



renewables

Parc éolien de Paudy (36)

Rapport de suivi d'activité chiroptérologique du parc éolien de Paudy & du suivi de mortalité 2020



Document du 09 septembre 2021
Référence // EDPr_Suivis_ICPE_Paudy_20210909_v1



Votre projet

Projet éolien de Paudy (36) - Rapport de suivi d'activité
chiroptérologique du parc éolien de Paudy & du suivi de mortalité
2020

EDPR France Holding



renewables

Parc éolien de Paudy
EDPR France Holding
25 quai Panhard et Levassor - 75 013 PARIS

Interlocuteur

Marie PERRAULT

06 44 15 96 53

Marie.perrault@edpr.com

Siteléco



SARL Siteléco

3 impasse de la fontaine – 21 370 VELARS-

SUR-OUICHE

03 80 27 03 43

contact@siteleco.fr

www.siteleco.fr



Indre Nature

*Association départementale de protection de la
nature et de l'environnement Parc Balsan - 44,
av. F. Mitterrand - 36000 CHATEAUROUX
SIRET : 353825664 00025 – APE 9499 Z*

Cadrage préalable	13
1. Contexte législatif	13
2. Localisation et caractéristiques du parc éolien de Paudy.....	13
Suivi de mortalité du parc éolien de Paudy (INDRE NATURE)	16
1. Méthodes	16
1.1. Protocoles de suivi	16
1.1.1. Dates de prospection.....	16
1.1.2. Méthodes et surfaces de recherche	16
1.2. Protocole complet	18
1.2.1. Surfaces échantillonnées	22
1.2.2. Coefficient de correction surfacique	23
1.2.3. Relevés des cadavres	23
1.3. Test de l'efficacité de l'observateur – taux de détection des cadavres.....	23
1.4. Test de la prédation – persistance des cadavres.....	25
1.5. Estimation de la mortalité	26
1.6. Limites	29
2. Résultats.....	30
2.1. Espèces et effectifs découverts	30
2.2. Taux de détection des cadavres	33
2.3. Persistance des cadavres.....	34
2.4. Estimation de la mortalité	36
3. Analyses	41
3.1. Aperçu global	41
3.2. Phénologie de la mortalité	43
3.2.1. Mortalité relevée.....	43
3.2.2. Mortalité estimée	44
3.3. Espèces impactées	45
3.3.1. Oiseaux	46
3.3.2. Chiroptères	47
3.4. Répartition de la mortalité par éolienne.....	48
3.4.1. Oiseaux	48
3.4.2. Chiroptères	49
3.4.3. Mortalité cumulée	50

3.5. Dispersion des cadavres	52
3.5.1. Orientation	52
3.5.2. Éloignement	55
3.6. Causes constatées de la mortalité	57
4. Interprétations	60
4.1. Influence du paysage	60
4.1.1. Échelle du parc	60
4.1.2. Zoom sur les éoliennes	46
4.2. Échelle départementale et corridors de déplacement	48
4.3. Influence de la météorologie	49
5. Conclusion	58
Étude de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle - suivi acoustique (SITELECO)	61
1. Présentation du protocole	61
2. Notion de patrimonialité	62
3. Analyse des résultats des écoutes en continu en nacelle // année 2020	63
4. Proposition d'adaptation d'un bridage préventif.....	65
4.1. Bridage visant à limiter l'impact sur les chiroptères	65
4.1.1. Mise en relation de l'activité chiroptérologique annuelle et de la mortalité	65
4.1.2. Activité chiroptérologique en fonction de la température	67
4.1.3. Activité chiroptérologique au cours de la nuit.....	68
4.1.4. Activité chiroptérologique en fonction de la vitesse du vent.....	70
4.2. Préconisation de bridage visant à limiter l'impact sur les chiroptères	72
Annexe	73
Bibliographie	75

Liste des figures

Carte 1. Localisation du parc éolien de Paudy	14
Carte 2. Présentation des éoliennes du parc éolien de Paudy	15

Liste des figures

Figure 1. Détails des surfaces des aires goudronnées	17
Figure 2. Parcours de prospection schématique - E3	17
Figure 3. Parcours de prospection complet schématique	19
Figure 4. Aperçu de l'éolienne E4 et de la zone semée empêchant la prospection (couche en vert)	20
Figure 5. Vue de la zone semée pour le gibier autour d'E4 - Juillet 2020	21
Figure 6. Vue de la zone semée pour le gibier autour d'E4 - fin Août 2020.....	21
Figure 7. Couvert des parcelles en avril - E1	25
Figure 8. Couvert des parcelles en mai - E5	25
Figure 9. Couvert des parcelles en juillet - E3.....	25
Figure 10. Couvert des parcelles en septembre - E5	25
Figure 11. Cadavre test Rouge-gorge prédaté & Cadavre test de moineau en place.....	26
Figure 12. Formule d'estimation de la mortalité « N »	28
Figure 13. Espèces, effectifs et statuts des relevés de cadavres lors du suivi	30
Figure 14. Donnée des tests observateur	33
Figure 15. Résultats de l'évaluation du taux observateurs	33
Figure 16. Vitesse de disparition du nombre de cadavres - Test de prédation 1	35
Figure 17. Vitesse de disparition des cadavres - Test de prédation 2	35
Figure 18. Résultats - Durée moyenne de persistance (t)	36
Figure 19. Résultats - Taux de persistance en moyenne (P)	36
Figure 20. Paramètre de calcul de "N"	37
Figure 21. Estimation de la mortalité "N"	38
Figure 22. Portions de passages avec et sans découvertes de cadavres	41
Figure 23. Passages en fonction de nombre de cadavres relevé 2%.....	41
Figure 24. Pourcentage des passages avec et sans découverte	42
Figure 25. Relevés de mortalité au cours du suivi 2020.....	43
Figure 26. Relevés mensuels de mortalité.....	44
Figure 27. Date potentielle de mort des cadavres relevés	45
Figure 28. Espèces impactées et leur répartition au cours des mois du suivi.....	45
Figure 29. Statut de protection et état de conservation des principales espèces retrouvées (LPO, 2017)	47
Figure 30. Mortalité par éolienne - Oiseaux	48
Figure 31. Mortalité par éolienne – Chiroptères.....	49
Figure 32. Répartition des cadavres relevés par éolienne	50
Figure 33. Proportions des cadavres relevés par éolienne	50
Figure 34. Répartition des cas de mortalité entre les éolienne au cours du suivi	51
Figure 35. Orientation des cadavres relevés par rapport au mât.....	52
Figure 36. Orientation des cadavres/mât - E1	52

Figure 37. Orientation des cadavres / mâts – E2	53
Figure 38. Orientation des cadavres / mâts – E3	53
Figure 39. Orientation des cadavres/mâts - E4	54
Figure 40. Orientation des cadavres / mâts – E5	54
Figure 41. Éloignement des cadavres.....	55
Figure 42. Éloignement des cadavres par éolienne - Oiseaux.....	56
Figure 43. Éloignement des cadavres par éolienne - Chiroptères	56
Figure 44. Causes de mortalité constatées.....	57
Figure 45. Illustration des différents type de blessures résultant de collision	58
Figure 46. Corridors écologiques dans le secteur du parc éolien de Paudy	61
Figure 47. Roses des vents mensuelles pour les mois de mars à novembre 2020 (infoclimat.fr)	54
Figure 48. Brouillard sur le parc de Paudy au mois de septembre	57
Figure 49. Bridage préconisé	59
Figure 50. Préconisation détecteur de brouillard	59
Figure 51. Installation du Batlogger au niveau de la nacelle de E2	61
Figure 52. Classe de patrimonialités spécifiques et méthodologie	62
Figure 53. Espèces détectées en altitude au niveau de l'éolienne E2	63
Figure 54. Somme des contacts chiroptérologiques enregistrés par jour par espèce en nombre de contacts bruts et cadavres de chiroptères retrouvés au cours de la période d'étude de 2020	66
Figure 55. Activité chiroptérologique en fonction de la température	67
Figure 56. Répartition de l'activité chiroptérologique nocturne au cours de la mise-bas.....	68
Figure 57. Répartition de l'activité chiroptérologique nocturne au cours des transits automnaux	69
Figure 58. Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction de la vitesse de vent – Mise-bas	70
Figure 59. Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction de la vitesse de vent - TA.....	71

Cadrage préalable

1. Contexte législatif

Dans le cadre de l'exploitation du parc éolien de Paudy (36 260), l'article 12 de l'arrêté ministériel du 26 août 2016 régit la mise en place d'un suivi post-implantation des chiroptères *a minima* pendant la période automnal (août à octobre). L'objectif de ce suivi est d'étudier l'activité des chiroptères à hauteur d'une des cinq nacelles des éoliennes pendant la période migratoire automnale (août à octobre) et de vérifier la nécessité de mettre en place un système de réduction d'impact potentiel.

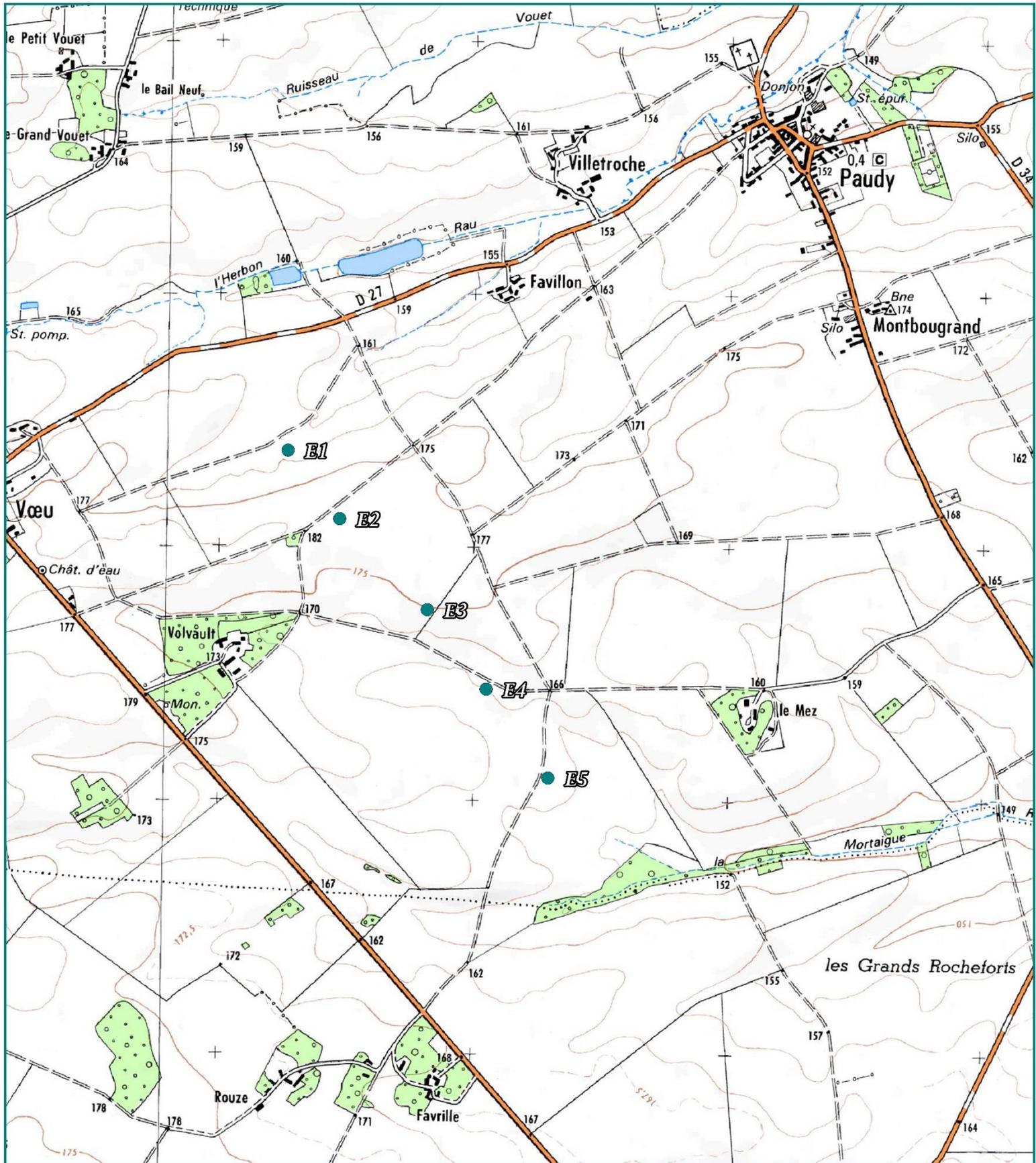
2. Localisation et caractéristiques du parc éolien de Paudy

Le parc éolien de Paudy est en exploitation depuis mai 2019. Il concerne le territoire d'une commune du département de l'Indre (36 – région Centre-Val de Loire) à savoir Paudy. Le parc, qui se compose de cinq éoliennes de modèle Nordex N117, se situe à environ 37 kilomètres au Nord-est de la ville de Châteauroux.

Les éoliennes du site de Paudy ont été aménagées dans un contexte agricole. L'éolienne E2, sur laquelle a été installé le protocole d'écoute en continu des chiroptères, se trouve à 160 mètres d'un bosquet et à 367 mètres d'un boisement.

Les cartographies suivantes permettent d'apprécier le site d'aménagement du parc éolien de Paudy.

Carte 1. Localisation du parc éolien de Paudy



Parc éolien de Paudy

● Emplacement des éoliennes E1 - E2 (microphone) - E3 - E4 - E5



0 m 200 m 400 m



Carte 2. Présentation des éoliennes du parc éolien de Paudy



Parc éolien de Paudy

● Emplacement des éoliennes E1 - E2 (microphone) - E3 - E4 - E5



Suivi de mortalité du parc éolien de Paudy (INDRE NATURE)

1. Méthodes

1.1. Protocoles de suivi

1.1.1. Dates de prospection

Le suivi initialement prévu strictement limité aux recommandations du protocole national a été avancé au mois d'avril afin de couvrir la période de migration pré-nuptiale théorique des oiseaux ainsi que la reprise d'activité des chiroptères. En effet, nous observons de la mortalité en cette période à l'occasion d'un suivi que nous assurons sur un autre parc éolien du département, à Vouillon.

Fréquences de prospection

Les éoliennes ont été prospectées à raison :

- D'un passage/semaine entre les semaines 14 et 33 (soit du 02/04 au 12/08).
- De deux passages/semaine entre les semaines 34 et 46 (18/08 au 13/11)

Au total, ce sont 56 passages qui ont été effectués sur le parc éolien de Paudy entre avril et mi-novembre 2020.

1.1.2. Méthodes et surfaces de recherche

L'ensemble du parc, soit les 5 éoliennes, a été suivi lors de chaque passage. Les parcelles d'implantation des éoliennes étant situées dans des cultures, elles n'étaient pas accessibles durant une bonne partie du suivi, le passage répété de l'observateur pouvant occasionner des dégâts aux cultures, et l'efficacité de recherche étant réduite au-delà d'une certaine hauteur de végétation.

Périmètres de prospection

Plusieurs périmètres de recherche ont été utilisés durant ces semaines de suivi :

- **Semaines 14 à 17 (02/04 au 27/07) :** prospection en transects des aires goudronnées (excluant les parcelles agricoles).
- **Semaines 31 à 46 (28/07 au 13/11) :** prospection totale en transects (excluant une partie en culture semée au pied de l'éolienne E4).

Lorsque les cultures adjacentes ont limité les recherches, seules les aires goudronnées / gravillonnées ont donc été inspectées, ce qui représente environ 11 150 m². Elles ont chacune été prospectées au travers de transects parallèles et distants de 5 m.

Figure 1. Détails des surfaces des aires goudronnées

Éoliennes	Surface de l'aire goudronnée prospectée (m ²)
E1	1997
E2	2629
E3	2344
E4	1916
E5	2264
Surface totale = 11 150 m ²	

Figure 2. Parcours de prospection schématisé - E3



1.2. Protocole complet

Au cours de ce suivi, quelques éléments sont venus complexifier les prospections :

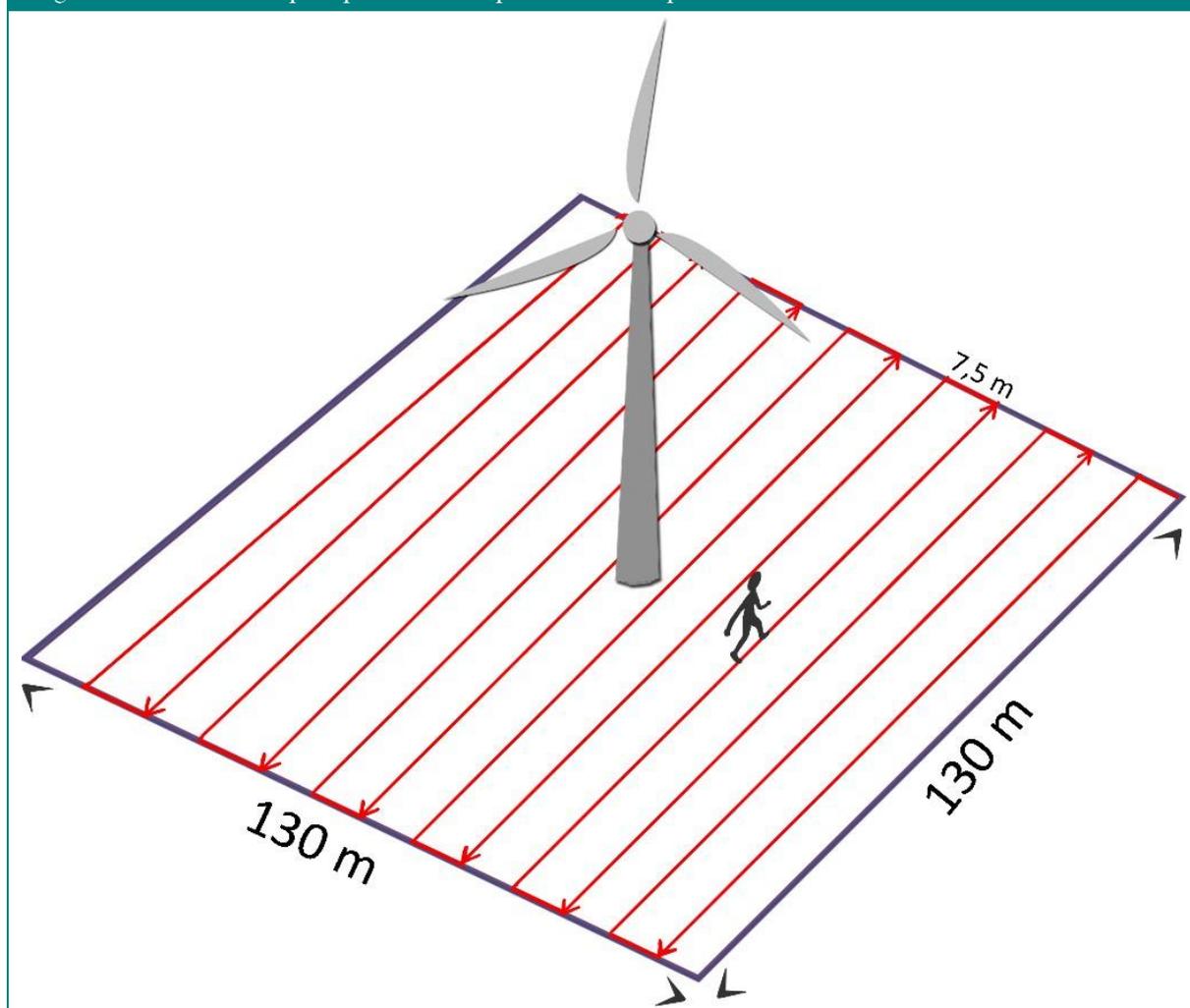
- Couverts rendant la prospection difficile : cultures, végétation naturelle au pied des éoliennes (haute et dense).
- Différents obstacles liés aux installations du parc : enrochement, poste électrique, barrière, différences de niveau ...
- Phénomènes agricoles : labours, semis des cultures, semis pour cultures à gibier (E4).

Au vu de la configuration parfois complexe des zones d'études, le protocole de prospection est légèrement différent du protocole national pour être adapté au site et assure ainsi une meilleure efficacité de prospection.

Ainsi, lorsqu'il a pu être mis en place, un carré sur 130 m de côté a été prospecté à l'aplomb de chaque éolienne (leurs pales ayant pour rappel une longueur de 63 m). Pour la prospection complète d'une éolienne, l'observateur effectue des transects parallèles, ce qui représente en moyenne 14 passages espacés de 7,5 mètres. Dans des conditions optimales, la surface échantillonnée sous chaque éolienne représente 16 900 m², soit un total prospecté de 84 500 m².

Cette aire de recherche maximale n'a finalement pu être prospectée sur l'ensemble du parc qu'à partir du 27 juillet 2020, correspondant environ à la moitié des passages.

Figure 3. Parcours de prospection complet schématique



À noter :

À partir du 13 juillet 2020, l'éolienne E4 ne pouvait pas être prospecté intégralement, et ce jusqu'à la fin du suivi. En effet, 3 745 m² de la zone d'étude ont été semés en cultures pour le gibier (voir photos ci-après). Seule une zone de 12 755 m² a été laissée disponible pour les prospections, contrairement aux 16 500 m² en temps normal.

Figure 4. Aperçu de l'éolienne E4 et de la zone semée empêchant la prospection (couche en vert)



Figure 5. Vue de la zone semée pour le gibier autour d'E4 - Juillet 2020



Figure 6. Vue de la zone semée pour le gibier autour d'E4 - fin Août 2020



D'autres facteurs ont parfois contraint l'observateur à réduire la surface de prospection, notamment lors des sorties du :

- 27 mai : maintenance de l'éolienne pour E5
- 8 septembre : engin agricole labourant les parcelles d'E2
- 20 octobre : chasse sur les parcelles.

1.2.1. Surfaces échantillonnées

La surface échantillonnée lors de chaque passage est finalement présentée dans le tableau ci-dessous :

Date suivi	Surface échantillonnée (m ²)
02/04/2020	11150
08/04/2020	11150
15/04/2020	11150
22/04/2020	11150
29/04/2020	11150
06/05/2020	11150
13/05/2020	11150
20/05/2020	11150
27/05/2020	8886
03/06/2020	11150
10/06/2020	11150
17/06/2020	11150
24/06/2020	11150
01/07/2020	11150
08/07/2020	11150
15/07/2020	11150
21/07/2020	11150
23/07/2020	11150
28/07/2020	80355
04/08/2020	80355
10/08/2020	80355
13/08/2020	80355
18/08/2020	80355
21/08/2020	80355
25/08/2020	80355

Date suivi	Surface échantillonnée (m ²)
28/08/2020	80355
01/09/2020	80355
04/09/2020	80355
08/09/2020	66484
11/09/2020	80355
15/09/2020	80355
17/09/2020	80355
22/09/2020	80355
25/09/2020	80355
29/09/2020	80355
02/10/2020	80355
06/10/2020	80355
09/10/2020	80355
13/10/2020	80355
16/10/2020	80355
20/10/2020	66199
23/10/2020	80355
26/10/2020	80355
29/10/2020	80355
03/11/2020	80355
06/11/2020	80355
10/11/2020	80355
13/11/2020	80355

1.2.2. Coefficient de correction surfacique

Ce coefficient correcteur surfacique « A » servira dans les calculs de mortalité à corriger le fait que l'ensemble de la zone à prospecter théorique ('protocole complet') n'ait été réellement prospecté à chaque passage, du fait des cultures par exemple.

Il est calculé de la façon suivante :

$$A = 1 + [1 - (\text{surface prospectée} / \text{surface de prospection théorique})]$$

1.2.3. Relevés des cadavres

Lors des relevés, plusieurs informations générales ont été notées :

- Date
- Heure
- Météo du jour
- Activité agricole en cours/passée sous chaque éolienne
- Évolution des habitats sous chaque éolienne.

En cas de découverte de cadavres, leur localisation a été reportée sur une photographie aérienne et des photographies ont été prises. Les éléments suivants ont été relevés :

- Numéro de l'éolienne concernée
- Espèce (sexe, âge dans la mesure du possible)
- État du cadavre (intact/partiellement détérioré/détérioré)
- Estimation de la cause et de la date de la mort
- Couverture végétale du lieu de découverte (de 0 à 2)
- Distance et orientation par rapport au mât.

Les mensurations des chiroptères destinées à la détermination de l'espèce ont été prises de retour au bureau d'Indre Nature à l'aide d'un pied à coulisse.

1.3. Test de l'efficacité de l'observateur – taux de détection des cadavres

Deux tests « observateur » ont été réalisés au cours du suivi, afin d'estimer le taux de détection de la personne chargée du suivi (une seule dans notre cas) et d'en tenir compte lors de l'estimation de la mortalité du parc éolien.

Ils ont été effectués à deux saisons différentes (le 21/07 et le 26/10) afin de prendre en compte l'évolution du couvert végétal sous les éoliennes au cours des saisons – et l'évolution du protocole de recherche.

Pour cela, des cadavres à la disposition d'Indre Nature (oiseaux et chiroptères trouvés morts et amenés pour la plupart d'autres sites éoliens, ou par des adhérents de l'association, puis congelés) ont été disposés aléatoirement, mais sur les différents couverts végétaux présents. Cette manipulation a été réalisée par une tierce personne.

L'observateur de l'étude a ainsi été testé sur la prospection de trois éoliennes. Le nombre de cadavres placés sous chaque éolienne était inconnu et leur recherche s'est effectuée dans les conditions réelles, c'est-à-dire en appliquant le protocole défini et présenté précédemment.

Le taux de détection D obtenu par ce test correspond à la proportion de cadavres détectés par l'observateur :

$D = \text{nombre de cadavres découverts} / \text{nombre de cadavres déposés}$

Quelques photos ci-dessous présentent l'évolution des couverts sous les éoliennes tout au long des mois de suivi :

Figure 7. Couvert des parcelles en avril - E1



Figure 8. Couvert des parcelles en mai - E5



Figure 9. Couvert des parcelles en juillet - E3



Figure 10. Couvert des parcelles en septembre - E5



1.4. Test de la prédation – persistance des cadavres

Deux tests de persistance des cadavres ont également été réalisés à deux périodes différentes au cours du suivi, afin d'évaluer le taux de disparition des cadavres lié à leur prédation par des charognards, et de prendre en compte une éventuelle évolution en fonction de la saison. Ce taux de disparition rentre également en compte dans les calculs de mortalité qui seront réalisés.

Pour cela, des cadavres à la disposition d'Indre Nature (oiseaux et chiroptères trouvés morts et amenés pour la plupart par des adhérents de l'association, les autres résultant du présent suivi mortalité, puis congelés) ont été marqués très discrètement (marqueur sur une patte) puis disposés aléatoirement, mais sur les différents couverts végétaux présents lors des tests. Leur position a été reportée sur un plan afin de les retrouver aisément. Les 5 éoliennes ont ainsi été suivies à chaque fois.

À chaque passage suivant, la position et la présence des cadavres ont été contrôlées. L'état d'avancement de leur décomposition a été noté, ainsi que la date de leur disparition.

Ces données permettent de déterminer le **taux de persistance (P)** à x jours (x étant le nombre de jours séparant deux visites), et la **durée moyenne de persistance (t)** des cadavres.

Figure 11. Cadavre test Rouge-gorge prédaté & Cadavre test de moineau en place



1.5. Estimation de la mortalité

Il existe différentes méthodes d'estimation de la mortalité avifaunistique et chiroptérologique engendrée par un parc éolien.

Dans cette étude, 4 formules ont été appliquées pour comparaison. En effet, les estimations de la mortalité réelle peuvent varier sensiblement en fonction de la formule utilisée (MARX et al, LPO France, 2017). Il est notamment acquis que :

- la formule de Winkelmann (1989) ; jugée parfois un peu simpliste, elle aurait tendance à surestimer la mortalité réelle, surtout lorsque la durée de persistance des cadavres est faible ;
- celle d'Erickson (2000) a tendance à sous-estimer la mortalité réelle, en particulier lorsque la durée de persistance des cadavres est importante ;
- celles de Jones (2009) et Huso (2010), plus récentes, présentent une fiabilité plus importante et proposent des résultats intermédiaires et proches.

Toutes ces formules permettent de calculer le nombre estimé de cadavres, noté N.

Figure 12. Formule d'estimation de la mortalité « N »

Winkelmann, 1989

La formule de WINKELMANN est une méthode d'estimation simple et la plus couramment utilisée. Toutefois, cette formule n'est pas applicable quand tous les cadavres du test prédation ont disparu au passage suivant, car P équivaut dans ce cas à 0. En outre de sa tendance à surestimer la mortalité réelle, cette formule est considérée comme obsolète par la SEFPM (SEFPM, 2016) et EUROBATS ; elle sera toutefois calculée ici à des fins de comparaison avec des études antérieures.

Le coefficient de correction surfacique A lui a été ajouté afin d'obtenir la formule suivante :

$$N = [C / (P \times D)] \times A$$

Avec :

C : Nombre de cadavres découverts P : Taux de persistance d'un cadavre D : Taux de détection

Erikson, 2000

La formule d'ERICKSON (2000) fonctionne même lorsque P vaut 0. Pour cela, elle intègre la durée de persistance moyenne des cadavres et la fréquence de passage. Cette formule aurait tendance à sous-estimer la mortalité réelle, en particulier lorsque la durée de persistance des cadavres est importante.

Elle est ainsi calculée :

$$N = [(C \times i) / (t \times D)] \times A$$

Avec :

C : Nombre de cadavres découverts

i : Fréquence de passage = nombre de jours entre chaque passage t : Durée moyenne de persistance des cadavres

D : Taux de détection

A : Coefficient de correction surfacique

Jones, 2009

La formule proposée par JONES et *al.* (2009) est plus complexe. Elle repose sur le fait que le taux de mortalité est constant sur l'intervalle considéré, et que la persistance des cadavres suit une variable exponentielle négative. De plus, elle part du postulat que la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle. Apparaît également dans cette formule la notion d'*intervalle effectif* noté \hat{i} , correspondant à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1% : un cadavre découvert au bout d'un i très long est considéré mort dans cet intervalle effectif.

La formule est la suivante :

$$N = [C / (D \times P \times \hat{e})] \times A$$

Avec :

C : Nombre de cadavres découverts D : Taux de détection

P : Taux de persistance d'un cadavre = proportion de cadavres restants après x jours. Dans le cadre de cette méthode d'estimation, P est calculé de la façon suivante : $P = \exp(-0,5 \times i/t)$, avec toujours la fréquence de passage i = nombre de jours entre chaque passage et t la durée moyenne de persistance des cadavres

\hat{e} : Coefficient correcteur de l'intervalle = $\text{Min}(i : \hat{i}) / i$, avec i la fréquence de passage et l'intervalle effectif \hat{i}

$$= -\log(0,01) \times t$$

A : Coefficient de correction surfacique

À noter : dans l'équation, i prendra la valeur minimale entre i et \hat{i} .

Huso, 2010

HUSO (2010) considère également que le taux de mortalité est constant sur l'intervalle de temps considéré. Par contre, cette fois, la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle n'est plus égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre (P plus élevé).

Figure 12. Formule d'estimation de la mortalité « N »

Par conséquent, la formule est la même que pour Jones, mais la valeur de P est différente :

$$N = [C / (D \times P \times \hat{e})] \times A$$

Avec :

N : Nombre estimé de cadavres

C : Nombre de cadavres découverts
D : Taux de détection

P : Taux de persistance d'un cadavre = proportion de cadavres restants après x jours. Dans le cadre de cette méthode d'estimation, P est calculé de la façon suivante : $P = [t \times (1 - \exp(-i/t))] / i$

\hat{e} : Coefficient correcteur de l'intervalle = $\text{Min}(i : \hat{i}) / i$, avec i la fréquence de passage et l'intervalle effectif \hat{i}

$$= -\log(0,01) \times t$$

A : Coefficient de correction surfacique

À noter : dans cette équation également, i prendra la valeur minimale entre i et \hat{i} .

1.6. Limites

Les différents calculs de mortalité intègrent des coefficients correcteurs visant à limiter les biais de la méthode. Il en reste néanmoins, qu'il est possible d'énumérer et d'illustrer ici :

- **Passages d'engins agricoles** : enfouissement potentiel des cadavres, création d'ornières remplies d'eau...
- **Couvert difficilement prospectable** (tous les types de recouvrements ne peuvent être testés) : couvert élevé...
- **Conditions d'observation difficiles** : ensoleillement fort ou au contraire ombre portée...
- **Interventions extérieures** pouvant limiter la mise en œuvre du protocole (maintenance des machines, chasse).

Les calculs de mortalité, sur ces bases, restent bien des estimations. L'application de formules validées au niveau international permettra néanmoins une comparaison inter-parcs, et le suivi dans le temps des résultats sur le parc de Paudy rendra compte des évolutions au fil des années.

2. Résultats

2.1. Espèces et effectifs découverts

Au cours de ce suivi en 56 passages, 4 espèces de chiroptères et 8 espèces d'oiseaux ont été retrouvées sous les éoliennes, pour un total de 26 cadavres. Le détail est présenté dans le tableau ci-dessous, faisant apparaître les statuts de conservation des espèces, à différentes échelles.

Pour 4 individus, il a été impossible de déterminer l'espèce, du fait de blessures importantes et/ou d'une détérioration avancée (conditions météorologiques, prédation partielle...). Ces individus apparaissent en *italique* et 'sp.' dans le tableau ci-après.

Figure 13. Espèces, effectifs et statuts des relevés de cadavres lors du suivi

	<i>Nombre de cadavres</i>	<i>DH/DO1</i>	<i>LRE</i>	<i>PN</i>	<i>LRR</i>
CHIROPTERES	11				
Noctule commune	1	X	LC	X	LC
Noctule de Leisler	6	X	LC	X	NT
Pipistrelle commune	1	X	LC	X	LC
Pipistrelle de Nathusius	2	X	LC	X	NT
<i>Pipistrelle de Kuhl</i> ou <i>Nathusius</i>	1	X	LC	X	?
OISEAUX	17				
Alouette des champs	1	-	LC	-	NT
Bruant proyer	1	-	LC	X	NT
Chardonneret élégant	1	-	LC	X	LC
Faucon hobereau	1	-	LC	X	NT
Hirondelle de fenêtres	1	-	LC	X	LC
Perdrix rouge	1	-	LC	-	LC
Roitelet triple bandeau	2	-	LC	X	LC
Rouge-gorge familier	3	-	LC	X	LC
<i>Merle noir</i> ou <i>Grive sp.</i>	2	-	?	?	?
<i>Indéterminé</i>	4	?	?	?	?
TOTAL	28				

DH/DO1 : Directive Habitats/Oiseaux ; LRE : Liste rouge européenne ; PN : Protection nationale ; LRR : Liste rouge régionale (LC Préoccupation mineure/ NT Quasi menacé)

Parmi les espèces d'oiseaux impactées la majorité sont protégées à l'échelle nationale et 3 d'entre elles ont un statut de conservation particulièrement défavorable. Concernant les chauves-souris, 2 espèces sont considérées comme quasi-menacées à l'échelle régionale ; par ailleurs, elles sont toutes protégées et concernées par la Directive européenne Habitats.

À partir de ces résultats bruts, on peut en déduire une mortalité de : 28 cadavres/48 passages soit **0,58 cadavres par visite** ; comme les 5 éoliennes étaient contrôlées à chaque fois, on aboutit à une valeur estimative de **0,11 cadavre par éolienne et par jour suivi**.

Ci-après quelques aperçus de différents cas découverts :

Illustration 1. Hironde de fenêtre - E1



Illustration 2. Noctule de Leisler - E2



Illustration 3. Faucon hobereau - E3



Illustration 4. Rouge-gorge familier - E3



Illustration 5. Perdrix rouge (juvénile) - E4



Illustration 6. Roitelet triple bandeau - E4



Illustration 7. Noctule commune - E5



Illustration 8. Pipistrelle de Nathusius - E5



Voici un tableau récapitulatif des distances/orientations par espèce relevée :

	<i>Distance / mât (m)</i>	<i>Orientation / mât</i>	<i>Éolienne</i>
Oiseaux			
Alouette des champs	50	O	E5
Bruant proyer	1	N	E1
Chardonneret élégant	6	SO	E1
Faucon hobereau	50	O	E3
Hirondelle de fenêtre	50	S	E1
Perdrix rouge	1	E	E4
Roitelet triple bandeau	70	N	E4
	50	E	E3
Rouge-gorge familier	65	SE	E3
	60	NO	E2
	50	E	E2
Merle noir ou Grive sp.	10	SE	E4
	1	S	E2
Passereau indéterminé	60	SO	E5
	50	E	E4
	20	O	E1
	10	SE	E5
Chiroptères			
Noctule commune	30	SO	E5
Noctule de Leisler	60	NE	E4
	50	SE	E3
	45	SO	E4
	15	SO	E5
	3	S	E2
	1	S	E3
Pipistrelle commune	8	NO	E1
Pipistrelle de Nathusius	55	S	E5
	25	S	E3
Pipistrelle de Kuhl ou Pipistrelle de nathusius	60	NE	E4

2.2. Taux de détection des cadavres

Au cours de ce suivi, 3 observateurs ont effectué le protocole (dont 2 sont intervenus ponctuellement le 21/07, le 04/08, le 10/08 et le 13/08). Ainsi, le test observateur a été réalisé par Manon Lanièce qui a été principalement en charge du suivi.

Le test d'efficacité de l'observateur a été réalisé à deux reprises, les 21/07/2020 et 26/10/2020.

Les zones de tests ainsi que la méthode de recherche ont été adaptées à l'évolution de la végétation entre ces deux passages, comme cela a été fait pour la recherche de cadavres (agrandissement de l'aire de recherche et mise en œuvre du protocole 'complet'). Cela permettra d'ajuster au mieux les calculs en fonction des conditions réelles de recherche.

Les données et résultats de ces deux tests sont les suivants :

Figure 14. Donnée des tests observateur

	<i>Date</i>	<i>Éoliennes suivies</i>	<i>Tests</i>
TEST 1 (surface optimale)	21/07/2020	E3 E4 E5	25 cadavres tests 18 oiseaux + 7 chiroptères
TEST 2 (surface optimale)	26/10/2020	E1 E2 E3	24 cadavres tests 15 oiseaux + 9 chiroptères

Figure 15. Résultats de l'évaluation du taux observateurs

<i>Éolienne suivie</i>		<i>Tests</i>	<i>Résultats bruts : cadavres trouvés</i>	<i>Pourcentage de détection</i>	<i>Taux de détection</i>	<i>Taux de détection moyen</i>
TEST 1	E3	6 oiseaux 3 chiroptères	5 oiseaux 0 chiroptère	75 %	0,7	0,53
	E4	6 oiseaux 2 chiroptères	2 oiseaux 0 chiroptère	33 %	0,3	
	E5	6 oiseaux 2 chiroptères	2 oiseaux 2 chiroptères	66 %	0,6	
TEST 2	E1	6 oiseaux 3 chiroptères	3 oiseaux 1 chiroptère	44 %	0,4	0,7
	E2	6 oiseaux 3 chiroptères	6 oiseaux 3 chiroptères	100 %	1	
	E3	6 oiseaux 3 chiroptères	5 oiseaux 2 chiroptères	77 %	0,7	

2.3. Persistance des cadavres

Le test de prédation des cadavres a été mis en place à deux reprises, les 21/07/2020 et 26/10/2020.

Là aussi, les zones de tests ainsi que la méthode de recherche ont été adaptées à l'évolution de la végétation entre ces deux passages. Ce test permettra de prendre en compte au mieux les différents paramètres environnementaux dans les calculs de mortalité.

La fréquentation du parc éolien de Paudy par des prédateurs et charognards potentiels divers a en effet été constatée lors des relevés. Des indices de présence ont été repérés (fèces, restes de prédation – plumes en l'occurrence, individus tests prédatés...) et un renard a été surpris sur le site à plusieurs reprises ainsi que des corneilles noires.

Lors du 1er test de prédation, l'association n'avait à disposition que 2 cadavres de chiroptères pour ce test. Ce qui peut biaiser les résultats si l'on compare au groupe « oiseaux » qui comptait 13 cadavres.

Les données et résultats de ces deux tests sont les suivants :

	Date	Éolienne suivie	Tests	Espèces testées
TEST 1	21/07/2020	E1	3 oiseaux	Alouette des champs-Rouge-gorge familier Grive
		E2	3 oiseaux	Rouge-gorge familier (2) Grive
		E3	2 chiroptères 1 oiseau	Pipistrelle (2) Rouge-gorge familier
		E4	3 oiseaux	Rouge-gorge familier (2) Grive musicienne
		E5	3 oiseaux	Rouge-gorge familier Grive Moineau domestique
TEST 2	26/10/2020	E1	2 oiseaux 1 chiroptère	Bruant proyer Rouge-gorge familier Pipistrelle
		E2	2 oiseaux 1 chiroptère	Rouge-gorge familier (2) Pipistrelle
		E3	2 oiseaux 1 chiroptère	Grive Rouge-gorge familier Pipistrelle
		E4	2 oiseaux 1 chiroptère	Roitelet triple bandeau Grive Pipistrelle
		E5	oiseau chiroptères	Pipistrelle (2) Hirondelle de fenêtre

À noter : le protocole national recommande de disposer 3 à 5 cadavres par éolienne testée, sur au moins la moitié du parc. Disposant d'un nombre de cadavres limité, mais souhaitant tester le plus grand nombre d'éoliennes possible afin de prendre en compte les différences d'habitats à proximité de ces dernières, nous avons préféré suivre les 5 éoliennes et disposer 3 cadavres par éolienne. Le nombre total de cadavres utilisés pour ce test est toutefois dans l'intervalle recommandé (15).

La persistance des cadavres testée au travers des deux tests peut être représentée sur les graphiques ci-dessous :

Figure 16. Vitesse de disparition du nombre de cadavres - Test de prédation 1

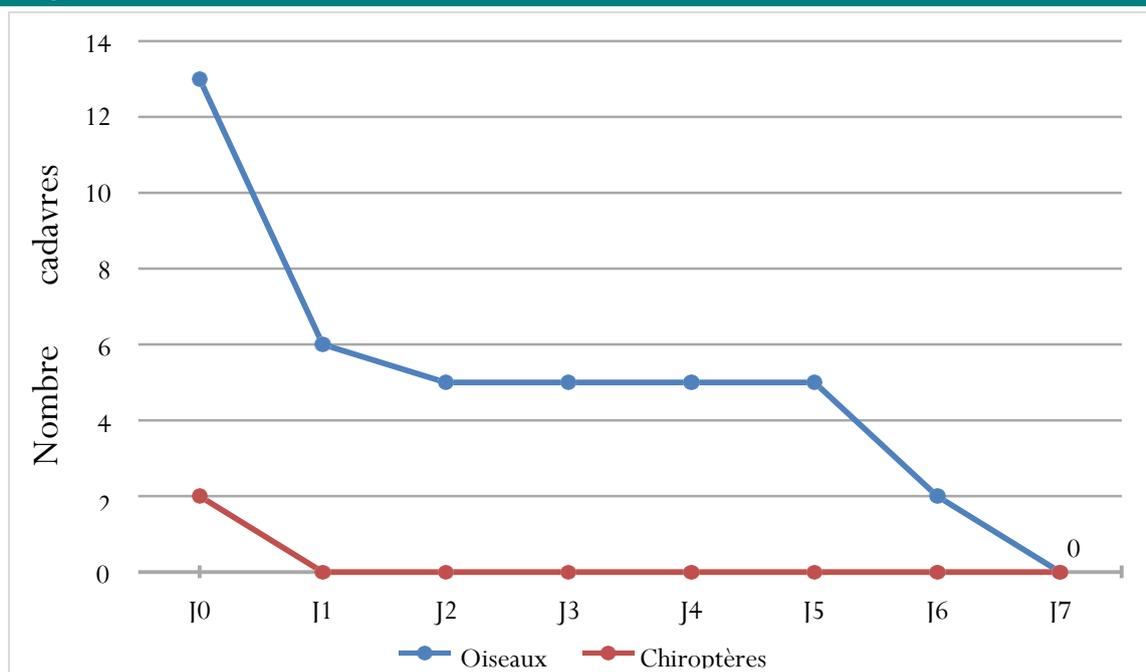
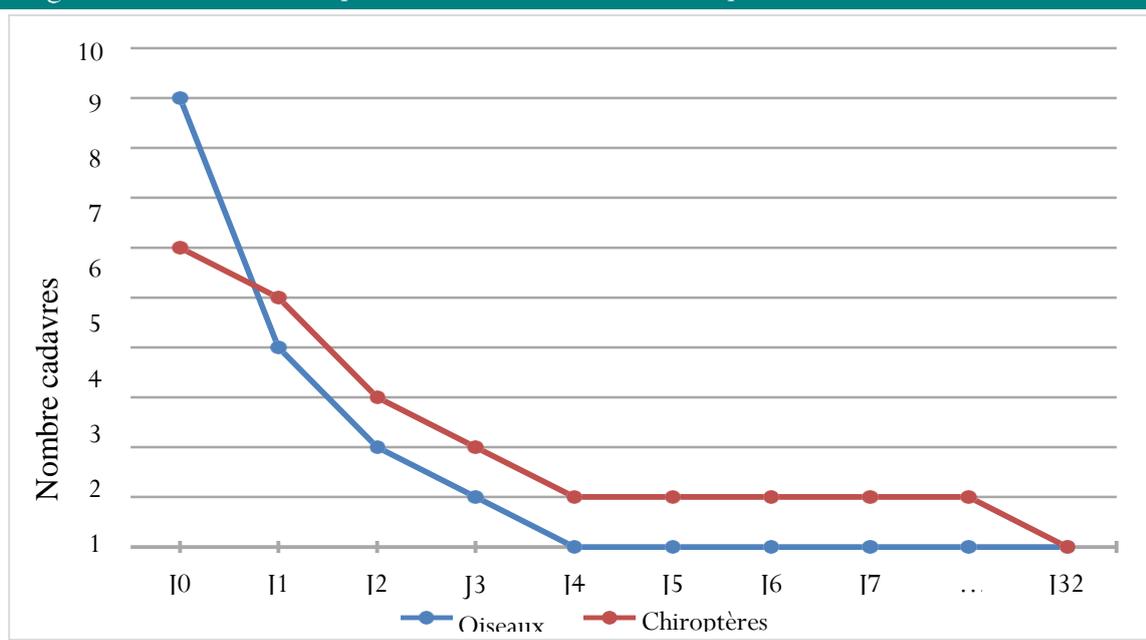


Figure 17. Vitesse de disparition des cadavres - Test de prédation 2



Pour ce test, aucune différence de couvert entre éoliennes n'a été considérée. Lors du deuxième test, le cass'est présenté d'un cadavre resté pendant près d'un mois avant de disparaître.

- La durée moyenne de persistance (t) des cadavres a été calculée. Elle correspond au nombre de jours moyen pendant lequel ils restent au pied des éoliennes.

Elle a été calculée selon la formule suivante (Beucher et al., 2013) :

$$t = (\text{nb cadavres à } j+1 + (\text{nb cadavres à } j+2 \times 2) + (\text{nb cadavres à } j+4 \times 4)) / \text{nb cadavres à } j0$$

La valeur moyenne par groupe est présentée ci-dessous, pour chaque test, ainsi que la moyenne globale calculée (biais à prendre en compte pour le groupe chiroptères pour le 1^{er} test).

Figure 18. Résultats - Durée moyenne de persistance (t)

	Test 1	Test 2
Oiseaux	2,8 jours	0,9 jour
Chiroptères	0 jour	3,2 jours
Global	1,4 jour	2 jours

- Le taux de persistance (P) correspond à la proportion de cadavres restant au pied des éoliennes entredeux relevés de terrain, soit :
- 7 jours en première période,
- 2 ou 4 jours en seconde période.

Figure 19. Résultats - Taux de persistance en moyenne (P)

	Test 1 (7 jours)	Test 2 (2 jours)	Test 2 (4 jours)
Oiseaux	0	0,2	0
Chiroptères	0	0,5	0,1
Global	0	0,35	0,05

2.4. Estimation de la mortalité

Les passages de terrain ont été regroupés en 6 périodes, afin de prendre en compte l'évolution de chaque composante des calculs (surface échantillonnée lors de chaque visite, fréquence de passage, taux de détection, de prédation). La mortalité estimée a ainsi pu être calculée au plus juste pour chaque période, et cela avec les 4 formules présentées au chapitre 2.

Une estimation de la mortalité est enfin proposée sur la durée totale du suivi, à partir :

- du cumul de chaque période ;
- des valeurs moyennées, à des fins de comparaison. Les paramètres des calculs sont rappelés ci-dessous :

Figure 20. Paramètre de calcul de “N”	
<i>Définition</i>	<i>Symbole</i>
Nombre de cadavres découverts	C
Coefficient de correction surfacique	A
Taux de détection	D
Fréquence de passage = nbr de jours entre chaque passage	i
Taux de persistance d’un cadavre	P
Durée moyenne de persistance des cadavres	t

Figure 21. Estimation de la mortalité "N"

									Mortalité estimée			
<i>Date du suivi</i>	<i>Surface échantillonnée</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>i</i>	<i>i moyen</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>Winkelmann</i>	<i>Erickson</i>	<i>Jones</i>	<i>Huso</i>
02/04/2020	11150	2	6	1,86	0,53	6,93	0	2	/	73,11	99,37	84,56
08/04/2020	11150	0										
15/04/2020	11150	1										
22/04/2020	11150	0										
29/04/2020	11150	0										
06/05/2020	11150	0										
13/05/2020	11150	1										
20/05/2020	11150	1										
27/05/2020	8886	0										
03/06/2020	11150	0										
10/06/2020	11150	0										
17/06/2020	11150	1										
24/06/2020	11150	0										
01/07/2020	11150	0										
08/07/2020	11150	0										
15/07/2020	11150	0										
21/07/2020	11150	1	2	1,86	0,53	4	0,35	2	20,07	14,05	19,09	16,25
23/07/2020	11150	1										
28/07/2020	80355	1			5,00							
04/08/2020	80355	1			7,00							
10/08/2020	80355	1			6,00							
13/08/2020	80355	1			3,00							
18/08/2020	80355	0			5,00							
21/08/2020	80355	2			3,00							

									Mortalité estimée				
<i>Date du suivi</i>	<i>Surface échantillonnée</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>i</i>	<i>i moyen</i>	<i>P</i>	<i>t</i>	<i>Winkelmann</i>	<i>Erickson</i>	<i>Jones</i>	<i>Huso</i>	
25/08/2020	80355	2	20	1,01	0,70	4,00	3,83	0,05	2	579,56	55,56	78,79	67,05
28/08/2020	80355	0				3,00							
01/09/2020	80355	2				4,00							
04/09/2020	80355	0				3,00							
08/09/2020	66484	0				4,00							
11/09/2020	80355	2				3,00							
15/09/2020	80355	2				4,00							
17/09/2020	80355	0				2,00							
22/09/2020	80355	3				5,00							
25/09/2020	80355	0				3,00							
29/09/2020	80355	1				4,00							
02/10/2020	80355	0				3,00							
06/10/2020	80355	1				4,00							
09/10/2020	80355	0				3,00							
13/10/2020	80355	0				4,00							
16/10/2020	80355	0	3,00										
20/10/2020	66199	0	4,00										
23/10/2020	80355	1	3,00										
26/10/2020	80355	0	0	1	0,70	3,00	3,00	0,35	2	0	0	0	0
29/10/2020	80355	0			3,00								
03/11/2020	80355	0	0	1	0,70	5,00	3,75	0,05	2	0	0	0	0
06/11/2020	80355	0				3,00							
10/11/2020	80355	0				4,00							
13/11/2020	80355	0				3,00							
Moyenne globale	53772,06	28	1,33	0,63	4,79	4,30	0,16	2,00	368,50	126,86	160,27	136,38	
Soit sur l'année									599,80	142,72	197,26	167,85	

Si l'on considère la mortalité calculée sur la période totale du suivi, on constate des différences entre les 4 formules :

- un facteur de 5,2 à 21 par rapport à ce qui a été observé sur le terrain (entre 142 et 600 cas estimés), si l'on considère les variations périodiques des paramètres ; il est à noter toutefois que lors de la dernière période analysée (09/10 au 13/11/2020), l'absence de mortalité ne permet pas d'obtenir de valeur estimative avec les formules considérées. De plus, la formule Winkelmann n'est pas applicable pour la première période.
- un facteur de 4,5 à 13,2 par rapport à ce qui a été observé sur le terrain (entre 126 et 368 cas) si l'on considère les valeurs moyennes des paramètres.

Sur une année complète, la mortalité estimée est comprise **entre 264 et 443 cas**, soit au minimum **9 fois plus** que notre mortalité constatée ramenée à une année. Ces chiffres, ramenés par éolienne sont compris dans une fourchette de **52 à 88 mortalités par éolienne et par an**.

	Constatée		Winkelmann	Erickon	Jones	Huso	Moyenne calculée
Mortalité globale en 7,5 mois	28	Valeurs périodiques	599,80	142,72	197,26	167,85	276,91
		Valeurs moyennes	368,50	126,86	160,27	136,38	198,00
Mortalité par éolienne en 7,5 mois *	5,6	Valeurs périodiques	119,96	28,54	39,45	33,57	55,38
		Valeurs moyennes	61,42	21,14	26,71	22,73	33,00
Mortalité par éolienne et par mois *	0,75	Valeurs périodiques	15,99	3,81	5,26	4,48	7,38
		Valeurs moyennes	8,19	2,82	3,56	3,03	4,40
Mortalité par éolienne sur l'année *	8,96	Valeurs périodiques	191,94	45,67	63,12	53,71	88,61
		Valeurs moyennes	98,27	33,83	42,74	36,37	52,80
Mortalité globale sur l'année *	44,8	Valeurs périodiques	959,68	228,35	315,61	268,56	443,05
		Valeurs moyennes	491,34	169,15	213,69	181,84	264,00

* Les résultats ont été calculés pour ces lignes simplement en divisant/multipliant la « mortalité globale en 7,5 mois » par le nombre d'éoliennes/de mois. Ils ne tiennent donc pas compte des variations d'activité, géographiques ou temporelles.

3. Analyses

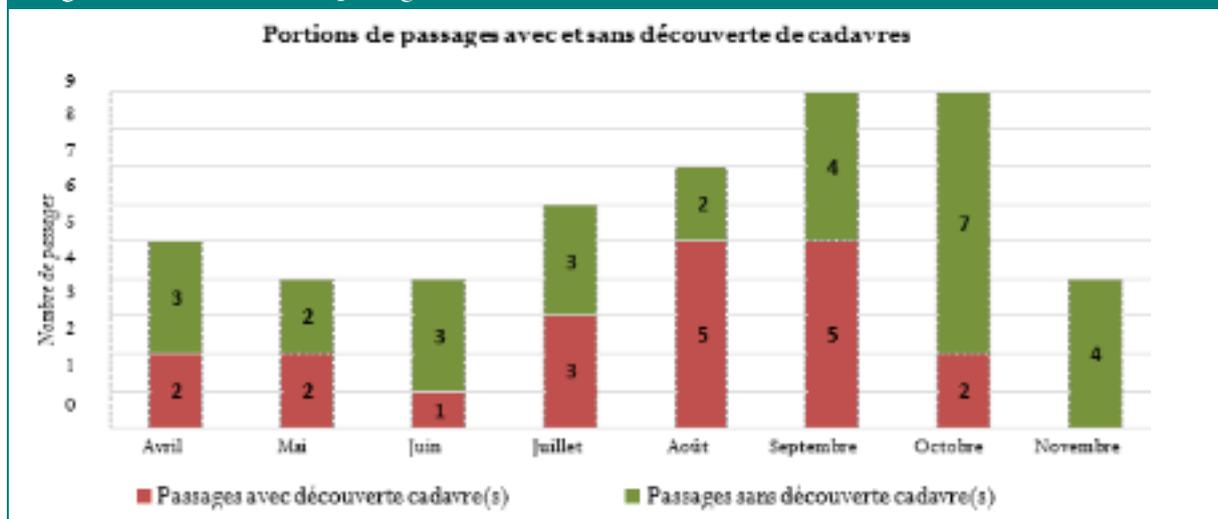
3.1. Aperçu global

Sur les 48 passages de prospections entre avril et novembre 2020, 20 ont permis de relever au moins un cadavre, ce qui représente 40 % de passages lors du suivi.

Le graphique présente ci-dessous la proportion de ces passages avec et sans découverte de cadavres durant les mois de mise en œuvre du protocole de recherche.

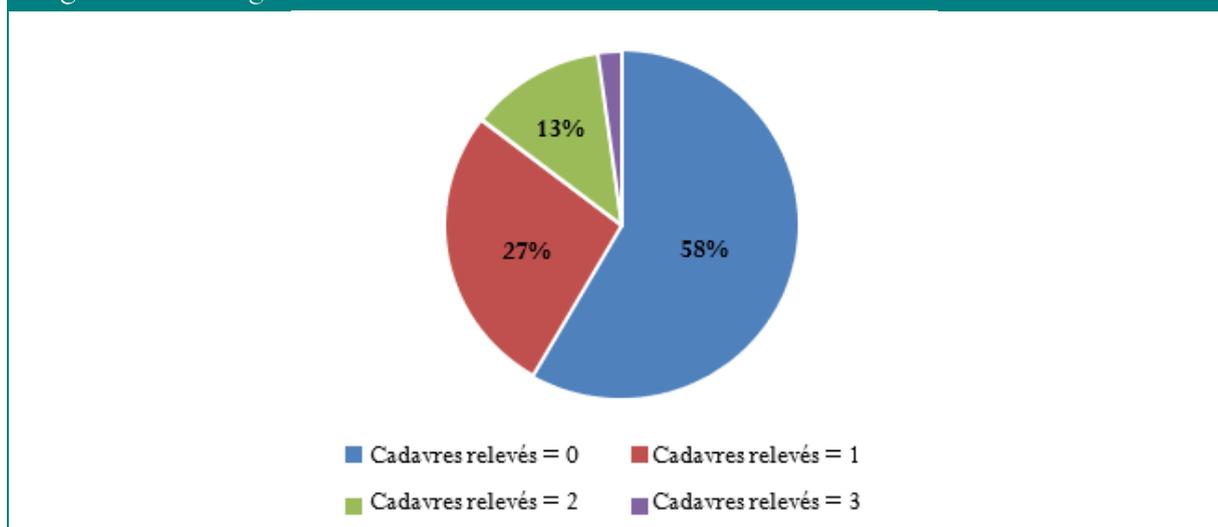
À noter : le mois de novembre n'a pas été couvert entièrement par le protocole.

Figure 22. Portions de passages avec et sans découvertes de cadavres



On a constaté au cours du suivi :

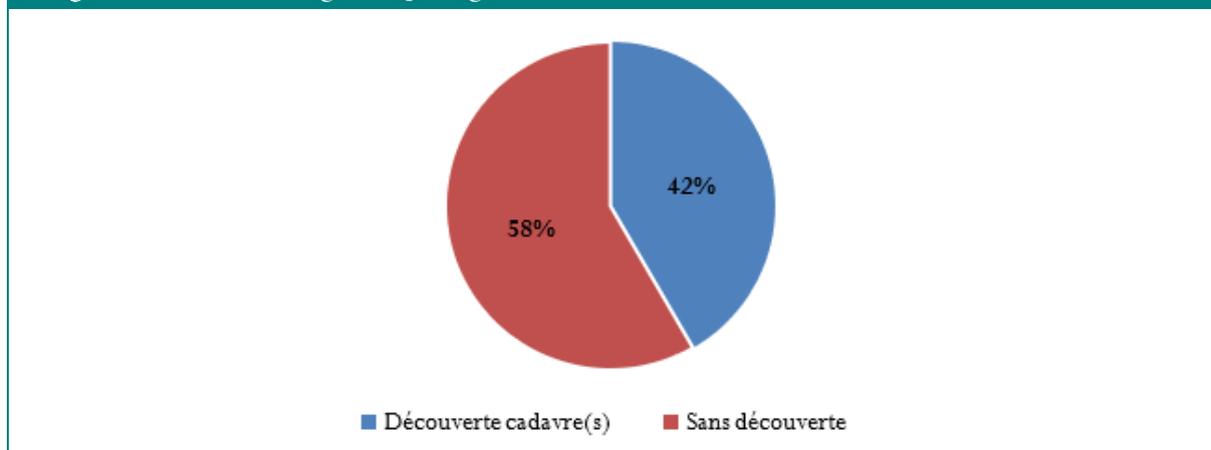
Figure 23. Passages en fonction de nombre de cadavres relevé 2%



- 13 relevés de 1 cadavre
- 6 relevés de 2 cadavres
- 1 relevé de 3 cadavres

Le graphique ci-contre décompose les passages, en fonction du nombre de cadavres trouvés lors de chacun d'entre eux.

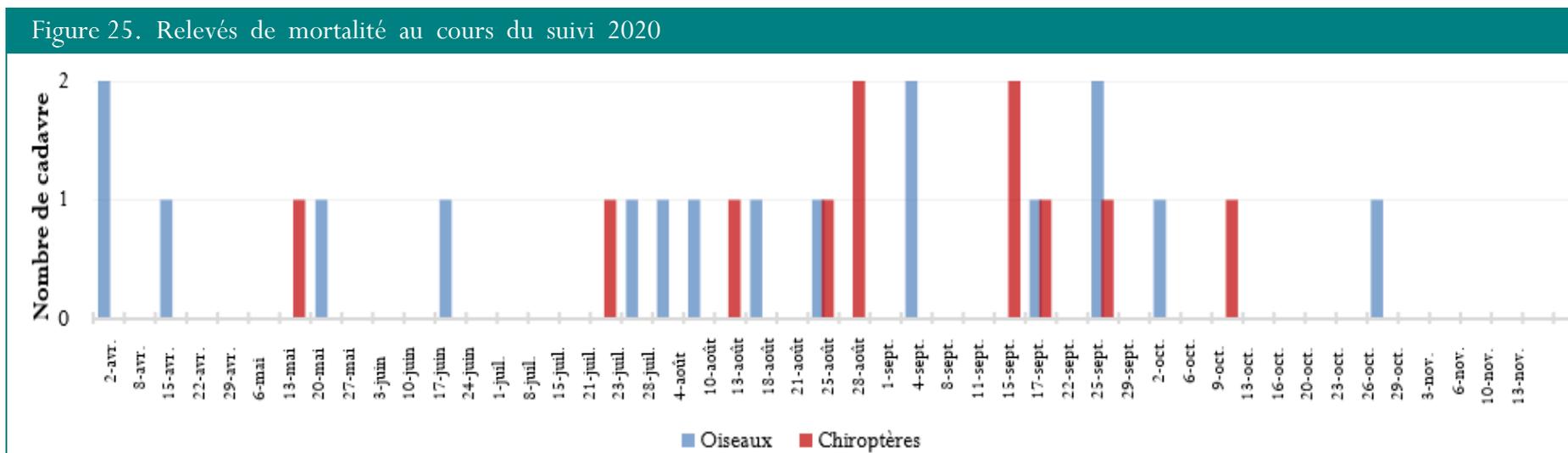
Figure 24. Pourcentage des passages avec et sans découverte



3.2. Phénologie de la mortalité

3.2.1. Mortalité relevée

Le graphe présenté fait apparaître les résultats de chaque journée suivie entre le 02/04/2020 et le 13/11/2020. Attention les dates ne sont pas régulièrement espacées (les fréquences de passage évoluant au cours de l'année).

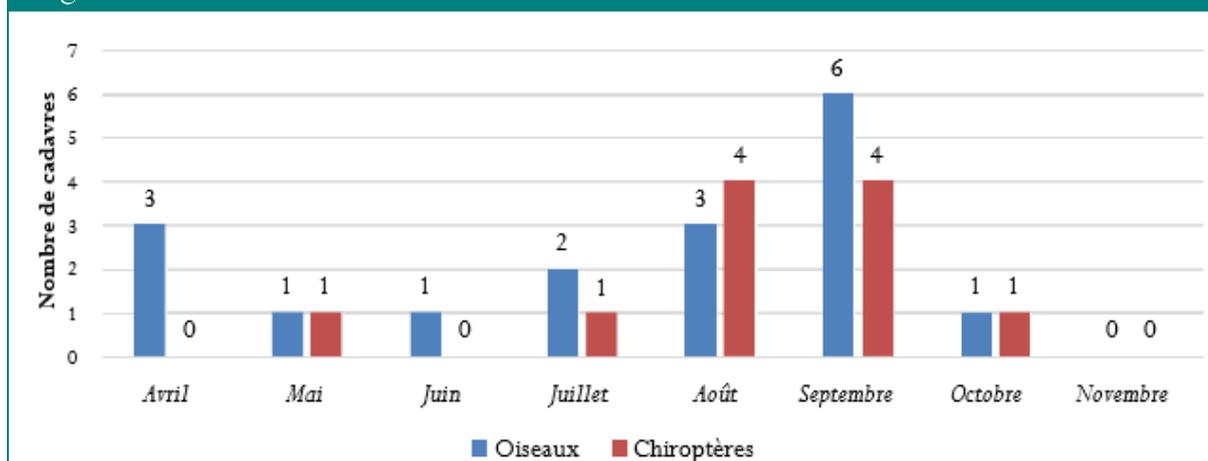


Ces résultats nous permettent de constater une mortalité régulière sur ces 7 mois et demi, relativement équivalente entre oiseaux et chiroptères. On peut remarquer quand même certaines périodes plus impactées, par exemple avant le 21/07 seul un chiroptère a été relevé puis 4 en aout, 4 en septembre.

On note toutefois que la mortalité des oiseaux concerne principalement la fin d'été et l'automne, soit globalement la période de migration postnuptiale, mais également le début du printemps. La mortalité des chiroptères subit une nette augmentation en août/septembre.

Rares sont les relevés sans mortalité à partir de la fin juillet. Toutefois, à partir du 9 octobre on ne retrouve plus de cadavres.

Figure 26. Relevés mensuels de mortalité



3.2.2. Mortalité estimée

Pour se lancer dans une tentative d'explication de la mortalité observée, il a été nécessaire d'estimer la date approximative de la mort des individus retrouvés. Pour cela, on peut s'aider de quelques indices visuels :

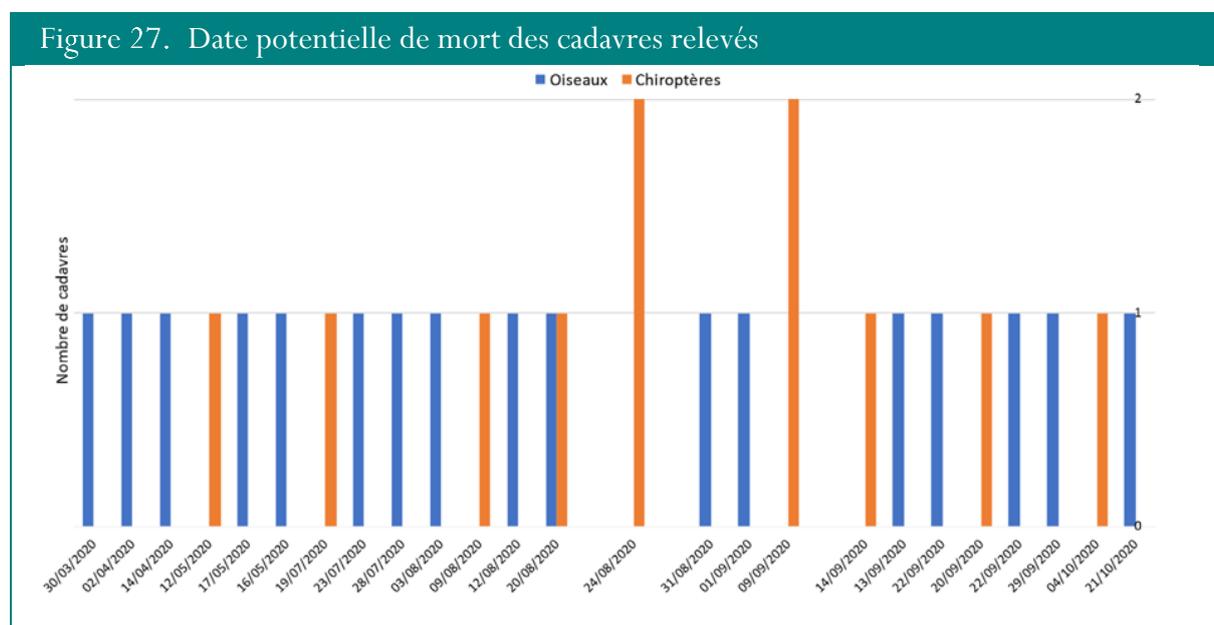
- **L'état du cadavre** (raideur cadavérique, état de décomposition, dégradation par des insectes...) – comparaisons possibles avec les cadavres déposés pour les tests ;
- **La présence d'insectes nécrophages** : si des pupes de diptères sont visibles, la mort est estimée à 8h-20h (soit la nuit précédant la découverte) ; si des asticots sont actifs, la mort est antérieure (2 à 3 nuits avant le jour de la découverte) ; la colonisation par des coléoptères dégradant petit à petit les tissus intervient les jours suivants la mort.

Ces informations visuelles peuvent être contrebalancées par les durées de persistance observées durant la période considérée.

Les mortalités ont pour la plupart été estimées à la nuit précédant le jour du relevé. Les cadavres étaient en effet 'frais' lors de leur découverte ; cela concorde avec une pression de prédation relativement élevée sur le site.

L'estimation de la date de la mort, bien qu'à considérer avec précaution, pour chaque cadavre trouvé sur le terrain, a été reportée sur le graphique ci-après.

Une période ressort sur ce graphique : **la majeure partie des mortalités a eu lieu entre le 19/07 et le 21/10/2020**. Le reste du temps, les cas de mortalités sont rencontrés un par un, et de façon étalée dans le temps.



3.3. Espèces impactées

Figure 28. Espèces impactées et leur répartition au cours des mois du suivi

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	
<i>CHIROPTERES</i>										
Noctule commune					1					1
Noctule de Leisler						4	2			6
Pipistrelle commune			1							1
Pipistrelle de Nathusius							2			2
<i>Pipistrelle de Kuhl ou Nathusius</i>								1		1
<i>OISEAUX</i>										
Alouette des champs		1								1
Bruant proyer					1					1
Chardonneret élégant		1								1
Faucon hobereau			1							1
Hirondelle de fenêtre							1			1
Perdrix rouge						1				1
Roitelet triple bandeau							2			2
Rouge-gorge familier							2	1		3
<i>Merle noir ou Grive sp.</i>					1	1				2
<i>Indéterminé</i>	1			1		1	1			4
<i>TOTAL</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>28</i>

3.3.1. Oiseaux

Les espèces impactées par le parc éolien de Paudy correspondent aux données nationales. En effet, le rapport rédigé par la LPO en 2017² fait apparaître le Roitelet triple bandeau comme l'une des espèces les plus impactées en France. Sur les 26 espèces identifiées par la LPO, 7 ont été retrouvées sur le parc de Paudy (voir plus en comptant les cadavres indéterminés).

Parmi les espèces citées par cette bibliographie et impactées sur ce parc, nous retrouvons : l'Alouette des champs, le Bruant proyer, l'Hirondelle de fenêtre, la Perdrix rouge, le Rouge-gorge familier (ainsi que les espèces présumées comme le Merle noir et les grives).

On constate que ce sont des espèces pour la plupart relativement communes et dans un état de conservation jugé assez favorable, mais également protégées (hormis l'Alouette des champs et la Perdrix rouge).

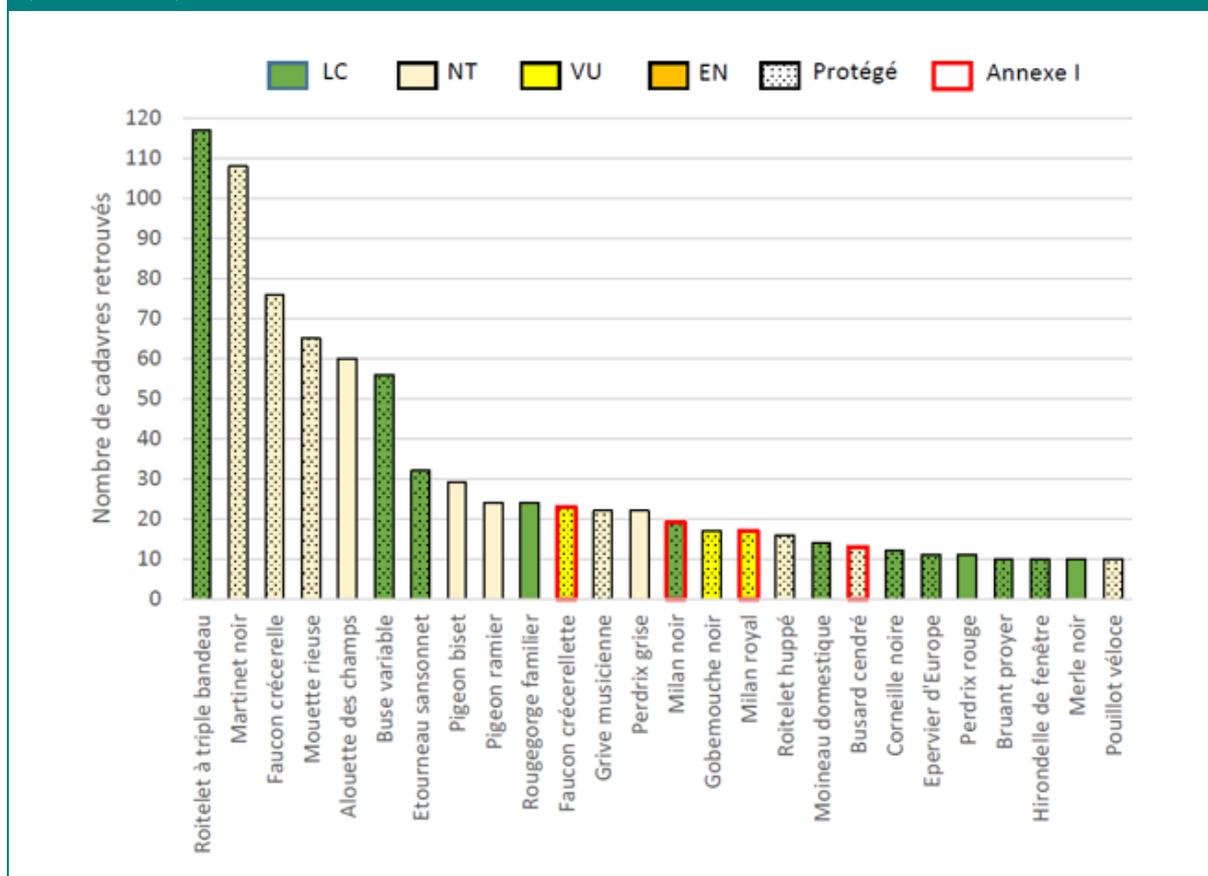
À noter le cadavre de Faucon hobereau retrouvé en mai. Il s'agit donc d'un nicheur local ; l'espèce étant classée 'presque menacée' sur la liste rouge régionale des oiseaux nicheurs³, cette mortalité n'est pas à négliger.

² LPO France, 2017 - *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015 - tableau récapitulatif ci-après*

³ *Liste rouge des Oiseaux nicheurs de la région Centre – 2013, Chantereau M., Pelsy F.(coord.), 2013 - Liste rouge des Oiseaux nicheurs de la région Centre : 397 - 427, in Nature Centre, Conservatoire botanique nationale du Bassin parisien, 2014 - Livre rouge des habitats naturels et des espèces menacés de la région Centre éd, Orléans, 504 p.*

D'après l'étude de la LPO⁴, les principales espèces d'oiseaux impactées par les éoliennes sont indiquées sur le graphe ci-dessous.

Figure 29. Statut de protection et état de conservation des principales espèces retrouvées (LPO, 2017)



Légende : statut de conservation sur la liste rouge régionale des espèces menacées : LC Préoccupation mineure/ NT Quasi menacé / VU vulnérable/ EN En danger

D'après la bibliographie, le Roitelet à triple bandeau est connu pour être impacté en période de migration, période à laquelle il fréquente divers habitats, tout comme le Rouge-gorge familial et l'Alouette des champs.

Les observations réalisées sur le parc de Paudy confirment ces éléments, et complètent la liste des espèces impactées en période migratoire.

3.3.2. Chiroptères

Concernant les chiroptères, les données analysées par la SFEPM entre 2003 et 2018 (SFEPM, mars 2019) montrent les pipistrelles comme les plus impactées par les éoliennes. Au premier rang, la Pipistrelle commune, puis la Pipistrelle de Nathusius, de Kuhl et la Pipistrelle pygmée. Ensuite apparaissent les noctules, tout d'abord de Leisler puis commune.

⁴ LPO France, 2017 - Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015

Le suivi sur le parc éolien de Paudy a mis en évidence une forte mortalité concernant la Noctule de Leisler (plus de la moitié des chiroptères retrouvés), spécifiquement au mois d'août et de septembre. Espèce migratrice, elle semble particulièrement affectée à cette période de son cycle biologique.

Des colonies de noctules et de pipistrelles (mixtes) sont certainement présentes localement et le parc éolien compris dans leur zone de chasse.

Seuls quelques individus ont été retrouvés de façon ponctuelle, dont la Pipistrelle commune (mai), la Noctule commune (juillet) ainsi que la Pipistrelle de Nathusius (septembre). La donnée de chauve-souris la plus tardive a été relevée en octobre, mais au vu de son état de décomposition il ne nous a pas été possible de trancher entre la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle de Kuhl. La Pipistrelle de Kuhl n'est pas connue pour être migratrice malgré notre potentielle découverte en octobre. Deuxième espèce la plus contactée de l'Indre, elle est toutefois présente dans des milieux très variés.

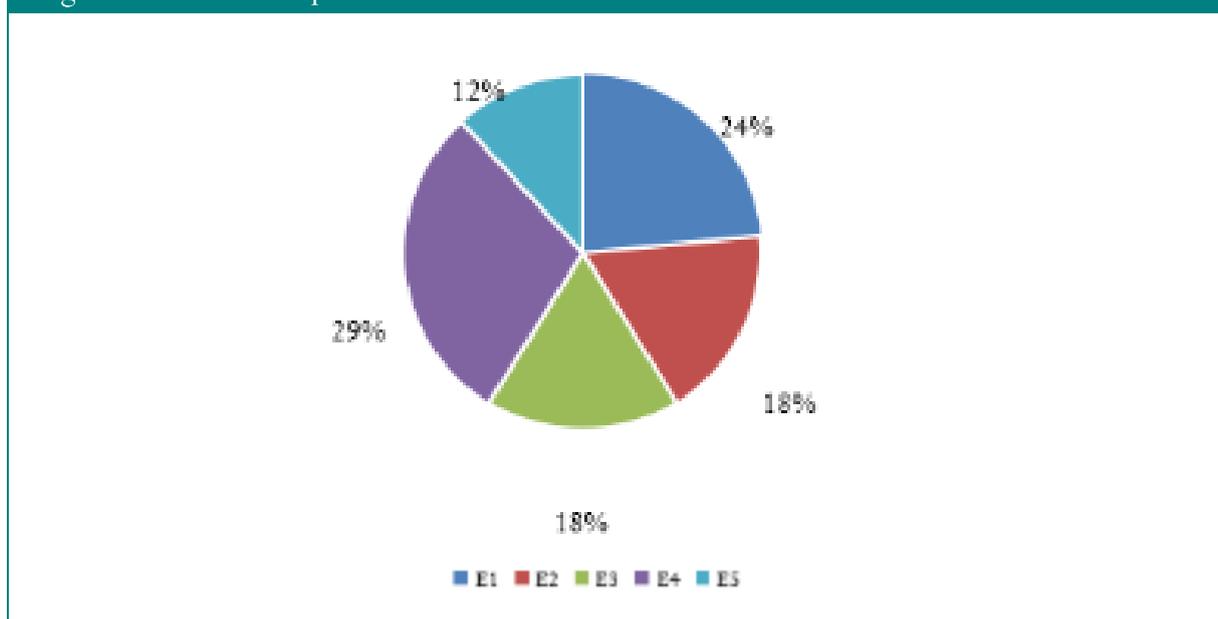
La Noctule commune et la Noctule de Leisler sont des espèces inféodées aux milieux forestiers, et les quelques boisements disséminés à proximité immédiate du parc ne sont peut-être pas étrangers à la fréquentation du parc éolien.

3.4. Répartition de la mortalité par éolienne

3.4.1. Oiseaux

Concernant les oiseaux, 17 cadavres ont été relevés au total. Plus de la moitié des cas de mortalité ont été retrouvés sous 2 des 5 éoliennes : E1 et E4.

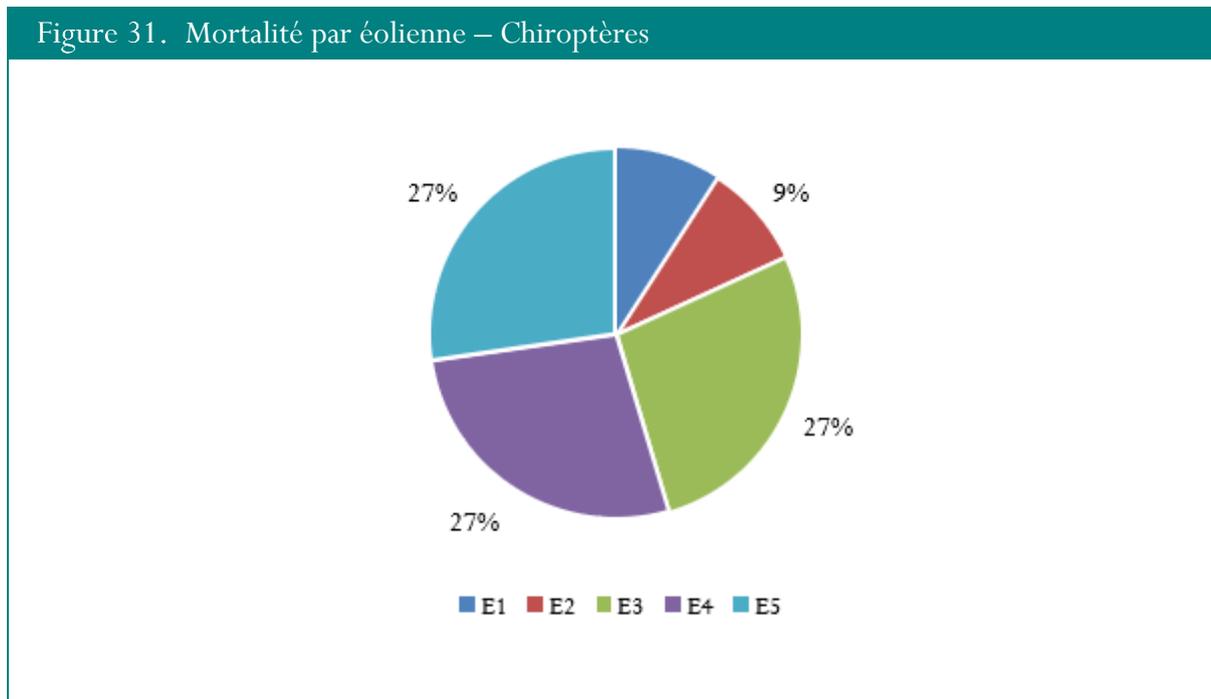
Figure 30. Mortalité par éolienne - Oiseaux



3.4.2. Chiroptères

Concernant les chiroptères, 11 cadavres ont été relevés lors du suivi. On peut constater là encore que l'éolienne E4 impacte particulièrement la faune volante, mais de façon égale toutefois avec E3 et E5 : elles concernent chacune 27% de la mortalité globale constatée des chauves-souris. Il s'agit des 3 éoliennes les plus au sud : E3, E4 et E5.

Figure 31. Mortalité par éolienne – Chiroptères



3.4.3. Mortalité cumulée

E1, E3, E4 et E5 sont donc les éoliennes concernées par la plus importante mortalité au sein des chiroptères et des oiseaux. Les graphiques ci-dessous, réalisés en prenant en compte les deux groupes de façon cumulée, nous le présentent également :

- E4 ressort avec presque 1/3 des occurrences de l'ensemble des cadavres ;
- E1 et E5 présentent des résultats assez proches, soit 18% chacun des cadavres totaux.
- E3 présente un résultat intermédiaire avec 21% des cas.

Figure 32. Répartition des cadavres relevés par éolienne

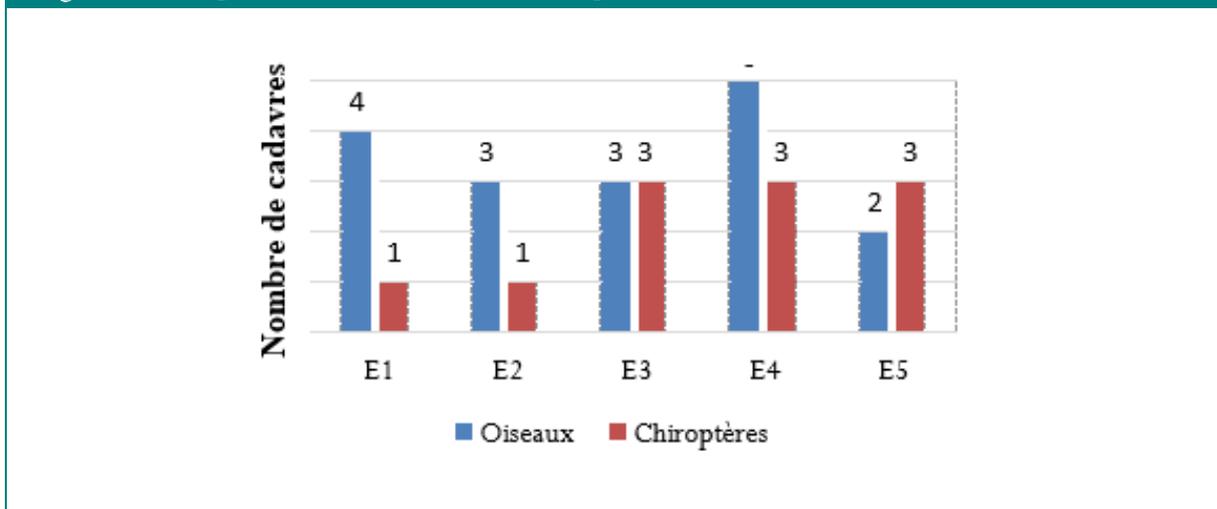
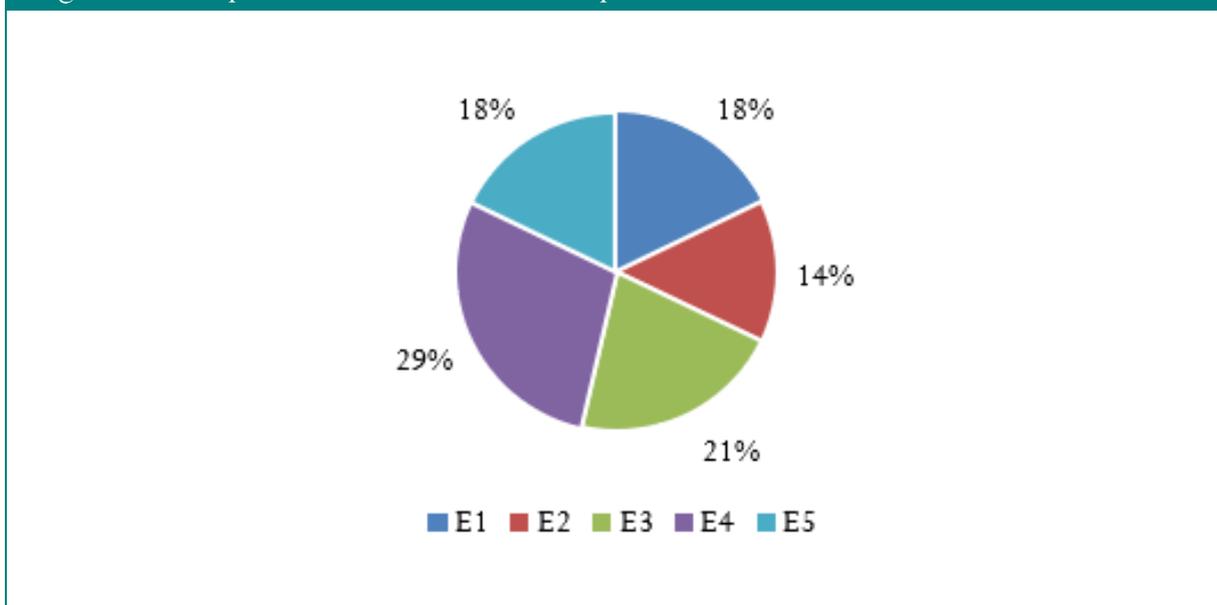


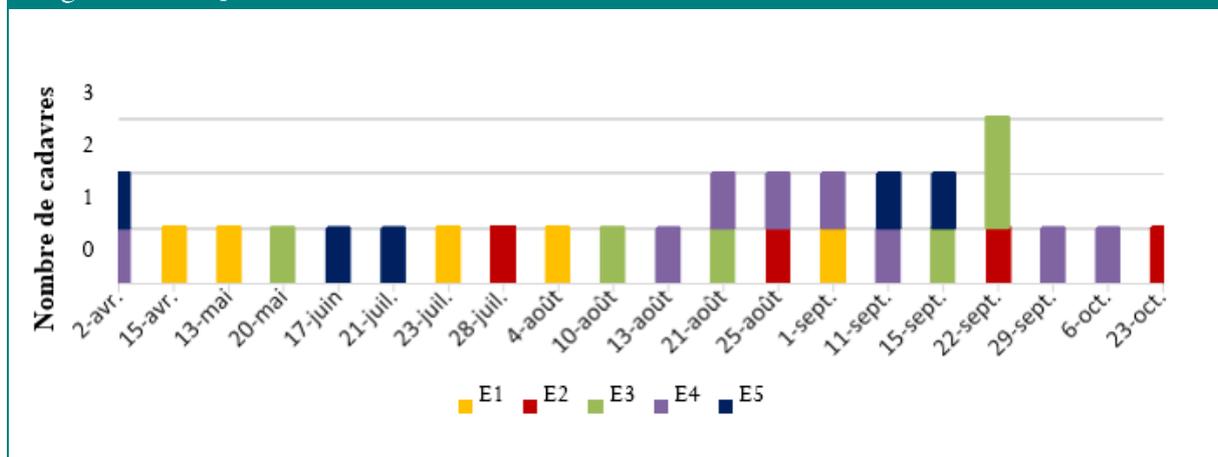
Figure 33. Proportions des cadavres relevés par éolienne



Si l'on regarde maintenant la phénologie des cas de mortalité (oiseaux et chauves-souris cumulés) en prenant en compte leur répartition par éolienne, on obtient le graphique ci-après. Il peut permettre de détecter une éventuelle concentration de mortalités sous certaines éoliennes à certaines périodes.

Le seul élément notable est entre le 21 août et le 22 septembre avec régulièrement 2 à 3 cadavres retrouvés au total sous les éoliennes, dont une récurrence sous les éoliennes E3 et E4 (4 cas sur cette période). Les mortalités se répartissent assez régulièrement entre les éoliennes tout au long de la période suivie ; les cas au niveau de E4 semblent surtout concerner la période de migration d'automne.

Figure 34. Répartition des cas de mortalité entre les éolienne au cours du suivi

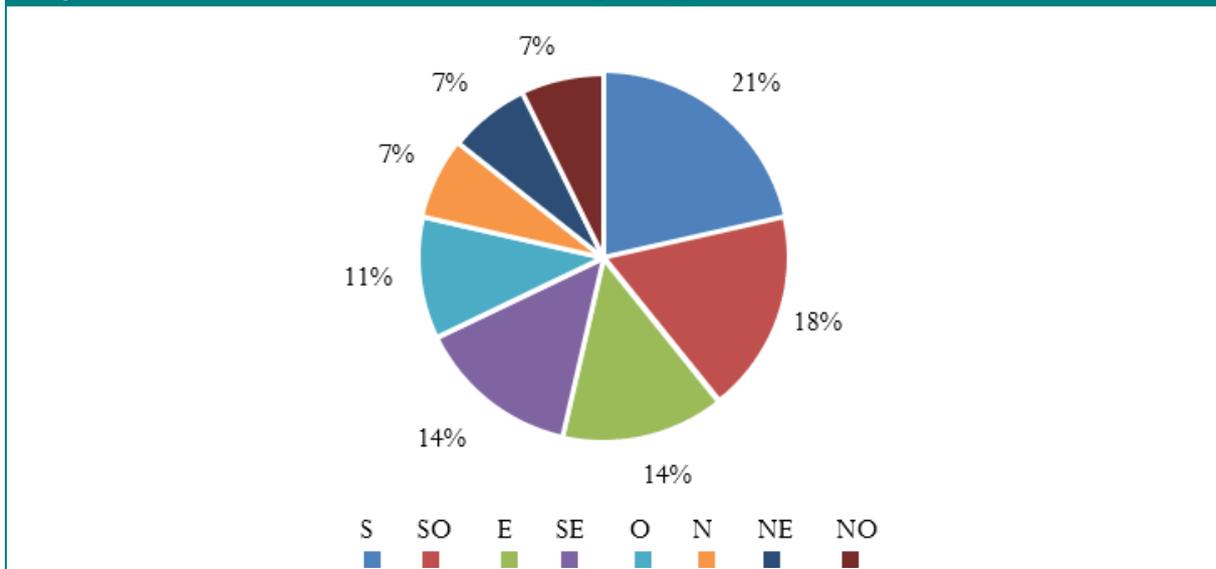


3.5. Dispersion des cadavres

3.5.1. Orientation

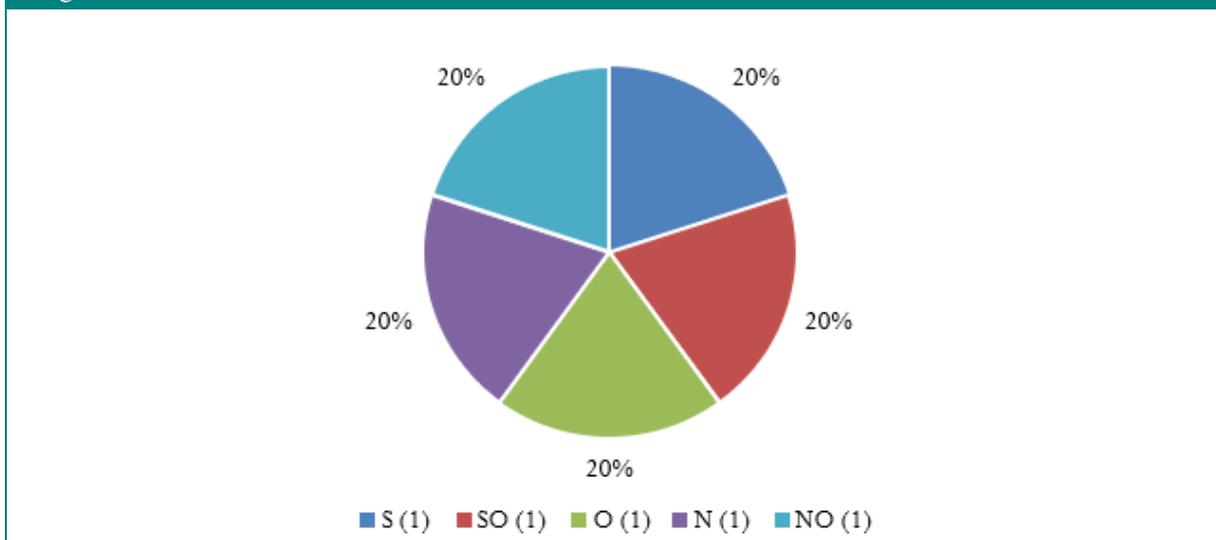
Le premier graphique ci-contre nous montre que les cadavres ont été rencontrés dans quatre directions préférentielles autour des éoliennes : **le sud, le sud-ouest, le sud-ouest, le sud-est et l'est. Un grand secteur sud regroupe plus de la moitié des cadavres.**

Figure 35. Orientation des cadavres relevés par rapport au mât



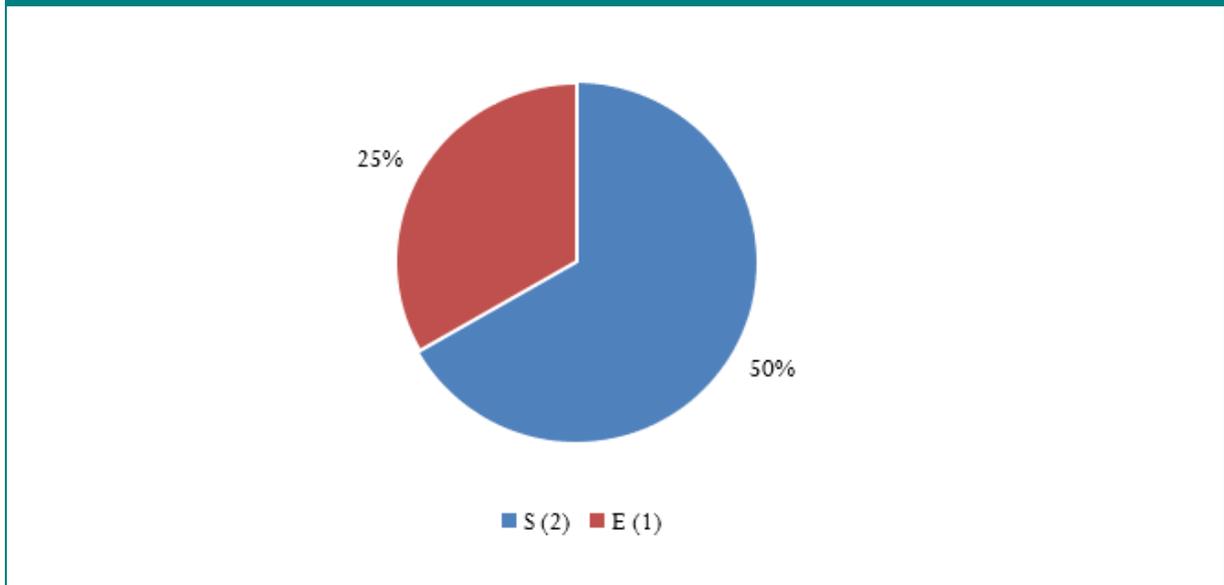
L'analyse est ensuite réalisée par éolienne ci-dessous (le chiffre entre parenthèse indique le nombre de cadavres selon l'orientation).

Figure 36. Orientation des cadavres/mât - E1



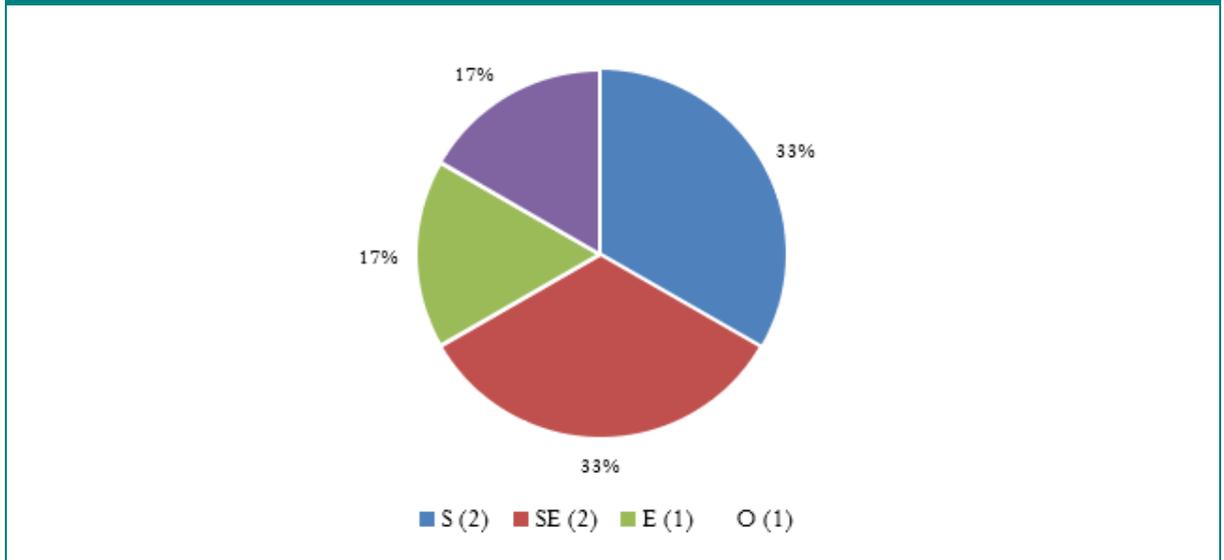
E1 - Direction préférentielle : S, SO, O, N et NO (n = 1)

Figure 37. Orientation des cadavres / mâts – E2



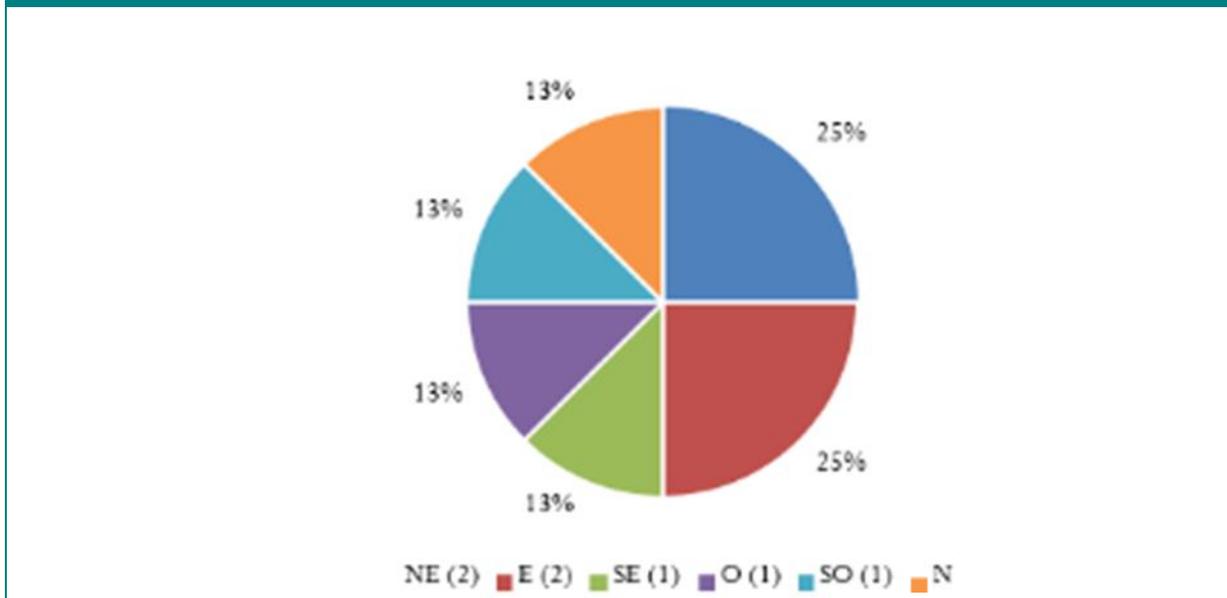
E2 - Direction préférentielle : Sud (n = 2)

Figure 38. Orientation des cadavres / mât – E3



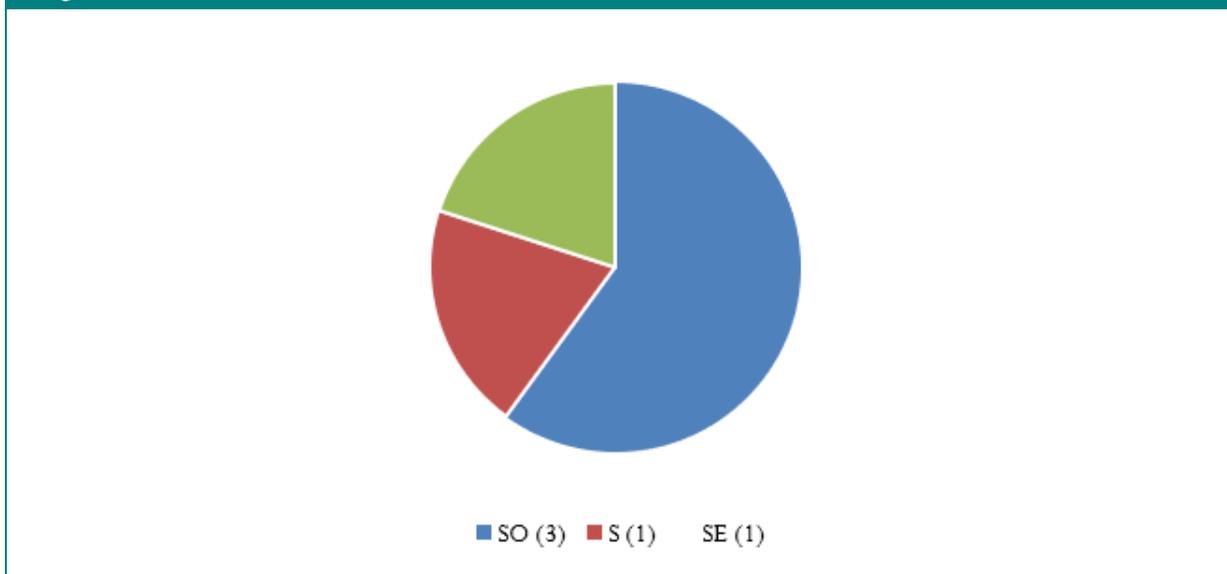
E3 - Direction préférentielle : Sud et Sud-Est (n = 2)

Figure 39. Orientation des cadavres/mât - E4



E4 - Direction préférentielle : Nord-Est et Est (n = 2)

Figure 40. Orientation des cadavres / mât – E5



E5 - Direction préférentielle : Sud-Ouest (n = 3)

Hormis au niveau de l'éolienne E1 qui fait figure d'exception (pas de direction préférentielle), ces graphes confirment que les chauves-souris et oiseaux ont été retrouvés en majorité au sud des éoliennes, au sens large (allant du sud-ouest au sud-est).

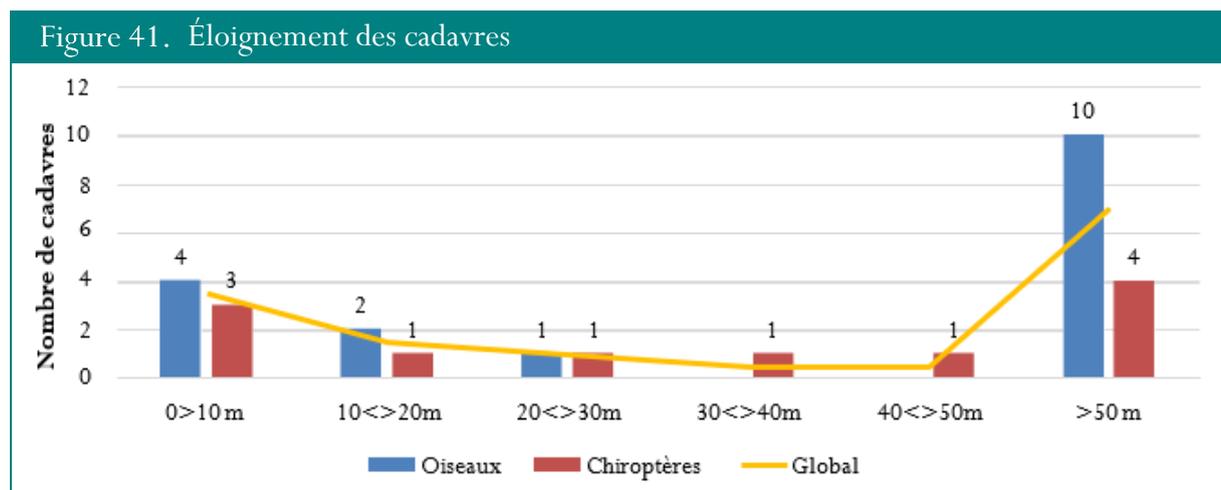
À noter tout de même les faibles effectifs concernés pour les éoliennes rendent cette analyse délicate, d'autant plus que certains cadavres peuvent éventuellement être déplacés par des prédateurs ou autres facteurs extérieur (engins agricoles, vent...).

3.5.2. Éloignement

La distance moyenne d'éloignement des cadavres par rapport au mât des éoliennes varie en fonction du groupe concerné. Elle est de 32 m pour les chiroptères, et de 34 m pour les oiseaux.

Au global, la distance moyenne d'éloignement constatée est de 33 m.

La répartition pour chaque groupe et selon des classes de 10 mètres nous donne la représentation plus précise suivante :



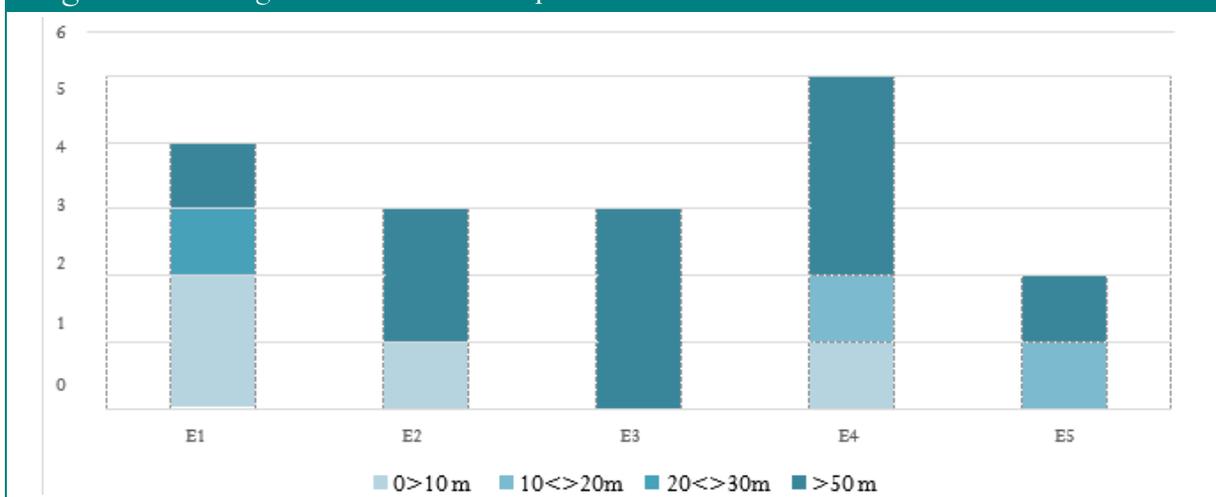
- Les **chiroptères** sont retrouvés majoritairement **entre 0 et 10 m et au-delà des 50 m** autour des éoliennes ; l'éloignement maximal constaté pour ce groupe est de 60 m ;
- Les **oiseaux** quant à eux sont **retrouvés majoritairement au-delà de 50 m et entre 0 et 10 m** ; l'éloignement maximal constaté pour ce groupe est de 70 m ;

En cumulé, on constate peu de différence entre les classes allant de 20 à 50 m, au sein desquelles on retrouve 15% des individus.

Contrairement à ce qui peut être rencontré sur d'autres sites, il y a donc ici un réel intérêt à appliquer le protocole de recherche 'complet'. **Cela sous-entend qu'une part de la mortalité peut passer inaperçue lorsque le protocole est simplifié à cause des cultures en place sous les éoliennes ou d'autres obstacles limitant les recherches.**

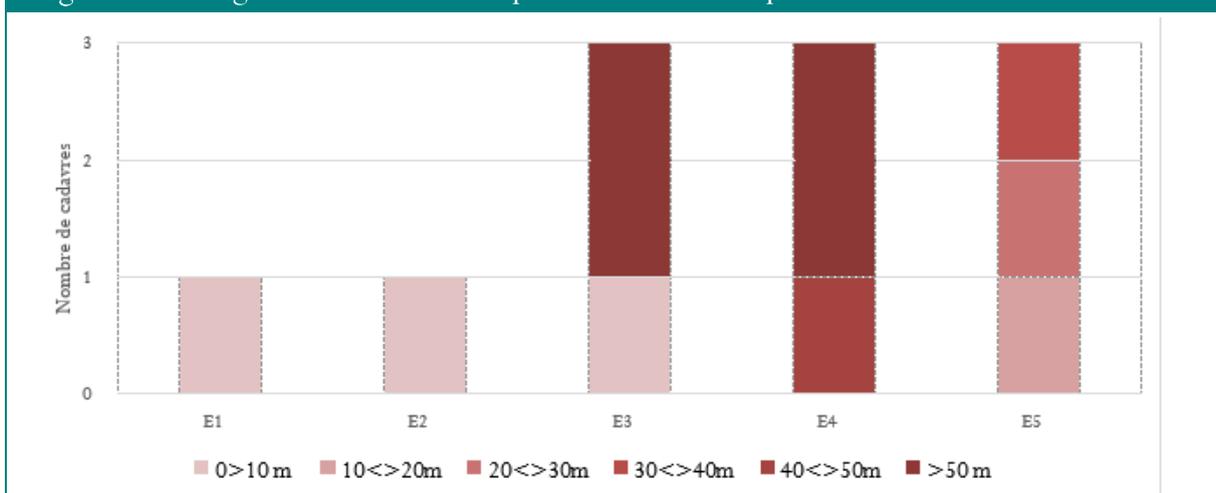
Si l'on précise en regardant l'éloignement par éolienne (graphes par groupe ci-dessous), on ne constate pas réellement d'éloignement préférentiel en fonction de l'éolienne concernée, du moins avec les effectifs concernés ici.

Figure 42. Éloignement des cadavres par éolienne - Oiseaux



Pour ces résultats par éolienne concernant les oiseaux, aucun cadavre n'a été trouvé entre 30 m et 50m

Figure 43. Éloignement des cadavres par éolienne - Chiroptères



3.6. Causes constatées de la mortalité

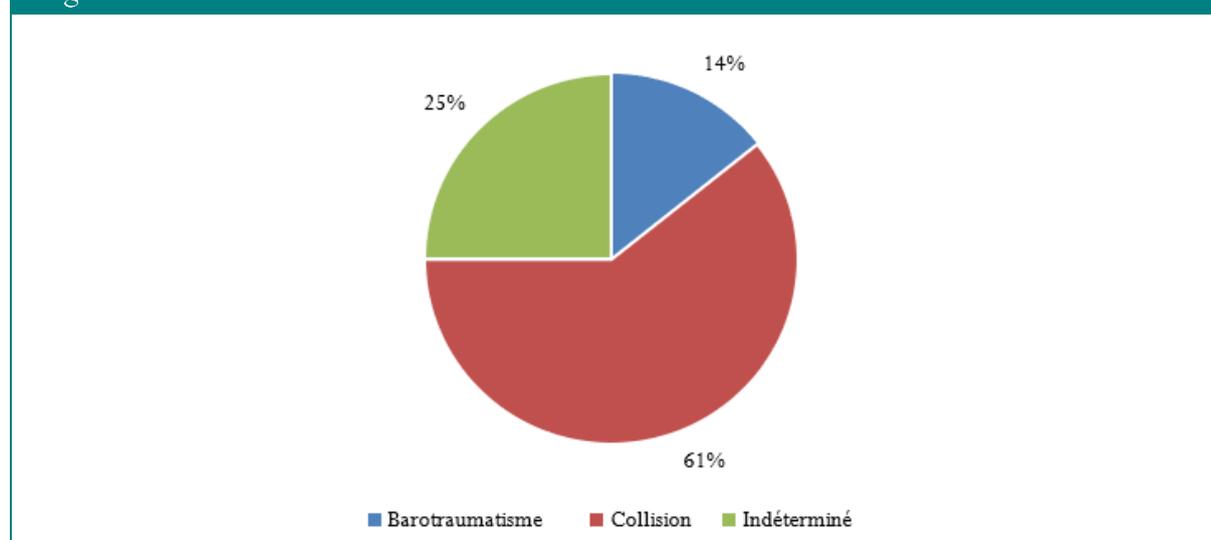
Au cours des 7 mois et demi du suivi 2020, 28 cadavres ont été découverts en 48 passages. Il s'agissait pour rappel de 11 chiroptères et 17 oiseaux.

Les causes de mortalité observées lors des relevés sont les suivantes :

	<i>Barotraumatisme</i>	<i>Collision</i>	<i>Indéterminé</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Oiseaux</i>	?	10	7	17
<i>Chiroptères</i>	4	7	0	11
<i>TOTAL</i>	4	17	7	28

Pour les oiseaux comme pour les chiroptères, la collision semble être la cause majeure de mortalité (61%). Cela est dans certains cas aisément constatable sur le terrain (fracture ouverte, corps sectionné...). Lorsque cela n'était pas visible, des palpations ont été réalisées afin de détecter une éventuelle fracture.

Figure 44. Causes de mortalité constatées



Néanmoins, certains cas n'ont pas pu être élucidés malgré un examen externe minutieux ; les cas de barotraumatisme étant décrits comme sans blessure apparente, avec éventuellement des traces de sang au niveau du museau et/ou des oreilles. Cette mortalité par barotraumatisme n'est pas renseignée chez les oiseaux dans la littérature actuelle. Toutefois, c'est principalement chez ce groupe que des cas n'ont pu être expliqués, avec des individus frais et sans aucune blessure ni trace de sang.

Dans d'autres cas, la cause de la mort « indéterminée » est liée au fait que l'observateur ai retrouvé seulement des indices de cadavres (tas de plumes, restes de carcasse) qui ne sont pas suffisants pour déterminer avec certitude la cause de la mort des individus.

Ces mortalités ont été classées comme ‘indéterminées’ et représentent presque 25% des cadavres. Une augmentation de la fréquence de passage aux périodes concernées permettrait d’avoir plus de certitudes.

Figure 45. Illustration des différents type de blessures résultant de collision



Pipistrelle commune - aile déchirée



Bruant proyer - collision



Hirondelle de fenêtre - aile fracturée



Figure 45. Illustration des différents type de blessures résultant de collision

Rouge-gorge familier - choc au dos



Pipistrelle



Noctule commune - barotraumatisme

4. Interprétations

4.1. Influence du paysage

4.1.1. Échelle du parc

Les habitats présents en-dessous des éoliennes sont équivalents à l'échelle du parc : il s'agit de milieux agricoles, avec des parcelles cultivées (tournesol, orge, colza, luzerne...). Nous n'avons donc pas réalisé de comparaison des mortalités en fonction des habitats sous les éoliennes, qui pourraient être dans d'autres situations plus ou moins attractifs.

L'orientation des pales est également la même d'une éolienne à l'autre.

Cependant, le parc est situé à proximité de plusieurs petits boisements et plans d'eau (voir carte ci-après) ; la distance moyenne entre les éoliennes et les boisements est faible : 440 m. Il en va de même pour la proximité avec les haies : 410 m en moyenne. Cependant certaines sont tout juste à 160 m des premiers arbres.

<i>Éolienne</i>	<i>Cultures des parcelles au cours du suivi</i>	<i>Distance la plus proche d'un boisement / mât</i>	<i>Distance la plus proche d'une haie / mât</i>
E1	Orge	330m	100m
E2	Orge	160m	410m
E3	Orge	460m	780m
E4	Tournesol - Colza	800m	460m
E5	Luzerne – Tournesol - Colza	450m	340m

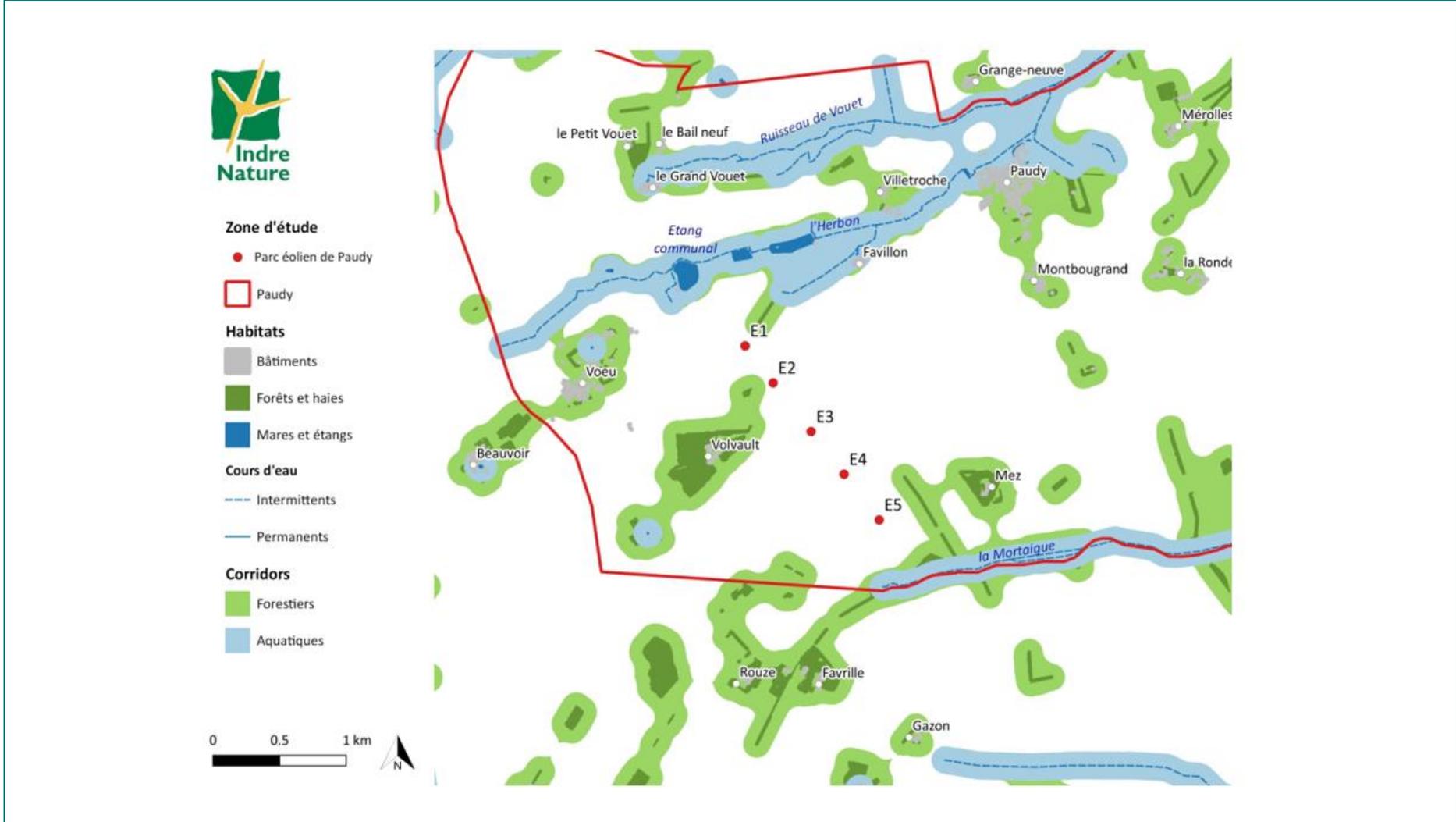
Les lisières jouent un rôle important dans le déplacement des chiroptères : elles servent de corridors de déplacement, mais aussi de zones de chasse.

Les zones de lisières sont donc des zones sensibles pour ce groupe ; l'implantation d'éoliennes peut y induire un risque de mortalité plus élevé qu'ailleurs.

Pour les oiseaux également, les haies et boisements constituent des habitats importants : lieux de nidification, de chasse, mais également éléments paysagers pouvant être suivis lors des périodes de migration.

Ainsi, malgré le contexte fortement agricole de la commune de Paudy (et de celles environnantes), des éléments écologiques attractifs pour la faune sont encore présents et peuvent attirer des groupes d'individus. La présence d'éoliennes dans ce contexte peut rendre les transits périlleux.

Figure 46. Corridors écologiques dans le secteur du parc éolien de Paudy



4.1.2. Zoom sur les éoliennes

E1

Il s'agit de l'éolienne la plus au nord du parc, elle se situe à proximité d'une haie fragmentée, lieu propice pour l'avifaune. Régulièrement des chardonnerets élégants, bruants proyer et linottes mélodieuses y ont été observés. C'est également l'éolienne la plus proche de l'étang communal de Paudy, situé à seulement 500 mètres. Un cas d'hirondelle de fenêtre a été relevé au pied de cette éolienne, alors que des hirondelles ont été observées en train de s'abreuver et de chasser les insectes sur cet étang. La distance de sécurité par rapport à ce plan d'eau est peut-être trop faible.

E2

Cette éolienne se trouve à 160 mètres d'un petit bosquet et à 410 mètres du boisement entourant le domaine de Volvaut situé au sud-ouest. De nombreuses alouettes des champs ont été contactées sur le site, ainsi que des traquets motteux et bergeronnettes grises.

E3

L'éolienne E3 est située au centre de l'alignement des éoliennes du parc de Paudy. Elle se situe à 460 mètres du boisement du domaine de Volvaut. Régulièrement, des rapaces ont été observés en chasse dans les alentours de cette éolienne, notamment Faucon crécerelle, Busard Saint-Martin et Buse variable. Un Faucon Hobereau a été effectivement retrouvé mort au pied de l'éolienne, ce qui atteste de la fréquentation du secteur par les rapaces. Des corneilles noires ont également été observées sur l'aire goudronnée à plusieurs reprises.

E4

Comme expliqué au début du rapport, l'éolienne E4 a la particularité de présenter un secteur de végétation haute servant de zone de refuge pour le gibier. Cette végétation s'est particulièrement développée au cours du mois de juillet jusqu'à la fin du suivi. Elle couvre près de 3 745 m² au pied de l'éolienne. Une faune diversifiée y a été observée, et des indices de présence témoignent de la fréquentation du site : Traquet motteux, Corneille noire, Faisan de Colchide, Perdrix rouge, Cedicnème criard, Chouette Effraie, Buse variable, Faucon crécerelle...

Or, le pic de mortalité pour E4 est survenu au cours de cette période de développement de cette culture à gibier. Cette coïncidence n'est sûrement pas un hasard.

Il est supposé que la végétation crée un nouvel habitat propice à la vie dans le contexte fortement agricole environnant, et attire les insectes, qui attirent à leur tour oiseaux et chiroptères, ce qui augmente les risques de collision.

E5

Cette éolienne se situe à 450 m d'une zone forestière et à 340 m d'une haie bordant la parcelle agricole. De nombreux oiseaux migrateurs ont été observés à proximité de l'éolienne, notamment des pluviers dorés.

Ces observations sur le terrain concernant l'avifaune ont également été constatées lors de l'étude d'impact réalisée par Nordex en 2013. Un rapport de l'activité avifaunistique en période de migration sera apporté en complément de cette étude par l'association Indre Nature.

4.2. Échelle départementale et corridors de déplacement

Le parc éolien de Paudy s'imbrique entre deux éléments paysagers pouvant canaliser le flux de déplacement de la faune. En effet, le parc se trouve aux abords d'affluents de la Théols et proche de la vallée d'Issoudun. Étant en Champagne Berrichonne, le secteur est parsemé de milieux boisés isolés, servant de corridors et de jonctions entre les différents habitats naturels.

Cette configuration paysagère pourrait jouer un rôle prépondérant dans l'explication des flux migratoires : les animaux suivant les éléments paysagers pour se déplacer.

Cela a pu être constaté sur le terrain, lors des visites réalisées en octobre : un nombre important de passereaux a été observé (alouettes, chardonnerets, linottes...). Des groupes de grues ont pu être observés lors des prospections, et les agriculteurs locaux attestent que ces migrateurs survolent de parc régulièrement en période de migration.

Si les grues n'ont été observées qu'en survol (à basse altitude cela étant, estimée à 150 m), les passereaux pour la plupart ont été notés traversant le parc, à des altitudes variées, mais la plupart du temps à une hauteur inférieure ou égale à celle des éoliennes. Des passereaux en halte migratoire ont également été observés au pied des éoliennes lors des relevés automnaux (pluviers dorés, vanneaux huppés).

4.3. Influence de la météorologie

Une tentative d'explication de la mortalité peut être apportée en analysant les conditions météorologiques locales, et notamment les données de vents et de températures.

Des données météo nous ont ici été fournies par EDPR France Holding, enregistrées à partir de sondes installées sur les éoliennes E3 et E4. Les données, enregistrées toutes les 10 minutes, concernent la vitesse du vent et la température.

Ces données ont été complétées par des historiques disponibles en ligne (infoclimat.fr), proposant des moyennes par localité, notamment Châteauroux étant le secteur d'enregistrement le plus proche.

Rappelons ici que la date des mortalités étant estimée, il pourra parfois être difficile de tenter des déductions à partir des conditions météorologiques précises.

Les enregistrements mensuels montrent que les vents dans le secteur proviennent globalement du Nord- Est et du Sud-Ouest (voir graphiques page suivante).

En première analyse rapide, on peut imaginer que ces vents peuvent engendrer un décalage des chauves- souris volant en lisère des bosquets et des haies, les poussant en direction des éoliennes.

Par ailleurs, cela correspond avec une répartition des cadavres, comme constaté en grande majorité.

Toutefois, on peut aussi émettre l'hypothèse que l'impulsion donnée par une pale d'éolienne lors d'un impact l'emporte sur la force du vent ; l'individu serait donc projeté dans la direction donnée par la pale en rotation plutôt que par le sens du vent.

À partir des données enregistrées au niveau du mât de mesures, à hauteur de nacelle (91m), nous avons calculé les données moyennes entre 1h avant le coucher et 1h après le lever du soleil, pour chaque date de mortalité estimée. La base de cette analyse étant dans le cas de ce parc que chiroptères et passereaux sont impactés de nuit : les premiers n'étant pas actifs de jour, et les seconds migrant de nuit – la période de migration ayant été identifiée comme concentrant les mortalités.

On obtient les résultats suivants, avec le détail des mortalités par éolienne chaque nuit :

Détails des mortalités	Données
Date	30/03/2020
Vent	12 m/s
Température	8,2 °C
Éolienne	E5
Espèce	Oiseau indéterminé
Date	02/04/2020
Vent	8,2 m/s
Température	10 °C
Éolienne	E4
Espèce	Alouette des champs
Date	14/04/2020
Vent	10,2 m/s
Température	13°C
Éolienne	E1
Espèce	Chardonneret élégant
Date	12/05/2020
Vent	7,6 m/s
Température	11,5°C
Éolienne	E1
Espèce	Pipistrelle commune
Date	17/05/2020
Vent	5 m/s
Température	19°C
Éolienne	E3
Espèce	Faucon hobereau
Date	16/06/2020
Phénomène météo	Brouillard matin
Vent	5,5 m/s
Température	18°C
Éolienne	E5
Espèce	Oiseau indéterminé
Date	31/08/2020
Phénomène météo	4 m/s
Vent	19 °C
Température	E4
Éolienne	Oiseau indéterminé

Détails des mortalités	Données
Date	19/07/2020
Vent	5,2 m/s
Température	29°C
Éolienne	E5
Espèce	Noctule commune
Date	03/08/2020
Vent	5,9m/s
Température	21 °C
Éolienne	E1
Espèce	Oiseau indéterminé
Date	09/08/2020
Vent	6,8m/s
Température	28°C
Éolienne	E3
Espèce	Noctule de Leisler
Date	12/08/2020
Phénomène météo	Brouillard fin de journée
Vent	5,7 m/s
Température	27°C
Éolienne	E4
Espèce	Merle noir ou Grive
Date	20/08/2020
Vent	5 m/s
Température	28°C
Éolienne	E4 E3
Espèces	Perdrix rouge Noctule de Leisler
Date	24/08/2020
Vent	3 m/s
Température	24°C
Éolienne	E4 E2
Espèce	Noctule de Leisler (2)
Date	01/09/2020
Vent	3,9 m/s
Température	20 °C
Éolienne	E1
Espèce	Hirondelle de fenêtre

Détails des mortalités	Données
Date	09/09/2020
Phénomène météo	Brouillard de nuit
Vent	6 m/s
Température	22 °C
Éolienne	E4 E5
Espèce	Noctule de Leisler (2)
Date	13/09/2020
Phénomène météo	Brouillard et pluie le matin
Vent	5,2 m/s
Température	28 °C
Éolienne	E3
Espèce	Roitelet triple bandeau
Date	14/09/2020
Vent	7,7 m/s
Température	28°C
Éolienne	E5
Espèce	Pipistrelle de Nathusius
Date	22/09/2020
Phénomène météo	Orage et pluie en fin de journée
Vent	4,9 m/s
Température	19°C
Éolienne	E3
Espèce	Rouge-gorge familier
Date	20/09/2020
Vent	6 m/s
Température	18 °C
Éolienne	E3
Espèce	Pipistrelle de Nathusius
Date	22/09/2020
Vent	4,9 m/s
Température	19 °C
Éolienne	E2
Espèce	Rouge-gorge familier

Détails des mortalités	Données
Date	29/09/2020
Phénomène météo	Brouillard matin
Vent	2,6 m/s
Éolienne	E4
Espèce	Roitelet triple bandeau
Date	04/10/2020
Vent	10,7 m/s
Température	11,5 °C
Éolienne	E4
Espèce	Pipistrelle de Kuhl ou Pipistrelle de Natter
Date	21/10/2020
Vent	7,3 m/s
Température	18,7 °C
Éolienne	E2
Espèce	Rouge-gorge familier

Figure 47. Roses des vents mensuelles pour les mois de mars à novembre 2020 (infoclimat.fr)



Figure 47. Roses des vents mensuelles pour les mois de mars à novembre 2020 (infoclimat.fr)

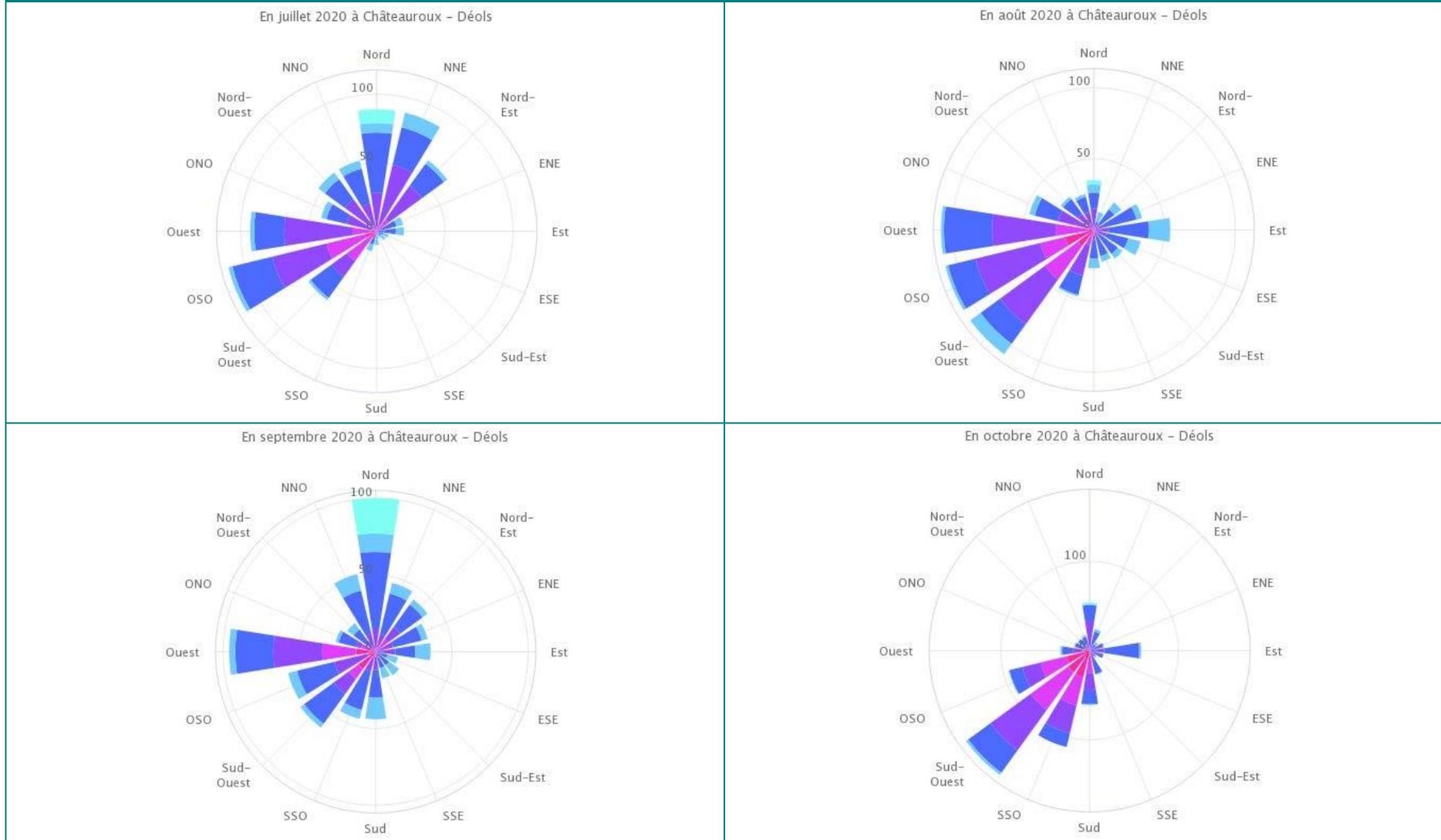
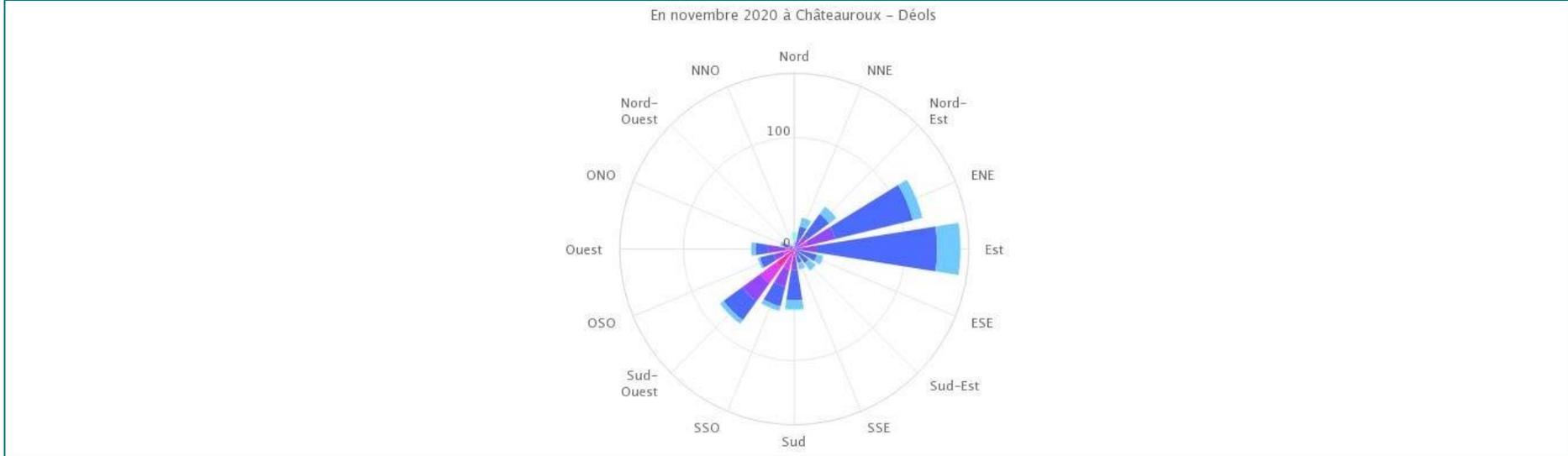


Figure 47. Roses des vents mensuelles pour les mois de mars à novembre 2020 (infoclimat.fr)



Aux dates de mortalités, on constate :

- Des cas de mortalités lorsque la **vitesse de vent est comprise entre 3 m/s et 12 m/s** à 90 m de hauteur et que les **températures sont entre 8°C et 29°C** (oiseaux et chiroptères tous confondus).
- Que des chiroptères volent à partir d'une température de **11°C** et d'un vent de **3 m/s jusqu'à 12m/s** à 90m de hauteur.

Que certains cas de mortalités sont survenus en période de brouillard, pluie ou orage.

Lors du mois d'avril et du mois d'octobre, les données en ligne mentionnent de la brume nocturne et matinale présente dans le secteur. Cela a pu également être vérifié lors de certains relevés sur le terrain, (06/05, 22 et 29/09). Les 22 et 29/09, seul le bas des mâts était visible, comme montré sur les photos ci- après (prises vers 9h).

Il est fort probable que la convergence de tous ces paramètres météorologiques, en période de migration postnuptiale et donc en présence d'un nombre important d'oiseaux de passage, aient joués un rôle dans les cas de mortalités constatés.

Figure 48. Brouillard sur le parc de Paudy au mois de septembre



5. Conclusion

Par rapport à ce qui est connu de la bibliographie, le suivi de la mortalité du parc éolien de Paudy en 2020 a mis en évidence une mortalité relativement élevée de chiroptères et d'oiseaux, et ce sur une période de 7 mois et demi. Ceci nous conduit à fortement inciter à poursuivre le suivi mortalité au moins en année 2 post-implantation (2021), mais surtout à mettre en place un bridage visant à limiter l'impact des éoliennes sur ces groupes biologiques.

Le suivi mortalité 2020 du parc éolien de Paudy a permis de constater :

- Une mortalité des chiroptères (11) relativement régulière tout au long de l'année, avec tout de même une récurrence concernant la Noctule de Leisler en période de migration automnale. C'est à partir de la mi-juillet (période estivale d'élevage des jeunes) jusqu'à septembre (migration) que l'on dénombre le plus régulièrement des cadavres.

Une mortalité des oiseaux (17) régulière et plus fréquente au cours de juillet à septembre là aussi. Nous n'avons pas constaté d'espèce particulièrement ciblée.

Concernant les autres paramètres étudiés :

- Orientation : les cadavres sont principalement retrouvés au sud au sens large (sud-est / sud-ouest).
- Éloignement : les cadavres sont retrouvés pour la majorité à plus 50 m des éoliennes ; toutefois on retrouve aussi un grand nombre de cadavres à seulement quelques mètres du mât.

D'après notre expérience, notamment liée au suivi sur parc éolien de Vouillon (depuis 2019), ces deux paramètres ne nous semblent pas liés aux conditions météo du jour de la collision, mais plutôt aux caractéristiques morphologiques des bêtes retrouvées et de leur positionnement par rapport à la pale lors de l'impact.

Ainsi, nous avons constaté que le Bruant proyer par exemple semble spécifiquement entrer en collision avec les mâts ; les espèces de petites tailles (roitelets et chiroptères) semblent être projetées moins loin que des plus lourdes.

Ces mortalités sont intervenues lors d'une première année d'exploitation sans aucun bridage sur le parc éolien de Paudy. Avec le recul existant sur cette énergie renouvelable, il n'est pas envisageable de poursuivre son exploitation dans ces conditions.

Ainsi, l'étude des conditions météorologiques lors des mortalités, bien qu'elles doivent être prises avec précaution au regard des estimations réalisées, peut nous permettre de déterminer les paramètres du bridage à mettre en place.

En effet, un bridage en fonction des paramètres environnementaux a fait ses preuves pour les chauves-souris comme pour les oiseaux (GAULTIER *et al.*, 2019).

Ainsi, à l'issu de cette première année de suivi et des données de la bibliographie, le bridage minimal suivant est proposé :

Figure 49. Bridage préconisé	
du 1/04 au 31/07	du 1/08 au 31/10
Vitesse de vent : ≤ 7 m/s Température $\geq 12^{\circ}\text{C}$	Vitesse de vent : ≤ 7 m/s Température $\geq 11^{\circ}\text{C}$
De -1H avant le coucher du soleil a +3H après le coucher du soleil	De -1H avant le coucher du soleil a +6H après le coucher du soleil
Chiroptères	Chiroptères

Afin de disposer de données de comparaison et à des fins d'ajustement, **il serait intéressant de mettre en place un suivi annuel de l'activité chiroptérologique par enregistreurs** (à hauteur de moyeu et à mi-mât) sur le parc. Comme ce qui a été le cas lors de l'étude de SITELECO.

À étudier : L'installation d'un détecteur de brouillard pourrait s'avérer nécessaire pour limiter les collisions d'oiseaux lors de la migration postnuptiale. Pour information, ce système est en place sur le parc Engie Green de Vouillon depuis octobre 2020. Selon les possibilités d'installation d'un détecteur de brouillard sur les machines, les préconisations pourraient se traduire par :

Figure 50. Préconisation détecteur de brouillard
du 15/09 au 08/11
Arrêt complet du parc éolien en présence de brouillard
De -1H avant le coucher du soleil a +1H après le lever du soleil
Oiseaux migrateurs

Concernant les oiseaux, trouver une solution pour la mortalité printanière et estivale est peu aisé. Toutefois, mettre en évidence les mâts pourrait s'avérer bénéfique au Bruant proyer. Cette espèce, qui subit par ailleurs les pressions des changements de pratiques agricoles depuis les années 1970, voit déjà ses effectifs diminuer sans avoir besoin d'autres menaces. Peindre une bande de couleur sur les mâts pourrait suffire à ne plus impacter cette espèce.

La même technique pourrait être appliquée à une pale des trois éoliennes les plus impactantes (E1, E3 et E4). Cette technique est déjà utilisée en Europe du Nord, où une étude a démontré une baisse de 70% des collisions (MAY R. *et al.*, 2020) ; innovante pour la France, l'y tester permettrait sans doute de confirmer ces résultats encourageants.

Illustration 9. Éolienne du parc de Smøla (Norvège) avec pale peinte (MAY R. et al, 2020)



À noter que le projet MAPE lancé en 2020 permettra peut-être de découvrir de nouvelles techniques visant à limiter les impacts des parcs éoliens sur l'avifaune d'ici l'horizon 2023 (mape.cnrs.fr).

Par ailleurs, la mortalité observée des roitelets vient confirmer les données nationales. Le rapport LPO 2019 nous indique que 13% des oiseaux retrouvés sont des roitelets, et que le Roitelet triple bandeau est l'espèce la plus touchée en France.

Malgré tout, ce suivi permet de compléter les connaissances des espèces, même si cela intervient dans des conditions peu agréables. Cette première année de suivi aura permis de révéler la présence sur la commune de Paudy du Roitelet triple bandeau. Par ailleurs, la dernière observation sur Paudy pour le Faucon hobereau remontait à 2013.

Étude de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle - suivi acoustique (SITELECO)

1. Présentation du protocole

Le suivi acoustique des chiroptères a débuté le **08/06/2020** et a couvert la période d'activité des chauves-souris **jusqu'au 4 novembre 2020**.

L'appareil d'écoute en continu, de modèle Batlogger WE X, a été installé à 91 mètres de haut dans la nacelle de l'éolienne E2 qui est l'éolienne la plus proche d'éléments arborés avec un bosquet présent à 160 mètres et un boisement à 367 mètres. L'appareil est couplé à un microphone ultrasonique de haute qualité. Le micro est disposé sous le bas de la nacelle et orienté en direction du sol.

Figure 51. Installation du Batlogger au niveau de la nacelle de E2



Le microphone est appliqué dans la fibre de la nacelle et orienté vers le bas.



Le Batlogger WE X est branché sur une prise 220 V directement dans la nacelle de l'éolienne E2. Il transmet les données via un réseau GSM.

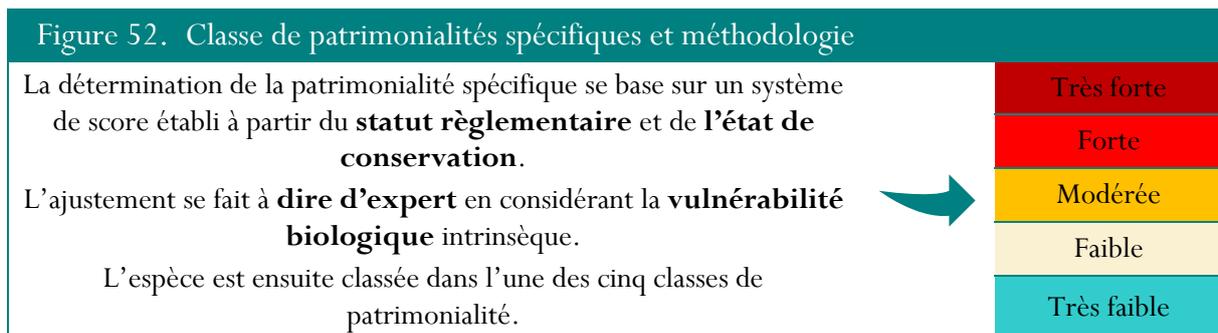
2. Notion de patrimonialité

La patrimonialité est une notion abordée dans le pré-diagnostic et qui se base uniquement sur les statuts de protection et conservation d'une espèce. Elle ne considère pas la fonctionnalité de ladite espèce avec la zone d'étude, nous évoquerons alors le terme d'enjeu.

La patrimonialité est définie à partir :

- Du **statut réglementaire** de l'espèce : protégée ou non, visée par les annexes des directives Habitats-Faune-Flore et Oiseaux, etc. ;
- De **l'état de conservation** actuel et prévisible de la population locale de l'espèce : statut des listes rouges nationales, listes locales, listes prioritaires pour la conservation des espèces etc. ;
- De la **vulnérabilité biologique** intrinsèque de l'espèce : production annuelle faible ou importante de l'espèce etc.

La patrimonialité est répartie en cinq catégories :



Concrètement, une espèce Natura 2000, protégée, fortement menacée dont l'habitat naturel est rare, aura une patrimonialité forte à très forte. *A contrario* une espèce non protégée et commune dont l'habitat est tout à fait ordinaire aura une patrimonialité très faible.

3. Analyse des résultats des écoutes en continu en nacelle // année 2020

Le tableau suivant présente l'activité chiroptérologique en contacts bruts, enregistrée sur la période étudiée.

Figure 53. Espèces détectées en altitude au niveau de l'éolienne E2

Espèces	Listes rouges		Patrimonialité	Nombre de contacts bruts	
	Nationale	Régionale (UICN 2012)		Mise-bas (84 jours)	Transit automnal (63 jours)
Noctule commune	VU	NT	Modérée	316	140
Noctule de Leisler	NT	NT	Modérée	250	154
Pipistrelle de Nathusius	NT	NT	Modérée	/	19
Pipistrelle commune	NT	LC	Faible	149	46
Sérotine commune	NT	LC	Faible	20	2
Pipistrelle de Kuhl	LC	LC	Très faible	86	30
Noctule de Leisler/Noctule commune	/	/	-	43	109
Pipistrelle de Kuhl/Nathusius	/	/	-	5	/
Sérotine commune/Noctule commune	/	/	-	40	/
Sérotine commune/Noctule de Leisler	/	/	-	/	25
Sérotine sp./Noctule sp.	/	/	-	1	5
<i>Nombre de contacts bruts saisonniers</i>				910	530
<i>Diversité saisonnière (nombre d'espèces)</i>				5	6

L'analyse des données conclue sur une **faible diversité chiroptérologique**. Seulement six espèces ont été contactées à 91 mètres d'altitude sur toute la période d'enregistrement. Parmi elles, trois présentent une patrimonialité modérée : La **Noctule commune**, la **Noctule de Leisler** et la **Pipistrelle de Nathusius**. Ce sont ces deux premières qui présentent l'activité la plus importante au niveau de la nacelle aussi bien en période de mise-bas que lors des transits automnaux. Notons cependant que leur activité proratisée a été plus importante en période de mise-bas que durant les transits automnaux. La Pipistrelle de Nathusius n'a été détectée qu'en période de transit automnal avec une activité faible. Il s'agissait probablement d'individus en migration.

Les autres espèces détectées lors de ce protocole présentent une patrimonialité faible ou très faible. Il s'agit de la Pipistrelle commune, de la Sérotine commune et de la Pipistrelle de Kuhl. Leur activité a également été plus importante en période de mise-bas que lors des transits automnaux. Cela suppose que le projet ne se trouve pas sur un axe de migration principale. L'éolienne E2 se trouve cependant à proximité d'un territoire de chasse ou de transit des noctules et secondairement des autres espèces détectées en période de mise-bas.

Les chauves-souris peuvent transiter entre les différents éléments boisés (éléments relais) en traversant de grands espaces ouverts ou également chasser en canopée. Le cas échéant l'éolienne E2 se trouve à plus de 350 mètres du premier boisement fonctionnel en tant que territoire de chasse.

Une étude plus approfondie de l'activité chiroptérologique est détaillée dans la partie suivante dans le but de préconiser un bridage adapté aux enjeux chiroptérologiques locaux et aux impacts potentiels de l'exploitation des éoliennes sur les chiroptères.

4. Proposition d'adaptation d'un bridage préventif

La partie suivante, en mettant en relation les données météorologiques et les différents résultats du suivi post-implantation des chiroptères, va permettre l'élaboration d'une proposition d'adaptation du bridage actuellement mis en place.

4.1. Bridage visant à limiter l'impact sur les chiroptères

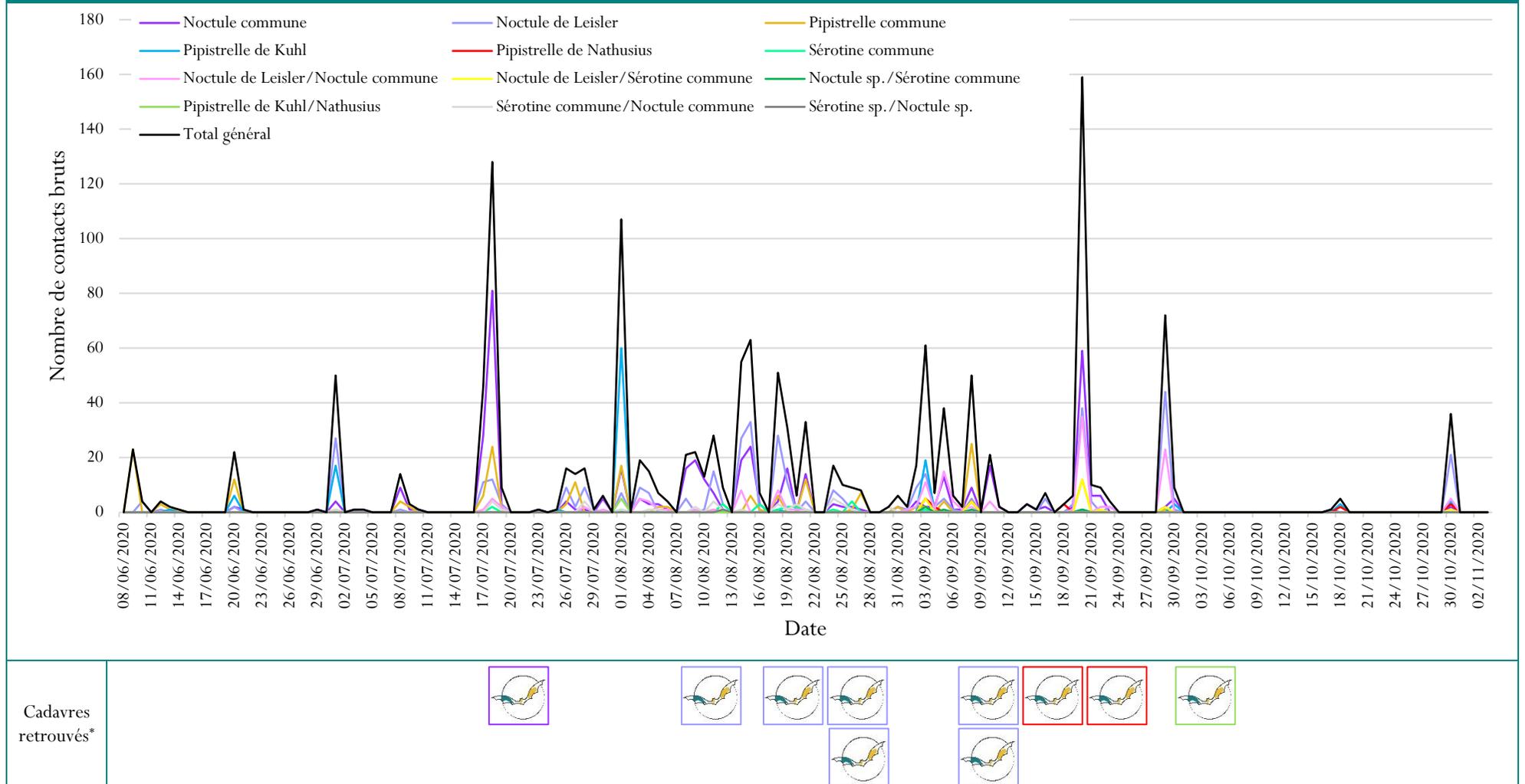
4.1.1. Mise en relation de l'activité chiroptérologique annuelle et de la mortalité

Le graphique suivant permet d'apprécier la répartition de l'activité (en nombre de contacts bruts) sur la période étudiée (juin à novembre 2020) au niveau de l'éolienne E2. On y observe **une activité chiroptérologique plus importante**, bien qu'irrégulière, **du 26 juillet au 10 septembre 2020, ainsi que d'importants pics d'activité le 18 juillet, le 1^{er} août, le 20 septembre et le 29 septembre 2020**. Les jours d'activité faible ou nulle ne doivent correspondre à une météo défavorable à l'activité des chiroptères (vent important, température < 8°C et/ou pluie). Le reste du temps **l'activité enregistrée est globalement faible** avec moins de 49 contacts bruts par nuit.

La plupart des cadavres retrouvés sont des individus d'espèces du genre *Nyctalus* et principalement des individus de Noctule de Leisler. Les dates de découverte des cadavres identifiés dans le cadre du suivi de mortalité parallèle au protocole d'écoute en continu, suit généralement un pic d'activité des noctules communes et/ou de Leisler ou une période d'activité plus faible mais plus régulière sur plusieurs jours. C'est notamment le cas du pic d'activité du 18 juillet 2020 et celui du 20 septembre 2020 ainsi que du mois d'août où l'activité, bien que faible, est plus constante.

Des cadavres de Pipistrelle de Nathusius ont également été retrouvés en période de migration automnale malgré une activité assez faible de l'espèce en cette saison. La mortalité de cette espèce sensible est certainement due au comportement de migration ou à des conditions météorologiques contraignantes.

Figure 54. Somme des contacts chiroptérologiques enregistrés par jour par espèce en nombre de contacts bruts et cadavres de chiroptères retrouvés au cours de la période d'étude de 2020



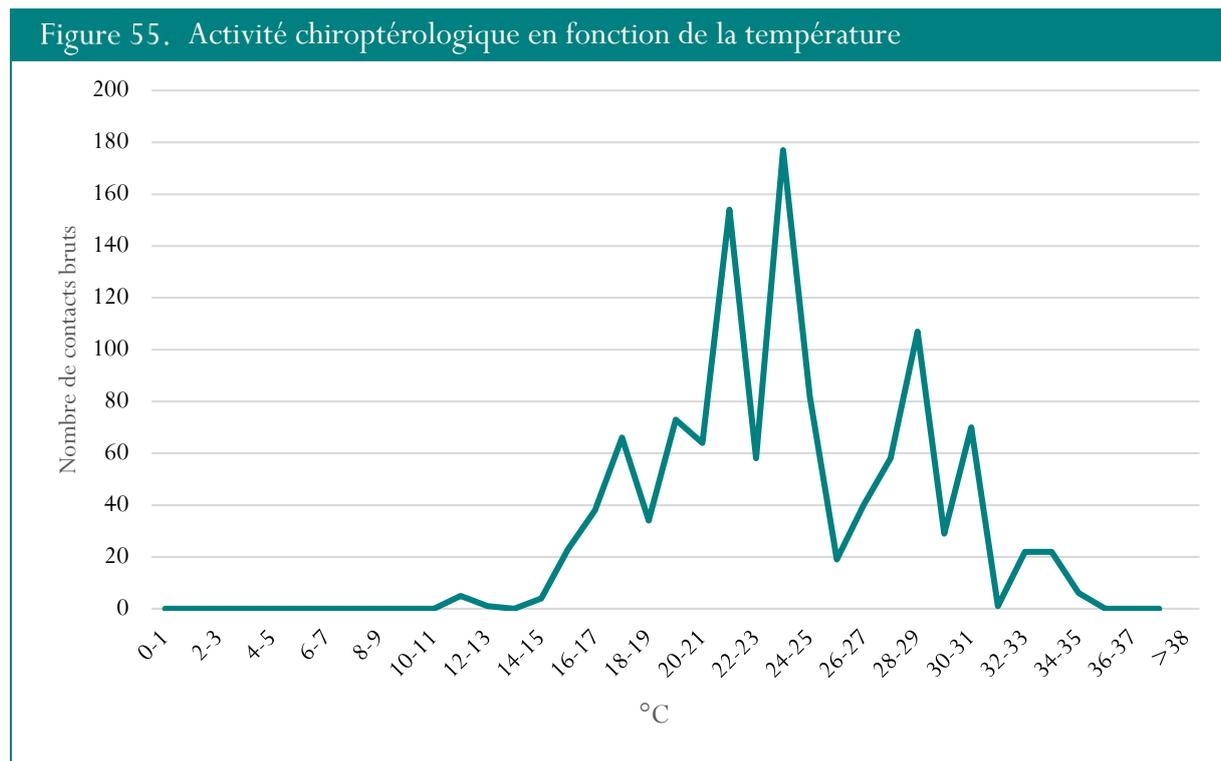
* Résultats du suivi de mortalité réalisé en parallèle du protocole d'écoute en continu des chiroptères sur l'année 2020 par l'association Indre Nature.

Sur la base des résultats des différents protocoles appliqués, nous préconisons un bridage sur la période allant du **15 juillet à fin septembre** afin de réduire l'impact sur les chiroptères. Les plus importants pics d'activité observés correspondent probablement à de la migration automnale et à du transit ou de la chasse en période de mise-bas. C'est d'ailleurs après ces pics d'activité, ou lorsque l'activité est la plus constante, que des cadavres de chiroptères ont été retrouvés. On peut supposer que la mortalité observée est principalement due à l'augmentation de l'activité de chasse suite à l'envol des jeunes et au comportement migratoire et/ou de transit des espèces.

Une étude plus approfondie de l'activité en fonction des conditions météorologiques sur ces périodes est réalisée afin de définir précisément les valeurs de bridage.

4.1.2. Activité chiroptérologique en fonction de la température

Le graphique suivant présente le nombre de contacts bruts enregistrés selon la température sur toute la période étudiée au niveau de l'éolienne E2.



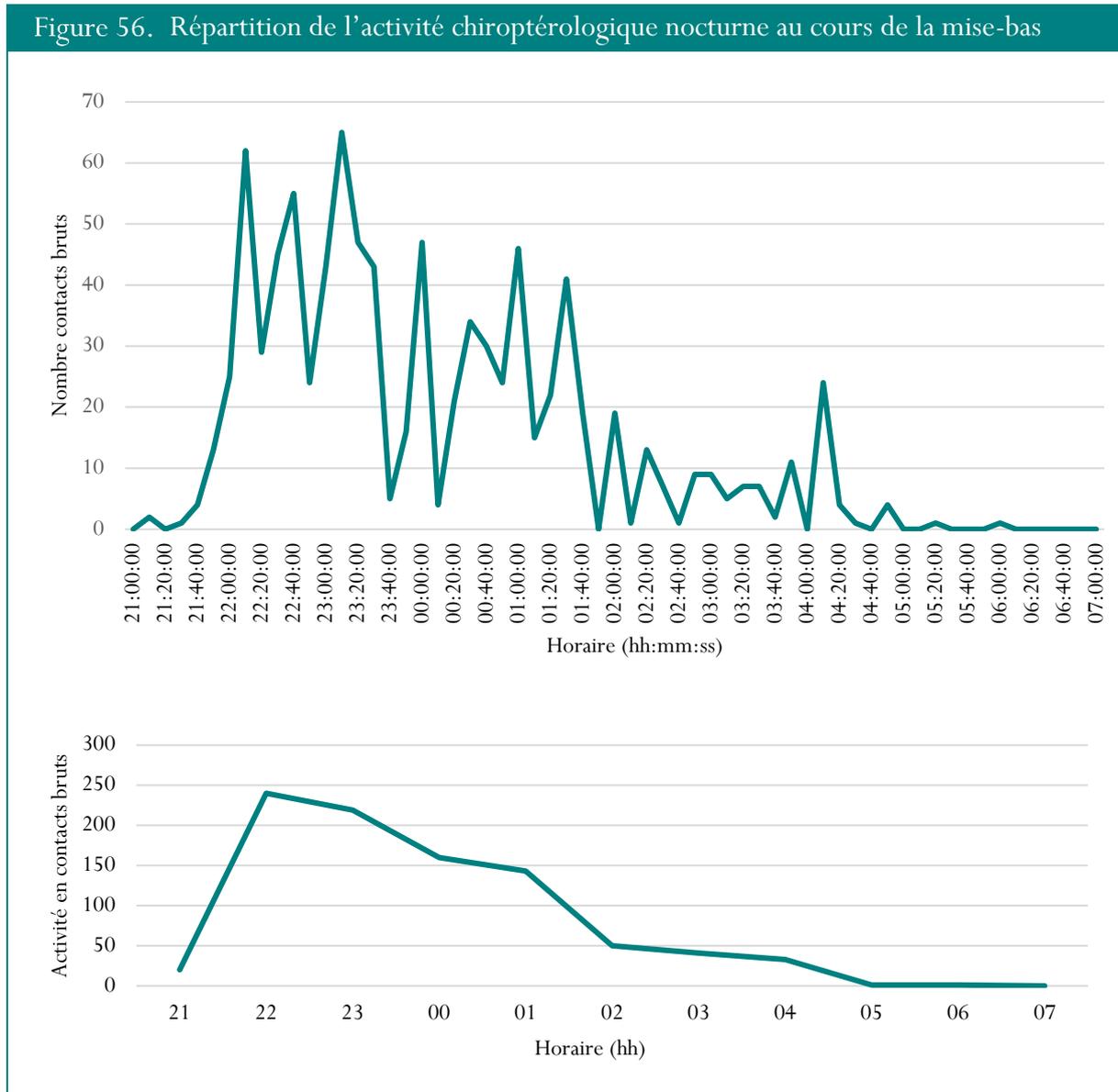
Ce graphique permet de voir qu'en dessous de 11°C et au-dessus de 35°C l'activité chiroptérologique est nulle tandis qu'elle est maximale entre 17 et 31°C. Nous préconisons donc un bridage entre **11 et 35°C**.

4.1.3. Activité chiroptérologique au cours de la nuit

Période mise-bas (du 8 juin au 31 août 2020)

Les graphiques suivants présentent la somme des contacts bruts selon l'heure de la nuit par tranche de 10 minutes puis par heure au cours de la mise-bas. Ils ne permettent pas d'estimer un degré d'activité mais de définir les pics d'activité observés.

Figure 56. Répartition de l'activité chiroptérologique nocturne au cours de la mise-bas

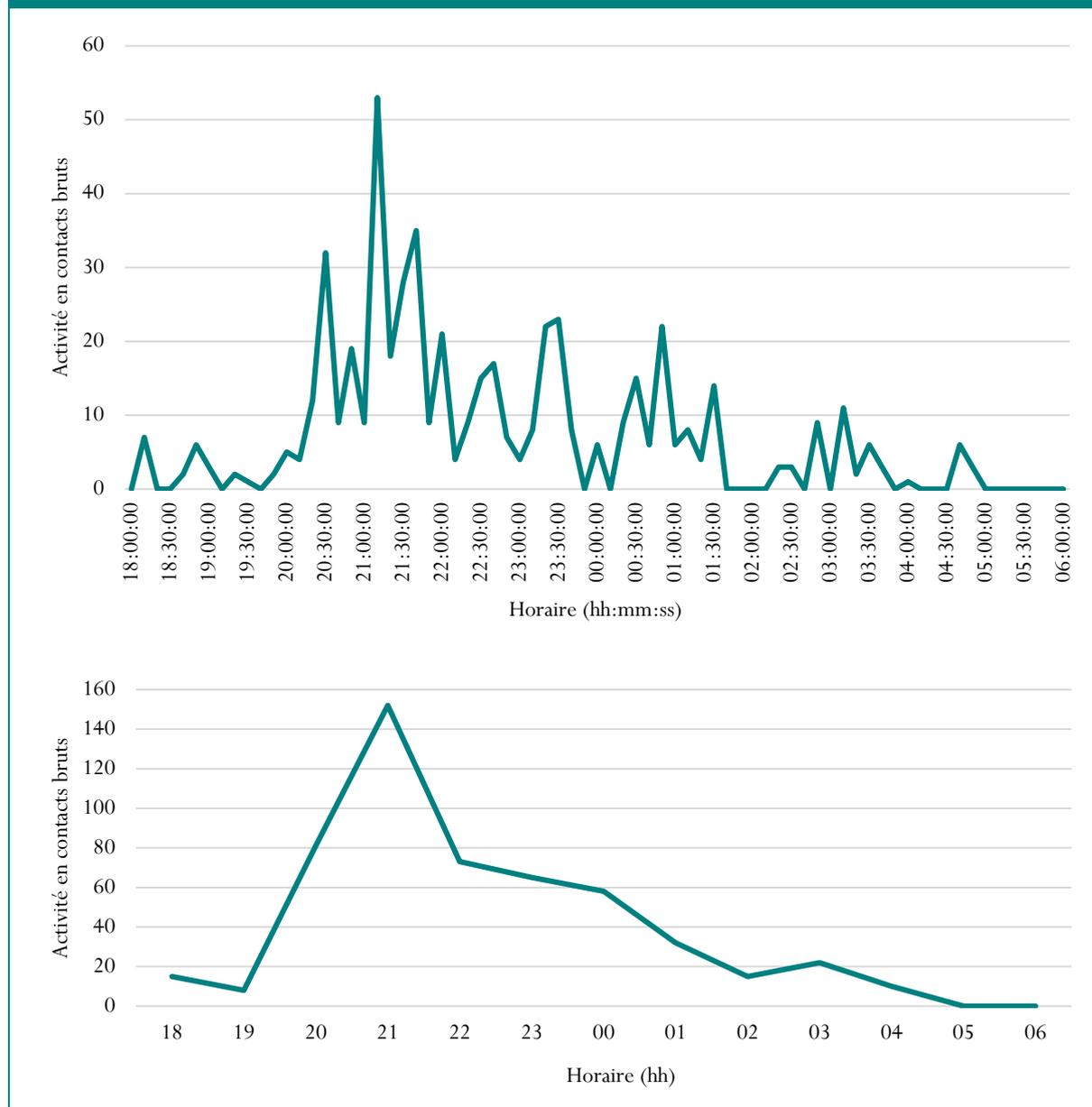


On observe les principaux pics d'activité entre 21h30 et 02h00. L'activité est ensuite faible le reste de la nuit. À la vue de ces résultats, nous préconisons un bridage entre **21h30 et 02h00** au cours de la **mise-bas**.

Période de transit automnal (du 1^{er} septembre au 4 novembre)

Les graphiques suivants présentent la somme des contacts bruts selon l'heure de la nuit par tranche de 10 minutes puis par heure au cours des transits automnaux. Ils ne permettent pas d'estimer un degré d'activité mais de définir les pics d'activité observés.

Figure 57. Répartition de l'activité chiroptérologique nocturne au cours des transits automnaux



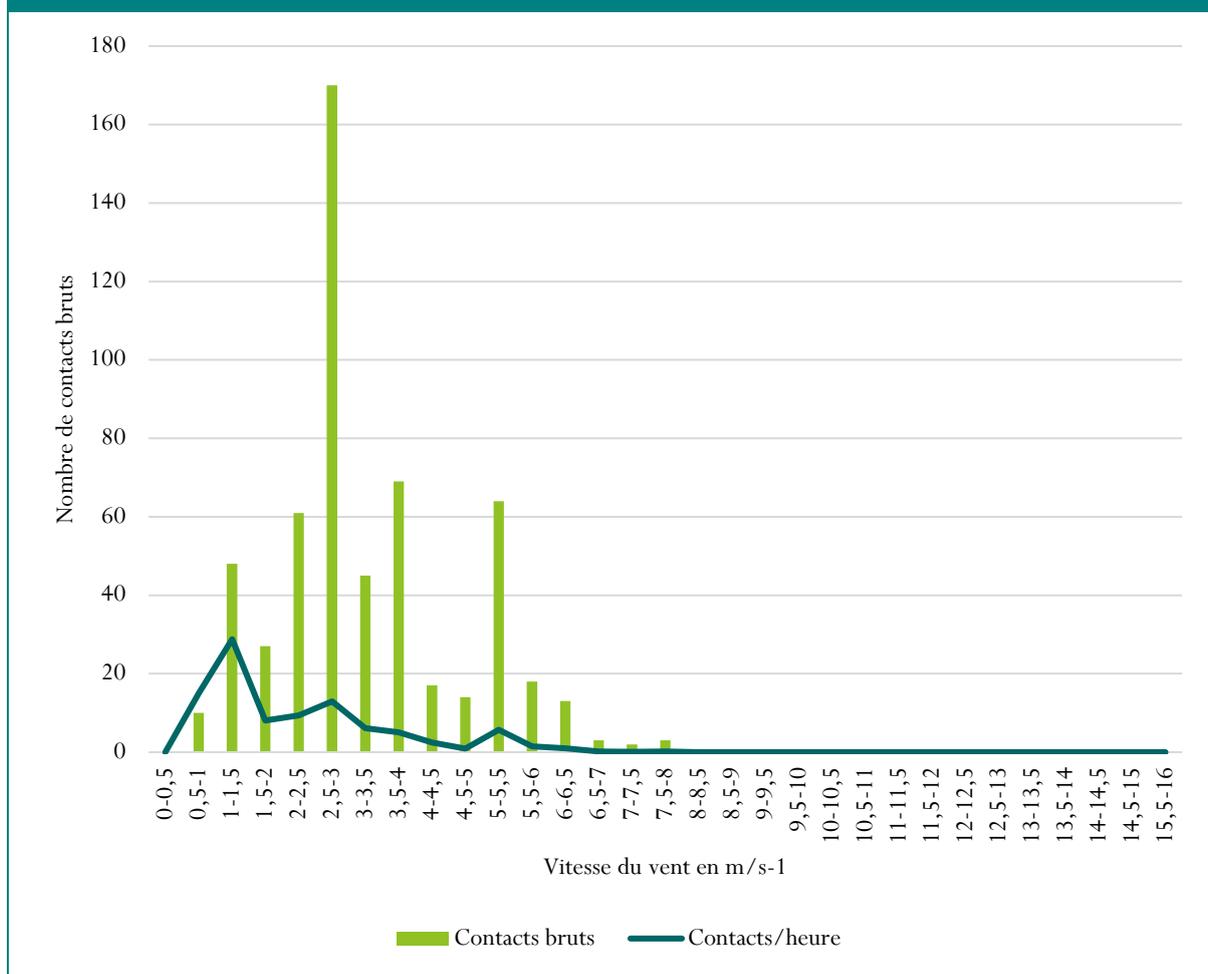
On observe les principaux pics d'activité entre 20h00 et 01h30. L'activité continue ensuite de diminuer jusqu'à devenir nulle à 5h00. À la vue de ces résultats nous préconisons un bridage au minimum entre **20h00 et 01h30** au cours des **transits automnaux**.

4.1.4. Activité chiroptérologique en fonction de la vitesse du vent

Période de mise-bas

Le graphique suivant présente la somme des contacts bruts et le nombre de contacts par heure selon la vitesse du vent en ne prenant en compte que les tranches horaires et les températures favorables à l'activité des chiroptères soit entre 11 et 35°C et entre 21h30 et 02h00 du matin.

Figure 58. Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction de la vitesse de vent – Mise-bas



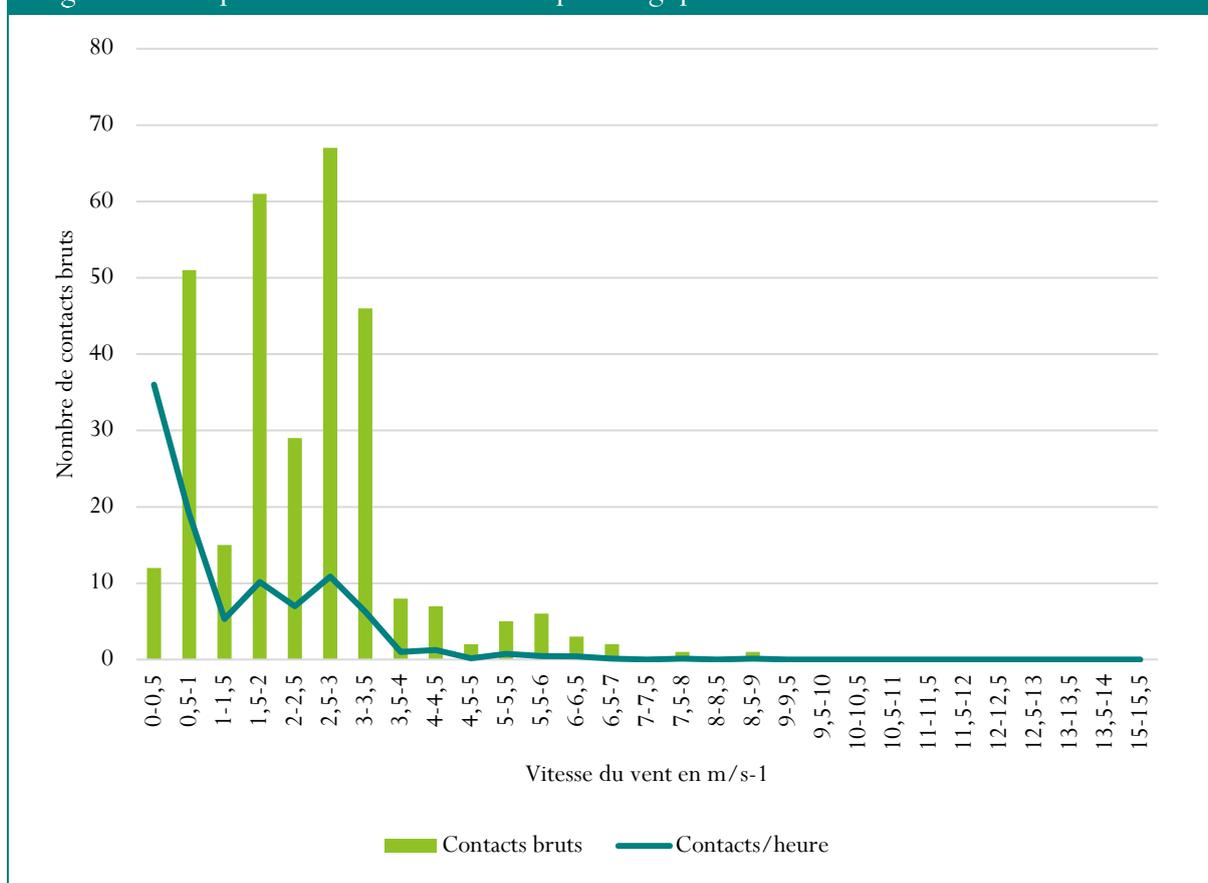
L'activité chiroptérologique est modérée jusqu'à une vitesse de vent de 1,5 m.s⁻¹, au-delà elle devient faible tandis qu'elle est pratiquement nulle lorsque la vitesse de vent dépasse 4m.s⁻¹. Notons cependant que le nombre de contacts par heure est minimisé du fait de la non prise en compte de certains paramètres tels que la pluviométrie. En effet, lorsqu'il pleut, l'activité chiroptérologique est très faible, voire nulle, il faudrait donc ne pas compter ces tranches horaires dans le calcul de l'activité par heure.

On voit cependant sur le graphique que l'activité brute diminue considérablement au-delà de 4 m.s⁻¹ mise à part un pic d'activité entre 5 et 5,5 m.s⁻¹ de vent. Nous préconisons donc un bridage pour des valeurs de **vent inférieures à 5,5 m.s⁻¹** au cours de la mise-bas.

Période de transit automnal

Le graphique suivant présente la somme des contacts bruts et le nombre de contacts par heure selon la vitesse du vent en ne prenant en compte que les tranches horaires et les températures favorables à l'activité des chiroptères soit entre 11 et 35°C et entre 20h00 et 1h30 du matin.

Figure 59. Répartition de l'activité chiroptérologique en fonction de la vitesse de vent - TA



L'activité chiroptérologique en contacts par heure est modérée en dessous de 1 m.s⁻¹ de vent, elle est faible en dessous de 3,5 m.s⁻¹ de vent et presque nulle au-delà de cette valeur. Notons cependant que le nombre de contacts par heure est minimisé du fait de la non prise en compte de certains paramètres tels que la pluviométrie. En effet lorsqu'il pleut, l'activité chiroptérologique est très faible, voire nulle, il faudrait donc ne pas compter ces tranches horaires dans le calcul de l'activité par heure. Nous préconisons donc un bridage pour des valeurs de **vent inférieures à au moins 3,5 m.s⁻¹** au cours des transits automnaux.

4.2. Préconisation de bridage visant à limiter l'impact sur les chiroptères

En mettant en relation l'ensemble des variables étudiées, et afin de tendre vers un bridage couvrant 70% de l'activité chiroptérologique, nous préconisons un bridage sur les périodes suivantes :

- Au cours de la mise-bas, du 15 juillet au 31 août entre 21h30 et 02h00, lorsque la température est comprise entre 11 et 35°C et que le vent est inférieur à 5,5 m.s⁻¹ en plus d'une mise en drapeau des pales entre le 1^{er} juin et le 31^{er} août, sur la nuit complète (entre 21h00 et 6h00) en dessous de 3m.s⁻¹ de vent lorsque la température est comprise entre 11 et 35°C ;
- Au cours des transits automnaux, du 1^{er} septembre au 1^{er} novembre durant la nuit complète (entre 18h00 et 5h00), lorsque la température est comprise entre 11 et 35°C et que le vent est inférieur à 4 m.s⁻¹.

De plus, si un système de détection de la pluie est installé, ce bridage pourra être levé lorsqu'il pleut. Ces préconisations permettent de brider les éoliennes pour 69% de l'activité chiroptérologique en période de mise-bas entre le 1^{er} juin et le 31 août et pour 67% de l'activité chiroptérologique lors des transits automnaux.

Annexe

Liste des cadavres relevés lors du suivi de 2020

N° passage	Observateur	Date dusuivi	N° éolienne	Taxon	Espèce	Nombre	Age	Sexe	Cause potentielle (collision, barotraumatisme)	Date potentiellede mort	Distance /mât (m)	Orientatio n /mât
1	Manon LANIECE	02/04/2020	E5	oiseau	indéterminée	1	indéterminé	indéterminé	indéterminée	30/03/2020	60	SO
1	Manon LANIECE	02/04/2020	E4	oiseau	Alouette des champs	1	adulte	indéterminé	Collision	02/04/2020	50	O
3	Manon LANIECE	15/04/2020	E1	oiseau	Chardonneret élégant	1	indéterminé	indéterminé	Collision	14/04/2020	6	SO
7	Manon LANIECE	13/05/2020	E1	chiroptère	Pipistrelle commune	1	adulte	mâle	Collision	12/05/2020	8	NO
8	Manon LANIECE	20/05/2020	E3	oiseau	Faucon hobereau	1	adulte	indéterminé	Collision	17/05/2020	50	O
12	Manon LANIECE	17/06/2020	E5	oiseau	indéterminée	1	indéterminé	indéterminé	Collision	16/06/2020	10	SE
17	Manon LANIECE Thomas CHATTON	21/07/2020	E5	chiroptère	Noctule commune	1	jeune	mâle	Barotraumatisme	19/07/2020	30	S0
23	Manon LANIECE	23/07/2020	E1	oiseau	Bruant proyer	1	adulte	indéterminé	Collision	23/07/2020	1	N
24	Manon LANIECE Thibault LIGOUT	28/07/2020	E2	oiseau	Merle noir ou Grive	1	indéterminé	indéterminé	Collision	28/07/2020	1	S
25	Thibault LIGOUT	04/08/2020	E1	oiseau	indéterminée	1	indéterminé	indéterminé	Collision	03/08/2020	20	O
26	Thibault LIGOUT	10/08/2020	E3	chiroptère	Noctule de Leisler	1	adulte	mâle	Barotraumatisme	09/08/2020	50	SE
27	Thibault LIGOUT	13/08/2020	E4	oiseau	Merle noir ou Grive	1	indéterminé	indéterminé	Collision	12/08/2020	10	SE
29	Manon LANIECE	21/08/2020	E4	oiseau	Perdrix rouge	1	jeune	indéterminé	Collision	20/08/2020	1	E
29	Manon LANIECE	21/08/2020	E3	chiroptère	Noctule de Leisler	1	adulte	mâle	Barotraumatisme	20/08/2020	1	S
30	Manon LANIECE	25/08/2020	E4	chiroptère	Noctule de Leisler	1	adulte	indéterminé	Collision	24/08/2020	60	NE
30	Manon LANIECE	25/08/2020	E2	chiroptère	Noctule de	1	adulte	indéterminé	Barotraumatisme	24/08/2020	3	S

N° passage	Observateur	Date dusuivi	N° éolienne	Taxon	Espèce	Nombre	Age	Sexe	Cause potentielle (collision, barotraumatisme)	Date potentielle de mort	Distance / mât (m)	Orientatio n / mât
					Leisler							
32	Manon LANIECE	01/09/2020	E4	oiseau	indéterminée	1	indéterminé	indéterminé	Collision	31/08/2020	50	E
32	Manon LANIECE	01/09/2020	E1	oiseau	Hirondelle de fenêtre	1	adulte	indéterminé	Collision	01/09/2020	50	S
35	Manon LANIECE											
36	Manon LANIECE	15/09/2020	E3	oiseau	Roitelet triple bandeau							
38	Manon LANIECE	22/09/2020	1	adulte	mâle	Collision	13/09/2020	50	E			
38	Manon LANIECE	22/09/2020	E3	oiseau	Rouge-gorge familial	1	adulte	indéterminé	Collision	22/09/2020	65	SE
38	Manon LANIECE	22/09/2020										
39	Manon LANIECE	29/09/2020	E3	chiroptère	Pipistrelle de Nathusius							
42	Manon LANIECE	06/10/2020	1	adulte / jeune	indéterminé							
47	Manon LANIECE	23/10/2020	Collision									
39	Manon LANIECE	29/09/2020	E4	oiseau	Roitelet triple bandeau	1	adulte	mâle	Collision	29/09/2020	70	N
42	Manon LANIECE	06/10/2020	E4	chiroptère	Pipistrelle de Kuhl ou Pipistrelle de nathusius	1	adulte	mâle	Collision	04/10/2020	60	NE
47	Manon LANIECE	23/10/2020	E2	oiseau	Rouge-gorge familial	1	adulte	indéterminé	Collision	21/10/2020	60	NO

Bibliographie

CHANTEREAU M., PELSY F. (coord.), 2013 - Liste rouge des Oiseaux nicheurs de la région Centre : 397

427, in Nature Centre, Conservatoire botanique nationale du Bassin parisien, 2014 - Livre rouge des habitats naturels et des espèces menacées de la région Centre éd, Orléans, 504 p.

GAULTIER S.P., MARX G. & ROUX D., 2019 - Eoliennes 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

Groupe Chiroptères de la SFPEM, 2016 – Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2.1 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris.

INDRE NATURE, AGNES BOYE, *Suivi mortalité sur la parc éolien Engie de Vouillon (Indre), Année 1, 2020*

INPN, INVENTAIRE NATIONAL DU PATRIMOINE NATUREL, Site web : <https://inpn.mnhn.fr>, Recherche de données ZNIEFF Continentale

LPO FRANCE, GEOFFROY MARX, *Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, Etude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015*, juin 2017, 92 pages,

https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/eolien_lpo_2017.pdf

NORDEX, *Etude d'impact environnemental du projet de parc éolien de Paudy (Indre)*, 2013, 551 pages.

SOCIETE PARC EOLIEN NORDEX XXVII SAS, *Parc éolien de Paudy (Indre) densification des parcs éoliens du plateau de la plaine d'Issoudun – Résumé non technique étude d'impact sur l'environnement*, Juillet 2014, 14 pages, https://www.indre.gouv.fr/content/download/9317/68172/file/150219_RNT_ETUDE%20IMPACT_PAUDY.pdf