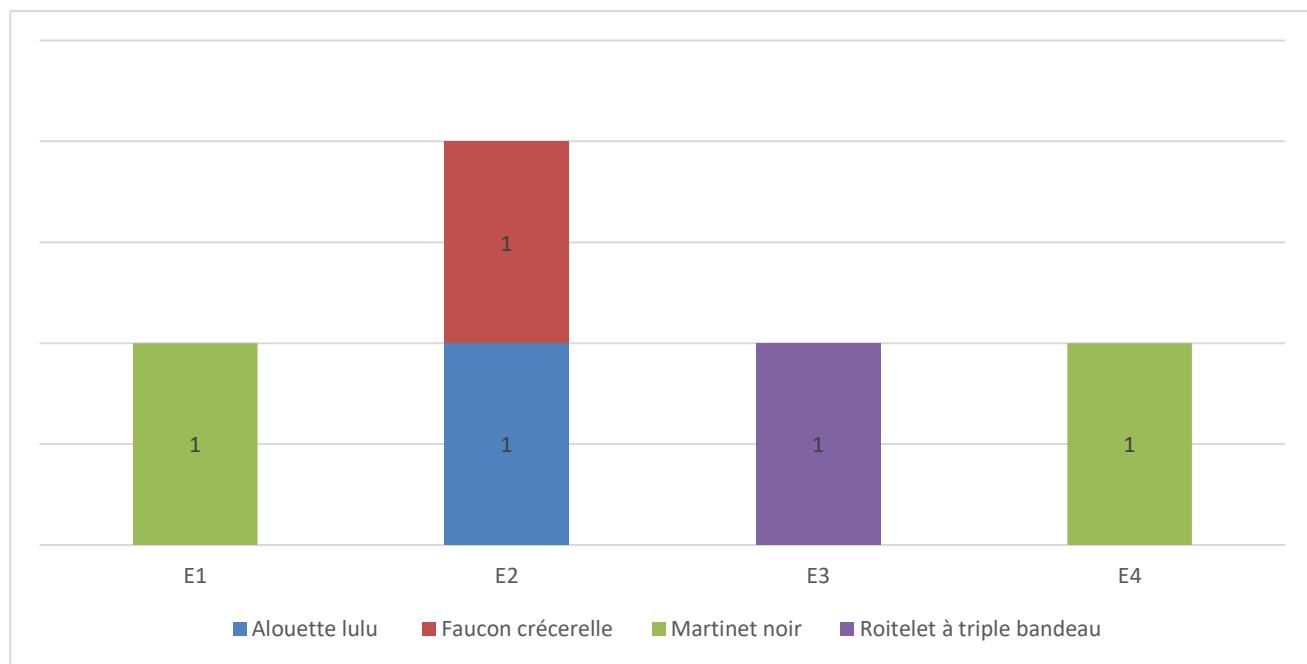


Figure 9 - Répartition des cas de mortalité, par éolienne

IV.2.6 - Évaluation de la mortalité réelle

IV.2.6.1 - Évaluation pour le parc entier

La mortalité a été estimée pour le parc entier sur l'ensemble de la période (chiroptères et avifaune), et (chiroptères seulement) sur les 10 premières (P1) et 10 dernières semaines (P2). Il n'est pas possible d'avoir une estimation pour l'année entière, les périodes non couvertes étant 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.

Tableau 14 – Estimations de la mortalité réelle des chiroptères, parc entier

Formule	Médiane	IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	36,03	7,8	85,62	16,41	64
Huso	38,11	8,1	89,65	17,38	66,91
Jones	55,66	12,13	185,85	24,49	116,5

Pour le parc entier, la mortalité réelle supposée pour les oiseaux est de l'ordre de 43 cadavres sur la saison de suivi, avec un chiffre réel très probablement situé entre 16 et 116 individus.

Ce constat est supérieur aux résultats de 2018 pour le même taxon, avec des conditions de réalisation similaires. En effet, en 2018 un seul cadavre d'oiseau est retrouvé, portant ainsi si la mortalité réelle supposée à 6 cadavres pour l'ensemble du parc.

Cependant, en 2018, 9 cadavres de chiroptères sont également recensés, contre aucun en 2019. L'absence de cadavre pour ce taxon rend impossible l'utilisation d'un estimateur de mortalité.

IV.2.6.2 - Évaluation par éolienne

Les observations enregistrées au pied de chaque éolienne permettent d'estimer la mortalité de chacune d'elle grâce à l'estimateur cité précédemment

Tableau 15 – Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E1

Formule	Médiane	IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	6,44	0,00	25,19	0	17,01
Huso	6,81	0	26,42	0	17,87
Jones	9,5	0	48,45	0	29,07

Pour E1, la mortalité réelle supposée est de l'ordre de 7 oiseaux sur la saison de suivi. Le chiffre réel est très probablement situé entre 1 et 29 oiseaux.

Tableau 16 - Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E2

Formule	Médiane	IC 2,5	IC 97,5	IC 0,10	IC 0,90
Erickson	17,34	0	52,93	0	37,94
Huso	18,41	0	55,14	0	39,64
Jones	26,56	0	104,85	0	66,46

Pour E2, la mortalité réelle supposée est de l'ordre de 20 oiseaux sur la saison de suivi. Le chiffre réel est très probablement situé entre 2 et 66 oiseaux.

Tableau 17 - Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E3

Formule	Médiane	IC 2,5	IC 97,5	IC 0,10	IC 0,90
Erickson	6,12	0	23,99	0	16,43
Huso	6,49	0	25,12	0	17,12
Jones	8,99	0	47,14	0	28,03

Pour E3, la mortalité réelle supposée est de l'ordre de 7 oiseaux sur la saison de suivi. Le chiffre réel est très probablement situé entre 1 et 28 oiseaux.

Tableau 18 - Estimations de la mortalité réelle des oiseaux – Eolienne E4

Formule	Médiane	IC 2,5	IC 97,5	IC 0,10	IC 0,90
Erickson	7,19	0	28,34	0	19,1
Huso	7,6	0	29,84	0	19,91
Jones	10,59	0	54,91	0	32,22

Pour E4, la mortalité réelle supposée est de l'ordre de 8 oiseaux sur la saison de suivi. Le chiffre réel est très probablement situé entre 1 et 32 oiseaux.

IV.2.1 - Données disponibles pour l'analyse

IV.2.1.1 - Vents et activité des éoliennes

Comme l'éolienne E2 est la plus impactante en 2019, elle sert de référence pour caractériser l'activité des éoliennes et le vent au fil du suivi. Les données fournies par EOLE BROCELIANDE sont utilisées, avec un relevé de vent (vitesses et orientation) et d'activité de l'éolienne toutes les dix minutes (entre 19 h et 9 h).

Étant donné également que le vent est un élément important pour l'activité des chauves-souris, dont le maximum d'activité intervient dans la demi-heure précédant et les 3 heures suivant le coucher du soleil, l'analyse porte principalement sur le vent durant cette période. En vue de faciliter les analyses, la journée a été découpée en 5 périodes : le crépuscule ($\frac{1}{2}$ heure avant le coucher du soleil), le début de nuit (jusqu'à 3 h après le coucher de soleil), le milieu de nuit (entre le début et la fin), la fin de nuit (à partir de 2 h avant le lever du soleil) et la période « journée » (du lever à 9 h, puis de 19 h au crépuscule). Les données d'activité des chiroptères en nacelle confortent cette option (70% des contacts avant minuit).

À cet effet, les horaires de coucher et de lever de soleil sur Treffendel ont été pris en compte chaque jour. La durée de période « journée » et de la nuit sont en conséquence variables, selon l'avancement des saisons.

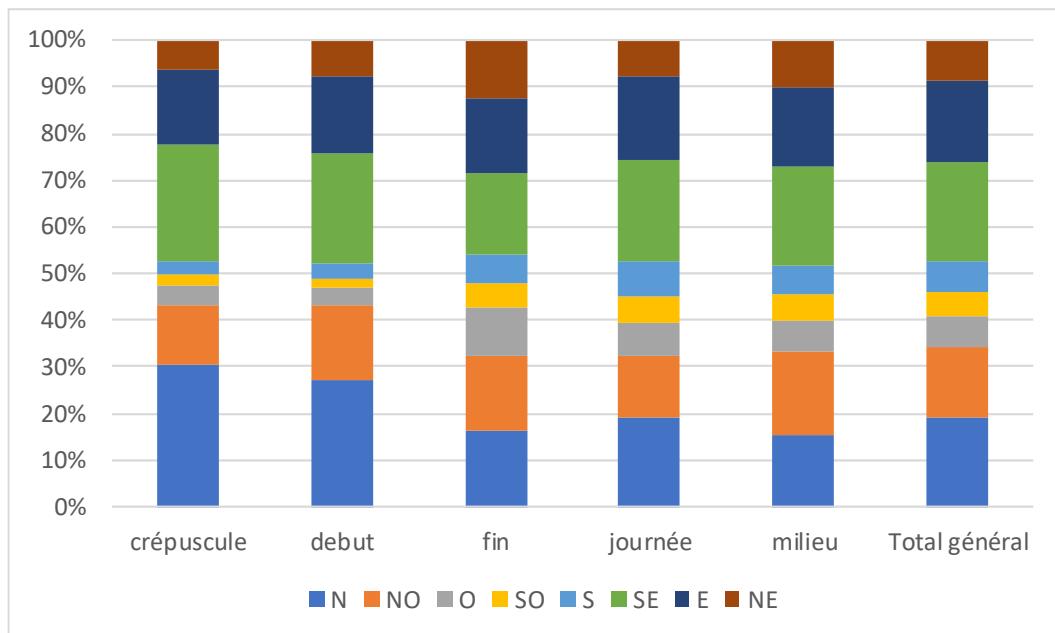


Figure 10 – Direction du vent en fonction du moment de la nuit ou en période « journée ».

On constate que, sur la période du suivi, le vent dominant est un vent de sud-est, qui représente 20-25% des vents selon le moment. Le second vent d'importance enregistré est un flux venant du nord, marqué au crépuscule et au début de nuit.

Pour chaque première partie de nuit (crépuscule + début), il a été déterminé la vitesse maximale du vent moyen enregistré (il n'a pas été retenu le vent maximal, trop variable et moins significatif), ainsi que le maximum de l'activité des éoliennes (intensité de 1 à 10), sur la base de la vitesse de rotation des pales.

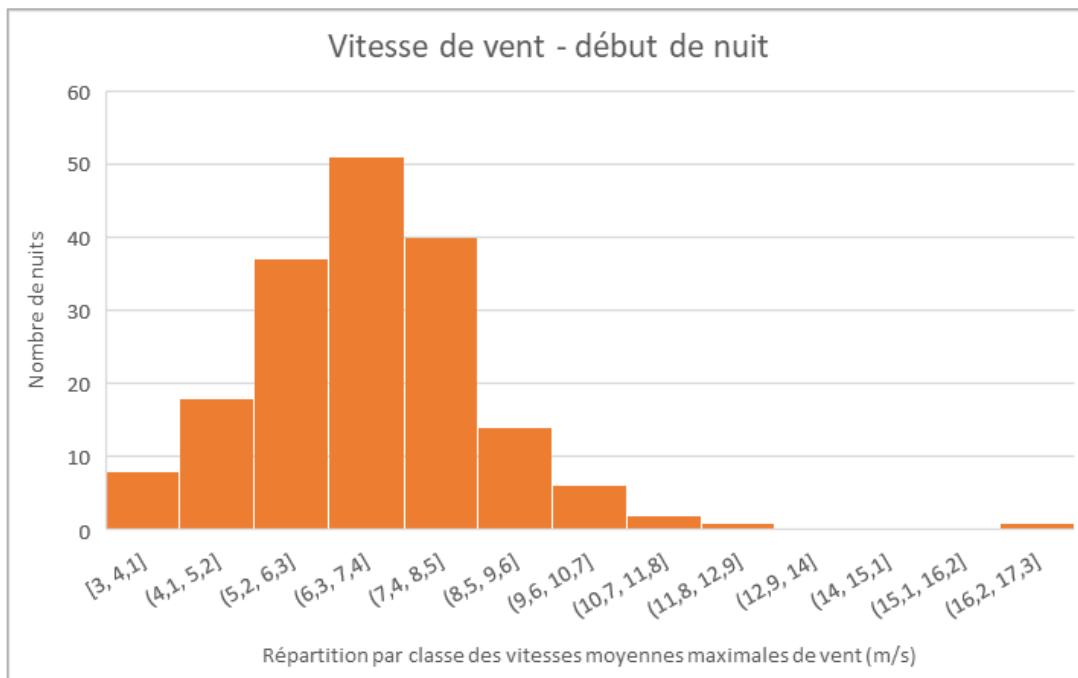


Figure 11 – Vitesse moyenne maximale du vent (m/s) en première partie de nuit.

Sur la période de suivi, en première partie de nuit, le vent a rarement été fort. Il n'a dépassé les 15m/s de vitesse moyenne maximale deux nuits (le 4 aout et le 13 aout, avec 16,4 m/s). La moyenne s'établit à 7,13 m/s.

En 2018, le suivi d'activité des chiroptères réalisé sur Treffendel a permis de définir la vitesse de vent maximum au-delà de laquelle plus aucun contact n'a été enregistré. Cette limite d'activité des chiroptères a donc été définie à 5 m/s.

L'observation des vitesses moyennes maximales du vent en première partie de nuit montre qu'un vent inférieur à 5 m/s est noté pour 19 premières parties de nuit sur 169 (contre 13 pour 136 en 2018).

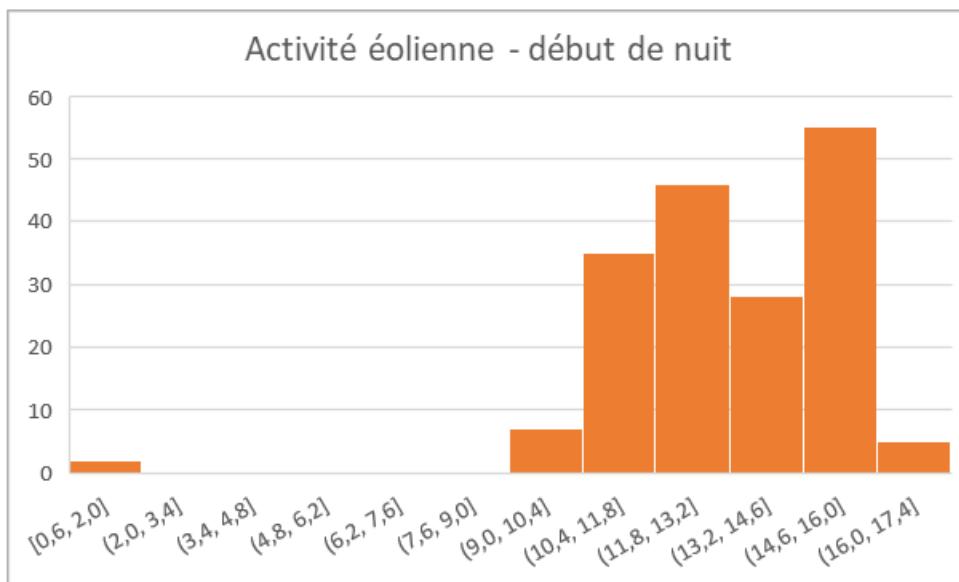


Figure 12 – Niveau d'activité de l'éolienne en première partie de nuit (tours/minut)

Le niveau d'activité des éoliennes est établi en fonction de la vitesse de rotation des éoliennes.

Sur la même période d'étude, les éoliennes ont eu un niveau d'activité supérieur à la moyenne (Figure 12), avec seulement 2 nuits sans réelle activité. Cependant les éoliennes ont vite un niveau d'activité marqué (rotation) : il n'y a pas de relation linéaire entre vitesse du vent et activité de l'éolienne. Un palier

bien visible est apparent dès 9 tours/minutes, qui correspond au début de fonctionnement effectif de l'éolienne. Le passage de danger faible (voire nul) pour les chiroptères à danger important se fait sur une variation faible du niveau de vent.

V. Analyse

V.1 Rappel résultats 2018

En 2018, 1 cadavre d'oiseau et 10 cadavres de chiroptères sont retrouvés, soit 11 individus estimés pour les oiseaux et 64 d'individus en mortalité réelle estimée pour les chiroptères. La mortalité est localisée sur l'éolienne E1, qui concentre 7 des 11 cas. Les autres cas concernent les éoliennes E2 et E3. Aucun cadavre n'est retrouvé sous l'éolienne E4.

La combinaison de périodes favorables au vol des chiroptères et d'activité éolienne marquée est fréquente sur la période étudiée.

A l'issue de ces résultats, le BE Althis propose la mise en place d'un bridage sur les éoliennes. Les conditions de bridage retenues sont les suivantes :

- Arrêt complet
- Semaine 28 à 43 (incluses)
- Par température supérieure à 12°C
- De nuit ($\frac{1}{2}$ h avant le coucher à $\frac{1}{2}$ heure après le lever) pour E1
- En début de nuit ($\frac{1}{2}$ h avant le coucher à 3 heures après le coucher)
- Par vitesse de vent inférieure à 5 m/s pour E1
- Par vitesse de vent inférieure à 4 m/s pour E2, E3 et E4

Ce bridage n'a pas été effectif en 2019 :

- Pas d'implémentation sur les éoliennes E2, E3 et E4,
- Implémentation sur E1, mais avec une inversion du seuil de température (donc en dessous de 12°C au lieu de au-dessus de 12°C).

V.2 Suivi de la mortalité

V.2.1 - Répartition par éolienne des cas de mortalité

Les 5 cas de mortalité constatés en 2019 concernent toutes les machines du parc. Seule l'éolienne E2 concentre deux cadavres. L'occupation des sols des différentes éoliennes est plutôt similaire, à savoir que les cultures les entourent toutes. Les distances minimales des éléments paysagers favorables aux chiroptères ou aux oiseaux sont comprises entre 50 et 80 mètres environ, ce qui est peu significatif pour ces animaux volants.

Tableau 19 – Distances des éoliennes aux reliefs paysagers

Éolienne	Éléments de relief paysager le plus proche	Distance minimale
E1	Haie	75 m
E2	Bois	50 m
E3	Arbre isolé, avec petite haie buissonnante	82 m
E4	Haie	63 m

L'éolienne E2 présente le plus de variété d'habitats, dans le quadrat (cultures de blé/culture de colza et prairie) et à sa proximité immédiate (boisement). Hormis le boisement, les habitats restent de faible valeur écologique, ce qui peut expliquer une mortalité moyenne pour le site. Si le boisement peut être un

territoire de chasse, son accès se ferait soit de la haie au sud, soit du corridor au nord-est. Le transit serait alors plus faible près de E2 que de E1, le risque n'y serait pas plus élevé.

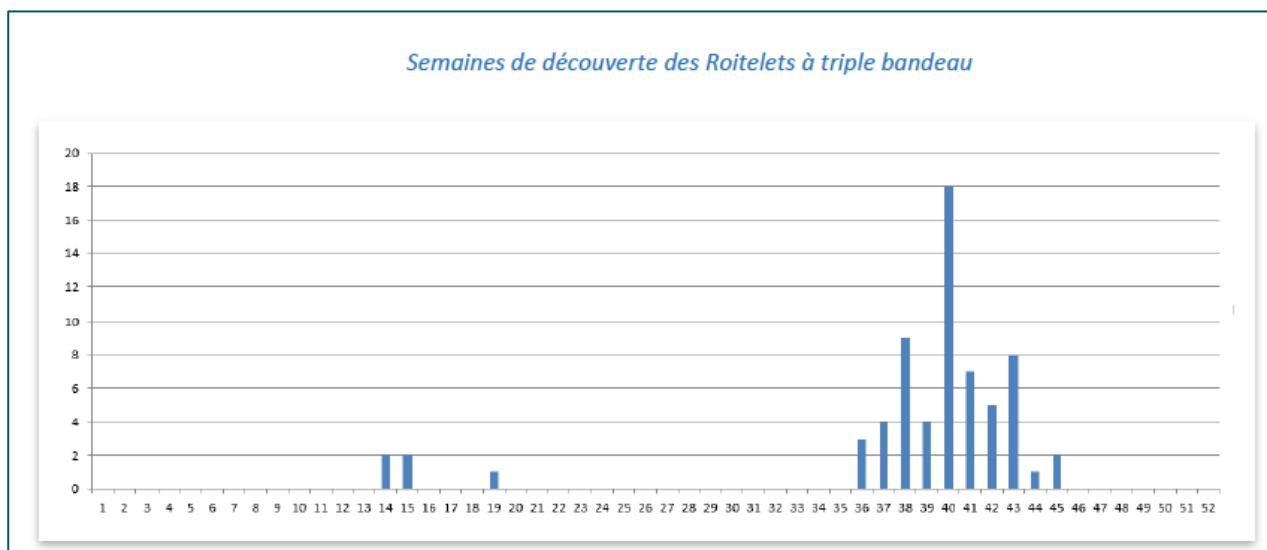
V.2.2 - Espèces retrouvées

V.2.2.1 - Avifaune

- Roitelet triple-bandeau

Un cadavre de roitelet triple-bandeau (*Regulus ignicapilla*) est retrouvé au pied de l'éolienne E3 le 01/10/2019. Au vu de la période concernée (semaine 43, octobre 2018), il s'agit très probablement d'un oiseau migrateur.

Selon la compilation des suivis de mortalité de la LPO (MARX, 2017), le roitelet triple-bandeau est l'espèce d'oiseau la plus impactée numériquement, avec 117 cas recensés avant 2016. Ces cas se partagent sur une trentaine des 142 parcs pris en compte dans cette étude. Tous les cas se placent en période de migration, principalement automnale.



Source : Marx G., 2017

Figure 13 – Chronologie des découvertes de roitelet à triple bandeau (niveau national)

Le cas relevé sur le parc se place donc dans une situation standard, en termes d'espèce et de période. En l'absence d'autres cas constatés, il n'est pas possible d'analyser une quelconque variation de la mortalité sur le parc par rapport aux observations plus générales. Pour rappel, un cadavre de roitelet triple-bandeau est retrouvé en 2018, à la même période.

Sensibilité

La très grande sensibilité du roitelet triple-bandeau, et en moindre mesure le roitelet huppé, en période de migration postnuptiale s'explique en partie par l'hétérogénéité des milieux qu'ils fréquentent lors de leur déplacement. Ils s'exposent ainsi à des dangers différents de ceux qu'ils connaissent sur leur site d'hivernage ou de reproduction. De plus, la migration postnuptiale comprend tous les jeunes oiseaux nés durant le printemps et qui effectuent leur premier grand déplacement. Le manque d'expérience peut alors accroître leur sensibilité à la collision. Enfin, le poids « plume » du roitelet, entre 5 et 7 grammes, le rend très vulnérable à l'aspiration induite par la vitesse des pales de l'éolienne, si l'oiseau passe à proximité.

Vulnérabilité

La vulnérabilité d'un oiseau est définie selon son niveau d'enjeu sur le site d'étude et son niveau de sensibilité. Chez le roitelet triple-bandeau, la sensibilité concerne essentiellement le risque de collision.

Bien que la migration postnuptiale n'ait pas été étudiée sur le parc éolien de Treffendel, un seul cadavre de roitelet triple-bandeau est retrouvé lors du suivi de la mortalité. La vulnérabilité de l'espèce peut donc être définie comme « faible à modérée » en période de migration postnuptiale. En dehors de cette période, la vulnérabilité du roitelet triple-bandeau est considérée comme « faible ».

*

- Le martin noir

Lors du suivi 2019, 2 cadavres de martin noir sont retrouvés le 03/07/2019 et le 07/08/2019. Cette espèce est la 2^e la plus impactée par les éoliennes, d'après la synthèse LPO (MARX, 2017), avec 108 cas de mortalité répertoriés sur 38 parcs, répartis sur 22 départements. Comme pour le roitelet triple-bandeau, les cas de mortalité se concentrent essentiellement lors de la période d'envol des jeunes et de migration, soit entre la mi-juillet et la mi-août pour le martin noir.

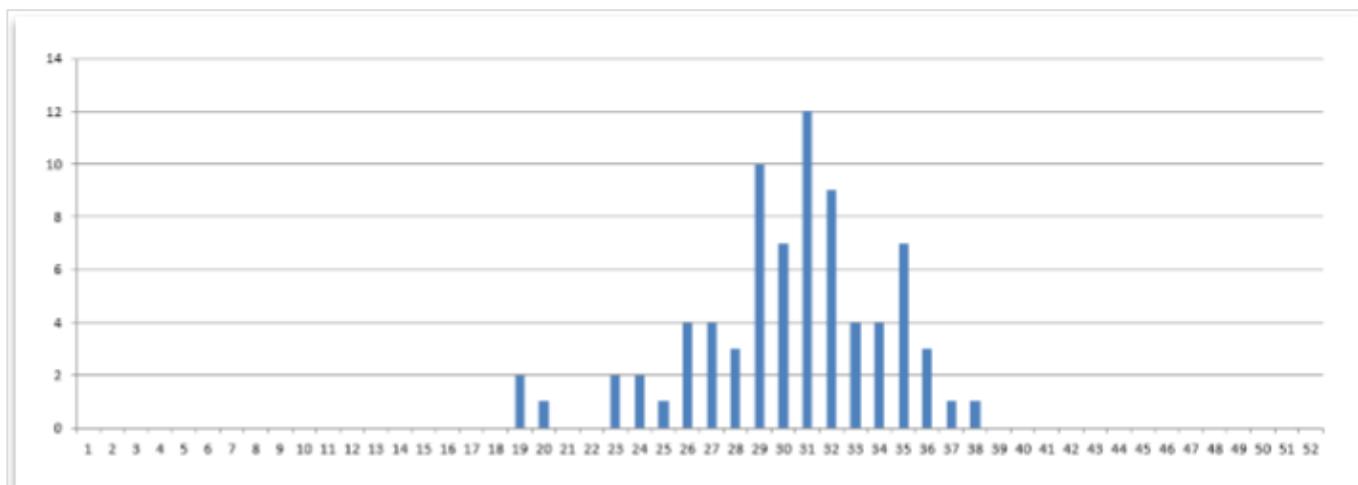


Figure 14 – Chronologie des découvertes de martin noir

Source : Marx G., 2017

Sensibilité

Cette prédominance des martinets noirs dans les cas de mortalité recensés peut sembler étonnante au premier abord puisqu'il s'agit d'un oiseau extrêmement rapide et agile en vol. Toutefois, cette espèce a tendance à tenter la traversée des parcs – plutôt que de les contourner – et est soumise aux turbulences et à la dynamique des courants thermiques. Il est de plus possible qu'un certain nombre d'individus soient impactés lors de déplacements nocturnes. Le niveau de sensibilité du martin noir est considéré comme « fort ».

Vulnérabilité

En période de migration postnuptiale, l'enjeu patrimonial du martin noir est défini comme « faible ». La sensibilité forte qui lui est conférée permet de définir la vulnérabilité de cet oiseau comme « modérée » en période de migration postnuptiale et « faible » en dehors de celle-ci.

- Faucon crécerelle

Début septembre, un cadavre très frais d'un mâle adulte de 2 ans est retrouvé au pied de l'éolienne E2. Le faucon crécerelle est la 3^e espèce la plus impactée en France, d'après la synthèse LPO (Marx, 2017) avec 76 cadavres répertoriés jusqu'en 2017.

Sédentaire, il est impacté de façon plus homogène sur l'année (Figure 30). Les « pics » visibles en semaines 36 et 40 sur la Figure 30 peuvent refléter le passage de migrants nordiques en période automnale. Ils peuvent également résulter d'un effort de prospection plus fort en cette saison.

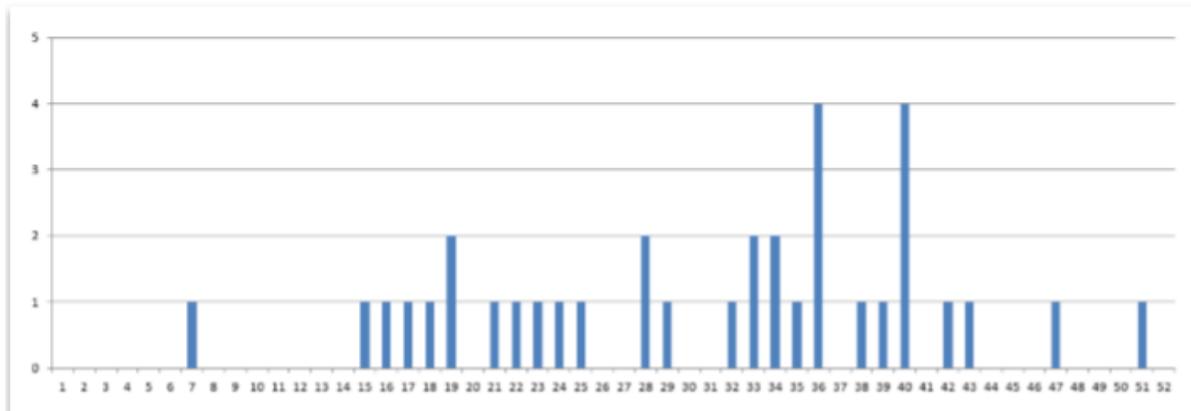


Figure 15 - Chronologie des découvertes de faucon crécerelle

Sensibilité

Proportionnellement aux effectifs (68 000 à 84 000 couples nicheurs en France d'après Issa & Muller 2015), le faucon crécerelle est bien plus impacté que les deux premières espèces. Classé « quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux de France métropolitaine (IUCN France, MNHN, LPO, SEO & ONCFS, 2016), il est également plus impacté que la buse variable dont les effectifs nationaux sont pourtant deux fois plus importants.

Le vol stationnaire utilisé par le faucon crécerelle en action de chasse est souvent mis en avant pour expliquer sa sensibilité aux éoliennes (Barrios & Rodriguez, 2004).

Vulnérabilité

Le faucon crécerelle étant impacté tout au long de l'année, la vulnérabilité de ce rapace est définie comme « forte » tout le long de l'année.

- Alouette lulu

Un cadavre frais d'alouette lulu est retrouvé sous l'éolienne E2 le 15/05/2019, soit en pleine saison de reproduction. Les compilations de résultats de suivi de mortalité ne mentionnent que 5 cas de mortalité pour cette espèce, ce qui en fait donc une espèce peu impactée.

Sensibilité

L'alouette lulu affectionne les zones de cultures bordées de haies ou de boisements. Elle réalise ses chants nuptiaux principalement en vol, en réalisant des courbes et des spirales, avant de redescendre à la verticale ou de biais. Les données de vent disponibles pour les deux jours précédents la découverte du cadavre mentionnent une vitesse de vent moyenne de 30-35 km/h. Il est alors probable, que, pour cet individu, le vent ai été un facteur aggravant.

Vulnérabilité

Les cas de collision de l'alouette lulu avec les éoliennes sont plutôt rares, mais le comportement de l'espèce en période de reproduction peut augmenter sa sensibilité. De plus, elle est inscrite à l'Annexe I de la Directive Oiseau. La vulnérabilité de l'alouette lulu est donc définie comme « modéré » en période de reproduction et « faible » le reste de l'année.



Photo 1 – Cadavre d'alouette lulu trouvé le 15/05/2019 sous E2



Photo 2 – Cadavre de martinet noir trouvé le 07/08/2019 sous E4



Photo 3 – Cadavre de faucon crécerelle trouvé le 04/09/2019 sous E2



Photo 4 – Cadavre de roitelet triple-bandeau trouvé le 01/10/2019 sous E3

Source photos : Althis

V.2.2.2 - Chiroptères

Aucun cadavre de chiroptères n'est retrouvé en 2019, en dépit de l'absence de bridage.

En 2018, l'hypothèse de l'influence du type de culture sur la mortalité des chiroptères était posée, sans pour autant pouvoir la confirmer. En effet, en 2018, la seule éolienne sans mortalité, l'éolienne E4, présentait une différence significative : sur la période de suivi, l'ensemble de la surface d'étude est en culture de blé, puis coupée sans culture de couvre-sol. Par ailleurs E2 présentait une large partie des cultures en blé (mais après les moissons, avec la mise en place d'un couvre-sol), dans un contexte plus varié. Il a alors été estimé que la culture de blé diminue le risque de mortalité. Cette hypothèse serait alors en lien avec l'intensité des traitements en biocides, la phénologie de la culture de blé (en maturation en début de suivi), puis au sol nu ou peu couvert pendant la suite.

En 2019, toutes les éoliennes sont entourées de culture de blé en début de suivi. E2 présente également une partie de culture de colza. En se basant sur l'hypothèse présentée ci-dessus, l'absence de cadavre de chiroptères peut alors en partie s'expliquer par le faible attrait de ce taxon envers les milieux environnant les éoliennes. Si l'activité des chauves-souris autour des aérogénérateurs est très faible, le

risque de collision l'est également. Cependant, aucune donnée ne permet de vérifier l'activité des chiroptères en 2019, car aucun suivi spécifique n'a été mené cette année, contrairement à 2018.

La bibliographie scientifique s'accorde sur le fait que les chiroptères sont particulièrement actifs au crépuscule et en début de nuit, ainsi qu'à des vitesses de vent assez faibles. L'analyse des données de vent met en avant une large minorité de nuits (19 débuts de nuit sur 169) avec des conditions favorables aux chiroptères, c'est-à-dire avec des vents inférieurs ou égaux à 5 m/s (référence définie en 2018). Les conditions de vent en début de nuit ont donc été majoritairement défavorables à l'activité des chauves-souris entre le mois de mai et le mois d'octobre 2019. La situation est globalement identique à 2018, non significativement plus favorable.

La différence de mortalité pour les chiroptères n'est donc pas liée aux conditions de vent. La seule modification notable est le changement de type de culture, avec une très forte dominance du blé en 2019. Cet environnement faiblement à très faiblement attractif pour les chauves-souris pourrait être générateur d'une activité moindre, qui se répercute sur la mortalité. L'hypothèse d'attraction différentielle selon les cultures reste donc une piste explicative.

V.2.3 - Position des cadavres

Lorsqu'un animal est impacté par un aérogénérateur (percussion ou barotraumatisme), celui-ci est projeté, en principe en arrière du plan de rotation des pales. Selon la proximité des extrémités de pales, la vitesse de rotation et leur mouvement ascendant ou descendant par rapport au sol, la carcasse sera envoyée plus ou moins loin et plus ou moins sur les côtés.

Il n'est donc pas possible de faire un lien direct entre la position d'un cadavre et le fonctionnement de l'éolienne. Néanmoins, on peut estimer que statistiquement, il y a corrélation entre l'orientation générale de l'aérogénérateur et la disposition des cadavres. La Figure 16 reporte, autour d'un même point (correspondant à chaque éolienne), tous les cas de mortalité, aux distances et orientations observées.



Figure 16 – Position des cadavres découverts autour des éoliennes.

Si l'on considère les positions des cadavres par quadrant, on constate qu'une majorité d'entre eux ont été retrouvés au sud, ce qui correspondrait alors à un vent de secteur nord. En effet, cette observation est cohérente avec les données de vent (Figure 10), qui indiquent une dominante des vents de nord, bien qu'en 2019, les vents de sud-est soient aussi marqués que les vents de nord. Ce constat s'aligne également sur les observations de 2018.

VI. Conclusion

En 2019, le BE Althis réalise le suivi de la mortalité des oiseaux et des chiroptères sur les 4 éoliennes que compte le parc de Treffendel.

Ce suivi fait suite au suivi de mortalité réalisé dans les mêmes conditions en 2018, qui avait permis de constater la mortalité de 10 chauves-souris et d'un oiseau, soit une mortalité réelle pour les chiroptères estimée à 64 individus.

En 2019, le suivi de la mortalité est mené entre les semaines 20 et 44 à raison d'un passage par semaine sur cette période.

Au terme du suivi, **5 cadavres d'oiseaux** sont recensés, de 4 espèces différentes. Chaque éolienne est concernée par au moins 1 cadavre, sauf l'éolienne E2 qui en compte 2.

La mortalité réelle supposée est de **43 oiseaux**, sur l'ensemble du parc. Sur les quatre espèces recensées, trois d'entre elles font partie des espèces les plus touchées par les collisions avec des éoliennes. Pour les espèces migratrices, la chronologie de découverte des cadavres concorde avec les périodes de migration postnuptiale. La moyenne par éolienne est, en 2019, supérieure à la moyenne nationale (MARX, 2017) : 10,75 contre 7,0. La **mortalité pour les oiseaux est donc plutôt forte** en 2019.

Aucun cadavre de chiroptère n'est découvert. Aucun lien ne peut être fait avec le bridage, inopérant en 2019. Il y a donc une forte variabilité interannuelle de mortalité.

Ce constat peut être potentiellement lié aux cultures de blé qui ont été plantées sous toutes les éoliennes en 2019. En effet, ce type de cultures constitue un habitat faiblement attractif pour ces animaux.

Par ailleurs, l'analyse des données de vent met en avant une majorité de nuits avec des conditions de vent défavorables à l'activité des chiroptères. Une étude universitaire, avec des enregistreurs à ultrasons (Faucher, 2019) conclut à un niveau d'activité faible pour Treffendel, sur une période intégrant le début du suivi de mortalité.

Bien qu'il n'y ait pas eu de suivi de l'activité des chauves-souris associé au suivi mortalité en 2019, les éléments présentés précédemment appuient la thèse d'une faible fréquentation des chiroptères sur le parc de Treffendel en 2019, ce qui contribuerait à une absence de mortalité.

Au vu de ces résultats et de ceux de 2018, il apparaît qu'une réelle mortalité peut intervenir tant sur les oiseaux que sur les chauves-souris, mais la **variabilité interannuelle est importante**. La mortalité enregistrée n'est donc pas significative de la mortalité moyenne, mais présente des cas particuliers.

Rappelons aussi que les mesures de bridage préconisées par Althis en 2018 pour l'année 2019 n'ont pas fonctionné à la suite de soucis logistiques, résolus pour 2020. Par conséquent, la variabilité observée pour les chiroptères n'est pas liée au bridage. Néanmoins, le gain apporté par le plan de bridage pour les chiroptères à leur survie est une réalité. Et ce, même si ces résultats montrent qu'il sera difficile de quantifier le gain au vu de la variabilité interannuelle et du manque de significativité d'un suivi annuel. **Le bridage mis en place est donc adapté pour protéger les chiroptères** dans un contexte de mortalité plutôt forte (2018) et pour diminuer sensiblement la mortalité dans tous les cas s'intégrant dans la variabilité interannuelle.

Note : La rotation annuelle des cultures est pratiquée sur les parcelles agricoles bordant les éoliennes du parc. Il est très probable que du maïs soit majoritairement cultivé sous celles-ci en 2020. La fréquentation du site par les chiroptères pourra alors être très différente et augmenter le risque de collision. Ceci, sans tenir compte des mesures correctrices mise en place (plan de bridage chiroptères).

Bibliographie

- OUEST AM', 2009. PROJET EOLIEN DE TREFFENDEL - Commune de Treffendel (35) - Etude d'impact. Eole Génération. 184 pp.
- ARTHUR L. & LEMAIRE M., 1999. – Les Chauves-souris maîtresses de la nuit. – Edition Delachaux&Niestlé.
- ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2009. – Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. – Collection Parthénope, Editions Biotope. 544p.
- ARTHUR L. & LEMAIRE M., 2009. – Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. – Collection Parthénope, Editions Biotope. 544p. 2ème édition.
- BAERWALD E.F., G.H. D'AMOURS, B.J. KLUG & R.M.R. BARCLAY. 2008. Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. Current Biology Vol 18 N°16 : 695-696
- BARATAUD, M. 2012. – Ecologie acoustique des chiroptères d'Europe. Identification des espèces, études de leurs habitats et comportements de chasse. – Biotope, Mèze ; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et biodiversité), 344 p.
- BARATAUD, M. 2015. – Acoustic ecology of European bats. Species Identification, Studies of Their Habitats and Foraging Behaviour. – Biotope, Mèze; Muséum national d'histoire naturelle, Paris (Inventaires et biodiversité Series), 352 p.
- BOONMAN & al., 1995. – The influence of landscape elements on the echolocation of the pond bat Myotis dasycneme. – Rhinolophe 11 : 39-40.
- BRETAGNE ENVIRONNEMENT GIP, OCEANOPOLIS BREST, GMB, BRETAGNE VIVANTE-SEPNB, 2015. – Liste rouge régionale & responsabilité biologique régionale. Mammifères de Bretagne. – Listes validées par le CSRPN de Bretagne le 11 juin 2015. 9p.
- BRETAGNE ENVIRONNEMENT GIP, BRETAGNE VIVANTE-SEPNB, GOB, ONCFS, LPO & GEOCA, 2015. – Liste rouge régionale & responsabilité biologique régionale. Oiseaux nicheurs & oiseaux migrateurs de Bretagne. – Listes validées par le CSRPN de Bretagne le 11 juin 2015. 9p.
- Bretagne Vivante – SEPNB, 2006. – Les Chauves-souris de Bretagne. – Penn Ar Bed n°197/198.Juin/Septembre 2006.
- CRYAN P.M., GORRESEN P.M., HEIN C.D., SCHIRWASCHER M.R., DIEHL R.H., HUSO M.M., HAYMAN D.T.S., FRICKER P.P., BANARCORSO F.J., JOHNSON D.H., HUISK K., DALTON D.C. 2014. Behaviour of bats at wind turbines. PNAS, 111, 426 p.
- CRYAN P. M. et BARCLAY R. 2009. Causes of bat fatalities at wind turbines : hypotheses and predictions. Journal of Mammalogy. Vol.90, n°6. p. : 1330-1340.
- DULAC P. 2008. Evaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris. Bilan de 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon - Nantes, 106 p.
- EUROBATS, 2014. – Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. Actualisation 2014. – EUROBATS Publications Series N°6 (version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133p.
- FAUCHER E., 2019. – Etude comparative de l'activité des chiroptères au sol et en altitude sur trois parcs éoliens de Bretagne.
- GROUPE MAMMALOGIQUE BRETON, 2007. – Statut juridique et d'abondance d'espèces de chauve-souris bretonnes en 2007.
- HEITZ C. et JUNG L. 2016. Impact de l'activité éolienne sur les populations de chiroptères : enjeux et solutions (Etude bibliographique). 149p.
- HORN J., ARNETT E., KUNZ T. 2008. Behavioural responses of bats to operating wind turbines. The Journal of Wildlife Management. 72 (1) p.123-132.
- JAMESON J.W., WILLS C.K.R. 2014. Activity of tree bats at anthropogenic tall structures : implications for mortality of bats at wind turbines. Animal Behaviour 97 : 145-152.

- LONG C.V., FLINT J.A., LEPPER P.A. 2011. Insect attraction to wind turbines : does colour play a role ? Eur. J. Wildl. Res., published online.
- LOUVEL J., GAUDILLAT V. & PONCET L., 2013. – EUNIS, European Nature Information System, Système d'information européen sur la nature. Classification des habitats. – Traduction française. Habitats terrestres et d'eau douce. MNHN-DIREV-SPN, MEDDE, Paris, 289 p.
- LPO, 2004 (révision en août 2009). Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. Programme national Eolien et Biodiversité ADEME-MEEDDM-SER/FEE-LPO
- MARX G., 2017. Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015 - Juin 2017 – Actualisé en septembre 2017. LPO France. 92 p.
- MEEM, 2016. – Guide relatif à l'élaboration des études d'impacts des projets de parcs éoliens terrestres. – Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, Décembre 2016. 169 pp.
- MOTTE & LIBOIS, 2002. – Conservation of the lesser horseshoe bat (*Rhinolophus hipposideros* Bechstein, 1800) (Mammalia: Chiroptera) in Belgium. A case study of feeding habitat requirements. Belg. J. Zool., 132 (1) : 49-
- MTES, 2018. – Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres. – 19p.
- RODRIGUES, BACH, DUBOURG-SAVAGE, GOODWIN, HARBUSCH, 2008. – Lignes directrices pour la prise en compte des Chauves-souris dans les projets éoliens. – EUROBATS Publication Series No.3 (version française). PNUE/EUROBATS Secretariat, Bonn, Germany, 55p.
- RODRIGUES & Al., 2015. – Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. Actualisation 2014. – EUROBATS Publications Series N°6 (version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133p.
- RYDELL J., BACH L., DUBOURG-SAVAGE M.J., GREEN M., RODRIGUES L., HEDENSTRÖM A. 2010. Mortality of bats at wind turbines in northwestern Europe. Acta Chiropterologica 12(2) : 261-274.
- SFEPM, 2016. – Prise en compte des chiroptères dans la planification des projets éoliens terrestres. Actualisation 2016 des recommandations de la SFEPM. – version 2 (février 2016).
- SIEMERS B.M, SCHNITZLER H.-U., 2000. – Natterer's bat (*Myotis nattereri* Kuhl, 1818) hawks for prey close to végétation using ecolocation signals of very broad bandwidth. – Behavioral Ecology and Sociobiology, 47: 400-412.
- SIMONET F. (coord.), 2015. – Atlas des mammifères de Bretagne. – Groupe Mammologique breton. Locus Solus. 303p
- IUCN France, MNHN, SFEPM & ONCFS 2009. – La liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. – Paris, France.
- IUCN France, MNHN, SEO & ONCFS, 2011. – La liste rouge des espèces menacées en France. Chapitre Oiseaux de France métropolitaine. – Paris, France.
- IUCN France, MNHN, LPO, SEO & ONCFS, 2016. – La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine. – Paris, France. 35p.
- IUCN France, MNHN, SFEPM & ONCFS (2017). La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.
- IUCN France & MNHN., 2009. – La Liste rouge des espèces menacées en France - Contexte, enjeux et démarche d'élaboration. – Paris, France.
- WAUGEN & Al., 1997. – Référentiel d'activité des chiroptères éléments pour l'interprétation des dénombremens de chiroptères avec les méthodes acoustiques en zone méditerranéenne française. – Biotope, Ecole Pratique des Hautes Etudes, 99p.