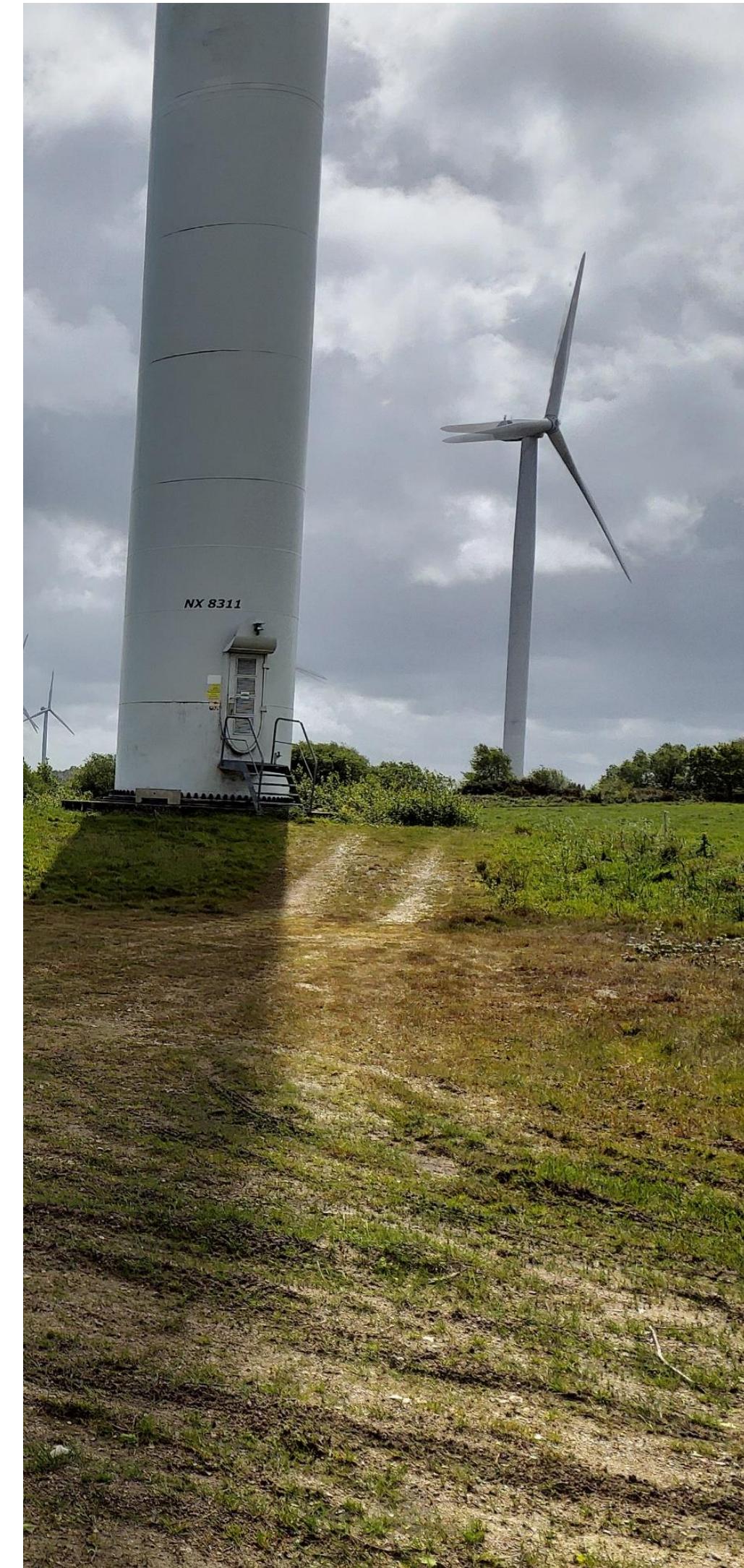
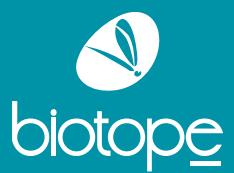




## Parc éolien de Cast 2 (29)

EOLE ENERGIES / VALEMO  
novembre 2022

**Suivi environnemental  
ICPE 2021  
Suivi de mortalité de  
l'avifaune et des  
chiroptères**



<b>Citation recommandée</b>	Biotope, 2021. Parc éolien de Cast 2 (29), Suivi de mortalité de l'avifaune et des chiroptères. VALEMO / EOLE ENERGIES. 59 p.	
Version/Indice	V1	
Date	novembre 2022	
Nom de fichier	202101_EoleEnergies_Cast_Biotope_Morta	
Référence dossier		
Maître d'ouvrage	EOLE ENERGIES / VALEMO	
Interlocuteurs exploitation :	VALEMO Robin PALOWSKI Chargé d'exploitation 213 cours Victor Hugo 33323 BEGLES CEDEX	Mail : Robin.PAWLOWSKI@valemo.fr Téléphone : +33 (0)6 34 50 90 97 +33 (0)5 57 12 11 90
Biotope, Rédaction de l'étude	Michaël GUILLOON	<a href="mailto:mguillon@biotope.fr">mguillon@biotope.fr</a> Tél : 02 40 05 32 35
	Yvan BOUROULLEC	<a href="mailto:ybouroullec@biotope.fr">ybouroullec@biotope.fr</a> Tél : 06 03 68 18 12
Biotope, Contrôleur qualité	Michaël GUILLOON	<a href="mailto:mguillon@biotope.fr">mguillon@biotope.fr</a> Tél : 02 40 05 32 35

## Avant-propos

La société Eole Energie est propriétaire de 4 éoliennes au niveau du bois de Saint Gildas entre les communes de Cast, Châteaulin et Plomodiern. L'exploitation est assurée par VALEMO, société spécialisée dans la maintenance et l'exploitation de parcs éoliens.

Le parc éolien de Cast 2 a été mis en service en 2007, et est équipé de 4 éoliennes NORDEX N80 d'une puissance unitaire de 2,5 MW, et d'un diamètre de rotor de 80 m.

***Le projet n'a pas fait l'objet d'une étude d'impact préalable à sa mise en service, aucun suivi décennal n'a été réalisé depuis.***

En l'absence de suivi décennal mis en œuvre depuis la mise en services du parc éolien, la DREAL, et l'inspecteur des ICPE a demandé que soit réalisée en 2021 une étude approfondie suivant le protocole national en vigueur et les prescriptions régionales de la DREAL Bretagne, soit :

- Un suivi de mortalité entre la semaine 20 et la semaine 43 (24 semaines), avec un passage hebdomadaire;
- Un suivi de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle entre la semaine 20 et la semaine 43 (24 semaines).

Ces études permettront de conclure sur la mortalité induite par le parc éolien pour les oiseaux et les chiroptères ainsi que sur le besoin éventuel d'un asservissement ciblé du fonctionnement des éoliennes au regard des périodes d'activités de chiroptères.

La société Eole Energies / VALEMO ont missionné Biotope pour la réalisation d'un suivi de mortalité du parc éolien en 2021, ainsi que pour la réalisation d'une première étude des chiroptères en altitude (nacelle) conformément au protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (révision 2018).

---

Le présent document présente les résultats du suivi mortalité avifaune et chiroptère réalisé en 2021 par le bureau d'études BIOTOPE. L'objectif de ce suivi est d'estimer les taux de mortalité des chauves-souris et des oiseaux, liés à l'exploitation de 4 éoliennes au niveau du bois de Saint Gildas. Le suivi acoustique fait l'objet d'un rapport dédié.

---

À noter que la révision du document « Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » est paru en mars 2018 fixant les modalités à suivre, notamment pour la réalisation d'un suivi de mortalité. Ainsi, le protocole réalisé dans le cadre de cette étude et le rapport qui en découle tiennent compte des évolutions du protocole national.

---

## Sommaire

<b>1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques</b>	<b>8</b>
<b>1 Présentation du parc éolien</b>	<b>9</b>
1.1 Localisation	9
1.2 Rappel des enjeux de l'étude d'impact	11
<b>2 Méthodologie appliquée</b>	<b>12</b>
2.1 Généralités sur la méthode de suivi de la mortalité : cadre et protocole national	12
2.2 Méthodologie d'inventaire mise en œuvre et difficultés rencontrées	15
2.3 Conditions de réalisation du suivi de mortalité	22
2.4 Équipe de travail	30
<b>2 Synthèse et analyse des résultat</b>	<b>31</b>
<b>1 Résultats du suivi de mortalité</b>	<b>32</b>
1.1 Résultats bruts	32
1.2 Analyse des résultats	40
1.3 Synthèse du suivi de mortalité	47
<b>2 Facteurs d'impact et mesures correctives</b>	<b>49</b>
2.1 Analyse croisée avec la bibliographie	49
2.2 Analyse croisée de la phénologie de la mortalité et de l'activité acoustique en nacelle des chiroptères	49
<b>3 Conclusion et mesures correctives</b>	<b>53</b>
<b>3 Bibliographie</b>	<b>54</b>
<b>Annexes</b>	<b>57</b>

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Dates de prospections de terrain et informations météorologiques	22
Tableau 2 : Bilan de l'occupation du sol pour les sept éoliennes sur l'ensemble de la période de suivi. Représentation en pourcentage des surfaces cumulées des différentes occupations du sol observées par éolienne et pour le parc sur l'ensemble de la période de suivi. Les zones en gris foncées représentent les occupations du sol non prospectables tout ou partie du suivi (efficacité de recherche nulle), et en blanc les occupations du sol qui ont été prospectables la majeure partie de la période de suivi (non prospectable que ponctuellement).	24
Tableau 3 : Nombre total de leurres disposés par éolienne en fonction de l'occupation du sol sur l'ensemble du suivi (poses cumulées des 2 tests).	29
Tableau 4 : Équipe de travail	30

Tableau 5 : Tableau de synthèse « empirique » de Dürr (mis à jour le 7 mai 2021) des oiseaux touchés par les parcs éoliens selon les pays de l'Europe.	37
Tableau 6 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces d'oiseaux touchées par le parc éolien de Cast 2	37
Tableau 7 : Tableau de synthèse « empirique » de Dürr (mis à jour le 7 mai 2021) des chiroptères touchés par les parcs éoliens selon les pays de l'Europe	38
Tableau 8 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces de chauve-souris touchées par le parc de Cast 2	39
Tableau 9 : Statistiques descriptives du coefficient correcteur de surface calculé sur l'ensemble des 24 passages	40
Tableau 10 : Résultats des estimations des durées moyennes de persistance et leur intervalle de confiance à 95% pour les deux tests de persistance pour chacune des sept éoliennes. Les durées moyennes de persistance sont les valeurs retenues comme coefficient correcteur pour les estimations de mortalité.	41
Tableau 12 : Bilan des probabilités globales de détection par méthode d'estimation	43
Tableau 13 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) des oiseaux au sein du parc de Cast 2 sur la période du suivi	44
Tableau 14 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) de chiroptères au sein du parc de Cast 2 sur la période du suivi	46
Tableau 15 : Phénologie du nombre de découvertes de cadavres par espèce et groupe d'espèces	52
Tableau 16 : Résultats du suivi mortalité	58

## Liste des illustrations

Figure 1 : Eolienne 1 – au 21 mai 2021	10
Figure 2 : Eolienne 2 – au 21 mai 2021	10
Figure 3 : Eolienne 3 – au 21 mai 2021	10
Figure 4 : Eolienne 4 – au 21 mai 2021	10
Figure 5 : Situation des éoliennes du parc éolien de Cast 2	11
Figure 6 : Périodes lors desquelles le suivi de mortalité est attendu selon le protocole national 2018	13
Figure 7 : Schéma de la surface-échantillon à prospecter (largeur de transects de 5 à 10 m) (extrait du protocole national 2018)	14
Figure 8 : Occupation du sol et surfaces prospectées sur l'ensemble du suivi	25
Figure 9 : Évolution de l'occupation du sol et surfaces prospectées sur l'ensemble du suivi par passage par turbine	25
Figure 10 : Occupation du sol pour les éoliennes lors du premier passage le 21 mai 2021 (passage 1)	26

Figure 11 : Bilan des surfaces prospectées par éolienne sur l'ensemble du suivi. A gauche évolution du pourcentage de surface prospectée par passage.	27
Figure 12 : Bilan des surfaces prospectées par éolienne sur l'ensemble du suivi. Synthèse (boite à moustaches) du pourcentage de surface prospectée par passage par éolienne sur l'ensemble du suivi (de bas en haut : minimum, 1er quartile, médiane en gras, 3ème quartile, maximum).	27
Figure 17 : Type de leurres utilisés dans le cadre des tests d'efficacité de recherche © Biotope	28
Figure 14 Mortalité par espèce ou groupe d'espèces observée sur le parc éolien de Cast 2	32
Figure 15 : Présentation de quelques photographies des cadavres découverts de Pipistrelle commune (E1, E2) et Bruant jaune (E2) © Biotope	33
Figure 16 : Phénologie et nombre de cadavres trouvés par passage sur le parc éolien de Cast 2	34
Figure 17 : Nombre de cadavres découverts par éolienne	34
Figure 18 : Répartition spatiale (distance à l'éolienne) des cadavres retrouvés au sein du parc de Cast 2. La courbe représente l'évolution de la surface de l'aire d'étude prospectée en fonction de la distance au pied de l'éolienne.	35
Figure 19 : Positionnement des observations par rapport au positionnement des éoliennes. En grisé, le cumul des observations en histogramme radial en fonction de l'orientation	36
Figure 20 : Durées de persistances moyennes accompagnées des incertitudes (intervalles de confiance à 95%) des cadavres pour chaque test de prédatation (28 juin et 20 septembre 2021)	41
Figure 21 : Efficacité de recherche et probabilité de détection des cadavres selon la hauteur et le recouvrement	42
Figure 22 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les oiseaux pour le parc éolien de Cast 2 au cours du suivi de 2021 sur 160 jours.	45
Figure 23 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les chiroptères pour le parc éolien de Cast 2 au cours du suivi de 2021 sur 160 jours	46
Figure 27 : Phénologie de découverte des cadavres de chiroptères à l'échelle du parc de Cast 2	49
Figure 28 : Phénologie de l'activité acoustique enregistrée au niveau d'éolienne E02 sur la période de réalisation du suivi mortalité. Les périodes encadrées correspondent aux périodes à la fin desquelles un cadavre de chiroptère a été découvert lors du suivi mortalité (E2 puis E03 dans l'ordre chronologique)	50
Figure 29 : Cortège d'espèces de chiroptères identifié par le suivi acoustique en nacelle pour E05 sur la période de réalisation du suivi mortalité.	51
Figure 30 : Actogramme de la Pipistrelle commune pour E02 sur la période du suivi de mortalité	52

## Annexes

Annexe 1 : Tableau récapitulatif des observations de cadavres 58



## Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 1 Présentation du parc éolien

#### 1.1 Localisation

Le parc éolien de Cast se situe au centre du département du Finistère (29), en région Bretagne. Il est localisé à environ 3 kilomètres km au sud-ouest du centre-ville de Châteaulin, et à 20 kilomètres nord de la ville de Quimper, préfecture du Finistère.

La société Eole Energie est propriétaire de 4 éoliennes au niveau du bois de Saint Gildas entre les communes de Cast, Châteaulin et Plomodiern. L'exploitation est assurée par VALEMO, société spécialisée dans la maintenance et l'exploitation de parcs éoliens.

Le parc éolien de Cast 2 a été mis en service en 2007, et est équipé de 4 éoliennes NORDEX N80 d'une puissance unitaire de 2,5 MW, et d'un diamètre de rotor de 80 m et une hauteur de nacelle de 100m soit 60m de bas de pâle. Quatre autres éoliennes (même type) sont localisées sur le secteur du bois de Saint Gildas (au sud-est), mais l'exploitation est assurée par d'autre entreprises.

Le parc de Cast 2 se situe au sein d'une zone de polyculture-élevage, de bois et de landes avec un bocage dégradé. Le parc se situe à une altitude comprise entre 200 et 185 m.

La totalité des éoliennes ont été suivies tel que prévu par le protocole national, entre le 21 mai 2021 et le 28 octobre 2021, à raison d'un passage hebdomadaire.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques



Figure 1 : Eolienne 1 – au 21 mai 2021



Figure 2 : Eolienne 2 – au 21 mai 2021



Figure 3 : Eolienne 3 – au 21 mai 2021



Figure 4 : Eolienne 4 – au 21 mai 2021

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

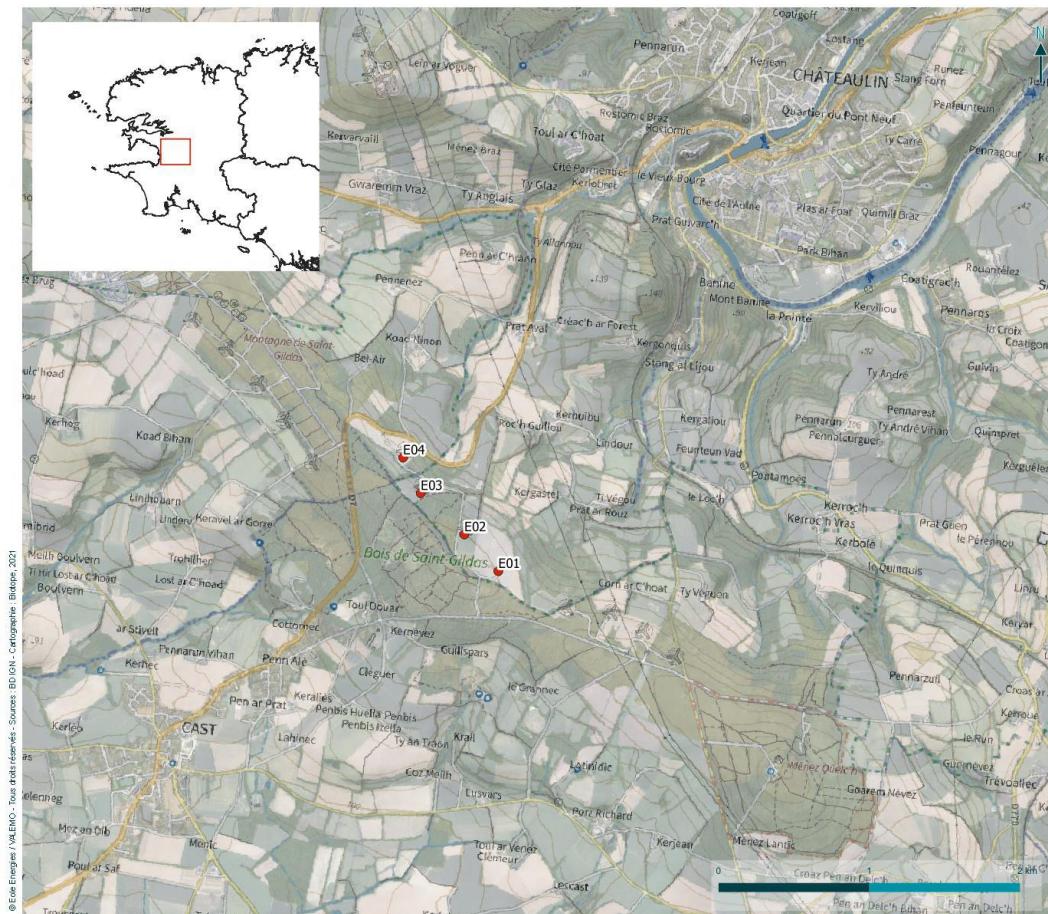


Figure 5 : Situation des éoliennes du parc éolien de Cast 2

### 1.2 Rappel des enjeux de l'étude d'impact

L'objectif de cette partie est de résumer et de faire ressortir les espèces à enjeux identifiées lors de l'étude d'impact du projet éolien afin de les comparer avec les résultats des suivis post-implantations réalisés en 2021.

Le Parc Eolien de Cast 2 n'a pas fait l'objet d'évaluation environnementale préalable à son implantation en 2007.

Aussi, aucun suivi décennal ICPE n'a été réalisé depuis sa mise en service, en 2007.

Suivi de mortalité de l'avifaune  
et des chiroptères

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

## 2 Méthodologie appliquée

### 2.1 Généralités sur la méthode de suivi de la mortalité : cadre et protocole national

#### 2.1.1 Arrêté ministériel d'août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 et protocole national

*"Arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives 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*

*L'arrêté du 26 août 2011 modifié 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 est modifié conformément aux dispositions des articles 2 à 22 du présent arrêté. "*

*« Arrêté du 22 juin 2020 - art. 9 a modifié les dispositions suivantes :*

*Modifie Arrêté du 26 août 2011 - art. 12 (V) , L'article 12 est remplacé par : »*

*« Art. 12.-L'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Sauf cas particulier justifié et faisant l'objet d'un accord du Préfet, ce suivi doit débuter dans les 12 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation afin d'assurer un suivi sur un cycle biologique complet et continu adapté aux enjeux avifaune et chiroptères susceptibles d'être présents. Dans le cas d'une dérogation accordée par le Préfet, le suivi doit débuter au plus tard dans les 24 mois qui suivent la mise en service industrielle de l'installation.*

*« Ce suivi est renouvelé dans les 12 mois si le précédent suivi a mis en évidence un impact significatif et qu'il est nécessaire de vérifier l'efficacité des mesures correctives. A minima, le suivi est renouvelé tous les 10 ans d'exploitation de l'installation.*

*« Le suivi mis en place par l'exploitant est conforme au protocole de suivi environnemental reconnu par le ministre chargé des installations classées.*

*« Les données brutes collectées dans le cadre du suivi environnemental sont versées, par l'exploitant ou toute personne qu'il aura mandatée à cette fin, dans l'outil de télé-service de "dépôt légal de données de biodiversité" créé en application de l'arrêté du 17 mai 2018. Le versement de données est effectué concomitamment à la transmission de chaque rapport de suivi environnemental à l'inspection des installations classées imposée au II de l'article 2.3. Lorsque ces données sont antérieures à la date de mise en ligne de l'outil de télé-service, elles doivent être versées dans un délai de 6 mois à compter de la date de mise en ligne de cet outil.*

*« Dans le cas d'un projet de renouvellement d'une installation existante, autre qu'un renouvellement à l'identique ou une extension au sens de l'article R. 181-46-I du code de l'environnement, l'exploitant met en place un suivi environnemental, permettant d'atteindre les objectifs visés au 1er alinéa du présent article, dans les 3 ans qui précèdent le dépôt du porteur à connaissance au préfet prévu par l'[article R. 181-46 du code de l'environnement](#). »*

Un protocole national cadrant les objectifs et modalités de suivi des parcs éoliens en exploitation a été rédigé en 2015 puis mis à jour début 2018.

La présente étude vient répondre aux obligations induites par le protocole national ainsi que par l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 2.1.2 Méthodes et pressions d'inventaire attendues à l'échelle nationale

#### **Nombre de sessions d'inventaire**

Le protocole national précise que le suivi de mortalité sera constitué d'au minimum 20 visites réparties entre les semaines 20 et 43 en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site.

semaine n°	1 à 19	20 à 30	31 à 43	44 à 52
Le suivi de mortalité doit être réalisé ...	Si enjeux avifaunistiques spécifiques	Dans tous les cas	Si enjeux avifaunistiques en période hivernale	
Suivi d'activité 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

Figure 6 : Périodes lors desquelles le suivi de mortalité est attendu selon le protocole national 2018

#### **Nombre d'éoliennes suivies**

Le protocole national invite à contrôler :

- Toutes les éoliennes pour les parcs de 8 éoliennes et moins ;
- Pour les parcs de plus de 8 éoliennes contenant n éoliennes : 8 éoliennes + (n -8) /2.

#### **Méthode de collecte des données**

**Surface-échantillon à prospector** : un carré de 100 m de côté ou un cercle couvrant au moins un rayon égal à la longueur des pâles avec un minimum de 50 m (à élargir en proportion pour les éoliennes présentant des pâles de longueur supérieure à 50 m).

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

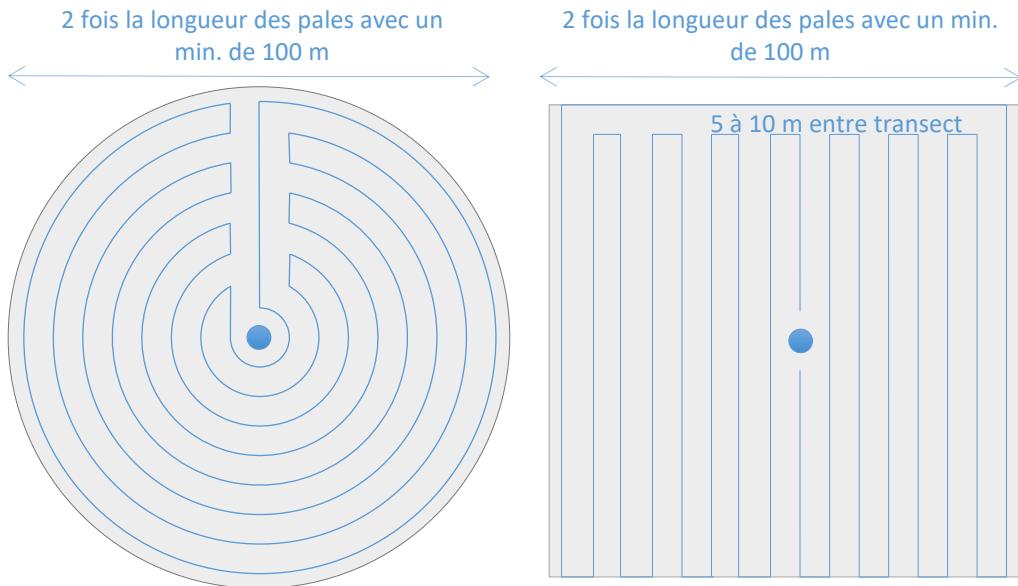


Figure 7 : Schéma de la surface-échantillon à prospector (largeur de transects de 5 à 10 m) (extrait du protocole national 2018)

**Mode de recherche :** transects à pied espacés d'une distance dépendante du couvert végétal (de 5 à 10 m en fonction du terrain et de la végétation). Cette distance devra être mesurée et tracée. Les surfaces prospectées feront l'objet d'une typologie préalable des secteurs homogènes de végétation et d'une cartographie des habitats selon la typologie Corine Biotopes ou Eunis (cartographie simplifiée). L'évolution de la taille de végétation sera alors prise en compte tout au long du suivi et intégrée aux calculs du taux de mortalité (distinction des taux de découverte et de prédation en fonction des différents types de végétation).

### Tests de correction des résultats.

Le protocole national prévoit la réalisation de deux tests de correction des résultats :

- Test d'efficacité de recherche (du chercheur) ;
- Test de persistance des cadavres.

Les modalités de réalisation de ces tests sont décrites en détail dans les chapitres suivants.

### Analyse des résultats

#### Le protocole national prévoit un cadre d'analyse des résultats :

- Un tableau des données brutes doit être fourni pour permettre une compilation quantitative et informative à l'échelle nationale ;
- Analyser les résultats, de l'impact du parc et de l'efficacité des mesures ;
- Une analyse fine et qualitative des résultats doit être menée pour caractériser la mortalité par éolienne ;
- Croiser les résultats avec d'autres données ou avec les résultats d'autres types de suivi pour une interprétation des types de risques, des facteurs d'influence et orienter l'analyse vers l'efficacité des mesures ;
- Justifier et dimensionner les mesures correctives à mettre en place de façon proportionnée ;

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

- Estimer la mortalité pour permettre des comparaisons objectives et détecter les parcs à impacts significatifs pour la faune volante (intégrer coefficient surfacique, Utiliser au moins 3 formules de calcul des estimateurs standardisés dont Huso (2010) obligatoirement, Préciser l'intervalle de confiance de l'estimation, etc.).

### 2.2 Méthodologie d'inventaire mise en œuvre et difficultés rencontrées

Ce chapitre décrit la méthodologie mise en œuvre dans le cadre de l'étude réalisée sur le parc éolien de Cast 2. Il présente par ailleurs en détail les principales données collectées et analyses réalisées.

#### 2.2.1 Principe de l'estimation de mortalité : méthodes, calculs et des incertitudes

L'objectif de ce suivi est de proposer une estimation de la mortalité réelle des chauves-souris et des oiseaux, au sein du parc. Le protocole national révisé en 2018 demande de préciser les incertitudes de l'estimation de la mortalité.

##### **Principe de l'estimation de mortalité et formules utilisées**

Les suivis de mortalité par recherche de cadavres au sol représentent actuellement la technique la plus régulièrement mise en œuvre. Toutefois, cette technique est soumise à de nombreux biais (capacités de détection de l'observateur, taux de disparition des cadavres par préation/décomposition, activités agricoles du travail du sol) qui requièrent la définition de coefficients correcteurs à différentes périodes de l'année, sous peine de rendre potentiellement inexploitables les données issues du suivi de mortalité.

Le principe général des estimations par éolienne est le suivant :

$$Ne = Nd / ( a \times P(s,f) )$$

**Ne** = nombre estimé le plus probable de chauves-souris ou d'oiseaux tués par les éoliennes au sein de la zone prospectée.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

**Nd** = nombre total de cadavres découvert de chauves-souris ou d'oiseaux dont la mort est imputable aux éoliennes.

**a** = Coefficient correcteur de surface moyen pondéré, calculé par simple proportion du taux moyen de surfaces prospectées et pondéré par la durée inter-passage.

**P(s,f)** = Probabilité de détection propre à chaque méthode d'estimation (e.g. de Erickson, de Jones, de Huso, de Korner-Nievergelt etc.). Les équations sous-jacentes à chaque méthode d'estimation font toutes appel à deux coefficients correcteurs que sont le coefficient de persistance (**s**) (qui peut être exprimée comme une durée de persistance ou comme une probabilité de survie suivant les formules) et le coefficient d'efficacité de recherche moyen (**f**). La valeur de **P(s,f)** obtenue correspond à une probabilité de détection moyenne tenant compte du fait que certains cadavres sont manqués faute de détection parfaite et d'autre du fait de leur disparition. Associée au nombre de cadavres trouvés durant le suivi pour chaque éoliennes (**Nd**) ainsi qu'à la surface moyenne non prospectée (**a**), il est possible d'estimer la mortalité réelle. Ainsi **a x P(s,f)** correspond une probabilité globale de détection des cadavres.

Dans le cadre de ce travail et conformément aux directives du protocole national, nous réaliserons les différentes analyses permettant d'estimer indépendamment la mortalité pour les chiroptères et les oiseaux, suivant les formules de : **Erickson et al., 2000 / Huso, 2010<sup>1</sup> / Korner-Nievergelt et al. 2011**.

La détermination des coefficients correcteurs « **s** » et « **f** » est très importante du fait de leur effet sur l'estimation de **Ne**. C'est pour cela qu'il est particulièrement important d'avoir la capacité d'évaluer *a posteriori* la précision de leurs évaluations.

- **Erickson, W.P.; Johnson, G.D.; Strickland, M.; Kroner, K. (2000). Final Report: avian and bat mortality associated with the Vansycle wind project. pp 1-26.**

- **Huso, M. M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. Environmetrics, 22(3), 318-329. doi: 10.1002/env.1052**

- **Korner-Nievergelt, F., Korner-Nievergelt, P., Behr, O., Niermann, I., Brinkmann, R., & Hellriegel, B. (2011). A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildlife Biology, 17(4), 350-363. doi: 10.2981/10-121**

### Détermination des coefficients correcteurs

Pour déterminer les deux coefficients correcteurs que sont le coefficient de persistance (**s**) et le coefficient d'efficacité de recherche (**f**), deux tests doivent faire l'objet d'une mise en œuvre précise :

- **Les tests de persistance** permettent de mesurer la vitesse de disparition des cadavres (prédatation, charognage, décomposition des cadavres) et donc le temps de persistance des cadavres une fois au sol. Ce facteur peut fortement varier dans le temps et l'espace. Les causes de disparition peuvent être multiples, soit par prélèvement (Renard roux, rapaces, corvidés, etc.) soit par l'action des insectes nécrophages (carabes, mouches, etc.).

Tel que demandé par le protocole national, deux tests de prédatation ont été réalisés dans le cadre du suivi de la mortalité. Ces tests ont été réalisés au cours du suivi pour que les résultats puissent être représentatifs des grandes périodes biologiques (saisons). Pour ce faire, les leurres ont été disposés de manière aléatoire pour chaque éolienne suivie au sein des zones de prospections.

- **Les tests d'efficacité des recherches** permettent de prendre en considération les difficultés des observateurs à repérer les cadavres tombés au sol. Ce coefficient est fortement influencé par l'évolution de l'occupation du sol, d'une part, ainsi que par la taille/couleur des cadavres, d'autre part. Il est également variable en fonction des observateurs (capacités de détection propres). Pour limiter l'effet observateur, il est important que les recherches soient, dans la mesure du possible, réalisées par un observateur unique. Ces tests doivent être réalisés au cours du suivi pour permettre d'évaluation la capacité de détection de l'observateur dans un maximum de modalités d'occupation du sol afin de limiter les extrapolations.

<sup>1</sup> Estimateur de référence obligatoire dans chaque étude.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

Tel que demandé dans le protocole national, deux tests ont été réalisés dans le cadre du suivi de la mortalité. Ces deux tests sont réalisés par la méthode de l'échantillonnage stratifié en fonction des différents types d'occupation du sol que l'observateur est susceptible de prospecter tout au long du suivi. Le moment de réalisation des tests doit permettre sur l'ensemble de pouvoir tester l'observateur dans un maximum de situations d'occupation du sol. De 10 à 15 leurres identiques sont disposés aléatoirement pour chaque catégorie d'occupation du sol à tester et sur l'ensemble du parc, à l'insu de l'observateur.

La détermination de coefficients correcteurs répétée selon les périodes de l'année constitue le principal élément permettant d'exploiter de façon fiable les résultats des suivis de mortalité par recherche de cadavres. Ces coefficients sont essentiels pour tirer des informations scientifiquement recevables du suivi de mortalité. **En l'absence de coefficients robustes, aucune conclusion ne peut être envisagée quant à la mortalité effective engendrée par le parc éolien.**

### Méthodes statistiques et incertitudes

- Évaluation du coefficient moyen de persistance des cadavres

Afin d'estimer au mieux le coefficient, nous avons repris la démarche développée dans le package R « carcass » (Korner-Nievergelt et al. 2015), repris également par l'estimateur de Korner-Nievergelt (2011) ou encore « GenEst » (Dalthorp et al. 2018), c'est-à-dire l'utilisation d'un modèle de survie classique pouvant utiliser comparativement quatre lois de distribution possibles parmi : "exponential", "weibull", "lognormal" et "loglogistic". Ces distributions classiques décrivent de manière différente la vitesse à laquelle disparaissent les cadavres au court du temps. Ainsi, cela permet de s'appuyer sur une de ces distributions pour prédire au plus juste la réalité observée lors des tests de prédatation en fonction du type de leurre déployé (mammifères et/ou oiseaux), de la période du test et de l'éolienne. Le modèle le plus parcimonieux est retenu par un processus classique de sélection de modèles par la pondération des AIC\*. Le modèle sélectionné permet d'estimer les paramètres recherchés avec leurs incertitudes (intervalles de confiance à 95%\*\*) et prédites en fonction des facteurs retenus. Ces facteurs, comme la période du test ou l'éolienne, sont retenus dès lors que ce facteur permet de mieux correspondre à la réalité observée des tests, comme une différence significative entre les tests et/ou entre éoliennes.

Pour déterminer la persistance, le modèle prédit une durée moyenne de persistance (et les probabilités de persistance moyennes) en tenant compte des facteurs retenus. Les estimations sont également associées à des incertitudes afin d'évaluer la précision *a posteriori* de ces estimations.

- Évaluation du coefficient moyen d'efficacité de recherche

Comme pour le coefficient de prédatation, l'efficacité de recherche est calculée en se basant sur une approche de modélisation de l'efficacité de détection. Pour cela, nous utilisons un modèle GLM suivant une loi de distribution binomiale (comprise entre 0 et 1) et en fonction de plusieurs facteurs que sont : le type de leurre (taille, couleur par exemple), la période du test, le type d'occupation du sol et la hauteur de végétation. Le modèle le plus parcimonieux est retenu par un processus classique de sélection de modèles par la pondération des AIC. Si le modèle permet de faire un lien direct entre l'efficacité de recherche et la hauteur de végétation, le modèle peut prédire les cas de figures d'occupation du sol qui n'auraient pu être testés. Dans le cas contraire, il est possible de s'appuyer objectivement sur les sorties de modèle pour les situations testées et sur leurs interpolations (situations intermédiaires non testées) pour compléter les types de végétations manquantes (extrapolation en s'appuyant sur le retour de la personne qui a réalisé le suivi et qui peut comparer les situations).

- \* *L'AIC est l'anagramme du critère d'information d'Akaike, (en anglais Akaike information criterion ou AIC). Il s'agit d'un indice calculé pour évaluer la qualité d'un modèle statistique proposée par Hirotugu Akaike en 1973. Cet indice permet de comparer plusieurs modèles sur une base objective et notamment en pénalisant les modèles en fonction du nombre de paramètres (complexification) afin de satisfaire le critère de parcimonie. Les modèles avec une valeur d'AIC la plus faible sont les plus pertinents à sélectionner. L'AIC weight permet de classer les modèles par leur pourcentage d'intérêt relativement aux autres par pondération des valeurs d'AIC.*

- \*\* *L'intervalle de confiance à 95% se caractérise par une borne basse et haute entre lesquelles la valeur réelle (et estimée statistiquement) a 95% de chance de se situer.*

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

Cette approche statistique permet, à partir des tests réalisés, d'estimer l'efficacité de recherche pour l'ensemble des occupations du sol que l'opérateur a rencontré sur l'ensemble de la période de suivi. Les estimations sont également associées à des incertitudes afin d'évaluer la précision *a posteriori* de ces estimations.

- Évaluation des incertitudes

Une fois que les coefficients correcteurs moyens ( $s$ ,  $f$  et  $a$ ) sont calculés, une **probabilité globale de détection** c'est-à-dire  $a \times P(s,f)$  est calculée pour chacune des éoliennes pour l'ensemble du suivi selon les trois méthodes d'estimation que sont : Erickson et al. (2000), Huso (2010) et Korner-Nievergelt et al. (2011). Il est alors possible de calculer la mortalité estimée la plus probable par éolienne. Elle est ensuite pondérée pour chaque éolienne par le coefficient correcteur de surface moyen pour intégrer la part des surfaces non prospectées et non prospectables puis multipliée par le nombre de cadavres découverts lors des suivis.

Afin de déterminer les incertitudes des estimations de mortalités par éolienne, nous avons utilisé le théorème de Bayes tel qu'il est également utilisé dans le package R « carcass » (Korner-Nievergelt et al. 2015) et par Korner-Nievergelt (2011). Connaissant le nombre de cadavres trouvés ainsi que la probabilité globale de les détecter (c'est-à-dire les chances réelles de trouver un cadavre selon les différentes méthodes d'estimation), cette méthode permet de déterminer *a posteriori* l'intervalle de confiance à 95% associé.

Ce théorème a également pour avantage de pouvoir donner un intervalle de confiance à 95% même lorsqu'aucun cadavre n'a pu être détecté. L'intervalle de confiance, dans ce cas, correspond au nombre de cadavres pour lesquels l'opérateur avait 95% de chance de ne pas les détecter du fait des différentes contraintes rencontrées au cours du suivi. Cela permet de donner une limite au nombre de collisions maximum non détectables considérant les contraintes de prospection rencontrées durant le suivi. Ainsi, dans tous les cas, il est possible de déterminer une mortalité maximum par éolienne, même en l'absence de découverte de cadavre.

### Limites générales à la démarche d'estimation de la mortalité :

Pour le moment, les incertitudes des différents coefficients correcteurs ne sont pas utilisées dans les calculs de l'incertitude de l'estimation de la mortalité. Toutefois, il est possible d'évaluer cela en regardant 1) les incertitudes de chaque coefficient correcteur pour vérifier leur qualité et 2) en analysant en même temps les incertitudes de l'estimation de mortalité finale elle-même. En effet, l'intervalle de confiance de l'estimation de mortalité sera d'autant plus large que la probabilité de détection globale moyenne est faible et que le nombre de cadavres découverts est grand.

L'utilisation de modèles, suivie d'une sélection par AIC pour déterminer les coefficients correcteurs (persistance et efficacité de recherche), a pour avantage 1) de générer les incertitudes aux coefficients correcteurs pour évaluer leur précision, 2) de prendre en compte le design expérimental des tests (notamment le nombre de leurre déployés qui limitent la capacité prédictive des modèles) en respectant les contraintes statistiques et aussi 3) de réaliser la meilleure stratification (intégration de tous facteurs influençant la détectabilité) pour décrire au plus juste la réalité du suivi. Toutefois, il n'est pas possible d'intégrer toutes les sources de variation, comme le travail des agriculteurs sur leurs parcelles. En effet, le travail du sol dépend de la météo et il est impossible de savoir à quel moment les agriculteurs vont passer sur leurs champs, entraînant l'enterrement involontaire/aléatoire des cadavres.

Tel que défini par le protocole national, « seules les zones à ciel ouvert et praticables sont prospectées. Le reste de la surface échantillon devra faire l'objet d'une correction proportionnelle par coefficient surfacique ». Les zones non prospectables sont définies comme 1) des secteurs de boisements ou alors 2) comme des végétations ne permettant pas de pénétrer dans la parcelle ou enfin 3) comme une parcelle où la détectabilité est proche de zéro. Par notre expérience, une végétation au-delà de 30 cm de hauteur limite très fortement la capacité de

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

détection des cadavres. En fonction du type de couvert, le technicien à la possibilité de continuer à prospecter s'il estime que sa capacité de détection est encore significative ou de considérer la parcelle comme non prospectable. Les surfaces non prospectées sont alors prises en compte par le coefficient correcteur de surface

Le coefficient correcteur de surface par simple proportion demandé par le protocole national suppose comme hypothèse que la densité des cadavres est identique entre les zones prospectées et celles non prospectées. Par ailleurs, il est assez fréquent que le faible nombre de cadavres ne permette pas de quantifier la relation entre la densité de cadavres et la distance au sol de l'éolienne. Toutefois, ce sont majoritairement les zones éloignées des masts qui ont le plus de chance de ne pas pouvoir être prospectées du fait de la présence récurrente d'une plateforme et chemin d'accès prospectable au pied des éoliennes. Ainsi, considérer à tort que la densité est homogène, peu importe la distance à éolienne, est donc en général conservateur (ne réduit pas l'estimation) au contraire d'une relation distance dépendance (Arnett et al. 2005). Toutefois, ces zones non prospectables participent à minimiser la mortalité observée mais aussi à surestimer la mortalité estimée par l'effet direct du coefficient correcteur de surface sur la probabilité de détection globale.

Suivant les formules, la probabilité globale de détection nécessite que la durée entre chaque passage reste identique tout au long du suivi ce qui est parfois difficile à mettre en œuvre, même si tout est fait pour respecter ce principe. Par ailleurs, la formule de Huso suppose qu'un cadavre manqué au premier passage après son apparition ne sera jamais découvert.

Tous les estimateurs utilisés ici se basent sur l'hypothèse que la mortalité est constante tout au long du suivi. Ce qui est vraisemblablement faux du fait des différentes phases du cycle biologique que peut couvrir un suivi. Des variables supplémentaires (comme l'activité acoustique pour les chiroptères), pourraient permettre de pondérer l'estimation de la mortalité en fonction de l'activité au cours du temps.

Le protocole national précise « Qu'il s'agisse du test d'efficacité ou du test de persistance des cadavres, il s'agira de s'assurer que les résultats permettent bien une utilisation statistique robuste dans l'estimation de la mortalité. ». Pour le test de persistance, le nombre de cadavres déployés va directement influencer la puissance statistique permettant d'estimer la vitesse de persistance moyenne, et d'autant plus si la vitesse de disparition est forte. En fonction de la pression de prédatation (difficilement estimable au début du suivi), un nombre trop faible de cadavre (défini par défaut au début du suivi) peut impliquer l'incapacité d'estimer de manière robuste le coefficient de prédatation pour chaque éolienne, voir même à l'échelle du parc. Ainsi, suivant les situations, cela peut remettre en cause cette demande spécifique du protocole national. Cela peut aller au point d'être dans l'incapacité à répondre au protocole national dans son ensemble si l'estimation de mortalité devient impossible. D'autre part, le nombre important de rats déposés (concentration), ainsi que leur taille et leur couleur peuvent générer des phénomènes d'attraction/saturation sur les prédateurs. Dans la mesure du possible, il convient d'éviter les souris/rats blancs mais cela est rarement possible en raison du manque de production de rongeurs gris. Ainsi, les rongeurs doivent correspondre le plus possible en taille à des chiroptères, en l'absence d'alternative satisfaisante (répétabilité des tests notamment).

Le protocole national prévoit également une « Analyse croisée avec les données et résultats de suivis d'activité en continu des chauves-souris (corrélations entre pics d'activité et mortalités, entre l'évolution du cortège d'espèces inventorié par suivi en continu en nacelle et la chronologie de la mortalité par espèce...) ». Comme les protocoles acoustique et mortalité sont réalisés de manière indépendante, notamment pour les éoliennes suivies, la cohérence des résultats reste très aléatoire. A minima, la comparaison sera descriptive et tentera de mettre en lumière les possibles liens entre ces deux sources de données.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 2.2.2 Méthode de recherche des cadavres

#### *Méthode par transects circulaires*

Le protocole que nous avons mis en œuvre est adapté d'après Arnett et al. (2009) et Baerwald et al. (2009). **Il s'agit d'une méthode de suivi se basant sur des transects circulaires.** Ce type de transects cible la zone théorique principale de présence de cadavres liés à des phénomènes de collision, sous la principale zone de survol par les pâles et ses abords.

Ce protocole présente plusieurs avantages :

- Il optimise la surface échantillonnée (suivi traditionnel prospectant une surface carrée, sans justification statistique) ;
- Il ne nécessite pas la pose de repères sur le terrain ;
- Il permet de conserver toute la concentration de l'observateur sur la recherche de cadavres sans perte d'attention sur sa position par rapport aux repères/transects.

Les prospections s'effectuent à pied sous les éoliennes et dans un rayon de 50 m autour de chaque éolienne : 11 cercles éloignés de 5 m les uns des autres, en partant du plus éloigné du mât de l'éolienne (50 m), jusqu'au pied de l'éolienne sont alors effectués.

Pour cela, nous avons utilisé un jeu de cordes et mousquetons. La première corde, tendue le plus haut possible autour du mat de l'éolienne, sert de fixation mobile à une seconde corde longue de 50 m et disposant de repères placés tous les 5 m permettant ainsi de tourner autour de l'éolienne tout en gardant un écartement constant entre chaque cercle. Ainsi, 11 cercles de diamètre variable ont été parcourus ainsi qu'un tour au pied de l'éolienne.

En cas d'impossibilité ou de difficultés (haies, talus, clôtures) à appliquer le protocole de recherche par transect circulaires avec cordes, des transects linéaires, également espacés d'environ 5 mètres sont réalisés

**Pour chaque éolienne, nous prévoyons alors de parcourir 1 987 m de transect, à une vitesse de 2 km/h environ.**

---

Dans le cadre de ce suivi, la configuration de l'occupation du sol (type de couvert végétal, haies, talus, clôtures, fourrés...) autour des éoliennes n'a pas permis de réaliser systématiquement les transects circulaires à l'aide d'une corde, en particulier autour de E1, E3, et E4. Les recherches ont alors été réalisées sous forme de transects linéaires espacés de 5 mètres, sur les zones prospectables, dans la limite du diamètre de 50 m autour de chacune des éoliennes.

---

#### **Données collectées**

Le technicien utilise un outil SIG sur sa tablette android de terrain pour renseigner à chaque passage l'occupation du sol et les modalités de prospection à la parcelle. Chaque découverte de cadavre est enregistrée par le biais d'un formulaire standard renseigné dans une couche shapefile géolocalisée et tel que défini par le protocole national (2018) grâce à l'outil SIG embarqué sur tablette. Les photos des cadavres produites par tablette sont associées à chaque enregistrement ainsi généré de la couche shapefile sous SIG. En complément de ce rapport, cette couche pourra être transmise pour avoir tous les éléments de localisation et de conditions de découverte de chaque cadavre.

#### **Détermination des cadavres**

Les cadavres seront identifiés sur place par des experts ornithologues et chiroptérologues possédant une excellente connaissance de la faune locale. En cas de difficultés d'identification *in situ* (critères non visibles, traumatisme important, état de décomposition), les cadavres seront

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

déterminés en laboratoire (loupes binoculaires), après avoir été conservés congelés. Une autorisation de transport préalable au suivi a été réalisée auprès des services compétents.

Les ouvrages suivants sont utilisés, si nécessaire, pour appuyer les déterminations complexes :

- Dietz, C. et von Helversen, O. (2004). Illustrated identification key to the bats of Europe. Electronique publication, version 1.0 released 15.12.2004, Tuebingen & Erlangen (Germany). 72 p.
- Arthur, L. et Lemaire, M. (2009). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse, Collection Parthénope. Biotope éditions, Publications scientifiques du muséum. 544 p.
- Marchesi, P., Blant, M. et Capt, S. (2008). Mammifères de Suisse - Clés de détermination. Neuchâtel, Fauna Helvetica, CSCF & SSBF. 289 p.
- Svensson L. (2014). Le guide ornitho, le guide le plus complet des oiseaux d'Europe, d'Afrique du nord et du Moyen-Orient. Delachaux et Niestlé. 448 p.
- Brown R. et al. (2014). Traces et indices d'oiseaux ; pistes, nids, plumes, crânes... Delachaux et Niestlé. 333 p.
- FRAIGNEAU C. (2007). Reconnaître facilement les plumes – collecter, identifier, interpréter, conserver. Delachaux et Niestlé. 192 p.
- FRAIGNEAU C. (2017). Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale. Delachaux et Niestlé. 400 p.

---

Pour limiter les risques de modification comportementale des prédateurs (charognage) et éviter les doubles comptages, tous les cadavres découverts seront replacés simplement en dehors de l'aire de prospection.

---

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 2.3 Conditions de réalisation du suivi de mortalité

#### 2.3.1 Prospections de terrain

Les dates de passages et les conditions météorologiques sont détaillées dans le Tableau 1.

Ainsi, 24 passages de recherche de cadavres ont été réalisés, à raison d'un par semaine (vendredi), du 21 mai 2021 (semaine 20) au 28 octobre 2021 (semaine 43).

Deux passages « tests de prédation », ainsi que deux passages « tests efficacité de recherche » ont aussi été réalisés.

Tableau 1 : Dates de prospections de terrain et informations météorologiques

Numéro de passage	Date	Conditions météorologiques
<b>Suivi de mortalité (24 passages)</b>		
1	21/05/2021	Nébulosité: 97%. Température: 12.8 °C. Pluie: 0.09 mm/h. Vitesse du vent: 31.9 km/h. Direction du vent: O
2	28/05/2021	Nébulosité: 96%. Température: 18.4 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 7.2 km/h. Direction du vent: E
3	04/06/2021	Nébulosité: 94%. Température: 14.9 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 8.5 km/h. Direction du vent: N
4	11/06/2021	Nébulosité: 97%. Température: 19 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 10.2 km/h. Direction du vent: N
5	18/06/2021	Nébulosité: 97%. Température: 17.7 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 13.2 km/h. Direction du vent: N
6	25/06/2021	Nébulosité: 100%. Température: 15.1 °C. Pluie: 0.12 mm/h. Vitesse du vent: 11.6 km/h. Direction du vent: NO
7	02/07/2021	Nébulosité: 97%. Température: 17.3 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 4.2 km/h. Direction du vent: NE
8	09/07/2021	Nébulosité: 100%. Température: 15.7 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 6 km/h. Direction du vent: S
9	16/07/2021	Température: 21.7 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 14.6 km/h. Direction du vent: NE
10	23/07/2021	Nébulosité: 96%. Température: 20.5 °C. Pluie: 0.15 mm/h. Vitesse du vent: 14.5 km/h. Direction du vent: E
11	30/07/2021	Nébulosité: 96%. Température: 17 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 21.7 km/h. Direction du vent: O
12	05/08/2021	Nébulosité: 99%. Température: 17 °C. Pluie: 0.31 mm/h. Vitesse du vent: 22.9 km/h. Direction du vent: S
13	12/08/2021	Nébulosité: 88%. Température: 20 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 7.3 km/h. Direction du vent: N
14	19/08/2021	Nébulosité: 99%. Température: 17.1 °C. Pluie: 0.1 mm/h. Vitesse du vent: 7.8 km/h. Direction du vent: S
15	27/08/2021	Nébulosité: 88%. Température: 18.5 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 13.8 km/h. Direction du vent: NE
16	02/09/2021	Température: 20.8 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 19.7 km/h. Direction du vent: NE

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

Numéro de passage	Date	Conditions météorologiques
17	09/09/2021	Nébulosité: 99%. Température: 18.9 °C. Pluie: 0.42 mm/h. Vitesse du vent: 12.2 km/h. Direction du vent: SO
18	17/09/2021	Nébulosité: 94%. Température: 16.1 °C. Pluie: 0.76 mm/h. Vitesse du vent: 7.4 km/h. Direction du vent: E
19	24/09/2021	Nébulosité: 96%. Température: 16.8 °C. Pluie: 0.02 mm/h. Vitesse du vent: 6 km/h. Direction du vent: S
20	01/10/2021	Nébulosité: 95%. Température: 16.4 °C. Pluie: 0.45 mm/h. Vitesse du vent: 13.1 km/h. Direction du vent: O
21	08/10/2021	Nébulosité: 92%. Température: 17.9 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 8.2 km/h. Direction du vent: E
22	15/10/2021	Nébulosité: 90%. Température: 14.1 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 6.5 km/h. Direction du vent: NE
23	22/10/2021	Température: 12.1 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 8.5 km/h. Direction du vent: N
24	28/10/2021	Nébulosité: 100%. Température: 15.7 °C. Pluie: 0 mm/h. Vitesse du vent: 19.6 km/h. Direction du vent: S
<b>Tests de prédation / persistance (2 tests)</b>		
Test 1	28/06/2021	Dépôt de 60 rats (puis suivi à j+1, j+2, j+4, j+7, j+10, j+14)
Test 2	20/09/2021	Dépôt de 60 rats (puis suivi à j+1, j+2, j+4, j+7, j+10, j+14)
<b>Tests d'efficacité de recherche (2 tests)</b>		
Test 1	01/10/2021	Dépôt de 84 leurres
Test 2	28/10/2021	Dépôt de 83 leurres

### 2.3.2 Occupation du sol et zones prospectées

Sur l'ensemble du suivi, les zones prospectées ont subi une forte évolution de l'occupation du sol (cf. figure 8). Le couvert végétal dans les zones de recherche influence directement les capacités de l'observateur à détecter les cadavres. Les milieux herbacés hauts ( $> 30/40$  cm) et denses sont incompatibles avec les suivis. Ainsi, dès lors que la végétation correspondait à ce type d'occupation du sol, l'efficacité de recherche était considérée comme nulle et les parcelles non prospectées.

Dans le cadre de cette étude plusieurs contraintes n'ont pas permis de prospector systématiquement la totalité des surfaces autour des éoliennes : la hauteur de végétation (particulièrement sur E1, E3, E4) ainsi que la présence de bétail (notamment autour de E2).

L'ensemble de ces évènements a été intégré dans les modalités de calcul par 1) le coefficient correcteur de surface et 2) le coefficient d'efficacité de recherche.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

Tableau 2 : Bilan de l'occupation du sol pour les sept éoliennes sur l'ensemble de la période de suivi. Représentation en pourcentage des surfaces cumulées des différentes occupations du sol observées par éolienne et pour le parc sur l'ensemble de la période de suivi. Les zones en gris foncées représentent les occupations du sol non prospectables tout ou partie du suivi (efficacité de recherche nulle), et en blanc les occupations du sol qui ont été prospectables la majeure partie de la période de suivi (non prospectable que ponctuellement).

Milieux	E01	E02	E03	E04	Total Parc
Blé	-	-	46,6 %	-	11,7 %
Chaume blé	-	-	16,6 %	-	2,9 %
Déchaumé blé	-	-	16,6 %	-	2,9 %
Fourrés	-	6,5 %	5 %	-	1,8 %
Haie	-	-	3 %	12,9 %	4 %
Maïs	69,2 %	-	-	68,8 %	34,7 %
Plateforme	4,1 %	12,2 %	5,3 %	6,8 %	7,1 %
Prairie mésophile de fauche	28,8 %	4,5 %	6,8 %	11,4 %	13 %
Prairie mésophile pâturée	-	75,4 %	-	-	19 %
Talus	-	1,4 %	-	-	0,4 %
<b>Total général</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### Occupation du sol des turbines

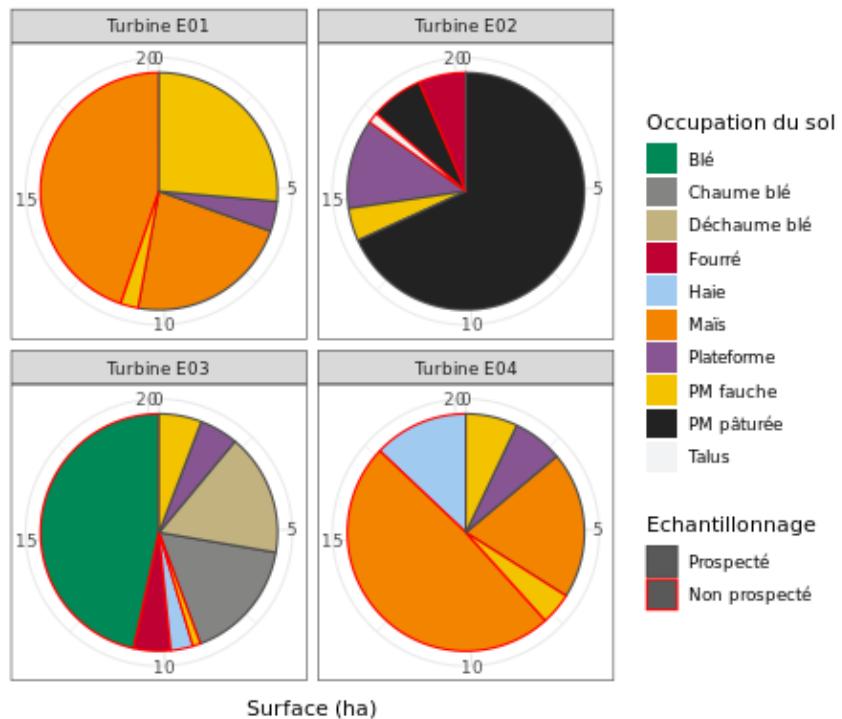


Figure 8 : Occupation du sol et surfaces prospectées sur l'ensemble du suivi

### Occupation du sol des turbines selon la date

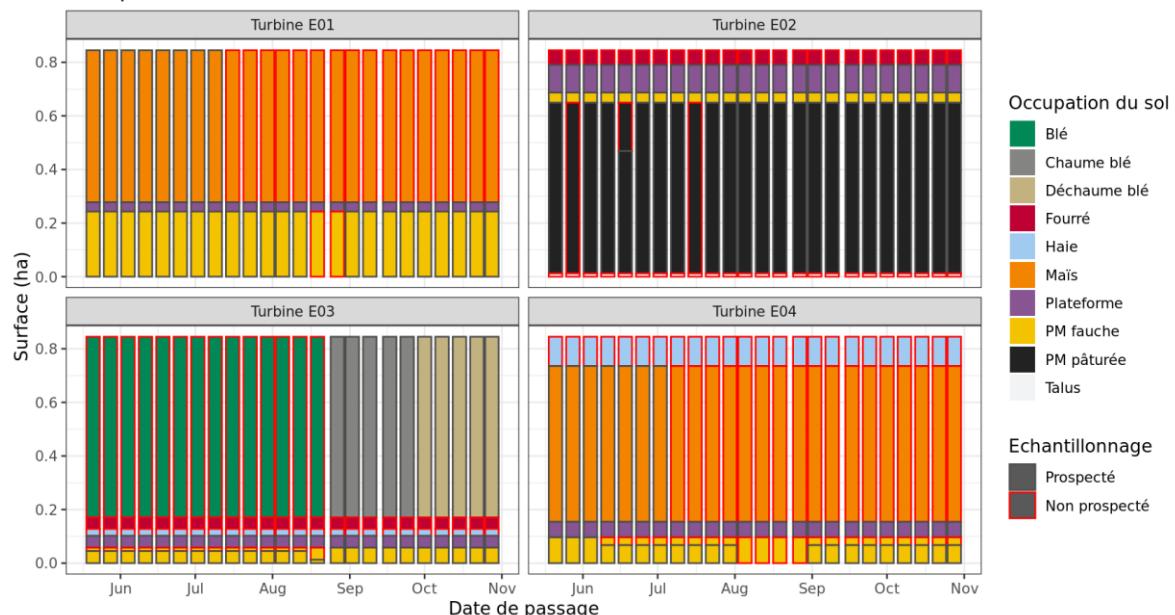


Figure 9 : Évolution de l'occupation du sol et surfaces prospectées sur l'ensemble du suivi par passage par turbine

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

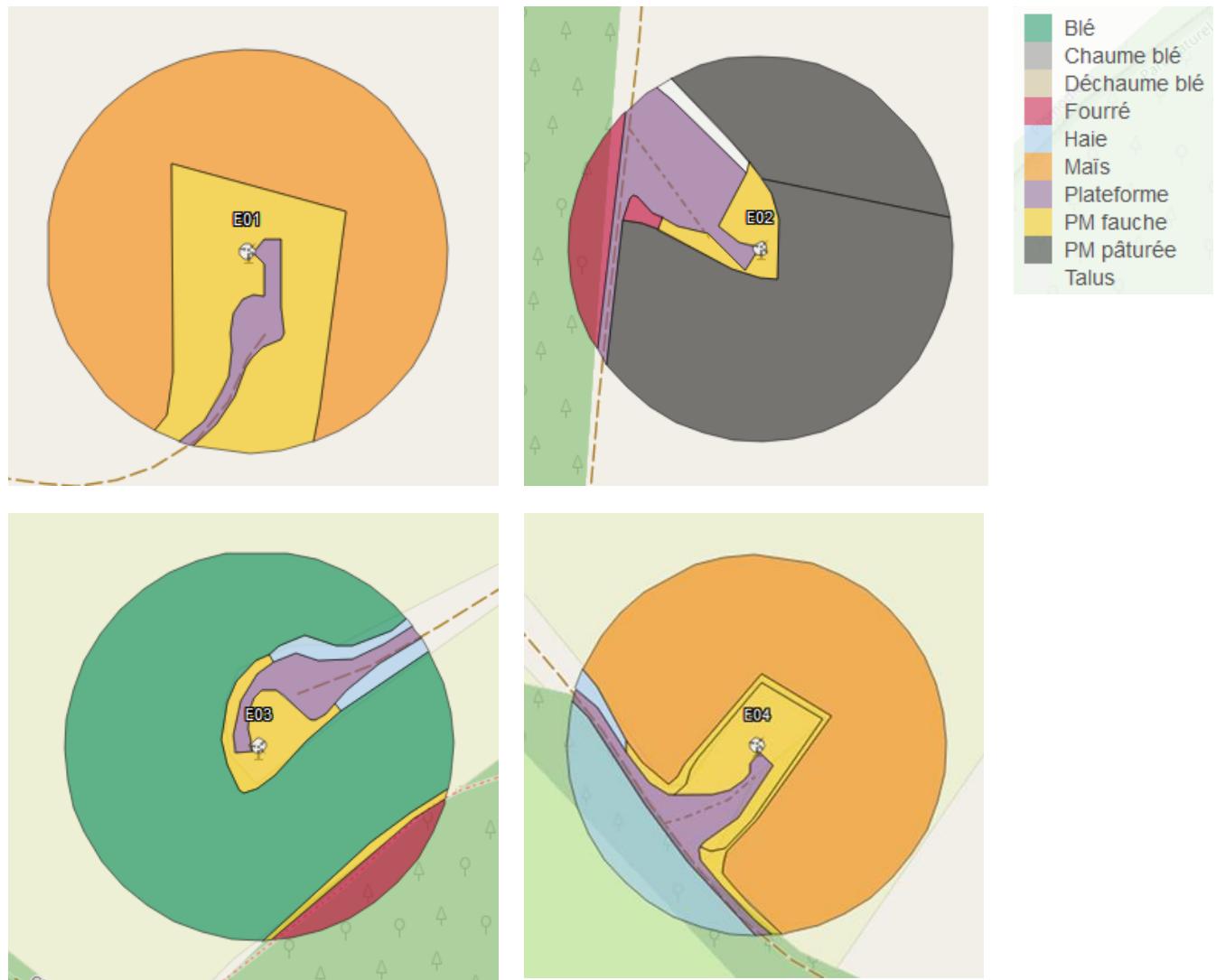


Figure 10 : Occupation du sol pour les éoliennes lors du premier passage le 21 mai 2021 (passage 1)

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 2.3.3 Évolution du taux de surface prospectée

Du fait principalement de l'évolution de la végétation, l'ensemble des surfaces n'ont pas pu être prospectées tout au long du suivi. Ce taux de surface prospectée est variable dans le temps et différent pour chaque éolienne suivie.

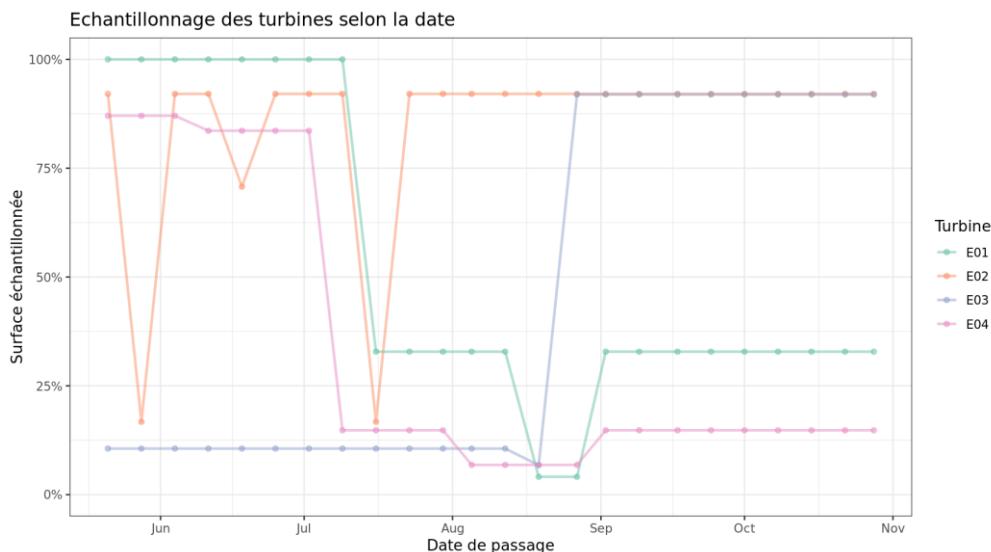


Figure 11 : Bilan des surfaces prospectées par éolienne sur l'ensemble du suivi. A gauche évolution du pourcentage de surface prospectée par passage.

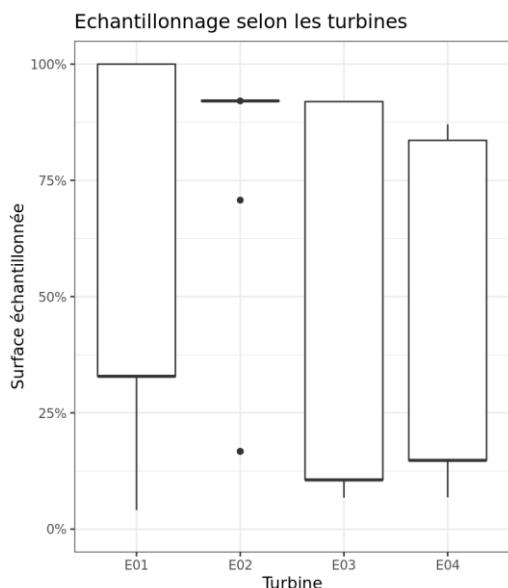


Figure 12 : Bilan des surfaces prospectées par éolienne sur l'ensemble du suivi. Synthèse (boîte à moustaches) du pourcentage de surface prospectée par passage par éolienne sur l'ensemble du suivi (de bas en haut : minimum, 1er quartile, médiane en gras, 3ème quartile, maximum).

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 2.3.4 Réalisation des tests de prédatation

Les deux tests de prédatation ont été réalisés sur 14 jours sous l'ensemble des éoliennes du parc. Les tests de prédatation ont été réalisé par l'opérateur en charge du suivi de mortalité. La pose (J0), a été réalisé en début de semaine en dehors du cadre habituel d'un passage hebdomadaire « suivi de mortalité ». 60 cadavres de jeunes rats soit 15 par éolienne (fraîchement décongelés, catégories « Petit rats 25 – 50g ») ont été disposés de manière aléatoire (localisations générées une seulement fois par SIG puis réutilisées pour chaque test) sur l'ensemble des zones de prospections (tampon de 50 m autour des éoliennes). Les visites de contrôle ont été faites à différents jours (J+1, J+2, J+4, J+7, J+10, J+14), tôt le matin, pendant deux semaines. L'opérateur avait la charge de noter la présence de tous les cadavres avec identification et localisation des cadavres disparus à chaque passage dédié.

### 2.3.5 Réalisation des tests d'efficacité de l'observateur

Pour les secteurs prospectés, ce coefficient varie en fonction du couvert végétal (densité, hauteur) et, donc, de la période de l'année. Celui-ci a été évalué en plaçant des leurres à l'insu de l'observateur. Au minimum, 15 leurres par grand type d'habitat observé à chaque test ont été disposés aléatoirement (soit environ 83/84 leurres disposés par test,

). La pose est réalisée tôt le matin avant le lancement du suivi. Des leurres non organiques ont été déployés (pas de risques de disparition par les prédateurs). La position de chaqueurre est enregistrée au GPS. Le test se déroule pendant la réalisation du suivi de mortalité par l'observateur selon le protocole habituel des transects circulaires. L'observateur a noté et localisé les leurres retrouvés et l'opérateur en charge du test, contrôle à la fin du suivi de mortalité, le nombre de leurres découverts par catégorie d'occupation du sol testée.



Figure 13 : Type de leurres utilisés dans le cadre des tests d'efficacité de recherche © Biotope

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

Tableau 3 : Nombre total de leurres disposés par éolienne en fonction de l'occupation du sol sur l'ensemble du suivi (poses cumulées des 2 tests).

	E01	E02	E03	E04	Total
<b>Occupations du sol</b>					
Blé	-	-	-	-	-
Chaume blé	-	-	-	-	-
Déchaumé blé	-	-	30	-	
Fourrés	-	-	-	-	-
Haie	-	-	-	-	-
Maïs	-	-	-	-	-
Plateforme	4	30	10	3	47
Prairie mésophile de fauche	15	8	28	9	60
Prairie mésophile pâturée	-	30	-	-	30
Talus	-	-	-	-	-
<b>Hauteurs de végétation</b>					
5	4	0	10	3	17
10	0	30	30	0	60
15	0	8	13	0	21
20	15	29	15	4	63
30	0	1	0	5	6
<b>Dates de réalisation des tests</b>					
01/10/2021	6	31	40	7	84
28/10/2021	13	37	28	5	83
Total	19	68	68	12	167

### 2.3.6 Limites propres à la mise en œuvre du suivi

La capacité de détection des cadavres est variable entre observateurs. C'est pour cette raison que la majeure partie du suivi a été réalisée par la même personne (qui a été testée) et que son remplacement par une tierce personne n'a été que ponctuel durant le suivi (3/24 passages réalisés).

La capacité de détection est variable en fonction de la hauteur de végétation et du type d'occupation du sol. Dans le but d'obtenir des données exploitables, la mise en place des tests s'est faite de manière à pouvoir bénéficier d'un maximum de cas de figure rencontrés par l'opérateur en charge du suivi. Au total, avec les deux tests réalisés, ce sont 4 catégories d'occupation du sol qui ont été testées ainsi que 5 hauteurs différentes de végétation.

Les transects circulaires à la corde n'ont pas été réalisés systématiquement sur certaines éoliennes au regard de la difficulté à mettre en œuvre ce protocole pour certaines d'entre elles : présence de haies, bétail, clôtures... Dans ce cas-là des transects linéaires non circulaires, espacés d'environ 5 mètres ont été réalisées.

## 1 Contexte de l'étude et aspects méthodologiques

### 2.4 Équipe de travail

La constitution d'une équipe pluridisciplinaire a été nécessaire dans le cadre de cette étude (Tableau 4).

Tableau 4 : Équipe de travail

Domaine d'intervention	Agents de Biotope
<b>Contrôle qualité</b>	Michaël GUILLON
<b>Chef de projet</b> Responsable du projet	Yvan BOUROULLEC
<b>Chef de projet</b> Rédaction de l'étude	Yvan BOUROULLEC / Michaël GUILLON
<b>Technicien suivi de mortalité</b> Récolte des données mortalité avifaune et chiroptères pour 21 passages sur 24 Mise en place des tests de prédatation / persistance	Yvan BOUROULLEC
<b>Technicien suivi de mortalité suppléant</b> Mise en place des tests d'efficacité Récolte des données mortalité avifaune et chiroptères ponctuels (3 passages / 24)	Maëlann COUTURIER

2

## Synthèse et analyse des résultats



## 2 Synthèse et analyse des résultat

# 1 Résultats du suivi de mortalité

## 1.1 Résultats bruts

### 1.1.1 Données générales concernant les cadavres découverts

Au total, 3 cadavres ont été trouvés au sein du parc éolien de Cast, dont 1 oiseau (1 espèce) et 2 chauves-souris (1 espèce) entre le 21 mai 2021 et le 28 octobre 2021.

L'espèce d'oiseau retrouvée est le Bruant jaune (1 individu), découvert le 1 octobre 2021.

Une seule espèce de chauve-souris a été retrouvée, il s'agit de la Pipistrelle commune avec 2 individus (dont une avec détermination incertaine car décomposition avancée, mais les mesures de l'avant-bras, D3, D5 semblent correspondre aux intervalles de la Pipistrelle commune), retrouvés le 10 et le 17 septembre 2021.

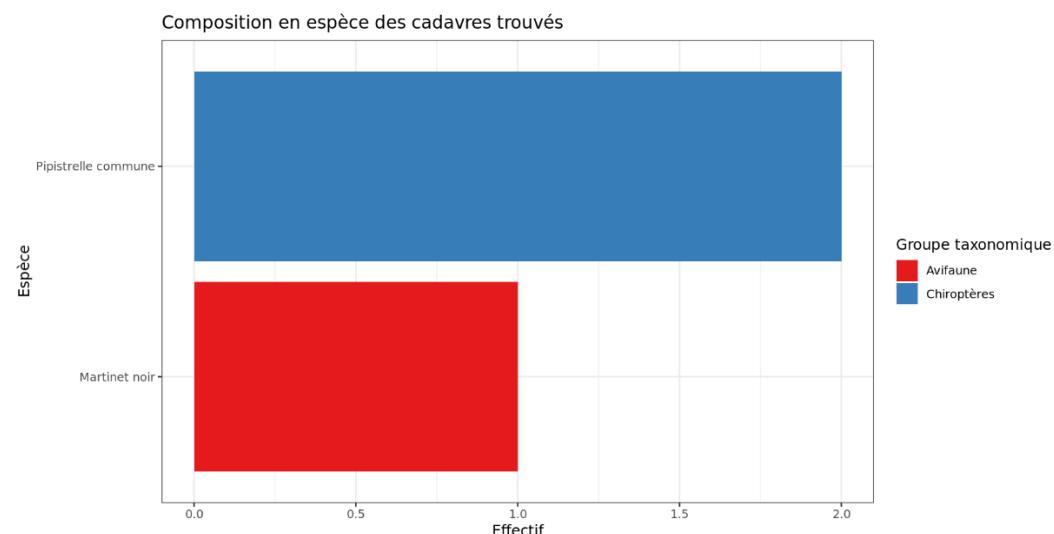


Figure 14 Mortalité par espèce ou groupe d'espèces observée sur le parc éolien de Cast 2

- Cf. Annexe 1 : Tableau récapitulatif des observations de cadavres.

## 2 Synthèse et analyse des résultat



Figure 15 : Présentation de quelques photographies des cadavres découverts de Pipistrelle commune (E1, E2) et Bruant jaune (E2) © Biotope

Au niveau phénologique, on remarque que :

- Les deux cadavres de Pipistrelle et le Bruant jaune ont également été retrouvés sur la période de migration postnuptiale en septembre / octobre. La période automnale correspond à la période de migration vers les zones d'hivernage pour les oiseaux et les chauves-souris. Les mouvements de populations sont donc importants

Deux des trois individus découverts sont morts par collision avec les pâles de manière certaine. Une des deux chauves-souris retrouvées était dans un état de décomposition trop avancé pour permettre d'identifier la cause de la mortalité (barotraumatisme ou collision)

Plusieurs plumées de Pigeon ramier ont été également retrouvées, mais cela ne peut être imputé de manière certaine à l'activité des éoliennes donc ne sont pas prises en compte dans les résultats.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

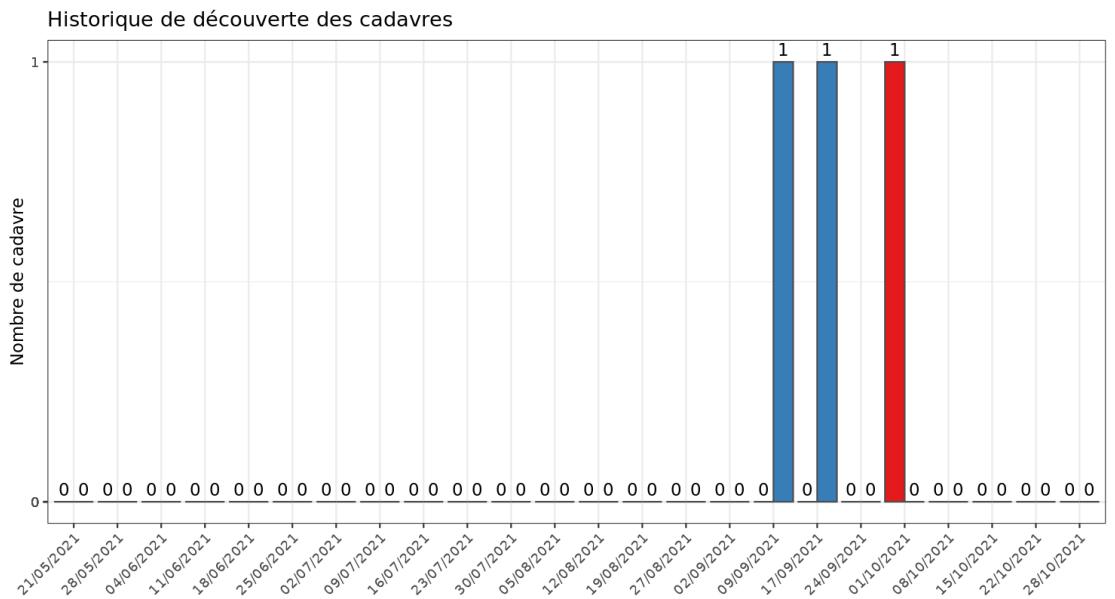


Figure 16 : Phénologie et nombre de cadavres trouvés par passage sur le parc éolien de Cast 2

### 1.1.2 Suivi par éolienne

L'analyse par éolienne montre que les cadavres ont été retrouvés sous deux (E02, E03) des quatre éoliennes avec deux découvertes pour E2, et une découverte pour E3.

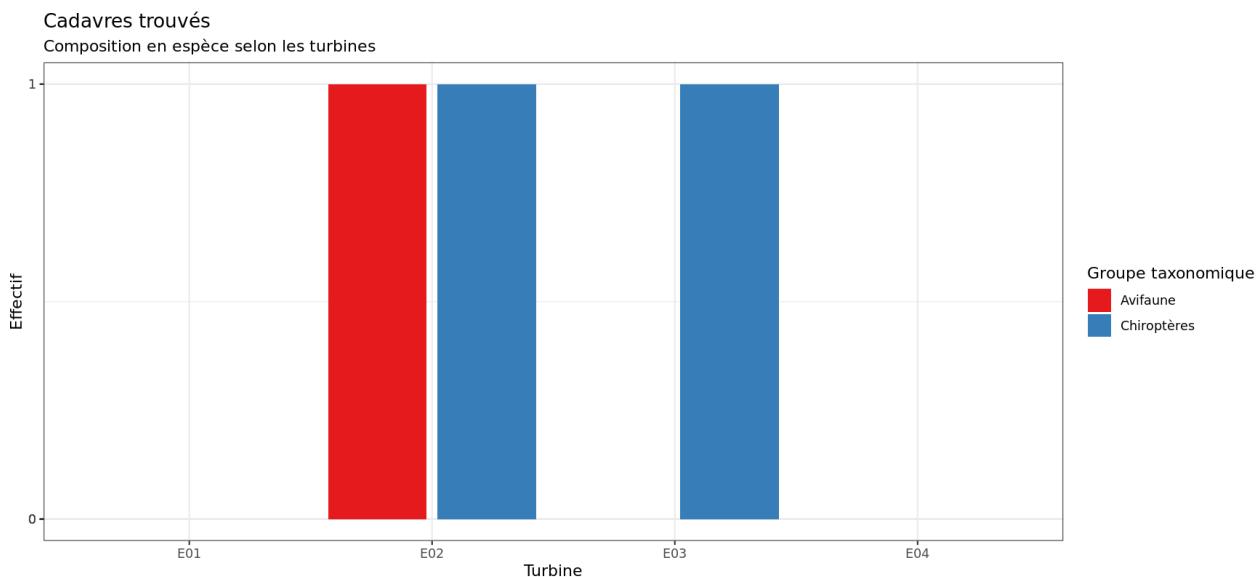


Figure 17 : Nombre de cadavres découverts par éolienne

Deux des quatre éoliennes présentent des cas de mortalité, observés aussi bien pour l'avifaune que pour les chiroptères. E02 présente une mortalité d'oiseau et une de chiroptères, E03 présente une mortalité de chauves-souris.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

Les mortalités brutes recensées ne varient pas entre les éoliennes, avec 1 cadavre par éolienne et par groupe faunistique. La majorité des cadavres appartient au groupe des chiroptères (2 individus). 1 individu concerne les oiseaux.

Sur la base des résultats bruts, les éoliennes E02, E03 ont les effectifs de mortalité les plus importants face aux autres machines.

### 1.1.3 Répartition spatiale des observations

Un individu de Pipistrelle commune a été retrouvée à environ 7 mètres.

Un autre individu de Pipistrelle commune a été retrouvé à environ 49 mètres.

Un individu de Bruant jaune a été retrouvé à environ 45 mètres.

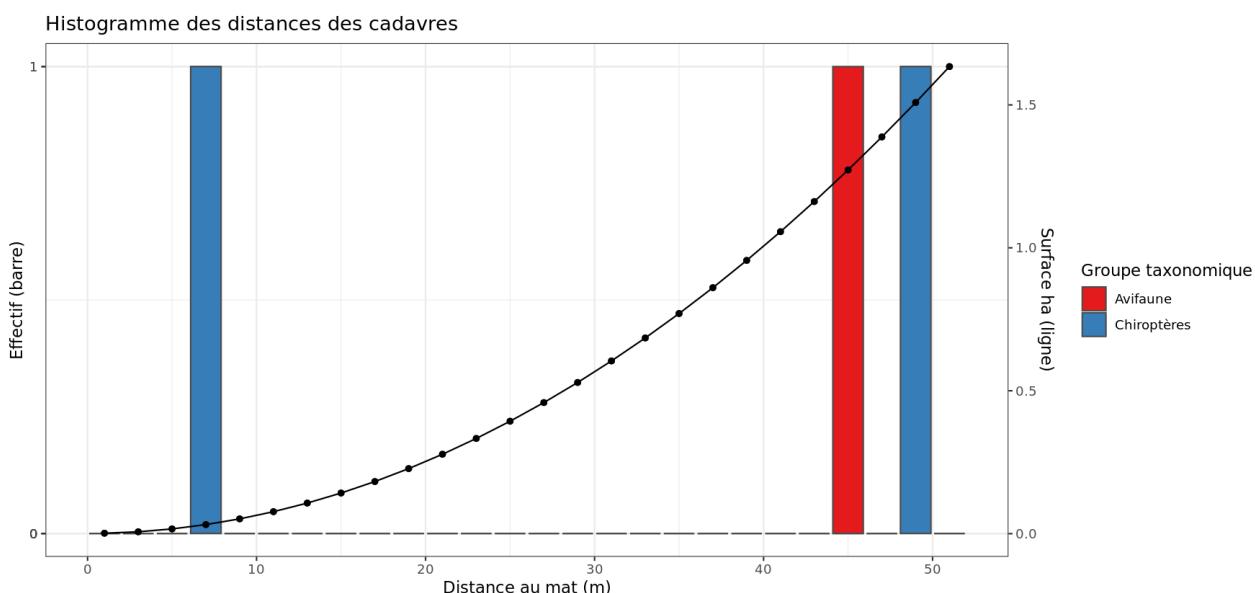


Figure 18 : Répartition spatiale (distance à l'éolienne) des cadavres retrouvés au sein du parc de Cast 2.  
La courbe représente l'évolution de la surface de l'aire d'étude prospectée en fonction de la distance au pied de l'éolienne.

Les découvertes ont été plus réalisées dans un trois orientations différentes : axe Est / nord-Est, axe ouest / nord-ouest et sud / sud-ouest.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

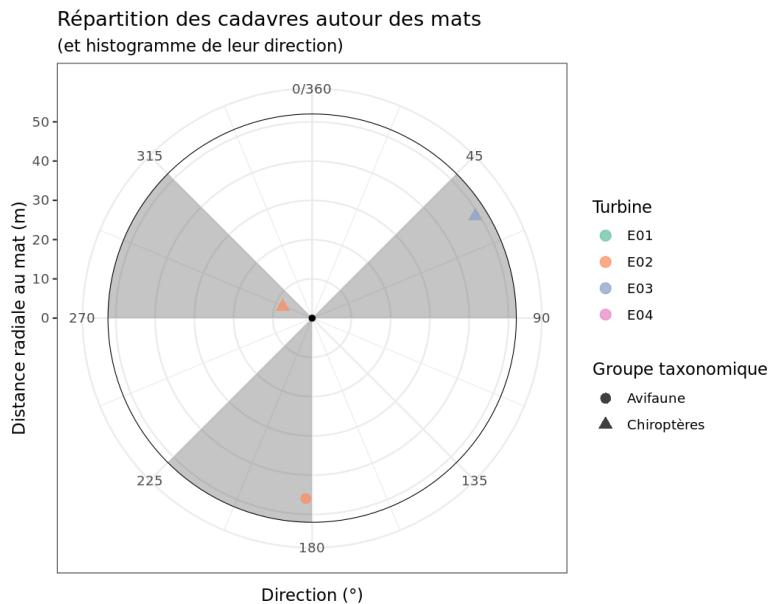


Figure 19 : Positionnement des observations par rapport au positionnement des éoliennes. En grisé, le cumul des observations en histogramme radial en fonction de l'orientation

### 1.1.4 Description des oiseaux retrouvés

1 individu de Bruant jaune a été retrouvé et identifié sous les éoliennes du parc de Cast.

À titre de comparaison, la synthèse de données mise à disposition par Tobias Dürr (mise à jour le 07 mai 2021) sur la mortalité de l'avifaune liée à l'éolien en Europe permet de faire un bilan des espèces les plus sensibles au phénomène de collision/barotraumatisme à l'échelle européenne.

On constate que le Bruant jaune est une espèce peu impactée par l'éolien en Europe et en France. En effet, sur les 288 espèces comptabilisées dans les suivis de mortalité, il s'agit à priori de la neuvième mention de l'espèce dans un suivi de mortalité en France (8 cas en mai 2021 selon DURR). En Europe, 50 données de mortalité de Bruant jaune ont été mentionnées, en République tchèque, en Allemagne, et en Pologne.

---

Ces différentes données se basent sur des observations transmises. Elles permettent de comparer la mortalité observée sur le parc de Cast 2 par rapport à celle observée aux échelles nationale et européenne. Cependant, si elles donnent une idée générale concernant les espèces touchées et leurs proportions, elles ne sont pas exhaustives. Les données françaises proviennent, en effet, d'une faible proportion de parcs à différentes dates. C'est néanmoins la synthèse la plus précise qui existe à ce jour.

---

## 2 Synthèse et analyse des résultat

Tableau 5 : Tableau de synthèse « empirique » de Dürr (mis à jour le 7 mai 2021) des oiseaux touchés par les parcs éoliens selon les pays de l'Europe.

Espèce/Pays	A	BE	CH	CZ	D	DK	E	FR	Cast 2	GR	NL	PL	S	Total (hors Cast 2)
Bruant jaune <i>Emberiza citrinella</i>	-	-	-	1	33	-	6	8	1	-	-	2	-	50

Légende : A = Autriche, BE = Belgique, CH = Suisse, CR = Croatie, CZ = République tchèque, D = Allemagne, E = Espagne, EST = Estonie, F = Finlande, FR = France, GR = Grèce, IT = Italie, LV = Lettonie, NL = Hollande, N = Norvège, P = Portugal, PL = Pologne, RO = Roumanie, S = Suède, UK = Royaume-Uni

### Évaluation des enjeux

Le Tableau 6 présente les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sur le parc de Cast 2 à l'échelle régionale, française et européenne.

Le Bruant jaune n'est pas inscrit à l'Annexe I de la Directive Oiseaux.

Le Bruant jaune a un statut « quasi menacé » sur la liste rouge des oiseaux nicheurs au niveau national. Au niveau régional, elles sont dans la catégorie « préoccupation mineure ». Cette espèce présente un enjeu patrimonial modéré.

Tableau 6 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces d'oiseaux touchées par le parc éolien de Cast 2

Espèces	Protection nationale	Directive Oiseaux	Liste rouge Europe (2015)	Liste rouge France nicheur (2016)	Liste Rouge non nicheur -de passage (2011)	Liste rouge nicheur Bretagne (2015)	Liste rouge migrateur Bretagne (2015)	Espèces déterminantes Bretagne : Espèces nicheuses
Bruant jaune	Article 3	/	LC	VU	NA	NT	NA	/

Légende :

#### Protection nationale

Arrêté interministériel du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection : Article 3 : protection stricte des individus et de leurs habitats de reproduction et de repos.

#### Directive Oiseaux

Il s'agit de la directive européenne n°79/409 du 6 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages. Elle vise à assurer une protection de toutes les espèces d'oiseaux vivant naturellement à l'état sauvage sur le territoire européen.

Annexe I : espèces faisant l'objet de mesures spéciales de conservation en particulier en ce qui concerne leur habitat (Zone de Protection Spéciale).

Annexe II : espèces pouvant être chassées :

Partie 1 (A.II.1) : espèces pouvant être chassées dans la zone géographique maritime et terrestre d'application de la présente directive ; Partie 2 (A.II.2) : espèces pouvant être chassées seulement dans les États membres pour lesquels elles sont mentionnées.

Annexe III : espèces pouvant être commercialisées :

Partie 1 (A.III.1) : espèces pour lesquelles la vente, le transport pour la vente, la détention pour la vente ainsi que la mise en vente ne sont pas interdits, pour autant que les oiseaux aient été licitement tués ou autrement licitement acquis ;

Partie 2 (A.III.2) : espèces pour lesquelles les États membres peuvent autoriser sur le territoire la vente, le transport pour la vente, la détention pour la vente ainsi que la mise en vente et à cet effet prévoir des limitations, pour autant que les oiseaux aient été licitement tués ou capturés ou autrement licitement acquis.

#### NIOF (Nouvel Inventaire des Oiseaux de France) Migrateur

Cela présente le statut de rareté de l'espèce en période de migration en France (NIOF)

Nouvel Inventaire des oiseaux de France (NIOF) (P. J. Dubois, P. Le Maréchal, G. Oliso et P. Yésou, 2008)

NA : Non applicable, DD : données insuffisantes, CC = taxon très commun ; C = taxon commun ; PC = taxon peu commun.

#### Listes rouges

Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Oiseaux de France métropolitaine (IUCN France, MNHN, LPO, SEO/F et ONCFS, 2016)

GIP Bretagne Environnement. Liste rouge régionale et Responsabilité biologique régionale. Oiseaux nicheurs et oiseaux migrants de Bretagne (2015)

DD : non évalué, LC : Préoccupation mineure, NT : Quasi menacé, VU : Vulnérable.

#### Espèces déterminantes

Espèces déterminantes de la Région Bretagne : Espèces nicheuses

site internet DREAL Bretagne : [http://www.bretagne.ecologie.gouv.fr/article.php3?id\\_article=637](http://www.bretagne.ecologie.gouv.fr/article.php3?id_article=637)

## 2 Synthèse et analyse des résultats

### 1.1.5 Description des chauves-souris retrouvées

2 individus de **Pipistrelle commune** ont été retrouvés morts sur le parc de Cast 2. Les deux individus retrouvés l'ont été au cours de la migration postnuptiale, c'est-à-dire en septembre 2021.

C'est une espèce assez sédentaire. Elles s'éloignent ainsi rarement de leurs domaines vitaux. Les individus touchés sont donc probablement issus de colonies locales, proches du parc éolien.

À titre de comparaison, la synthèse de données disponibles de Tobias Dürr (mise à jour le 7 mai 2021) sur les cadavres de chauves-souris relate :

- Que la Pipistrelle commune est l'espèce la plus touchée par les parcs éoliens à l'échelle européenne et à l'échelle française ;

Tout comme pour les oiseaux, ces différentes données se basent sur des observations transmises. Elles permettent de comparer la mortalité observée sur le parc de Cast 2 par rapport à celles observées aux échelles nationale et européenne. Cependant, si elles donnent une idée générale concernant les espèces touchées et leurs proportions, elles ne sont pas exhaustives. Les données françaises proviennent, en effet, d'une faible proportion de parcs à différentes dates. C'est néanmoins la synthèse la plus précise qui existe à ce jour.

Tableau 7 : Tableau de synthèse « empirique » de Dürr (mis à jour le 7 mai 2021) des chiroptères touchés par les parcs éoliens selon les pays de l'Europe

Espèce/Pays	A	BE	CH	CR	CZ	D	E	FR	Cast 2	GR	IT	LV	NL	PT	PL	RO	S	UK	Total (hors Cast 2)	
Pipistrelle commune	2	28	6	5	16	758	211	1012	1			1		15	323	5	6	1	46	2435

Légende : A = Autriche, BE = Belgique, CH = Suisse, CR = Croatie, CZ = République tchèque, D = Allemagne, E = Espagne, EST = Estonie, F = Finlande, FR = France, GR = Grèce, IT = Italie, LV = Lettonie, NL = Hollande, N = Norvège, P = Portugal, PL = Pologne, RO = Roumanie, S = Suède, UK = Royaume-Uni

Ces données de mortalité ne sont pas comparables avec des données antérieures que ce soit de suivi de mortalité ou de suivi acoustique en nacelle ou au sol. Il s'agit ici de la première évaluation réalisée sur le parc de Cast 2. Une corrélation de ce résultat est réalisée avec le suivi acoustique en altitude dans les parties en fin de document.

La plupart des chauves-souris effectue des déplacements entre leurs gîtes estivaux et leurs gîtes d'hibernation, variant de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres. Quatre espèces effectuent cependant de véritables migrations, parcourant parfois plus de 1 000 km : la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine bicolore (Hutterer et al. 2005). Ces espèces se reproduisent en Europe du nord et de l'est. Les jeunes naissent entre juin et fin juillet et s'émancipent au bout de quelques semaines. On assiste donc à une migration automnale, dès le mois d'août, d'individus qui reviennent des sites de mise-bas du nord et de l'est de l'Europe pour venir s'accoupler et hiberner en Europe de l'ouest. Ces mouvements concernent essentiellement les femelles et les jeunes, à l'exception de la Sérotine bicolore où la majorité des données en période de migration concernent des mâles. Au printemps, les femelles retournent sur leur site de mise-bas. Des colonies de mise-bas sont également présentes en France, bien que rares. Cependant, cette rareté peut être liée à un manque de connaissances, de nouvelles colonies étant découvertes chaque année (ARTHUR & LEMAIRE, 2015).

La Noctule commune et la Pipistrelle commune font partie des espèces les plus impactées par les projets éoliens. Les chiroptères sont des animaux ayant une longue espérance de vie mais une faible fécondité, entraînant un faible renouvellement des populations. Une forte mortalité des

## 2 Synthèse et analyse des résultats

adultes est donc particulièrement dommageable pour les populations (ARTHUR & LEMAIRE, 2015).

### Évaluation des enjeux

Le Tableau 8 ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces de chauves-souris retrouvées sur le parc de Cast 2 à l'échelle de la France et de l'Europe. Toutes les espèces de chauves-souris sont strictement protégées en France et dans l'Union Européenne. La Pipistrelle commune est par ailleurs considérée comme patrimoniale en France car quasi menacée. Cette espèce présente un enjeu patrimonial modéré.

Tableau 8 : Statuts réglementaires et de conservation des espèces de chauve-souris touchées par le parc de Cast 2

Espèce	Directive Habitats	Protection nationale	Liste rouge Europe (2012)	Liste rouge France (2017)	Liste rouge Bretagne (2015)
<b>Pipistrelle commune</b> <i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	Article 2	LC	NT	LC

Légende :

*Protection nationale*

Arrêté interministériel du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection (modif. Arrêté du 15 septembre 2012) : Article 2 : protection stricte des individus et de leurs habitats de reproduction et de repos.

*Directive Habitats*

L'annexe IV de la directive européenne 92/43/CEE du 21 mai 1992, dite directive « Habitats / Faune / Flore », liste les espèces animales et végétales d'intérêt européen qui nécessitent une protection stricte sur le territoire des états membres de l'Union européenne.

*Listes rouges Europe, France et Bretagne*

Liste rouge européenne des espèces menacées (IUCN, 2012)

Liste rouge des espèces menacées en France, Mammifères de France métropolitaine (IUCN France & MNHN, 2017)

GIP Bretagne Environnement (2015). Liste rouge régionale et Responsabilité biologique régionale. Reptiles et batraciens de Bretagne LC : Préoccupation mineure, NT : Quasi menacé, VU : Vulnérable

## 2 Synthèse et analyse des résultat

### 1.2 Analyse des résultats

Dans le cadre de cette étude, plusieurs formules ont été utilisées pour estimer la mortalité du parc éolien. Comme recommandé dans le protocole national, il s'agit des formules de Huso (2010), Erickson et al. (2000) et Korner-Nievergelt et al. (2011). Les tableaux suivants détaillent les différents résultats des différentes étapes de calcul nécessaire aux estimations de mortalités.

#### 1.2.1 Résultats des tests de calcul des coefficients correcteurs

##### Coefficient correcteur de surface (a)

Afin d'intégrer les surfaces non prospectées/non prospectables, nous avons calculé un coefficient de surface correspondant au taux de prospection de chaque passage de l'éolienne considérée (Tableau 9). La moyenne pondérée (par le temps entre passages) est le résultat retenu pour le calcul d'estimation de la mortalité par éolienne. Les coefficients correcteurs de surface moyens sont faibles à bons. Bon pour E2 (allant de 0,85), moyens pour E1 et E3 (0,53 et 0,46) et faible pour E04 (0,32).

Ceci est lié à une assez forte proportion, à certaines périodes, de parcelles non prospectables (hauteur de végétation, bétail...) pour des durées et des surfaces différentes suivant l'éolienne.

Tableau 9 : Statistiques descriptives du coefficient correcteur de surface calculé sur l'ensemble des 24 passages

	E01	E02	E03	E04
Quantile 2.5%	0,04	0,17	0,09	0,07
Premier quartile	0,33	0,92	0,11	0,15
Médiane	0,33	0,92	0,11	0,15
Moyenne	0,53	0,85	0,44	0,34
<b>Moyenne pondérée</b>	<b>0,51</b>	<b>0,85</b>	<b>0,46</b>	<b>0,32</b>
Troisième quartile	1	0,92	0,92	0,84
Quantile 97.5%	1	0,92	0,92	0,87

##### Coefficient de persistance (s)

Suite aux tests de persistance et aux analyses statistiques basées sur la sélection de modèles, nous avons retenu comme modèle le plus parcimonieux (AIC weight = 1): « **Persistance ~ Date + Eolienne + Date : Eolienne** ». Cela veut dire que la durée de persistance est variable entre les deux dates de test mais aussi entre éoliennes. Le modèle intègre également une interaction « : » entre l'effet date et l'effet éolienne, ce qui signifie que l'évolution de la durée de persistance n'a pas de tendance homogène entre éoliennes entre les deux dates de tests (diminution, stabilité ou augmentation possible).

- Erickson, W.P.; Johnson, G.D.; Strickland, M.; Kronner, K. (2000). *Final Report: avian and bat mortality associated with the Vansycle wind project.* pp 1-26.

- Huso, M. M. (2010). *An estimator of wildlife fatality from observed carcasses.* *Environmetrics*, 22(3), 318-329. doi: 10.1002/env.1052

- Korner-Nievergelt, F., Korner-Nievergelt, P., Behr, O., Niermann, I., Brinkmann, R., & Hellriegel, B. (2011). *A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches.* *Wildlife Biology*, 17(4), 350-363. doi: 10.2981/10-121

## 2 Synthèse et analyse des résultat

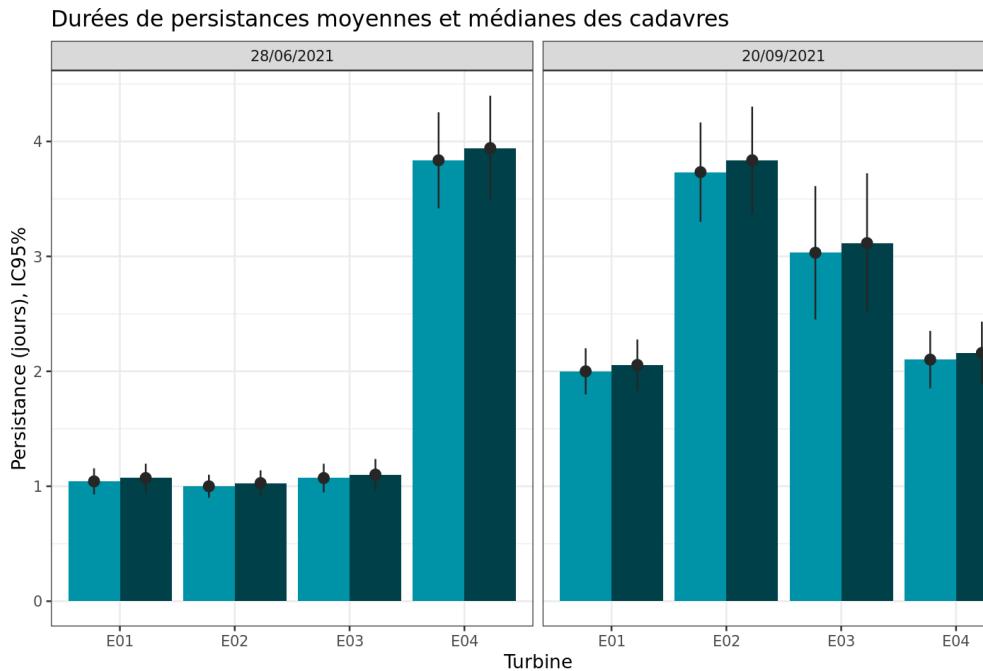


Figure 20 : Durées de persistances moyennes accompagnées des incertitudes (intervalles de confiance à 95%) des cadavres pour chaque test de prédatation (28 juin et 20 septembre 2021)

Une différence nette est observée pour la durée de persistance moyenne entre les deux tests.

Le premier test a été réalisé le 28 juin. Le temps moyen pour ce premier test est de 1,8 jours, avec un intervalle compris entre 1,6 et 2 jours. La persistance est beaucoup plus longue sur E4 par rapport à E01, E02, et E03 qui ont des durées équivalentes.

Le second test a été réalisé le 20 septembre. La durée de persistance observée pour le deuxième test est plus importante avec une durée moyenne pour les quatre éoliennes de 2,8 jours. L'intervalle de confiance moyen pour ce deuxième test est compris entre 2,4 et 3,2 jours. La durée la plus basse est observée pour E01 et E04, la plus élevée pour E02.

Tableau 10 : Résultats des estimations des durées moyennes de persistance et leur intervalle de confiance à 95% pour les deux tests de persistance pour chacune des sept éoliennes. Les durées moyennes de persistance sont les valeurs retenues comme coefficient correcteur pour les estimations de mortalité.

TurbID	E01	E02	E03	E04	Moyenne
<b>Résultats du test du 28/06/2021</b>					
Persistante moyenne	1,07	1,03	1,10	3,94	1,79
Intervalle de confiance à 95%	[0,95 ; 1,2]	[0,92 ; 1,14]	[0,97 ; 1,24]	[3,49 ; 4,4]	[1,58 ; 1,99]
<b>Résultats du test du 20/09/2021</b>					
Persistante moyenne	2,06	3,84	3,12	2,16	2,79
Intervalle de confiance à 95%	[1,83 ; 2,28]	[3,37 ; 4,30]	[2,51 ; 3,72]	[1,89 ; 2,43]	[2,4 ; 3,18]

## 2 Synthèse et analyse des résultat

### Coefficient d'efficacité de recherche ( $f$ )

Nous avons sélectionné le modèle complet « Trouve ~ Hauteur moyenne + Recouvrement » pour réaliser les estimations/interpolations/extrapolations.

Les taux d'efficacité prédits des zones prospectées sont très variables en fonction du de la hauteur de végétation et du recouvrement végétal. Ils sont globalement bons (moyenne brute à 0,8) avec une gamme de valeurs allant de 0,37 (Hauteur 60 cm – Recouvrement 20 %) au minimum sur du maïs à 60 cm et 20 pour cent de recouvrement à 0,96 au maximum (Hauteur : 0 cm - Recouvrement :5 %) sur les plateformes avec une végétation très éparsse.

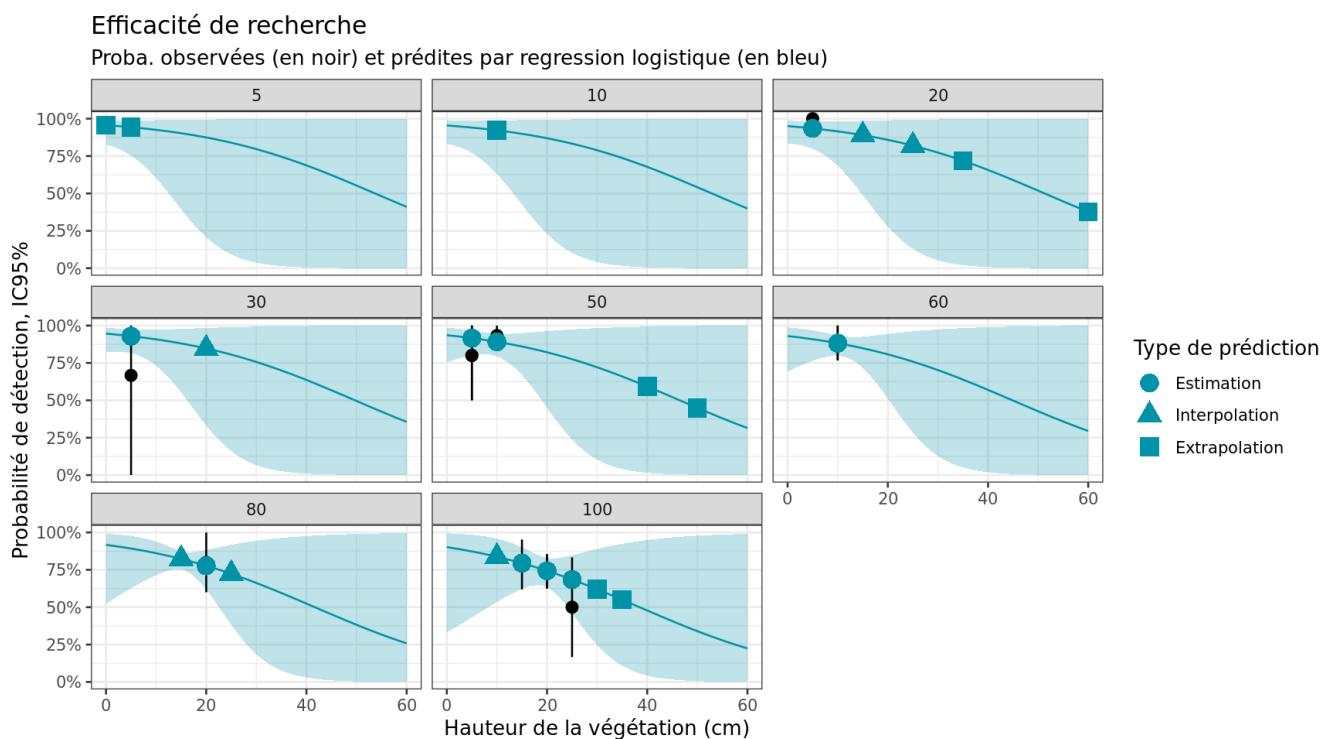


Figure 21 : Efficacité de recherche et probabilité de détection des cadavres selon la hauteur et le recouvrement

## 2 Synthèse et analyse des résultat

### 1.2.2 Estimation de la mortalité

Les calculs d'estimation de mortalité ont été réalisés strictement à partir des cadavres trouvés et pour lesquels l'origine de la mort est imputable de façon certaine aux éoliennes. Les éventuels cadavres découverts lors du premier passage ne sont pas comptabilisés (dans ce cas-ci aucune découverte au premier passage). Les observations faites au 1er passage concernent des cas de mortalité qui ne se sont pas produits pendant la période du suivi mais antérieurement à celui-ci. Ainsi, le 1er passage permet d'établir un état zéro afin de garantir que toute nouvelle découverte de cadavre s'est bien produite dans l'intervalle précédent chaque passage.

Tableau 11 : Bilan des probabilités globales de détection par méthode d'estimation

	E01	E02	E03	E04
<b>Probabilité détection P(s,f)</b>				
Huso (2010)	<b>0.16</b>	0.27	0.31	0.35
Erickson et al. (2000)	<b>0.16</b>	0.28	0.32	0.36
Korner-Nievergelt et al. (2011)	<b>0.07</b>	0.19	0.22	0.25
<b>Coefficient correcteur de surface a</b>				
Taux surfaces prospectées pondérées par le temps	0.51	0.85	0.46	<b>0.32</b>
<b>Probabilité globale de détection a x P(s,f)</b>				
Huso (2010)	<b>0,08</b>	0,23	0,14	<b>0,11</b>
Erickson et al. (2000)	<b>0,08</b>	0,24	0,15	<b>0,12</b>
Korner-Nievergelt et al. (2011)	<b>0,04</b>	0,16	0,10	<b>0,08</b>

La probabilité de détection  $P(s,f)$  est très faible à moyenne de manière générale (entre 0.07 et 0.36 suivant les méthodes et les éoliennes) accompagnée d'un coefficient correcteur surfacique ( $a$ ) faible à bon (entre 32 % et 85% de surfaces prospectées). Par la combinaison des deux, les probabilités globales de détection varient de 0.04 à 0.24, c'est à dire un facteur démultiplificateur moyen de la mortalité observée allant respectivement de 4,2 à 25. **En ordre de grandeur, la mortalité la plus probable de chaque éolienne est entre 4 et 25 fois plus importante que celle observée suivant les éoliennes et la méthode d'estimation sélectionnée.**

**De plus, les intervalles de confiance sont de fait assez importants lors que la détection globale est faible. Les éoliennes E01 et E04 (voire E03 pour la méthode de Korner-Nievergelt) possèdent les plus faibles probabilités de détection globale. E02 (pour Huso et Erickson) présente la probabilité de détection globale la plus forte mais qui reste dans l'absolu plutôt modérée.**

## 2 Synthèse et analyse des résultat

### ***Estimation de la mortalité pour l'avifaune***

- **Éolienne E02**

C'est l'éolienne qui présente la seule découverte de cadavre (n=1) et par conséquent la mortalité la plus probable la plus forte. Par ailleurs, c'est l'éolienne qui présente la probabilité globale de détection la plus forte, c'est-à-dire la capacité à trouver des cadavres la plus importantes parmi les 4 éoliennes au global sur l'ensemble du suivi.

Les estimations de mortalité les plus probable selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E02 sont comprises entre 4 et 6 individus sur la période de 160 jours de suivi. Les intervalles de confiance donnent des effectifs maximum (IC 95%) allant de 17 à 28 individus et minimum de 1 individu.

L'observation a été réalisée le 1<sup>er</sup> octobre 2021.

Tableau 12 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) des oiseaux au sein du parc de Cast 2 sur la période du suivi

Estimateurs	E01	E02	E03	E04	Total parc
Mortalité observée des oiseaux	0	1	0	0	1
Huso (2010) [IC 95%]	0 [ 0 ; 35 ]	4 [ 1 ; 18 ]	0 [ 0 ; 19 ]	0[0 ;25]	4
Erickson et al. (2000) [IC 95%]	0 [ 0 ; 35 ]	4 [ 1 ; 17 ]	0 [ 0 ; 18 ]	0[0 ;24]	4
Korner-Nievergelt et al. (2011) [IC 95%]	0 [ 0 ; 81 ]	6 [ 1 ; 28 ]	0 [ 0 ; 28 ]	0[0 ;36]	6

- **Ensemble du parc**

Sur l'ensemble du parc, la mortalité estimée totale la plus probable des oiseaux est comprise entre 4 et 6 individus sur la durée du suivi soit en moyenne pour le parc une mortalité estimée de 1 à 1.5 oiseaux/éolienne sur la durée du suivi..

La seule observation a été réalisée le 1 octobre 2021.

L'éolienne E01 présente les plus fortes incertitudes à l'échelle du parc. E02, E03 et E04 présentent les incertitudes modérées à fortes et de niveau plutôt équivalent.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

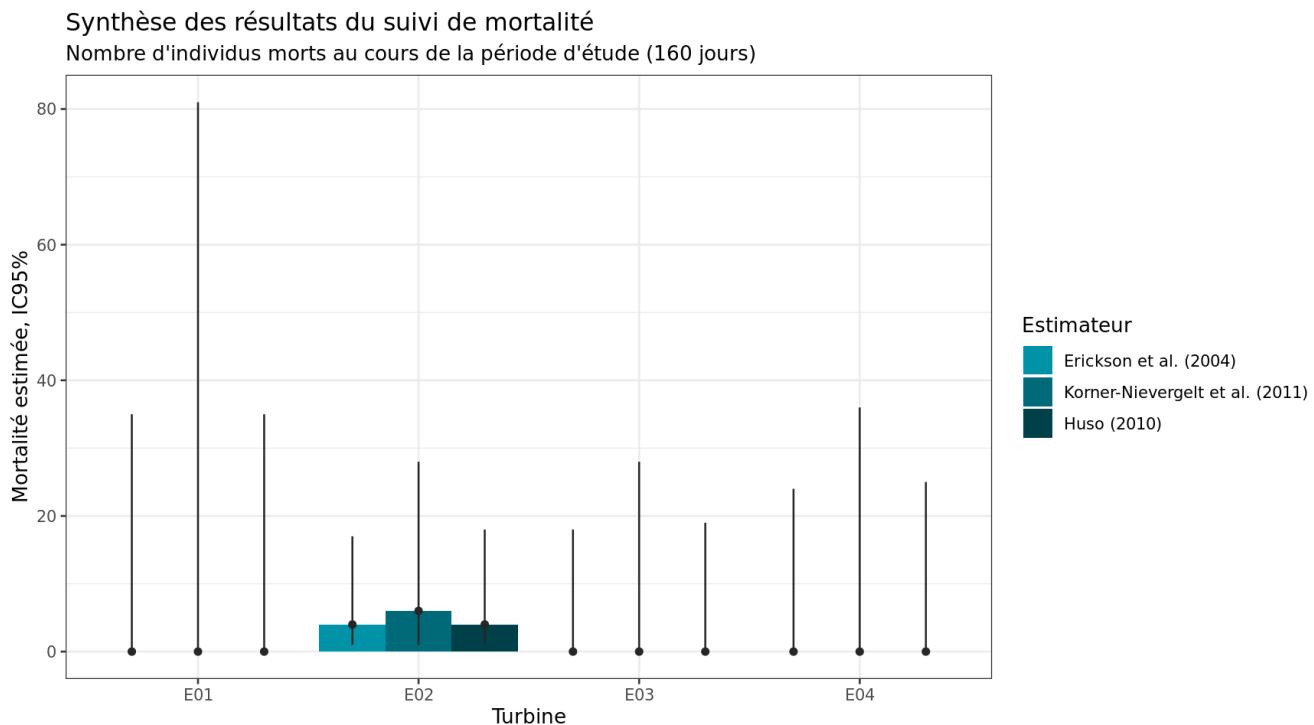


Figure 22 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les oiseaux pour le parc éolien de Cast 2 au cours du suivi de 2021 sur 160 jours.

### ***Estimation de la mortalité des chiroptères***

- **Éolienne E02**

Une observation de mortalité chauves-souris a été réalisée le 9 septembre 2021.

Les estimations de mortalité selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E02 sont comprises entre 4 et 6 individus sur une période de 160 jours de suivi. Les intervalles de confiance donnent des effectifs maximum (IC 95%) allant de 28 individus et un minimum de 1 individu.

- **Éolienne E03**

La observation de mortalité chauves-souris a été réalisée le 17 septembre 2021.

Les estimations de mortalité selon les méthodes d'estimation pour l'éolienne E03 sont comprises entre 6 et 10 individus sur une période de 160 jours de suivi. Les intervalles de confiance donnent des effectifs maximum (IC 95%) allant de 30 à 45 individus et un minimum de 1 individu.

- **Ensemble du parc**

Sur l'ensemble du parc, la mortalité estimée totale la plus probable des chiroptères est comprise entre 10 et 16 individus sur la durée du suivi soit en moyenne pour le parc une mortalité estimée de 2.5 à 4 chiroptères/éolienne sur la durée du suivi..

Les 2 observations ont été réalisées à une semaine d'intervalle le 9 et le 17 septembre 2021 sur E02 et E03. L'incertitude est modérée à forte sur ces deux éoliennes ainsi que sur E04.

L'éolienne E01 présente les plus fortes incertitudes à l'échelle du parc.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

Tableau 13 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitudes entre crochets) de chiroptères au sein du parc de Cast 2 sur la période du suivi

Estimateurs	E01	E02	E03	E04	Total parc
Mortalité observée des chiroptères	0	1	1	0	2
Huso (2010) [IC 95%]	0[0 ;35]	4[1 ;18]	6[1 ;30]	0[0 ;25]	10
Erickson et al. (2000) [IC 95%]	0[0 ;35]	4[1 ;17]	6[1 ;30]	0[0 ;24]	10
Korner-Nievergelt et al. (2011) [IC 95%]	0[0 ;81]	6[1 ;28]	10[1 ;45]	0[0 ;36]	16

Synthèse des résultats du suivi de mortalité  
Nombre d'individus morts au cours de la période d'étude (160 jours)

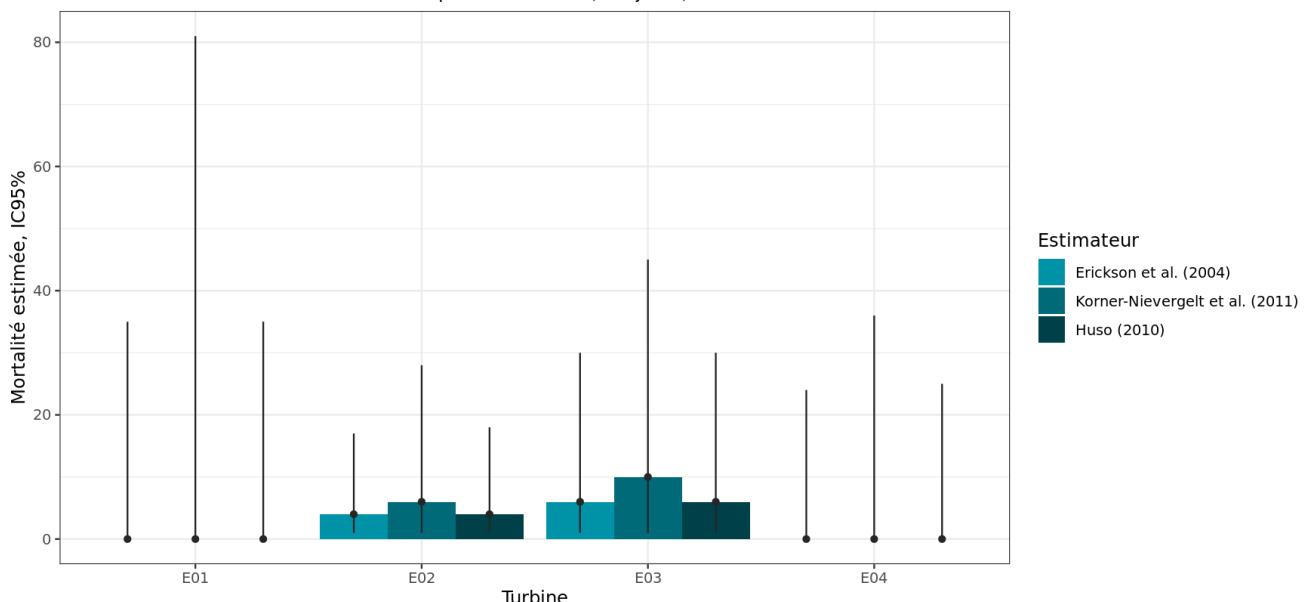


Figure 23 : Estimation de la mortalité la plus probable (et incertitude à 95%) pour les chiroptères pour le parc éolien de Cast 2 au cours du suivi de 2021 sur 160 jours

## 2 Synthèse et analyse des résultat

### 1.3 Synthèse du suivi de mortalité

Il s'agit ici du premier suivi de mortalité réalisé sur le parc de Cast 2. Aucune analyse comparative n'est permise en l'absence de données mortalité avifaune et chiroptères antérieure à ce suivi.

Le suivi réalisé en 2021, l'a été sur une période de 24 semaines (160 jours). Il a conduit à la découverte de 3 cadavres sur la période (1 oiseaux, 2 chiroptères). Les espèces concernées sont la Pipistrelle commune et le Bruant jaune.

Les éoliennes concernées sont E02 pour une Pipistrelle commune et un Bruant jaune et E03 pour une Pipistrelle commune. La cause de la mort des individus est imputable aux éoliennes, par collision avec les pâles au regard des plaies observées.

La distance des cadavres par rapport aux éoliennes est les deux cas retrouvés sous E02 de 3 mètres pour la Pipistrelle, et de 40 mètres pour le Bruant jaune. La distance au mât de la Pipistrelle commune retrouvée sous E03 est de 45 mètres.

Deux tests de persistance des cadavres ont été réalisés, avec l'utilisation d'un total de 120 rats (15 rats par éolienne par test). Lors de ces tests, les vitesses de disparition des cadavres déposés ont été assez variables à l'échelle du parc mais globalement assez forte, avec des temps moyens de persistance des cadavres variant au maximum entre 1,03 jours (E02, premier test) et 3,94 jours (E04, premier test). L'ensemble des éoliennes présente donc un temps moyen de persistance globalement proche de 1,8 jours lors du premier test réalisé alors que le temps moyen de persistance a sensiblement augmenté avec une durée moyenne pour les quatre éoliennes de 2,8 jours lors du second test.

Des estimations de la mortalité ont été réalisées pour les 4 éoliennes du parc, sur la durée du suivi (160 jours) :

La mortalité cumulée et estimée totale la plus probable des oiseaux est comprise entre 4 et 6 individus sur la durée du suivi pour un cadavre découvert (une éolienne) soit en moyenne pour le parc une mortalité estimée de 1 à 1.5 oiseaux/éolienne sur la durée du suivi. L'éolienne E01 est celle où l'incertitude est la plus importante. Elle est quasi équivalente sur les autres turbines (E02, E03, E04) mais reste modérée à forte.

La mortalité estimée totale la plus probable des chiroptères est comprise entre 10 et 16 individus sur la durée du suivi pour deux cadavres découverts (2 éoliennes). soit en moyenne pour le parc une mortalité estimée de 2.5 à 4 chiroptères/éolienne sur la durée du suivi. L'éolienne E01 est celle où l'incertitude est la plus importante. Elle est quasi équivalente sur les autres turbines (E02, E03, E04) mais reste modérée à forte.

La corrélation des données de mortalité avec l'activité sur le site (écoute en nacelle E02) et les conditions météorologiques est présentée dans la partie suivante et peut permettre de dire si les mortalités observées sont associées à des pics d'activité des chauves-souris au cours de conditions météo favorables.

**Ces chiffres d'estimation de la mortalité semblent inférieurs à ceux mentionnés par la bibliographie.** Selon RYDELL et al. (2017), le nombre de chiroptères tués par éolienne et par an est très variable d'un site à l'autre en Europe et semble être autour d'une dizaine d'individus, avec parfois des cas particulièrement mortifères pouvant atteindre une mortalité de 100 individus ou plus. Gaultier, Marx & Roux (2019) font le bilan de 8 parcs français dont l'estimation de la mortalité la plus probable varie de 0.3 à 18,3 oiseaux par éolienne et par an. En Allemagne, la mortalité des chauves-souris est estimée entre 10 et 12 individus par éolienne et par an (KORNER-NIEVERGELT et al., 2013). En Champagne-Ardenne, une étude menée sur 18 parcs éoliens donne des résultats de 1 à 3 cadavres par éolienne et par an, sans correction statistique (HARTER, 2015). De plus, de la mortalité a été constatée sur tous les parcs étudiés.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

Faute de référentiel, il est complexe de conclure et d'évaluer l'impact du parc de Cast 2 en fonctionnement sur la conservation des espèces d'oiseaux et de chiroptères. On notera toutefois que le taux de mortalité estimé sur le parc semble inférieur aux résultats fournis par la bibliographie et que la mise en place de mesures correctrices ou de bridage (pour les chiroptères) ne semble pas nécessaire.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

## 2 Facteurs d'impact et mesures correctives

### 2.1 Analyse croisée avec la bibliographie

Aucune données avifaune / chiroptère antérieure à ce suivi n'est disponible pour ce parc éolien et ne permet ainsi aucune analyse comparative de ce point de vue.

### 2.2 Analyse croisée de la phénologie de la mortalité et de l'activité acoustique en nacelle des chiroptères

Rappels : Les enregistrements acoustiques en nacelle ont été réalisés au niveau de éolienne E02 entre le 20 mai et le 07 décembre 2021. Le nombre de nuits d'enregistrement des activités de chiroptères à hauteur de nacelle (100m) est de 203 nuits d'enregistrements exploitables.

#### 2.2.1 Comparaison de la phénologie entre suivis mortalité et acoustique

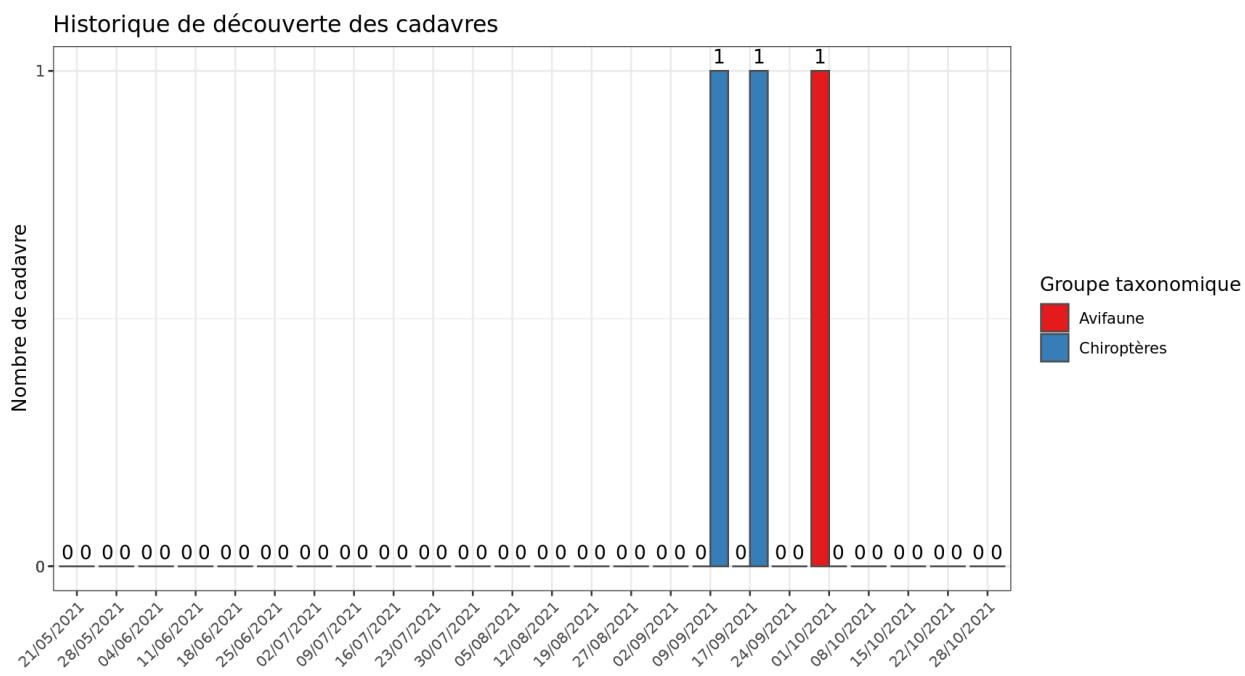


Figure 24 : Phénologie de découverte des cadavres de chiroptères à l'échelle du parc de Cast 2

Le nombre global de cadavres de chiroptères découverts durant le suivi de mortalité a été faible (n=2). Les découvertes se sont déroulées à une semaine d'intervalle, le 9 (sous E02) et le 17 (sous E03) septembre 2021.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

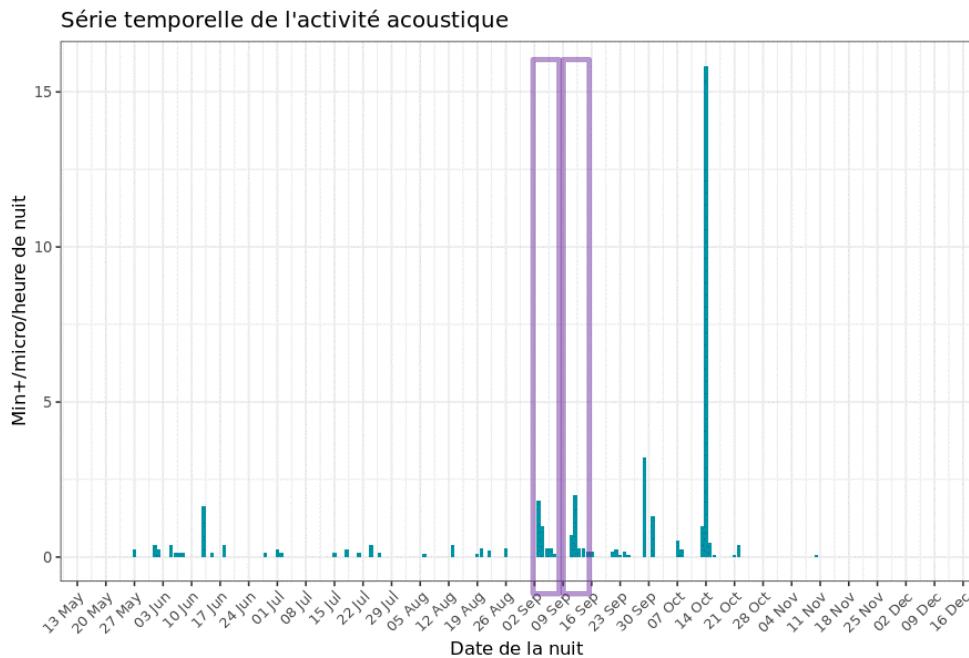


Figure 25 : Phénologie de l'activité acoustique enregistrée au niveau d'éolienne E02 sur la période de réalisation du suivi mortalité. Les périodes encadrées correspondent aux périodes à la fin desquelles un cadavres de chiroptères a été découvert lors du suivi mortalité (E2 puis E03 dans l'ordre chronologique)

Pour le suivi de l'activité acoustique, on remarque une activité globale faible avec des pics peu marqués souvent assez court dans le temps et centrés sur la fin de la période estivale /début de la période automnale.

---

Seule une des deux découvertes a été réalisée sous l'éolienne où l'enregistrement acoustique a été réalisé. La phénologie des découvertes de cadavres et celle de l'activité acoustique semble assez bien correspondre. Tout d'abord l'activité globale faible observée en altitude corrobore le faible taux de mortalité observé et estimé. De plus, les découvertes sont synchrones à deux des 4 principaux pics d'activités acoustiques. Ces deux périodes enregistrées sur E02 sont aussi des périodes présentant une activité qui s'est maintenue sur un temps le plus long sur l'ensemble des 203 nuits d'enregistrements acoustiques.

---

## 2 Synthèse et analyse des résultat

### 2.2.2 Comparaison des cortèges d'espèces détectées lors des suivis mortalité et acoustique

Pour le suivi de mortalité, les observations ont seulement concerné la Pipistrelle commune ( $n=2$ ).

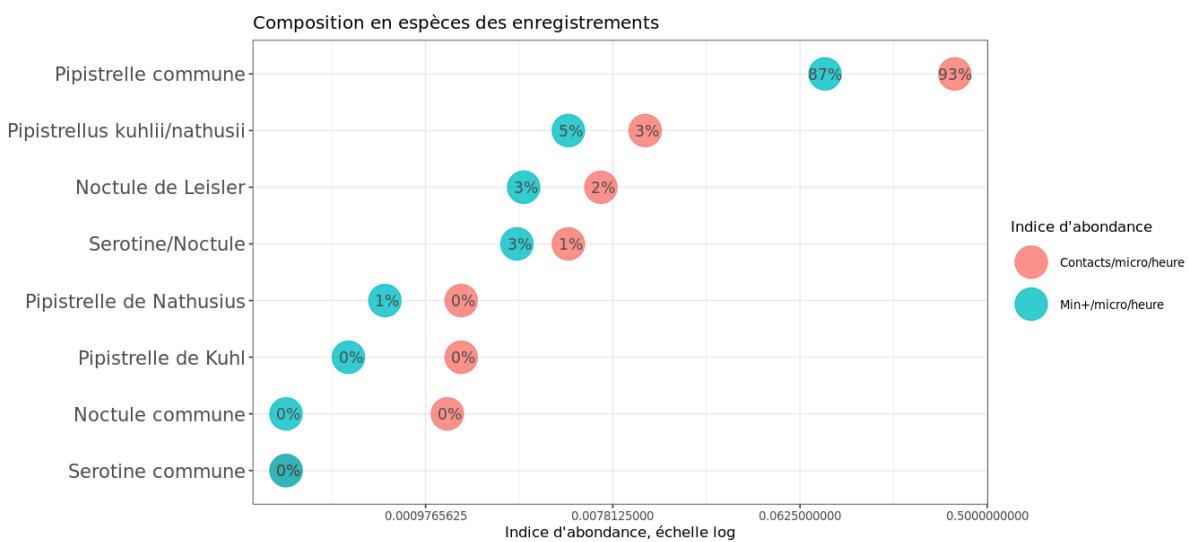


Figure 26 : Cortège d'espèces de chiroptères identifié par le suivi acoustique en nacelle pour E05 sur la période de réalisation du suivi mortalité.

Pour le suivi acoustique, l'espèce la plus fréquemment contactée, et de loin, est également la Pipistrelle commune avec 93% des contacts et 87% des minutes positives pour E02. A noter l'activité des autres espèces et groupes d'espèces représentent individuellement moins de 3% des contacts ou minutes positives de l'ensemble des enregistrement sur 203 nuits d'écoutes.

---

La seule espèce découverte dans le cadre du suivi mortalité (Pipistrelle commune) a également été détectée lors du suivi acoustique et est largement l'espèce la plus fréquente.

---

### 2.2.3 Phénologie des contacts pour les espèces retrouvées lors du suivi mortalité

La Pipistrelle commune, a une activité assez hétérogène au cours de la période du suivi de mortalité, avec une activité qui s'est renforcé à partir de début septembre.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

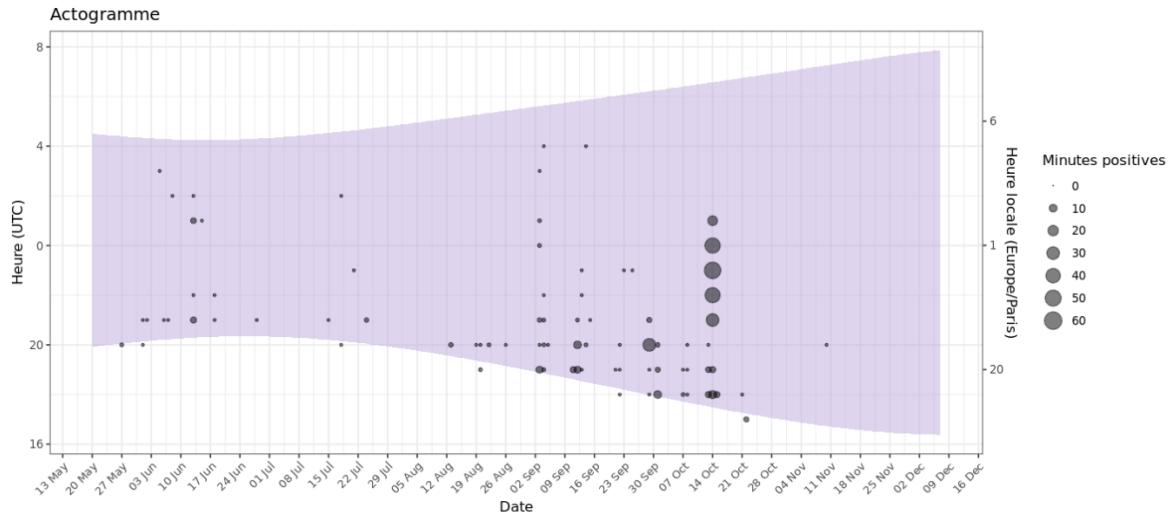


Figure 27 : Actogramme de la Pipistrelle commune pour E02 sur la période du suivi de mortalité

Les bilan de la phénologie des découvertes de cadavres est présenté dans le tableau ci-dessous (Tableau 14 : Phénologie du nombre de découvertes de cadavres par espèce et groupe d'espèces.

Tableau 14 : Phénologie du nombre de découvertes de cadavres par espèce et groupe d'espèces

Date	09/09	17/09	Total général
Pipistrelle commune	1	1	2

### 2.2.4 Bilan du croisement des informations des deux suivis moralité/acoustique

L'espèce découverte durant le suivi de mortalité correspondent à la principale espèce identifiée durant le suivi acoustique, la Pipistrelle commune. Les autres espèces identifiées durant le suivi acoustique présentent une activité beaucoup moins importante et n'ont pas été découverte durant le suivi de mortalité.

Au niveau de la phénologie, la découverte des cadavres coincide bien avec des périodes d'activité acoustique modérée mais prolongée au niveau de l'éolienne E02.

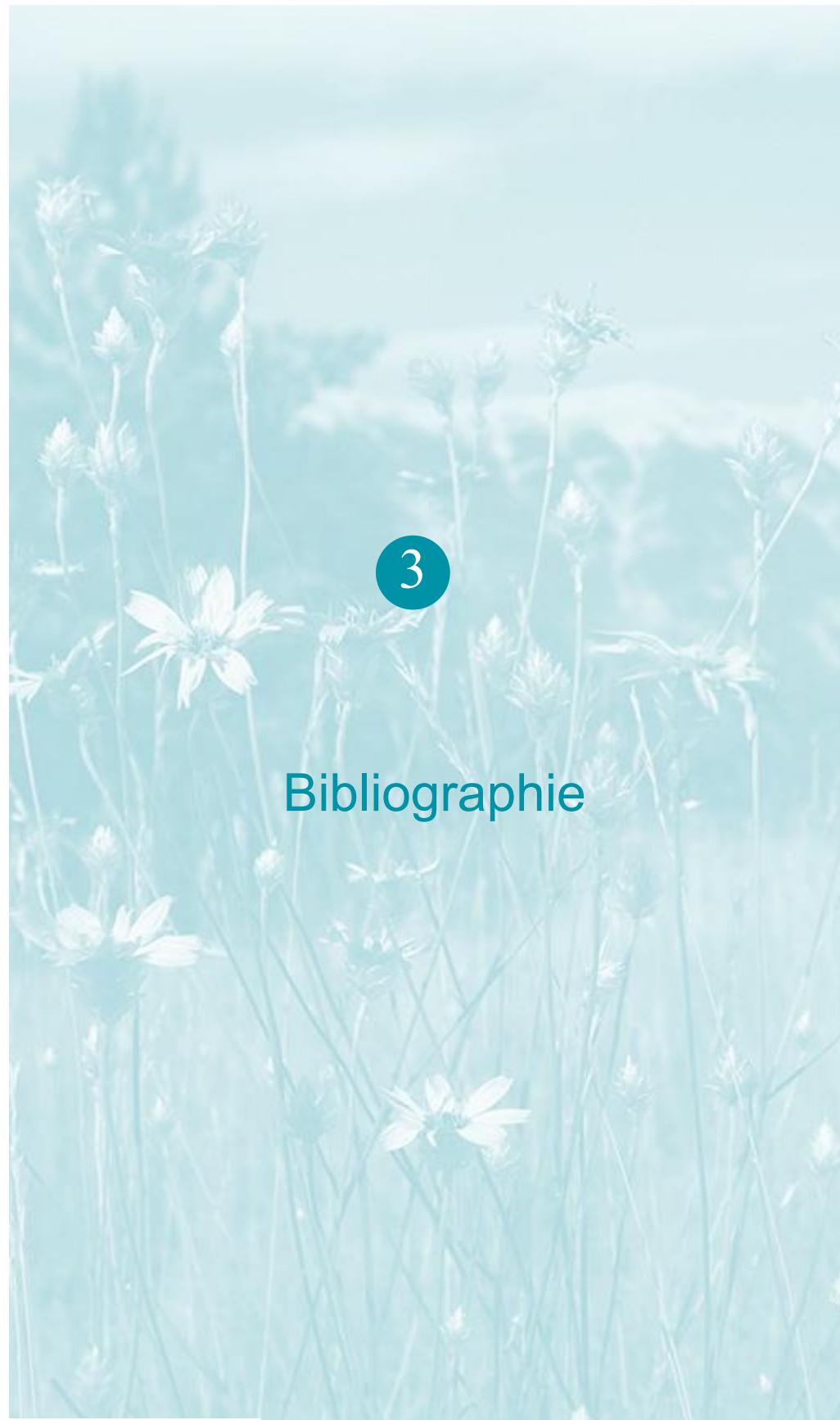
**Limites du croisement des informations des suivis mortalité et acoustique :** La comparaison des données acoustiques issues d'une seule éolienne (comparativement au suivi de mortalité qui est réalisé sur l'ensemble des éoliennes du parc) peut limiter l'interprétation du fait du manque de représentativité de l'activité locale de l'éolienne suivie en acoustique. Cette analyse comparative reste une analyse visuelle qui permet simplement de mettre en avant des éléments convergents ou non entre les deux types de suivis sur le même pas de temps.

## 2 Synthèse et analyse des résultat

## 3 Conclusion et mesures correctives

Avec 2 individus de Pipistrelle commune et 1 individu de Bruant jaune, le suivi de mortalité réalisé en 2021 est le premier réalisé pour ce parc. Les taux de mortalité estimés (entre 4 et 6 individus pour l'avifaune et entre 10 et 16 individus pour les chiroptères) sur le parc semblent inférieurs aux résultats fournis par la bibliographie, aussi bien pour les chiroptères que pour les oiseaux. Le suivi de l'activité acoustiques en nacelle montre que les populations concernées sont principalement locales et que **l'activité en altitude est qualifiée de faible**.

Aussi **la mise en place de mesures correctives pour les chiroptères et les oiseaux ne semble pas nécessaire**.



## Bibliographie

### 3 Bibliographie

ANDRE, Y. 2004. - Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. LPO, Rochefort. 20 p.

ARNETT E. B., ERICKSON W., KERNS J. & HORN J., 2005. – Relationship between bats and wind turbine in Pennsylvania and West Virginia: An assessment of fatality search protocols, patterns of fatality, and behavioral interactions with wind turbines. – Bats and Wind Energy Cooperative, 168 p.

ARNETT E. B., SCHIRMACHER M., HUSO M. & HAYES J., 2009. – Effectiveness of changing wind turbine cut-in speed to reduce bat fatalities at wind facilities. – Bats and Wind Energy Cooperative, 44 p.

ARTHUR, L. & LEMAIRE, M. (2015). Les chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Editions Biotope, Coll. Parthénope, Muséum National d'Histoire Naturelle, 544 p.

BAERWALD E. & BARCLAY R., 2009. – Geographic variation in activity and fatality of migratory bats at wind energy facilities. – Journal of Mammalogy 90(6), p. 1341-1349.

BROWN R. ET AL. (2014). Traces et indices d'oiseaux ; pistes, nids, plumes, crânes... Delachaux et Niestlé. 333 p.

DALTHORP, D., MADSEN, L., HUSO, M., RABIE, P., WOLPERT, R., STUDYVIN, J., SIMONIS, J., and MINTZ, J., 2018, GenEst statistical models—A generalized estimator of mortality: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 7, chap. A2, 13 p., <https://doi.org/10.3133/tm7A2>.

DIETZ, C. ET VON HELVERSEN, O. (2004). Illustrated identification key to the bats of Europe. Electronique publication, version 1.0 released 15.12.2004, Tuebingen & Erlangen (Germany). 72 p.

ERICKSON, W.P.; JOHSON, G.D.; STRICKLAND, M.; KRONNER, K. (2000). Final Report: avian and bat mortality associated with the Vansycle wind project. pp 1-26.

FRAIGNEAU C. (2007). Reconnaître facilement les plumes – collecter, identifier, interpréter, conserver. Delachaux et Niestlé. 192 p.

FRAIGNEAU C. (2017). Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale. Delachaux et Niestlé. 400 p.

GAULTIER, S.P., MARX, G., & ROUX, D., 2019. Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO. 120 p. [https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo\\_oncfs\\_2019.pdf](https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf)

HARTER N. 2015. Eoliennes et mortalité des chiroptères : synthèse des résultats du suivi d'une quinzaine de parcs éoliens en Champagne-Ardenne. Rencontre chiroptères Grand-Est, Saint-Brisson, 16-18 octobre 2015. 15p.

HUSO, M. M. (2010). An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. Environmetrics, 22(3), 318-329. doi: 10.1002/env.1052 19 p.

HUTTERER, R., IVANOVA, T., MEYER-CORDS, C. & RODRIGUES, L. 2005. Bat migrations in Europe: A review of banding data and literature. Naturschutz und Biologische Vielfalt No. 28: 1-172.

KORNER-NIEVERGELT, F., KORNER-NIEVERGELT, P., BEHR, O., et al. 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildlife Biology, vol. 17, no 4, p. 350-363.

### 3 Bibliographie

KORNER-NIEVERGELT, F., BRINKMANN, R., NIERMANN, I. & BEHR, O. (2013). Estimating bat and bird mortality occurring at wind energy turbines from covariates and carcass searches using mixture models. PLoS ONE 8(7), e67997. doi:10.1371/journal.pone.0067997.

KORNER-NIEVERGELT F, BEHR O, BRINKMANN R, ETTERSON MA, HUSO MM, DALTHORP D, KORNER-NIEVERGELT P, ROTH T and NIERMANN I (2015). "Mortality estimation from carcass searches using the R-package carcass - a tutorial." Wildlife Biology, pp. 30-43.

MARCHESI, P., BLANT, M. ET CAPT, S. (2008). Mammifères de Suisse - Clés de détermination. Neuchâtel, Fauna Helvetica, CSCF & SSBF. 289 p.

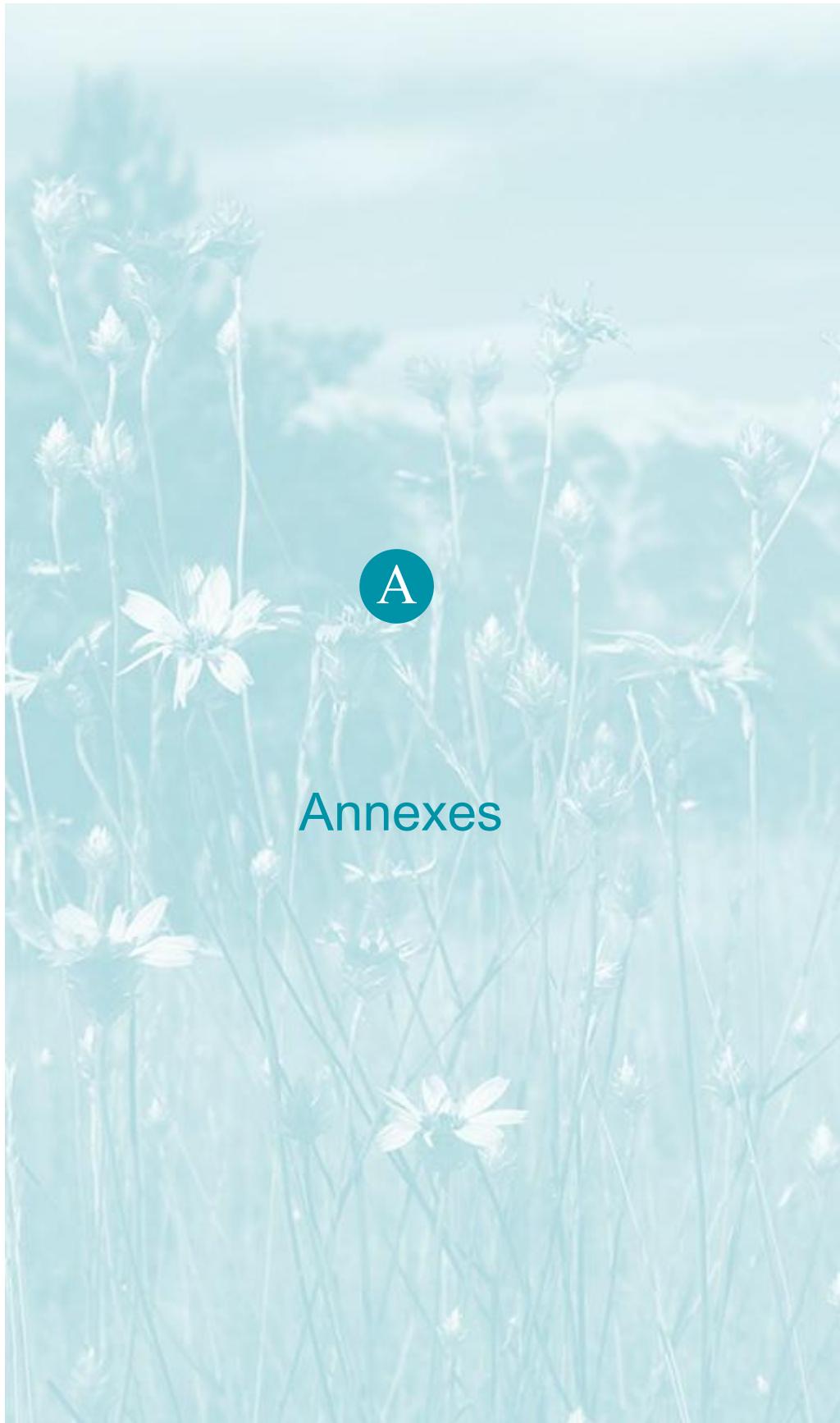
MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE (MEDDE), 2015, Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestre, Novembre 2015, 40p.

RYDELL, J, OTTVALL, R, PETTERSSON, S, & GREEN M. (2017) The effects of wind power on birds and bats, an updated synthesis report 2017, Swedish Environmental Protection Agency. ISBN 978-91-620-6791-5, ISSN 0282-7298, 129p.

SVENSSON L. (2014). Le guide ornitho, le guide le plus complet des oiseaux d'Europe, d'Afrique du nord et du Moyen-Orient. Delachaux et Niestlé. 448 p.

Site internet :

DURR, 2019 : <http://www.lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.312579.de>



## Annexes

A Annexe 1 : Tableau récapitulatif des observations de cadavres

## Annexe 1 : Tableau récapitulatif des observations de cadavres

Tableau 15 : Résultats du suivi mortalité

Date prospection	Éolienne	Nom latin	Nom vernaculaire	État	Age	Sexe	Raison estimée de la mort	Distance à l'éolienne
09/09/2021	E02	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	En décomposition	Adulte	Indéterminé	Collision avec pale	3
17/09/2021	E03	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle commune	Frais	Adulte	Indéterminé	Collision avec pale	45
01/10/2021	E02	<i>Emberiza citrinella</i>	Bruant jaune	Frais	Adulte	Mâle	Collision avec pale	40

