



Parc éolien de Champagne Berrichonne (36)

Suivi environnemental post-implantation 2023 ciblé sur la faune volante

Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle en 2023

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux en 2023



SARL EXEN
116 route de Sévérac, 12310 VIMENET
Tel : 05 81 63 05 99
Mail : ybeucher@exen.pro

Juin 2024

Parc éolien de Champagne Berrichonne (36)

Suivi environnemental post-implantation 2023 ciblé sur la faune volante

Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle en 2023

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux au sol en 2023

- Recherches de mortalité sur site : C. Cousin,
- Organisation, méthodes : Y. Beucher, H. Caradec, A. Langlois, J. Mougnot,
- Analyse des données, interprétations : P. Bonifaci, A. Trinquier,
- Rédaction - relecture : P. Bonifaci, A. Trinquier - A. Langlois.

Juin 2024



SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	6
1 OBJET.....	9
2 CONTEXTE.....	10
3 SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROP TERES EN NACELLE D'EOLIENNE	11
3.1 METHODOLOGIE	11
3.1.1 <i>Suivi automatisé en continu (passif) : généralités.....</i>	11
3.1.2 <i>Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E4.....</i>	11
3.1.2.1 Choix de l'éolienne équipée	11
3.1.2.2 Type d'enregistreur acoustique utilisé.....	11
3.1.2.3 Plage de suivi	13
3.1.3 <i>Traitement des données et évaluation de l'activité</i>	14
3.1.4 <i>Référentiel de niveau d'activité.....</i>	15
3.1.5 <i>Utilisation de l'espace par les chauves-souris et typologie des modes de vol</i>	16
3.2 LIMITES DE LA METHODOLOGIE	18
3.2.1 <i>Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle).....</i>	18
3.2.2 <i>Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces</i>	18
3.2.3 <i>Une détection divergente selon les espèces.....</i>	19
3.2.4 <i>Autres limites de détection acoustique</i>	19
3.3 RESULTATS DU SUIVI D'ACTIVITE CHIROP TEROLOGIQUE EN NACELLE D'E4	20
3.3.1 <i>Cortège d'espèces</i>	20
3.3.2 <i>Proportion d'espèces ou de groupes d'espèces.....</i>	21
3.3.3 <i>Évolution saisonnière de l'activité par espèce (ou groupe d'espèces).....</i>	22
3.3.4 <i>Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle d'éolienne E4.....</i>	24

3.3.5 <i>Influence des conditions météorologiques</i>	26
3.3.5.1 <i>Influence de la vitesse du vent</i>	26
3.3.5.2 <i>Influence de la direction du vent</i>	27
3.3.5.3 <i>Influence de la température</i>	28
3.3.6 <i>Rythme d'activité nocturne</i>	29
4 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX.....	30
4.1 OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE.....	30
4.2 METHODOLOGIE	30
4.2.1 <i>Choix d'une méthode standardisée</i>	30
4.2.2 <i>Choix des périodes de suivis et fréquence des visites.....</i>	31
4.2.3 <i>Choix des éoliennes suivies</i>	32
4.2.4 <i>Organisation des parcours de prospection</i>	32
4.2.5 <i>Recueil des données</i>	35
4.2.6 <i>Détermination des coefficients correcteurs</i>	36
4.2.6.1 <i>Organisation générale</i>	36
4.2.6.2 <i>Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »)</i>	36
4.2.6.3 <i>Tests de disparition (ou « test de persistance »)</i>	37
4.2.7 <i>Calculs</i>	38
4.2.7.1 <i>Les formules utilisées</i>	38
4.2.7.2 <i>EolApp (Besnard et Bernard, 2018)</i>	40
4.2.7.1 <i>GenEst (Simonis et al, 2018)</i>	40
4.2.8 <i>Evaluation des impacts du parc éolien de Champagne berrichonne</i>	40
4.3 BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS	41
4.3.1 <i>Bilan des mortalités brutes retrouvées</i>	41
4.3.2 <i>Synthèse interannuelle des mortalités de chauves-souris</i>	42

4.3.3 Taux de mortalité des chauves-souris	44	5.2 IMPACT SUR L’AVIFAUNE.....	59
4.3.3.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2023	44	5.2.1 Analyse quantitative et comparaison avec d’autres parcs éoliens.....	59
4.3.3.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	45	5.2.2 Analyse qualitative des impacts sur l’avifaune	59
❖ Paramètre p (formule d’Erickson adaptée)	45		
❖ Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso)	46		
4.3.3.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL.....	47		
4.3.3.4 Estimation de la mortalité avec l’application « EolApp »	48		
4.3.3.5 Estimation de la mortalité avec l’application GenEst.....	49		
4.3.3.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2023	49		
4.4 BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX	50		
4.4.1 Bilan des mortalités brutes retrouvées.....	50		
4.4.2 Synthèse interannuelle des mortalités d’oiseaux sous les éoliennes	51		
4.4.3 Taux de mortalité des oiseaux.....	53		
4.4.3.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2023	53		
4.4.3.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	54		
❖ Paramètre p (formule d’Erickson adaptée)	54		
❖ Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso)	54		
4.4.3.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL.....	55		
4.4.3.4 Calcul de la mortalité avec l’application EolApp	55		
4.4.3.5 Estimation de la mortalité avec l’application GenEst.....	56		
4.4.3.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2023.....	56		
5 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE CHAMPAGNE BERRICHONNE.....	57		
5.1 IMPACT SUR LES CHIROPTERES.....	57		
5.1.1 Analyse quantitative et comparaison avec d’autres parcs éoliens	57		
5.1.2 Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères.....	58		
		6 BILAN DE L’EFFICACITE DES MESURES CORRECTIVES EN 2023.....	60
		6.1 REGULATION NOCTURNE DES MACHINES EN FAVEUR DES CHIROPTERES.....	60
		6.1.1 Rappel du pattern.....	60
		6.1.2 Mortalités brutes, mortalités estimées en 2023, comparaisons avec 2022, et impacts du parc sur les chiroptères	60
		6.1.3 Vérification du dimensionnement de la régulation	61
		6.1.4 Vérification de l’implantation du pattern de régulation en machine E4.....	62
		6.2 REGULATION NOCTURNE DES MACHINES EN FAVEUR DES PASSEREAUX MIGRATEURS	64
		7 POURSUITE DES MESURES CORRECTIVES.....	65
		7.1 MESURES CONCERNANT LES CHIROPTERES.....	65
		7.2 MESURES CONCERNANT L’AVIFAUNE	65
		7.3 MESURES CONCERNANT LES CHIROPTERES ET LES OISEAUX	65
		7.3.1 Continuer à limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes	65
		8 CONCLUSION.....	66
		8.1 SUIVI DE L’ACTIVITE DES CHIROPTERES EN NACELLE D’EOLIENNE	66
		8.2 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHIROPTERES ET DES OISEAUX	66
		8.2.1 Concernant les chiroptères	66
		8.2.2 Concernant les oiseaux	66
		8.3 MESURES CORRECTIVES ET PERSPECTIVES	66
		9 BIBLIOGRAPHIE	67
		10 ANNEXES.....	69
		10.1 ANNEXE 1 : MODALITE DE DETERMINATION DES ESPECES	69
		10.2 ANNEXE 2 : ABREVIATIONS ET ESPECES	70

10.3	ANNEXE 3 : FICHE DE RELEVE DE TERRAIN	71
10.4	ANNEXE 4 : DONNEES BRUTES DES RELEVES DE MORTALITE EXEN	73
10.5	ANNEXE 5 : COMPARAISON DE L'ACTIVITE DES CHIROP TERES ENTRE 2022 ET 2023.....	74

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien de Champagne Berrichonne sur fond de photographie aérienne	10
Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien de Champagne Berrichonne sur fond de carte IGN	10
Figure 3 : Cliché de l'installation du Batcorder en nacelle avec micro à travers la paroi de la nacelle	11
Figure 4 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes (modèle Enercon E72 en haut, modèle Vestas en bas)	12
Figure 5 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 KHz de fréquences)	12
Figure 6 : Synthèse de la plage de fonctionnement du Batcorder installé en éolienne E4 et nombre d'enregistrements relevés	13
Figure 7 : Localisation de l'éolienne du parc de Champagne Berrichonne et de l'emplacement du Batcorder (cadre orange)	13
Figure 8 : Schéma caractérisant le paramètre « post-trigger » (ici configuré sur 400 ms)	14
Figure 9 : Référentiel EXEN de niveau d'activité pour une nuit mesurée par un Batcorder au sol (en secondes d'activité cumulée/ nuit).....	15
Figure 10 : Grille de hiérarchisation EXEN du niveau d'activité relevé par les Batcorders utilisés en hauteur (en secondes d'activité par nuit)	15
Figure 11 : Schéma des différents types de vols des chauves-souris.....	17
Figure 12 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie >30KHz, en bas : le groupe des « Sérotoles »).....	18
Figure 13 : Liste des espèces de chiroptères par ordre d'émission décroissante, avec distances de détection et coefficient de détectabilité selon qu'elles évoluent en milieu ouvert ou en sous-bois (Barataud, 2015)	19
Figure 14 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu en 2023 (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine, en gris les espèces contactées avec certitude).....	20
Figure 15 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevée au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E4 (En haut détail par espèces, en bas par groupes de vol)	21

Figure 16 : Tableau de continuité de présence de chaque espèce (ou groupe d'espèces) au cours du suivi en continu en 2023, basée sur les données enregistrées en nacelle d'éolienne E4 (en sec d'activité moyenne sur 15 jours) (Juil-2 : seconde quinzaine du mois de juillet ; les couleurs sont arbitraires mais les couleurs foncées représentent un niveau d'activité plus important).....	23
Figure 17 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce ou groupe d'espèces relevés en nacelle d'éolienne E4	25
Figure 18 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E4 (sur la base des données relevées en 2023 par le Batcorder)	26
Figure 19 : Graphique présentant l'occurrence de chaque direction du vent (à gauche) et l'activité chiroptérologique totale (à droite) relevés en nacelle d'éolienne E4	27
Figure 20 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur au niveau de l'éolienne E4 en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité	28
Figure 21 : Décomposition de l'activité totale enregistrée (en seconde d'activité cumulée) en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil et par groupe de vol (sur la base des données relevées en nacelle d'éolienne E4 en 2023)	29
Figure 22 : Décomposition de l'activité moyenne enregistrée (en seconde d'activité cumulée moyenne par nuit) en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil, du mois suivi et par groupe de vol (sur la base des données relevées en nacelle d'éolienne E4 en 2023).....	29
Figure 23 : Calendrier du suivi de la mortalité en 2023.....	31
Figure 24 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique	32
Figure 25 : Carte 1 de l'orientation des périmètres de prospection et des surfaces prospectées lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes de Champagne Berrichonne en 2023	33
Figure 26 : Carte 2 de l'orientation des périmètres de prospection et des surfaces prospectées lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes de Champagne Berrichonne en 2023	34
Figure 27 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris	35
Figure 28 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (<i>Pipistrellus kuhlii</i>) par un couple de Nécrophore chasseur (<i>Nicrophorus investigator</i>), sous un autre parc	36
Figure 29 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection (sur un autre site)....	37
Figure 30 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées (sur un autre site).....	37
Figure 31 : Grille de calcul pour la définition du risque d'occurrence de la mortalité (Sensibilité*Nombre de mortalité brutes).....	40

Figure 32 : Grille de calcul pour la définition du niveau d'impact théorique (Patrimonialité*Risque d'occurrence).....	40	Figure 52 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité.....	50
Figure 33 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation de l'espèce de chauves-souris retrouvée sous les éoliennes.....	41	Figure 53 : Répartition des données brutes de mortalité avifaunistique (2023).....	50
Figure 34 : Carte de la répartition des cas de mortalité de chauves-souris.....	41	Figure 54 : Histogramme du nombre d'oiseaux impactés par espèce au cours des 6 campagnes de suivi du parc	51
Figure 35 : Périodes de suivi des différentes campagnes de 2018 à 2023.....	42	Figure 55 : Répartition des cas de mortalités en fonction des différents groupes d'espèces impactées	51
Figure 36 : Histogramme du nombre de chauves-souris impactées par espèce au cours des 6 campagnes de suivi du parc.....	42	Figure 56 : Evolution des données brutes d'oiseaux au cours des 6 campagnes de suivi	51
Figure 37 : Répartition des cas de mortalités en fonction du comportement en vol des espèces impactées	42	Figure 57 : Répartition mensuelle des mortalités interannuelles du cortège d'espèces avifaunistiques...52	52
Figure 38 : Evolution des données brutes de chauves-souris au cours des 6 campagnes de suivi.....	43	Figure 58 : Répartition des mortalités interannuelles d'oiseaux par éolienne.....	52
Figure 39 : Répartition mensuelle des mortalités interannuelles du cortège d'espèces chiroptérologiques	43	Figure 59 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total d'oiseaux retrouvés sous les éoliennes).....	53
Figure 40 : Répartition des mortalités interannuelles de chauves-souris par éolienne	43	Figure 60 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d	54
Figure 41 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de chauves-souris retrouvées).....	44	Figure 61 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance	54
Figure 42 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d	45	Figure 62 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a	54
Figure 43 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance.....	45	Figure 63 : Paramètres de calcul des équations	55
Figure 44 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours)	45	Figure 64 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2023	55
Figure 45 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après « 1 jours »	46	Figure 65 : Paramètres à renseigner dans l'application « EolApp ».....	55
Figure 46 : Schéma des différents cercles concentriques utilisés pour le calcul du coefficient surfacique 46		Figure 66 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)	55
Figure 47 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a	47	Figure 67 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)	57
Figure 48 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations	47	Figure 68 : Définition du niveau d'impact théorique pour les espèces contactées avec certitude ou potentielles en nacelle et la Pipistrelle de Nathusius (espèce retrouvée morte lors du suivi de la mortalité)	58
Figure 49 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2023.....	48	Figure 69 : Evaluation des niveaux d'impacts théoriques sur l'avifaune en 2023.....	59
Figure 50 : Paramètres à renseigner dans l'application « EolApp »	48	Figure 70 : Pourcentage d'activité enregistré pour des vitesses de vent inférieures au seuil de régulation	61
Figure 51 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)	48		

Figure 71 : Détail de l'activité cumulée relevée en dehors des conditions de bridage (à risque), lors des conditions de bridage (protégée), totale et pourcentage d'activité protégée, par groupe de vol (sur la base des données d'activité relevée en nacelle d'éolienne d'E4 en 2023) 62

Figure 72 : Activité cumulée relevée en conditions de régulation, en fonction du tour-rotor d'E4 (sur la base des données d'activité relevée en nacelle d'E4 en 2023)..... 62

Figure 73 : Chronologie nocturne du fonctionnement de la régulation, sur l'éolienne E4 (extrait du rapport issu de Probat inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>) 63

1 OBJET

Le développeur éolien EDP Renewables a mandaté le bureau d'étude EXEN pour effectuer un suivi post-implantation du parc éolien de Champagne Berrichonne, situé sur les communes de Vouillon et d'Ambrault, dans l'Indre (36).

Le parc éolien de Champagne Berrichonne a été mis en service en avril 2017. La réglementation ICPE mise en place depuis 2011 impose un suivi de la mortalité, à raison d'une année obligatoire durant les 3 premières suivant l'implantation des éoliennes, ainsi que tous les 10 ans suivants. L'arrêté d'autorisation d'exploiter du 05/01/2015 prévoit la réalisation d'un suivi axé sur la mortalité de l'avifaune nicheuse et migratrice et des populations de chiroptères sur une période minimale de 5 ans après l'installation des éoliennes. Ces suivis d'impacts in situ ciblent tout particulièrement les chauves-souris et les oiseaux, les principaux groupes d'espèces animales les plus sensibles aux effets des parcs éoliens.

Pour ce type de suivi, la société EDPR, avait alors missionné en 2017, la société EXEN, spécialisée dans l'étude de la faune sauvage et de ses rapports avec le développement éolien. Le bureau d'étude EXEN a donc pris en charge le suivi de l'activité des chauves-souris en nacelle d'éolienne, le suivi d'activité des oiseaux et le suivi de la mortalité au pied des éoliennes en 2018.

Au vu des impacts aussi bien qualitatifs que quantitatifs sur la faune volante, des mesures de réduction ont été préconisées dont la mise en place de pattern de régulation des machines. Afin de vérifier l'efficacité de la régulation, un suivi de la mortalité et un suivi d'activité chiroptérologique en nacelle ont été reconduits en 2019. Un suivi de l'activité des oiseaux a également été mené. En 2019, les impacts qualitatifs et quantitatifs étaient encore importants, du fait d'une régulation partiellement mise en place.

Un suivi de la mortalité couplé à un suivi d'activité des chauves-souris, ainsi qu'un suivi de l'activité des oiseaux ont donc été reconduits en 2020. Le rapport concluait que « *les trois années de suivis de la mortalité effectuées sur le parc de Champagne Berrichonne mènent à un niveau d'impact sur la faune volante qui semble diminuer au fil des suivis.*

Le pattern de régulation mis en place en 2020 est jugé correctement proportionné et assez efficace au vu de la diminution de la mortalité relevée sur le parc éolien entre 2018 et 2019. La reconduite des patterns de régulation est donc préconisée. » En revanche, les analyses ont pu montrer une légère différence de niveau d'activité entre l'activité réellement à risque et l'activité théoriquement à risque pour les chauves-souris et la régulation ciblée sur la migration des passereaux nocturnes a été partiellement mise en place.

Les préconisations pour le suivi de l'année 2021 étaient basées sur la vérification de la bonne mise en place des paramétrages de régulation pour la faune volante. Cependant, du fait de problèmes techniques, la régulation ciblée sur les chiroptères en nacelle d'éolienne E5 n'a pas été mise en place et la régulation ciblée sur les oiseaux migrants n'a pas pu être mise en place également.

Ainsi, un nouveau suivi a été préconisé afin de contrôler l'efficacité de la régulation chiroptère entre début août et début octobre et approfondir l'analyse comparative de l'activité réellement à risque des chiroptères et théoriquement à risque en plus de contrôler la bonne mise en place de la régulation ciblée sur l'avifaune migratrice. Les résultats de l'étude 2022 aboutissent aux conclusions suivantes : « *Les différentes années de suivi ont pu montrer que la régulation nocturne pour les chiroptères étaient souvent partiellement mis en place (date de mise en place tardive ou sur une partie des éoliennes du parc). Un fort lien existe entre les mortalités brutes retrouvées au sol et les défauts d'implantation en machine. [...] Pour ce qui est de la régulation ciblée sur les passereaux migrants nocturnes, son efficacité n'a pas pu être évaluée complètement car celle-ci n'a été mise en œuvre que partiellement (à partir du 7 octobre 2022). Il est préconisé de reconduire sa mise en place en machine. Pour rappel, la régulation spécifique aux oiseaux, correspondant à un arrêt des machines en période de migration, est définie selon les conditions suivantes :*

- *Du 15 septembre au 15 novembre et,*
- *Du coucher du soleil à 30 minutes après le coucher du soleil et,*
- *De 2 heures avant le lever du soleil jusqu'au lever du soleil et,*
- *Pour toutes les éoliennes.* » (EXEN, 2022)

Pour s'assurer que les corrections de mesures préconisées en 2022 soient efficaces pour diminuer l'impact du parc éolien de Champagne Berrichonne sur la faune volante, il fallait poursuivre un suivi de mortalité sur ce parc en 2023.

Ce suivi de mortalité devait être effectué en particulier sur la base des résultats de mortalité de 2022 de manière à cibler les périodes les plus accidentogènes. Ce suivi de mortalité devait donc idéalement se dérouler de début août à début novembre 2023, afin de recouvrir la période de modification du pattern de régulation.

Il s'agissait donc d'effectuer 28 visites, réparties sur 14 semaines, à raison de deux visites par semaine étant donnée du taux de prédation élevé sur le site.

La synthèse des résultats des suivis doit permettre d'aboutir à une évaluation de l'efficacité du pattern de régulation et une évaluation objective des impacts du parc éolien sur cette faune volante

2 CONTEXTE

Le parc éolien de Champagne Berrichonne, suivi en 2023, est situé sur les communes de Vouillon et d'Ambrault, dans l'Indre (36).

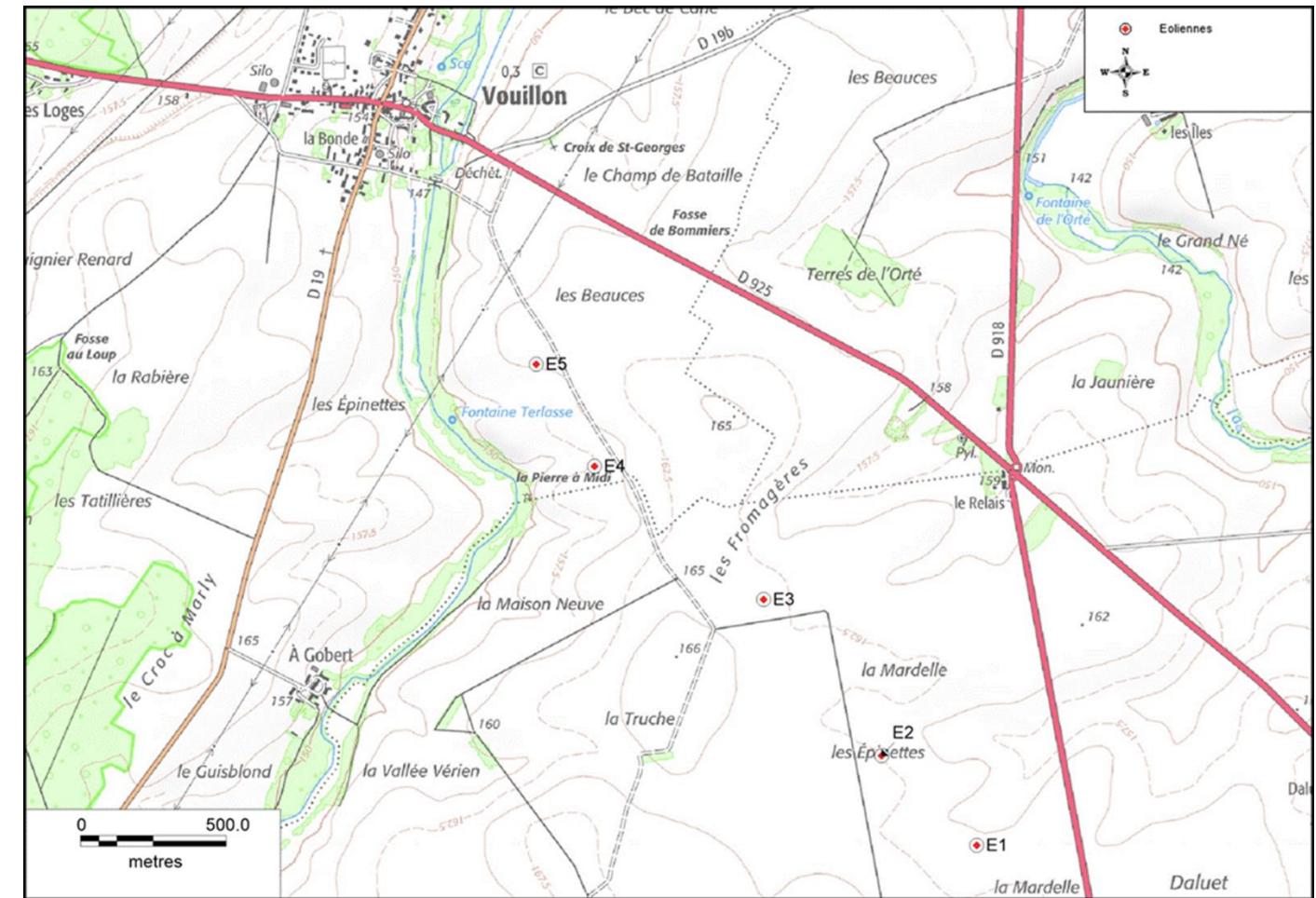
Le parc se situe dans un contexte majoritairement agricole, entouré de grandes cultures et longé à l'ouest par un cours d'eau, le ruisseau du Liennet (à 250 mètres au plus près à l'éolienne E4).

Le parc éolien est composé de 5 machines implantées sous la forme d'une seule ligne, orientée dans un axe nord-ouest/sud-est. Les éoliennes sont de type Gamesa G114/2100 (puissance de 2100 kW, diamètre du rotor de 114 m) pour le parc de Champagne Berrichonne.

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien de Champagne Berrichonne sur fond de photographie aérienne



Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien de Champagne Berrichonne sur fond de carte IGN



3 SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES EN NACELLE D'EOLIENNE

3.1 Méthodologie

3.1.1 Suivi automatisé en continu (passif) : généralités

La seule méthode pertinente à ce jour permettant une analyse croisée des mortalités et de l'activité des chiroptères est celle basée sur un suivi en continu de cette activité bioacoustique sur plusieurs mois, et à hauteur des nacelles. L'activité chiroptérologique est en effet toujours très hétérogène dans le temps (selon les saisons, d'une nuit à l'autre, et au sein d'une même nuit), ce qui implique d'éviter tout échantillonage de suivi par périodes, par mois ou par nuits. Seul un suivi en continu sur le long terme (au moins sur la même période retenue pour le suivi de la mortalité) peut permettre d'apprécier une évolution fine de cette activité. C'est d'autant plus important que l'expérience montre (BEUCHER & KELM 2012) que certains pics d'activité parfois très importants et très ponctuels correspondent à certains pics de mortalités.

L'activité des chauves-souris est également très différente sur un gradient altitudinal (selon les types d'espèces, leurs comportements de chasse, la structure de végétation, les conditions climatiques, les effets d'aérologie...). Si on cherche à percevoir un rapport de cause à effet entre activité et mortalité, il s'agira donc de chercher à suivre l'activité des chauves-souris au plus proche du secteur de risque, c'est-à-dire à hauteur du rotor des éoliennes.

Au-delà de la prise en compte des biais d'échantillonnage temporel ou altitudinal, reste la question de l'échantillonnage géographique. L'activité des chauves-souris s'organise aussi en fonction de la configuration du site, des types de milieux, des corridors de lisières, du contexte topographique et des phénomènes d'aérologie... et donc plus largement des fonctionnalités des différents secteurs pour les chiroptères.

3.1.2 Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E4

3.1.2.1 Choix de l'éolienne équipée

Le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (MTES, 2018) précise qu'au minimum un point d'écoute pour 8 éoliennes doit être réalisé pour suivre l'activité chiroptérologique en nacelle. Le cahier des charges de consultation prévoyait la mise en œuvre d'un seul point d'enregistrement pour les 5 éoliennes que compte le parc de Champagne Berrichonne, ce qui est conforme au protocole actuellement en vigueur.

L'éolienne choisie en 2023 pour l'installation d'un Batcorder fut l'éolienne E4 (soit la même qu'en 2022, dans une logique de continuité pour une comparaison interannuelle).

3.1.2.2 Type d'enregistreur acoustique utilisé

Pour suivre l'activité des chauves-souris en parallèle de la mortalité, un détecteur / enregistreur d'ultrasons de type *Batcorder* (3.1) a été utilisé. Au-delà de la qualité du matériel et des enregistrements acoustiques, ce type de matériel présente en effet différents modules et paramétrages possibles selon la destination du boîtier, et bénéficie dans tous les cas, de capacités d'autonomie pour des suivis en continu et de contrôles à distance très avantageuses par rapport aux autres systèmes aujourd'hui sur le marché.

Les paramètres utilisés au niveau des modules Batcorders autonomes sont les suivants :

- Quality : 20
- Threshold : 27
- Posttrigger : 800 ms
- Critical frequency : 14 kHz
- Heure de déclenchement et de veille : 16h-6h (en heure GMT)

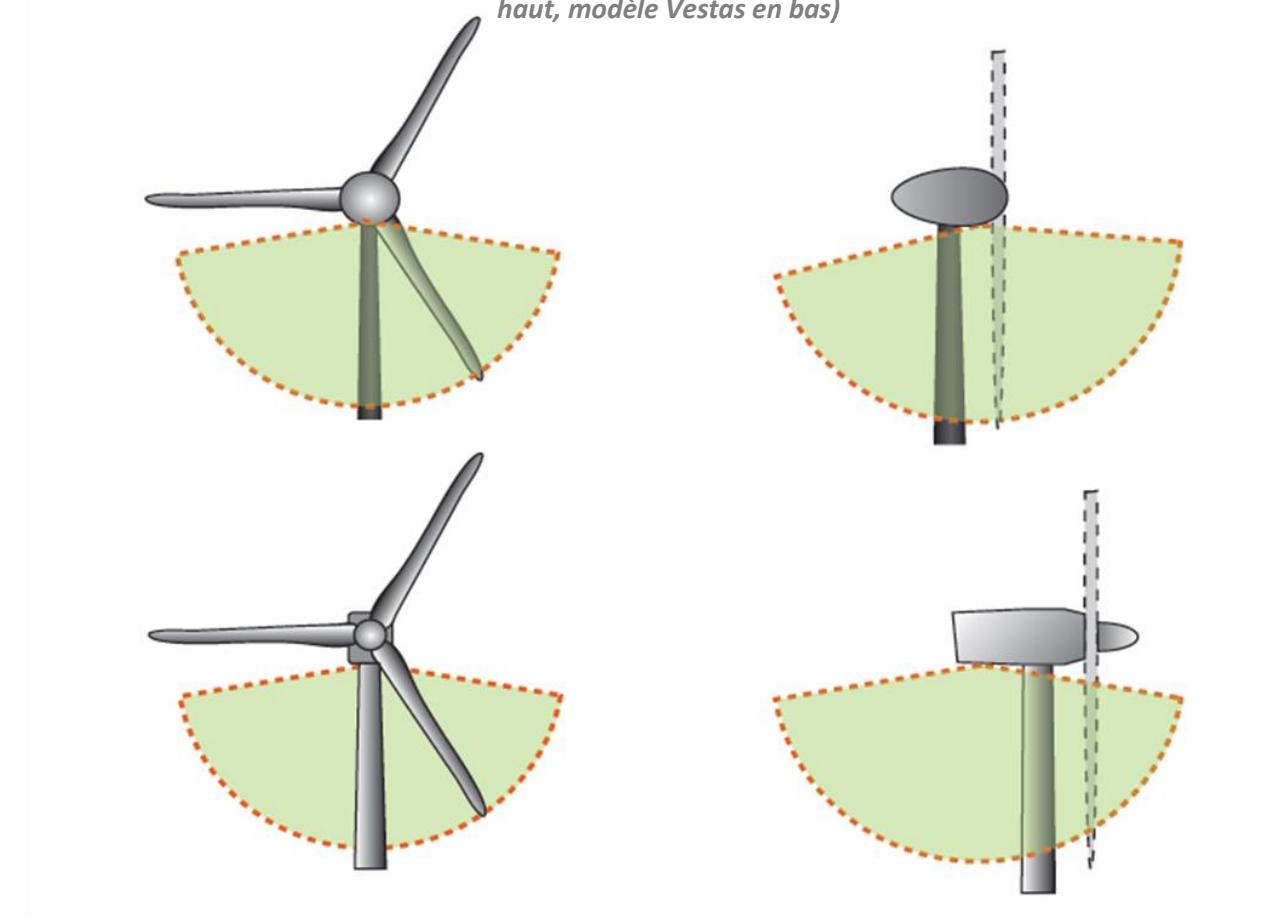
Au niveau de l'éolienne équipée, il s'agissait de caractériser l'activité des chauves-souris dans ou à proximité de la zone de rotor de l'éolienne (principalement dans un demi-espace inférieur). Un module spécial éoliennes (WKA) est proposé par la société ecoObs comprenant :

- une alimentation en 220 V sur éolienne,
- une batterie de secours,
- un boîtier GSM permettant un contrôle à distance quotidien (envoi automatisé de SMS),
- un micro multidirectionnel adapté à la structure de nacelles en fibre de verre (micro disk qui traverse la paroi de la nacelle),
- un système d'accroche interne et d'antivibrations,
- un paramétrage particulier limitant la détection de bruits parasites machines de basse fréquence.

Figure 3 : Cliché de l'installation du Batcorder en nacelle avec micro à travers la paroi de la nacelle



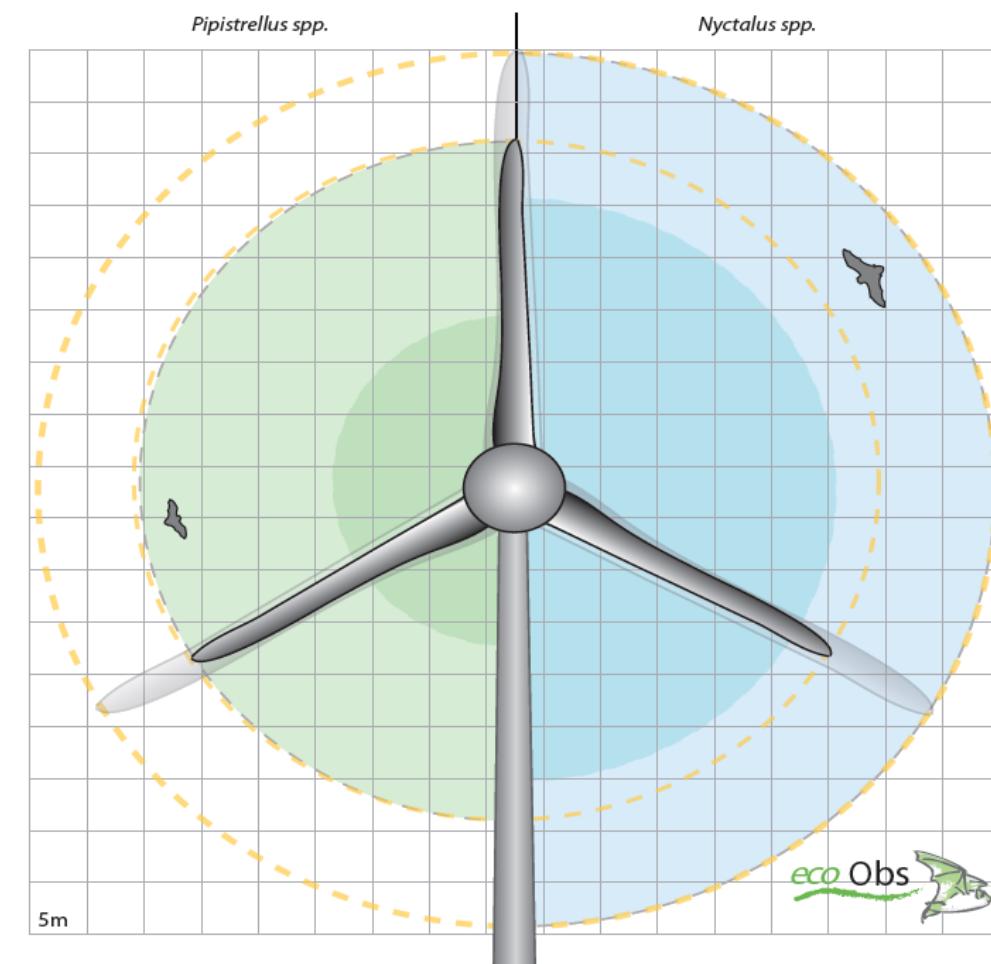
Figure 4 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes (modèle Enercon E72 en haut, modèle Vestas en bas)



L'efficacité des Batcorders placés sur nacelles d'éolienne a pu être testée au cours de plusieurs études pilote menées en Allemagne (ADOMEIT et al. 2009). Les tests ont été réalisés par comparaison des résultats de suivis optiques (stéromicroscope à deux caméras infrarouges) et de suivis accoustiques (Batcorders). L'expérimentation a notamment montré que 83% des chiroptères qui rentrent dans le champ de rotation des éoliennes sont détectés par la méthode acoustique. Ces capteurs paraissent donc particulièrement adaptés à la caractérisation de l'activité des chiroptères autour des éoliennes. Il est évident que ces chiffres ne prennent pas en compte les biais liés à l'orientation du micro et aux obstacles acoustiques par rapport à la structure de la nacelle. Le ciblage du suivi vers la partie basse du rotor s'explique par le fait qu'il s'agit logiquement de la partie la plus meutrière du rotor (concernant à la fois des espèces de haut vol et des espèces de lisières ou de vols moins hauts selon le modèle d'éolienne). Ces chiffres ne distinguent pas non plus les variations de portées de détection selon les espèces (grandes espèces à grande portée d'émission et petites espèces à faible portée d'émission). Mais ils permettent de montrer la pertinence de la méthode. Ils permettent également de considérer que les résultats d'activité enregistrés seront sous-évalués d'environ 17% par rapport à la réalité.

Le schéma suivant propose une représentation des notions de distance de détection des ultrasons par l'enregistreur en nacelle selon les principales familles d'espèces concernées.

Figure 5 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 KHz de fréquences)



3.1.2.3 Plage de suivi

Le Batcorder fut installé du 28 juillet au 09 novembre 2023. Le suivi en continu a donc permis de couvrir une partie de la période estivale, la période automnale et une partie de la période hivernale en 2023, sur une éolienne du parc de Champagne Berrichonne.

Aucun problème technique n'a été relevé. Ainsi, 104 nuits efficientes ont été suivies, représentant 1 456 heures d'enregistrement.

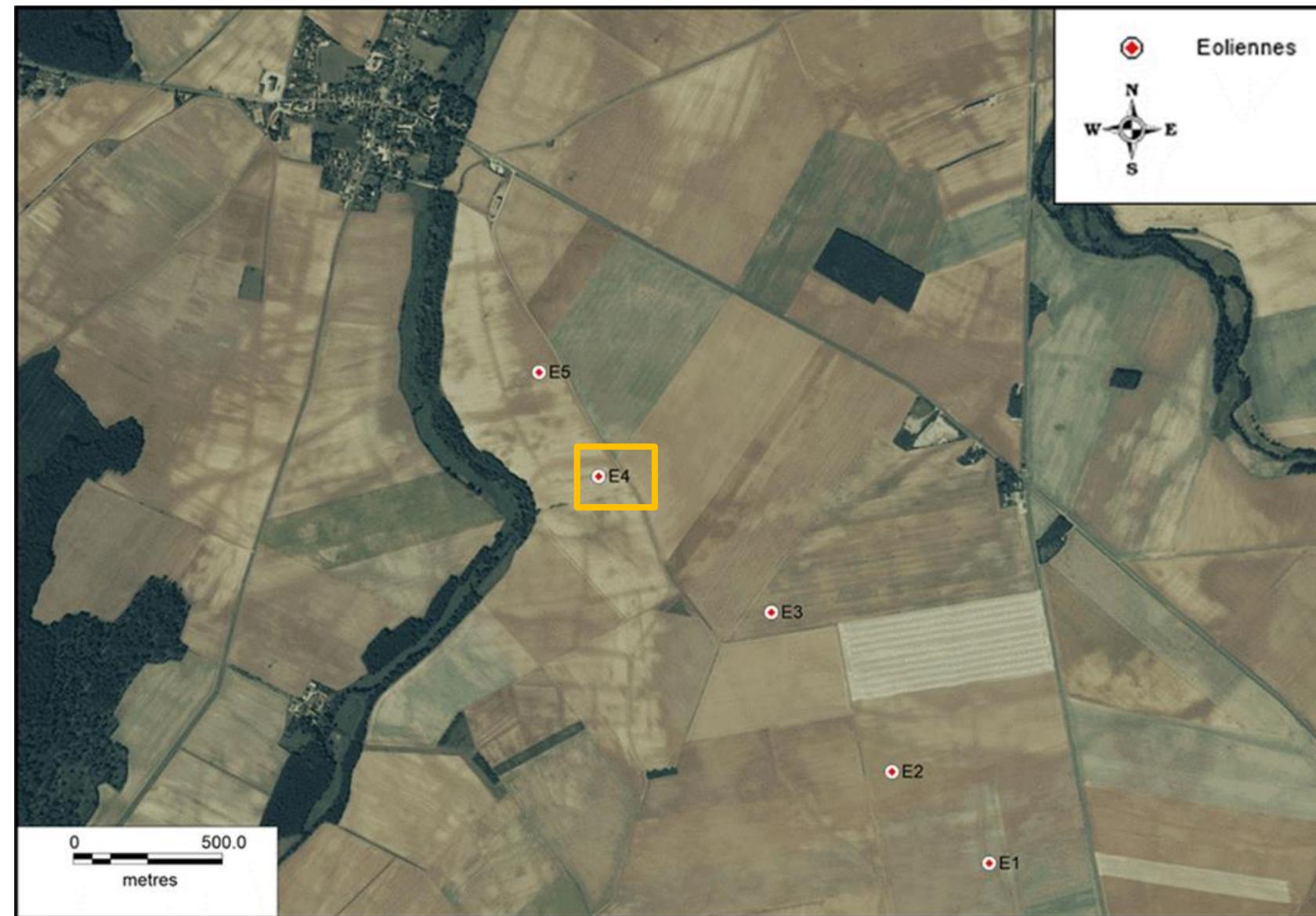
Cela représente un total de 671 données ultrasonores à analyser dont 447 correspondent à des contacts de chiroptères, les autres enregistrements provenant de parasites acoustiques (notamment liés à l'éolienne elle-même, ou pour tester l'efficacité du micro du Batcorder).

Le tableau ci-dessous fait la synthèse de ces éléments :

Figure 6 : Synthèse de la plage de fonctionnement du Batcorder installé en éolienne E4 et nombre d'enregistrements relevés

Emplacement du Batcorder (version 3.1)	Date d'intervention	Type d'intervention	Nombre total de séquences enregistrées	Nombre de séquences enregistrées correspondant à des chiroptères
Nacelle d'E4	28/07/2023	Installation	671	447
	09/11/2023	Désinstallation		

Figure 7 : Localisation de l'éolienne du parc de Champagne Berrichonne et de l'emplacement du Batcorder (cadre orange)

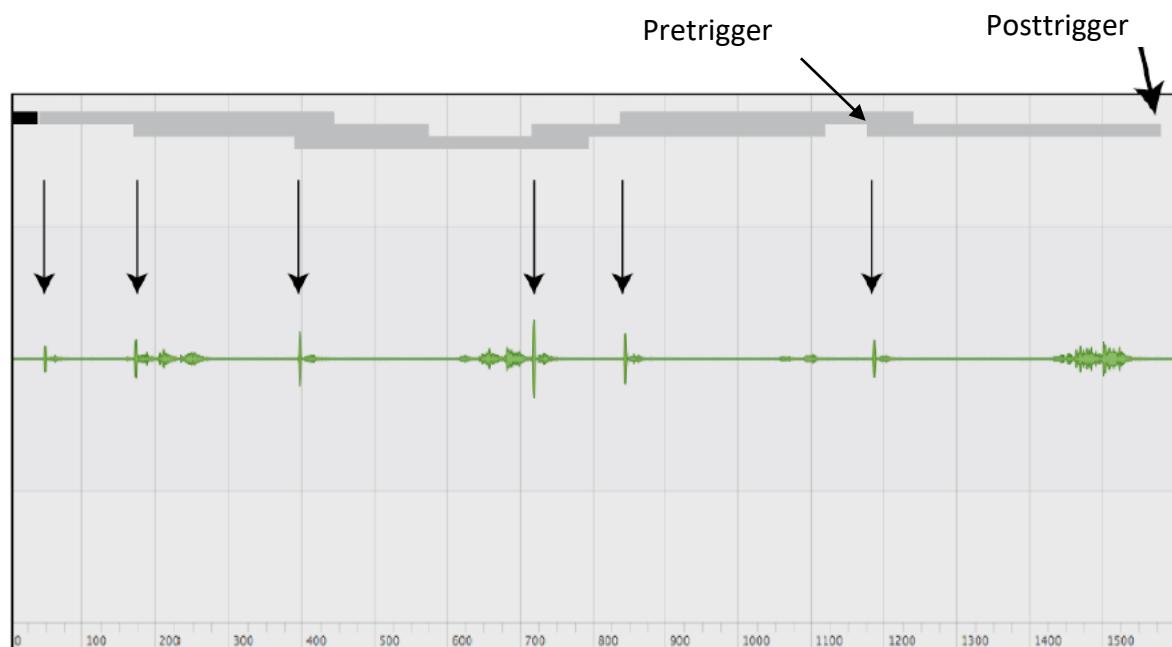


3.1.3 Traitement des données et évaluation de l'activité

Un autre intérêt du système Batcorder réside aussi dans la facilité d'analyse des données, ce qui est particulièrement appréciable pour des plages d'enregistrements de plusieurs dizaines de milliers de séquences lorsque c'est le cas. Les séquences sonores des chauves-souris ont été enregistrées et sauvegardées numériquement sur une carte SDHC. Ces enregistrements sont ensuite gérés et traités par les logiciels *bcAdmin* et *batIdent*. Les espèces sont déterminées par comparaison statistique des ultrasons enregistrés avec les références d'une large sonotèque d'espèces du Paléarctique occidental. Le logiciel libre « R » est l'outil d'interface statistique utilisé à cet égard. Dans un premier temps, si l'analyse automatique ne permet pas de déterminer l'espèce pour tous les contacts, un classement des enregistrements est proposé par groupes d'espèces en fonction de la typologie des signaux. L'analyse manuelle ultérieure de sons isolés est réalisée par la suite également très facilement grâce aux nombreuses fonctions du logiciel *bcAnalyze 3*. L'ensemble des outils proposés par EcoObs prennent régulièrement en compte l'évolution de la connaissance sur l'écologie acoustique des chiroptères en Europe et notamment en France.

Le Batcorder enregistre des séquences pour chaque contact de chiroptère. Mais comme tout enregistreur automatique, selon la récurrence des signaux, ils peuvent être amené à décomposer le passage d'un individu sur plusieurs séquences, notamment lorsque la récurrence est faible (l'intervalle de temps entre chaque signal émis est important). Il s'agit alors de veiller à ne pas considérer ces différentes séquences comme plusieurs passages distincts, mais bien comme celui d'un individu émettant des signaux espacés dans le temps. C'est notamment important à prendre en compte pour valoriser des notions de rythme (régularité des intervalles entre signaux successifs), ou d'alternance (alternance de la structure des signaux entre Quasi-Fréquence Constante (QFC) / Fréquence modulée aplanie (Fmap)), notions souvent essentielles pour faciliter la distinction de certaines espèces. La configuration du matériel peut donc permettre de limiter ce biais. Il s'agit notamment de faire le choix d'une valeur importante du paramètre « post-trigger », qui se définit comme le temps maximal suivant un signal ultrason à partir duquel l'enregistreur stoppe l'enregistrement si aucun autre nouvel ultrason n'est perçu. Le schéma suivant caractérise ce paramètre, configuré ici pour une valeur de 400 ms.

Figure 8 : Schéma caractérisant le paramètre « post-trigger » (ici configuré sur 400 ms)



Pour comparer l'activité mesurée entre plusieurs sites, il est donc important de garder les mêmes valeurs de paramètres pour chaque enregistreur et tout au long du suivi annuel.

La comparaison fine des niveaux d'activité entre plusieurs types de matériels est toutefois délicate au vu de la diversité des types d'enregistreurs disponibles sur le marché (Batcorder, SM2 bat, EM3, Batlogger, Anabat...), avec des caractéristiques techniques et possibilités de paramétrages tout aussi diversifiées, sans compter les biais d'étalonnage des micros. Ce constat a déjà fait l'objet de débats au niveau national (Rencontres nationales de la SFEPM de Bourges de 2012). Certaines méthodes de simplification de l'analyse telles que la « Minute positive » sont proposées pour rendre plus homogène la perception des niveaux d'activité perçus par les différents matériels. Mais, si statistiquement ce type de méthode permet de rendre plus objective la comparaison de niveau d'activité entre les différents outils disponibles, elle engendre une perte importante d'information parfois essentielle pour caractériser un risque dans le cadre d'un projet éolien. En effet, elle lisse considérablement les courbes chronologiques d'activité des chauves-souris et perd l'information d'une activité à plusieurs individus en simultanée. Or, pour des espèces patrimoniales et potentiellement sensibles à l'éolien qui ont l'habitude d'évoluer parfois en groupes (Molosse de Cestoni, Vespère de Savi...), ce type de détails est important à noter. Dans ce cas précis, les ruses ponctuels de transit de minioptères de Schreibers ne pourraient être perçus avec ce type d'analyse. Finalement, pour permettre l'analyse critique la plus objective et limiter l'influence du paramétrage (post-trigger notamment), il nous semble évident de baser plutôt l'analyse de l'activité sur la durée des séquences plutôt que sur leur nombre. L'activité mesurée par le Batcorder sera donc exprimée en durée de contacts cumulée par unité de temps (par exemple : 2,3 secondes d'activité d'une espèce par heure ou par nuit).

3.1.4 Référentiel de niveau d'activité

L'appréciation des niveaux d'activité est basée sur un référentiel issu du retour d'expérience EXEN à partir de nombreux autres sites suivis dans les mêmes conditions depuis 2009 avec le Batcorder et le même protocole d'étude.

Pour ce référentiel, au niveau du sol, le seuil de 300 secondes d'activité cumulée par nuit représente une valeur moyenne. À titre d'information, les niveaux d'activité nocturne les plus forts relevés à ce jour sont de l'ordre de plus de 10 000 secondes d'activité sur une nuit, pour un secteur de chasse plurispécifique (zone humide) ayant été fréquenté presque toute la nuit en continu par plusieurs individus.

Figure 9 : Référentiel EXEN de niveau d'activité pour une nuit mesurée par un Batcorder au sol (en secondes d'activité cumulée/ nuit)

Niveau d'activité	Secondes d'activité par nuit
Très faible	0 - 50
Faible	50 - 100
Faible à modéré	100 - 200
Modéré	200 - 300
Modéré à fort	300 - 500
Fort	500 - 1000
Très fort	>> 1000

Pour l'activité en hauteur (en nacelle d'éolienne), l'appréciation des niveaux a été construit de la même manière, mais les niveaux d'activité nocturnes sont bien plus faibles en général.

Figure 10 : Grille de hiérarchisation EXEN du niveau d'activité relevé par les Batcorders utilisés en hauteur (en secondes d'activité par nuit)

Niveau d'activité	Secondes d'activité par nuit
Très faible	0 - 2,5
Faible	2,5 - 5
Faible à modéré	5 - 10
Modéré	10 - 50
Modéré à fort	50 - 100
Fort	100 - 200
Très fort	>> 200

3.1.5 Utilisation de l'espace par les chauves-souris et typologie des modes de vol

Au sein du taxon des chiroptères, les espèces présentent des types de vols variés selon leurs comportements (alimentaire, social, migratoire...), leur statut biologique (migration, parturition...), les opportunités alimentaires, la position des proies, les conditions climatiques (essaimages d'insectes, effets d'aérologie, effet paravent des lisières...).

De façon générale, on distinguera (cf. Figure 11) :

- Une **activité de chauves-souris proche du sol**. Toutes les espèces peuvent voler bas, au moins ponctuellement (en chasse ou pour s'abreuver).
- Une **activité de chauves-souris en plein ciel**. Seule une partie du cortège d'espèce est amenée à voler haut (et notamment à hauteur de rotor d'éolienne ou au-delà), soit ponctuellement (en phase migratoire, ou selon les conditions et opportunités alimentaires), soit régulièrement (espèces de haut-vol). Les modalités de détermination des espèces sont présentées dans l'Annexe 2.

Six groupes d'espèces peuvent être ainsi dissociés selon leurs types de vols. Il s'agit :

- **Du groupe des espèces de lisière** qui comprend l'ensemble des pipistrelles, la Sérotine commune et les Oreillard sp. Ce groupe d'espèces évolue généralement à de faibles hauteurs de vol (moins de 50 m) en suivant les éléments structurants du paysage (lisières de boisement, haies, chemins...), et en s'appuyant sur ces corridors linéaires comme supports d'écholocation. Ce groupe d'espèces est toutefois capable de se « déconnecter » ponctuellement de ces corridors de déplacement et voler ainsi plus en hauteur, voire en plein ciel, notamment pour exploiter des opportunités alimentaires. Ce serait notamment le cas lors de poursuites en altitude d'essaimages d'insectes lors de conditions particulières (phénomènes d'aérologie au moment des phénologies de reproduction des insectes-proies).
- **Du groupe des espèces de haut-vol en période de migration/transit**, qui comprend la Pipistrelle de Nathusius et le Minioptère de Schreibers. Ces deux espèces semblent présenter un comportement similaire aux autres pipistrelles lors de leurs vols réguliers de chasse (espèces de lisière). Mais en phases de transits migratoires (printemps et automne), elles peuvent être amenées à prendre de l'altitude pour s'affranchir des contraintes de relief et de végétation.
- **Du groupe des espèces de haut-vol**, qui vole donc généralement en plein ciel, et qui comprend l'ensemble des noctules (Noctule de Leisler, Noctule commune et Grande noctule), le Vespère de Savi, le Molosse de Cestoni et la Sérotine bicolore. Ces espèces utilisent des secteurs plus ouverts

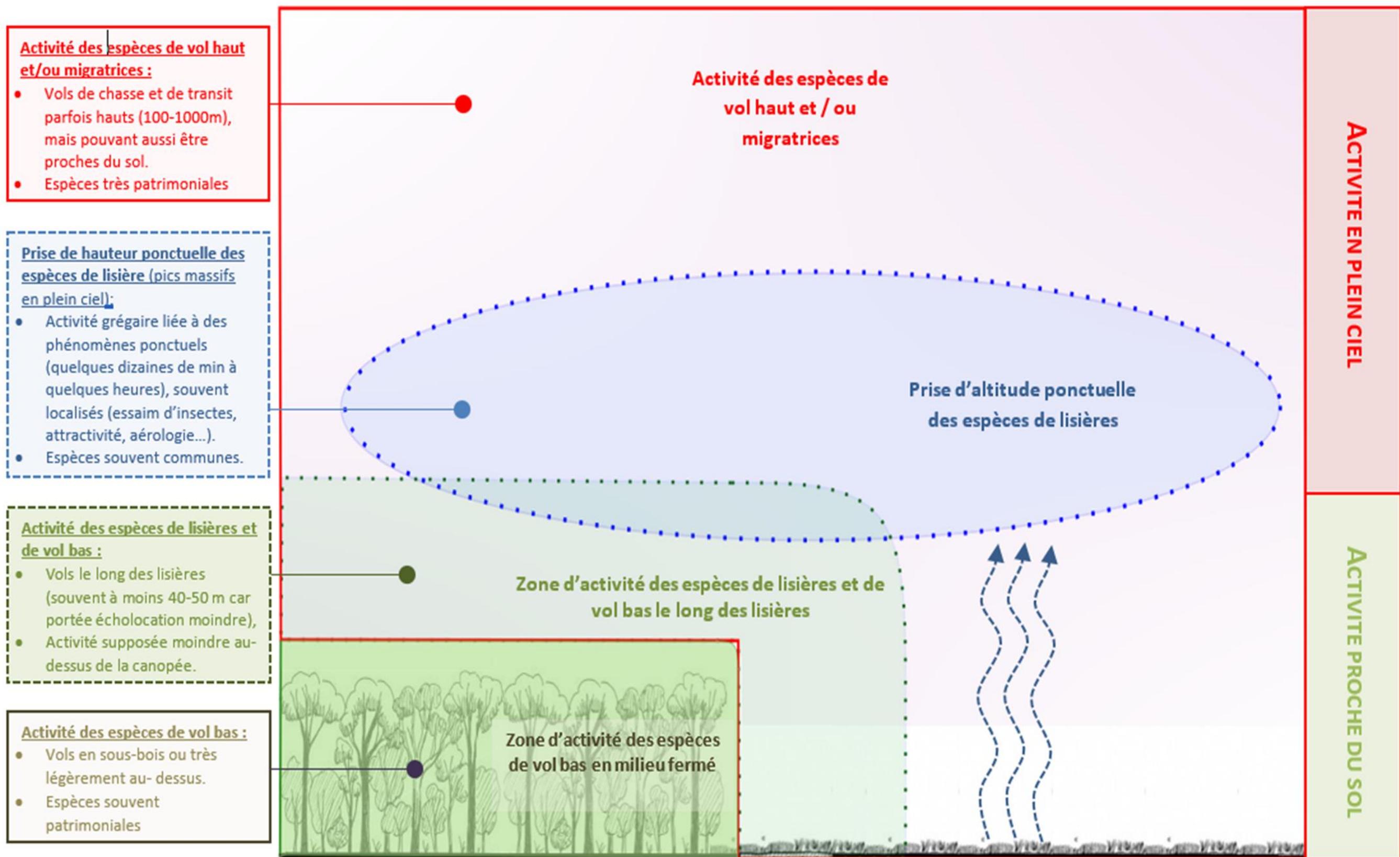
et évoluent régulièrement en plein ciel tout au long de leur phase d'activité (en chasse, lors de comportements sociaux ou en phases de transits migratoires).

- **Du groupe des espèces de vol bas** qui comprend la Barbastelle d'Europe, les rhinolophidés et le groupe des Murins sp. Il s'agit d'espèces surtout liées aux milieux fermés (forestiers) voire de lisière, mais dont les caractéristiques de vol ne les entraînent que très rarement à des hauteurs importantes.

Les caractéristiques bioacoustiques des chauves-souris sont très liées aux comportements de vols et à l'environnement des individus (évolution des types et fréquences des signaux ultrasonores selon les milieux plus ou moins encombrés). Ils sont donc aussi très dépendants des comportements de vols plus ou moins en hauteur. Au regard de ces éléments et compte tenu des possibilités de recouvrements acoustiques limitant la détermination jusqu'à l'espèce, des groupes intermédiaires sont donc distingués des groupes précédents. Il s'agit :

- **Du groupe des espèces de vol haut ou de lisière**, qui comprend le groupe des « Nyctaloid ou des Nyctimi (regroupement de la Sérotine commune, Noctule commune et Noctule de Leisler) » qui peuvent correspondre soit à la Sérotine commune (espèce de lisière) soit à des noctules ou à la Sérotine bicolore (espèces de vol haut), et le groupe « Ptif » correspondant soit à la Pipistrelle de Kuhl (espèce de lisière), soit au Vespère de Savi (espèce de vol haut).
- **Du groupe des espèces de vol haut en migration/transit ou de lisière**, qui comprend le groupe des Pmid correspondant soit à la Pipistrelle de Nathusius (espèce de vol haut en migration/transit), soit à la Pipistrelle de Kuhl (espèce de lisière) ou encore le groupe des Phoch (Pipistrelle commune, Pipistrelle pygmée ou Minioptère de Schreibers).

Figure 11 : Schéma des différents types de vols des chauves-souris



3.2 Limites de la méthodologie

Les limites évoquées ci-après sont communes à l'ensemble des expertises chiroptérologiques reposant sur des méthodes et outils d'analyse ultrasonore des chiroptères.

3.2.1 Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle)

Si le suivi passif permet une appréciation de l'évolution de l'activité des chauves-souris dans le temps, cette perception de l'activité reste localisée dans l'espace aux distances de perception de chaque enregistreur (selon les espèces : entre 5m et 200m).

Théoriquement, on considère qu'un Batcorder placé à hauteur de nacelle peut très bien enregistrer des sons d'individus volant à quelques mètres du sol s'il s'agit d'espèces à grande portée d'émission (Noctules notamment, qui peuvent émettre à plus de 100 m). Et inversement, un Batcorder au sol (ou en canopée) peut enregistrer des passages d'individus évoluant à haute altitude.

Avec une position à hauteur de moyeu, on peut penser que cette hauteur permet globalement de s'affranchir des risques de contacts de pipistrelles évoluant proches du sol ou le long des lisières (portée d'écholocation de l'ordre de 30 à 40 m). Cela permet théoriquement de distinguer une activité de lisières sous les éoliennes d'une activité de plein ciel. Autrement dit, pour les pipistrelles, les contacts enregistrés au niveau du Batcorder devraient plutôt témoigner d'une activité de prise d'altitude, comportement révélateur d'une situation particulière (conditions climatiques, phénomène d'aérologie, émergence d'insectes...) et qu'il est particulièrement important à prendre en compte pour quantifier les risques ponctuels vis-à-vis d'un projet éolien ou d'un parc éolien en exploitation.

Enfin, la qualité, l'usure et le calibrage des micros interviennent aussi sur la quantité d'enregistrements réalisés par les Batcorders. Pour limiter ce biais, l'ensemble des micros du parc de Batcorder du bureau d'étude EXEN est renvoyé chaque hiver au constructeur ecoObs pour un test et un recalibrage.

3.2.2 Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces

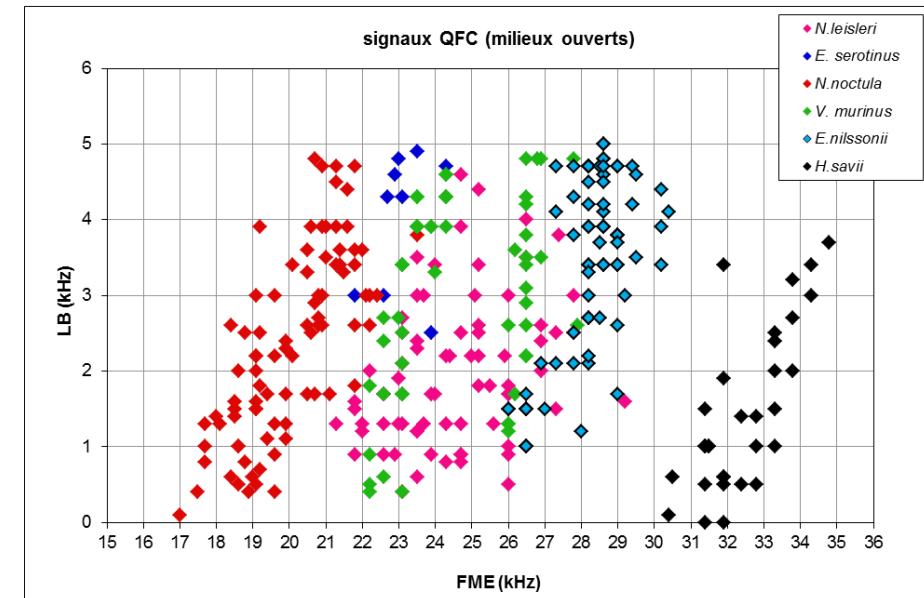
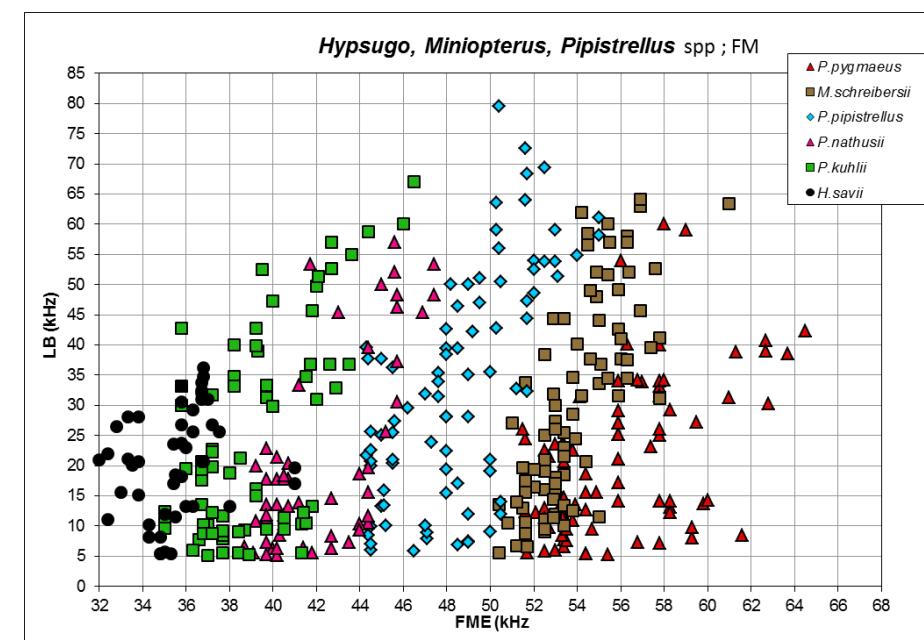
L'identification acoustique des chiroptères est une science encore en évolution et qui bénéficie d'avancées récurrentes ces dernières années. La plupart des espèces peuvent être déterminées précisément.

Toutefois, il faut reconnaître que certaines d'entre elles émettent des ultrasons à des fréquences très proches, et aux caractéristiques acoustiques comparables dans certaines conditions. C'est par exemple le cas des difficultés de différenciation entre *Myotis myotis* et *Myotis blythii* (Barataud, 2015). C'est aussi souvent le cas de certains petits murins, où l'analyse ne peut se faire bien souvent qu'à l'oreille (caractéristiques acoustiques non décelables sur sonogramme), ce qui implique un niveau d'expertise supplémentaire de la part du chiroptérologue.

Dans le cadre d'un parc éolien, ce biais de distinction acoustique de certaines espèces est peu pénalisant, car la plupart des difficultés concerne des petites espèces à faible hauteur de vol et donc assez peu concernées par les risques de mortalité au niveau des rotors. Aussi, lorsque des données de ce type d'espèces apparaissent dans les bases enregistrées sur le long terme, leur relative rareté permet d'y porter une attention particulière. Certaines séquences, notamment les myotis, ne sont pas toujours déterminées jusqu'au niveau de l'espèce.

Ci-dessous, sont représentés deux exemples de recouvrements dans les mesures des signaux pour des espèces telles que les « Sérotules » (sérotines et noctules) ou même des espèces plus communes comme les « Pipistrelles ».

Figure 12 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie >30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »)



3.2.3 Une détection divergente selon les espèces

La détection des chiroptères n'est pas uniformément efficace pour toutes les espèces. Certaines espèces dont les signaux sont courts et dans les hautes fréquences (les « petits » murins) sont beaucoup moins bien détectées que des espèces dont les signaux sont longs et dans les basses fréquences (les noctules) qui peuvent être détectées à plus de 100m. Pour remédier à ce problème, nous appliquons un coefficient de détectabilité présenté au niveau de la figure suivante. Mais ce coefficient ne peut s'appliquer que si l'espèce a été contactée au moins une fois. Avec ce coefficient, on va donc corriger une partie de ce biais, mais on ne l'élimine pas complètement. Par conséquent, comme nous l'avons vu précédemment, les espèces non contactées ne sont pas forcément absentes du site. Il est possible qu'elles n'aient tout simplement pas été détectées. Toutefois, avec l'échantillon de visites et surtout le nombre de données issu des enregistrements en continu sur le long terme, si une espèce réellement présente sur le site n'est pas détectée, c'est que son activité n'est pas importante localement.

Figure 13 : Liste des espèces de chiroptères par ordre d'émission décroissante, avec distances de détection et coefficient de détectabilité selon qu'elles évoluent en milieu ouvert ou en sous-bois (Barataud, 2015)

Milieu ouvert ou semi-ouvert				Sous-bois			
Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité	Intensité d'émission	Espèces	Distance de détection (m)	Coefficient de détectabilité
Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00	Très faible à faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00
	<i>Rhinolophus ferr./eur./meh.</i>	10	2,50		<i>Plecotus spp.</i>	5	5,00
	<i>Myotis emarginatus</i>	10	2,50		<i>Myotis emarginatus</i>	8	3,13
	<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50		<i>Myotis nattereri</i>	8	3,13
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50		<i>Rhinolophus ferr./eur./meh.</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50		<i>Myotis alcathoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,67		<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,67		<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,67		<i>Myotis daubentonii</i>	10	2,50
	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67		<i>Myotis bechsteinii</i>	10	2,50
Moyenne	<i>Myotis blythii</i>	20	1,25	Moyenne	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,25		<i>Myotis blythii</i>	15	1,67
	<i>Plecotus spp.</i>	20	1,25		<i>Myotis myotis</i>	15	1,67
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,25
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00		<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,25
	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00		<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63	Forte	<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63		<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	Très forte	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50		<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50
	<i>Vesperotilio murinus</i>	50	0,50		<i>Vesperotilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31		<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25		<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17		<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17		<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

3.2.4 Autres limites de détection acoustique

Les inventaires acoustiques ne prétendent jamais à réaliser une vision exhaustive de l'activité des chiroptères sur un site d'étude. Au-delà des limites de détection acoustiques évoquées précédemment liées à l'émission ultrasonore des espèces elles-mêmes (portée d'émission divergente, direction de la source d'émission...), il faut aussi reconnaître des limites de détection liées à un ensemble d'autres facteurs comme :

- La présence **d'obstacles acoustiques** entre la source ultrasonore et le micro. Pour des Batcorders placés au sol ou les points de suivi au D240X, ces obstacles peuvent notamment correspondre à la végétation et en particulier aux lisières forestières environnantes. Pour l'enregistreur placé au niveau de l'éolienne, nous avons vu que la configuration de la nacelle et la position du micro permettent de percevoir un angle de détection plus ou moins variable.
- La présence possible de **parasites acoustiques** comme ceux liés à l'activité d'orthoptères (criquets, sauterelles) plus ou moins actifs selon les périodes de l'année et les sites et qui peuvent limiter la perception d'éventuels signaux de chiroptères émis aux mêmes bandes de fréquences. Ici, il s'agit surtout de parasites liés aux éoliennes elles-mêmes.
- Les **facteurs climatiques** qui jouent non seulement sur l'activité des chiroptères, mais aussi sur les capacités de détection (parasitages acoustiques par l'ambiance ultrasonore générée par un vent fort ou la présence de pluie...).

Enfin, du côté de la réception du signal ultrasonore et de son analyse, le **type de matériel de détection ultrasonore** utilisé présente une diversité d'autres biais méthodologiques dont chaque utilisateur doit avoir conscience pour l'interprétation des résultats. On peut évoquer :

- Les limites liées à la qualité et à la fréquence de recalibrage des micros,
- Leur volume de détection (cône de détection) et à leur caractère directionnel ou multidirectionnel,
- Les paramétrages retenus (filtres des basses ou hautes fréquences, durée d'enregistrement depuis le déclenchement),
- Les limites d'analyse des données automatiques ou manuelles (selon la qualité des enregistrements, la facilité de réaliser des mesures précises, la possibilité de les réécouter ou non en expansion de temps ou en hétérodyne...).

En bref, il s'agit là de tout un éventail de biais qui fait qu'aucun matériel d'enregistrement ultrasonore et aucune approche uniquement acoustique ne peut garantir une appréciation absolue de l'activité chiroptérologique d'un site dans sa globalité. Aussi pour que l'approche scientifique soit rigoureuse, il s'agit d'avoir toujours conscience de ces biais pour fonder sa propre interprétation des résultats.

3.3 Résultats du suivi d'activité chiroptérologique en nacelle d'E4

3.3.1 Cortège d'espèces

Rappelons que le suivi passif de l'activité ultrasonore des chiroptères fut basé sur le fonctionnement d'un enregistreur automatique à ultrasons **en nacelle d'éolienne E4**. La position de l'enregistreur permet de mieux percevoir l'activité des chiroptères qui concerne directement le rotor de l'éolienne équipée. **La plage de suivi s'est étendue sur un peu plus de 3 mois, entre le 28 juillet et le 09 novembre 2023.**

Le tableau de la page suivante synthétise le cortège d'espèces détecté à partir de l'enregistreur automatique placé en nacelle de l'éolienne E4. **4 espèces de chauves-souris** ont été déterminées **avec certitude** et **2 autres font l'objet de détermination non discriminante**. La diversité relevée est très comparable à celle identifiée en 2022 en nacelle d'éolienne (En 2022 cependant, deux espèces de plus avaient été détectés avec certitude).

L'Annexe 1 page 69 précise les abréviations employées pour désigner les espèces ou groupes d'espèces contactées au niveau des figures suivantes. L'Annexe 2 page 70 rappelle les modalités de détermination des espèces ou groupes d'espèces relevés.

Le tableau de la page suivante précise aussi les statuts de protection et de conservation de ces différentes espèces et leurs statuts liés au PNA Chiroptères. **La Noctule commune** (espèce identifiée avec certitude) est celle qui présente le statut de conservation le plus défavorable (Vulnérable au niveau national). Elle possède, avec la **Noctule de Leisler**, la patrimonialité la plus importante (**modérée à forte**).

Viennent ensuite la Pipistrelle commune (espèce certaine) et la Sérotine commune (espèce potentielle) avec une patrimonialité **modérée**. La Sérotine bicolore (espèce potentielle) possède quant à elle une patrimonialité faible à modérée. Enfin, la Pipistrelle de Kuhl (espèce contactée de façon certaine) n'est pas considérée comme menacée (classée en préoccupation mineure). Sa patrimonialité est très faible.

Figure 14 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu en 2023 (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine, en gris les espèces contactées avec certitude)

Espèce	Nom scientifique	Abréviation	Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Espèce prioritaire du Plan National d'Action chiroptères 2016-2025	Espèce PNA à forte pression liée à l'éolien (PNA 2016-2025)	Tendance évolutive (PNA 2016-2025)	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre-Val de Loire (2013)	Valeur patrimoniale
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Nnoc	P	H4	2	oui	oui	?	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé	Modéré à fort
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nlei	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré à fort
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ppip	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure	Modéré
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pkuh	P	H4	2			+	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Preoc. Mineure	Très faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Eser	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure	Modéré
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Vmur	P	H4	2			?	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Données insuffisantes		Faible à modéré

3.3.2 Proportion d'espèces ou de groupes d'espèces

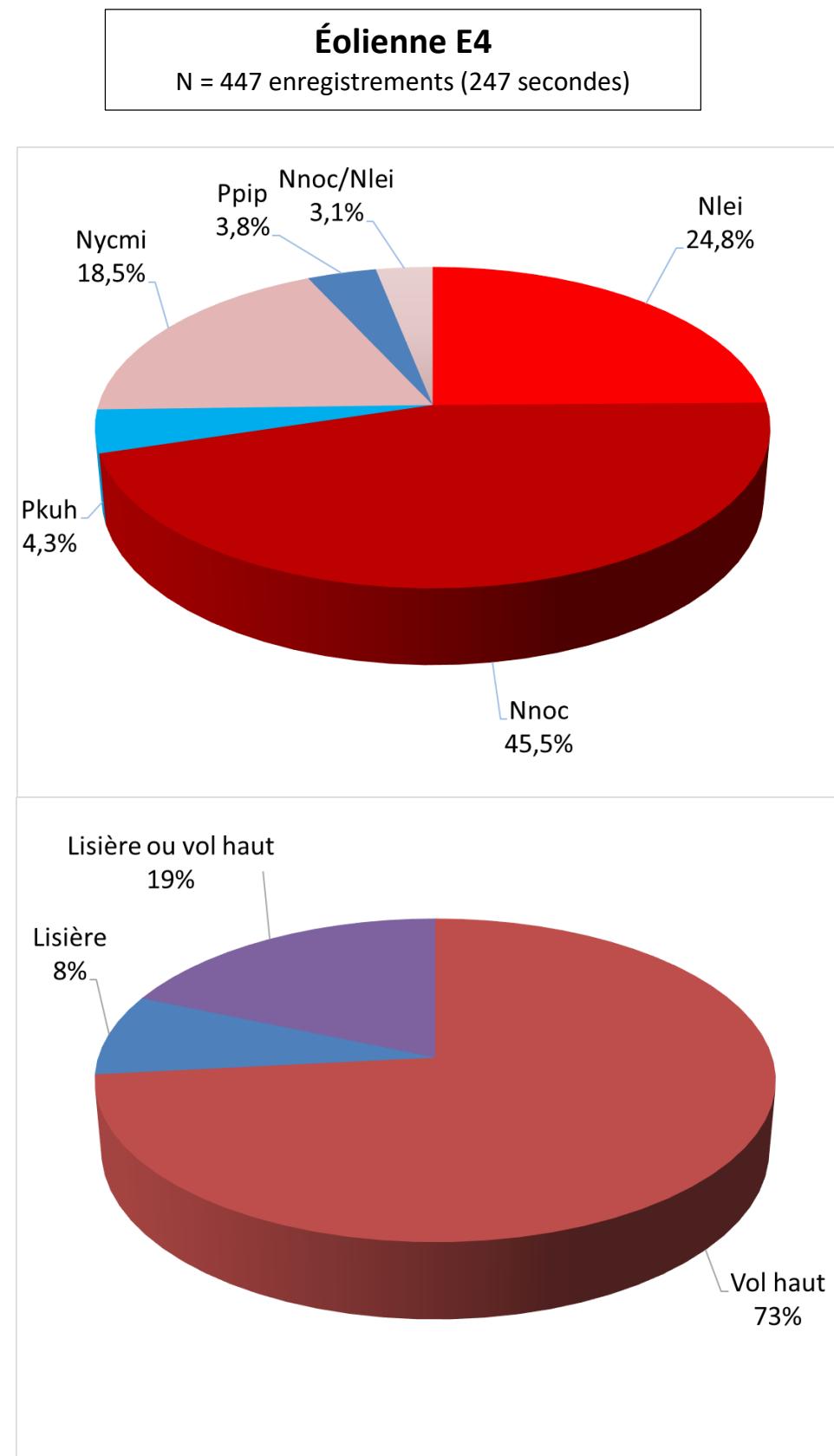
Les graphiques ci-contre détaillent la proportion d'activité relevée en fonction des espèces et groupes d'espèces (graphiques du haut) et des groupes de vol (graphiques du bas), dans l'activité totale relevée en hauteur en nacelle de l'éolienne E4. **Rappelons toutefois qu'il s'agit ici d'une approche des proportions d'activité spécifique par rapport à l'activité totale.**

En nacelle d'éolienne E4, l'espèce la plus contactée est la **Noctule commune** qui représente 46% de l'activité totale. Les espèces les plus contactées par la suite sont la Noctule de Leisler, avec 25% de l'activité totale, et les sérotules (Nyctmi), représentant 19% de l'activité totale. Ces dernières sont susceptibles de correspondre à l'activité de la **Noctule de Leisler ou de la Noctule commune**.

En termes de comportement de vol, le groupe des espèces de haut vol est le plus représenté en hauteur avec 73% de l'activité totale, pouvant augmenter à 92% (en tenant compte des contacts Lisière ou Vol haut, qui correspondent très probablement à des contacts d'espèces de vol haut). Les espèces de lisières sont beaucoup moins représentées, avec 8%, mais pouvant aussi augmenter à 27% (en tenant compte des contacts Lisière ou Vol haut).

Les proportions d'activité par groupe de vol sont comparables à celles relevées en 2022. Avec environ les trois quarts correspondant à une activité d'espèces de haut vol, puis le quart restant correspondant à une activité d'espèces de lisières ou vol haut et en moindre proportion des espèces de lisières. En revanche, la proportion d'espèces de pipistrelles a varié au sein de l'activité des espèces de lisière entre les 2 campagnes de suivi. En 2022, la part de Pipistrelle commune était deux fois plus grande que celle de la Pipistrelle de Kuhl, alors qu'en 2023 la part de Pipistrelle commune est globalement égale à celle de la Pipistrelle de Kuhl. Par contre, concernant les espèces de haut vol, leurs proportions restent globalement les mêmes.

Figure 15 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevée au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E4 (En haut détail par espèces, en bas par groupes de vol)



3.3.3 Évolution saisonnière de l'activité par espèce (ou groupe d'espèces)

La continuité représente la régularité de présence de l'espèce (ou du groupe d'espèces) sur le site tout au long de la période de suivi. Cette perception repose sur l'analyse de données recueillies sur l'enregistreur en continu. Le tableau de la page suivante synthétise cette notion sur l'ensemble du suivi en continu en hauteur (en nacelle d'éolienne E4). Les notions de niveaux d'activité sont aussi représentées au niveau des tableaux, mais elles ne sont pas l'objet principal de ce type d'analyse. Ainsi, une espèce pourra par exemple fréquenter le site d'étude très régulièrement (continuité importante), mais présenter une faible activité.

Ce tableau montre que plusieurs **espèces** sont contactées régulièrement tout au long de la période d'activité en nacelles d'éolienne E4. Il s'agit de la **Noctule de Leisler** et de la **Noctule commune**.

En ce qui concerne les espèces de lisière, et notamment la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl, elles sont contactées plutôt ponctuellement : fin août et début octobre pour la Pipistrelle commune et uniquement début août pour la Pipistrelle de Kuhl.

En ce qui concerne les espèces de haut vol, et notamment la Noctule de Leisler, elles sont contactées régulièrement de début août à mi-octobre. L'activité de la Noctule commune est cantonnée entre début août et mi-septembre. En tenant compte des contacts d'espèces de lisière ou vol haut (sérotules pouvant correspondre à des contacts de noctules), et des contacts de Nnoc/Nlei (Noctule commune ou Noctule de Leisler), leur présence serait bien plus régulière en hauteur.

Concernant les espèces à vol bas, comme les rhinolophes, les murins et la Barbastelle d'Europe, elles sont absentes en hauteur, du fait de leur hauteur de vol basse, comparé à d'autres espèces.

Figure 16 : Tableau de continuité de présence de chaque espèce (ou groupe d'espèces) au cours du suivi en continu en 2023, basée sur les données enregistrées en nacelle d'éolienne E4 (en sec d'activité moyenne sur 15 jours) (Juil-2 : seconde quinzaine du mois de juillet ; les couleurs sont arbitraires mais les couleurs foncées représentent un niveau d'activité plus important)

	Période de mise-bas et d'élevage des jeunes		Période de transit/migration et de swarming						
	JUIL-1	JUIL-2	Aout-1	Aout-2	Sept-1	Sept-2	Oct-1	Oct-2	Nov-1
Espèce ou groupe d'espèce									
<u>Lisière</u>			0,8				0,5		
Pkuh			0,7						
Ppip			0,1				0,5		
<u>Lisière ou vol haut</u>			0,1	1,0	1,0	0,6	0,3		
Nycmi			0,1	1,0	1,0	0,6	0,3		
<u>Vol haut</u>			5,0	3,6	1,2	1,7	0,3		
Nlei			0,9	0,7	0,5	1,7	0,3		
Nnoc			3,8	2,8	0,7				
Nnoc/Nlei			0,3	0,1	0,1				
Total général			5,9	4,7	2,2	2,3	1,1		

Légende (en sec d'activité totale sur 15 jours) :					
0 à 2,5	2,5 à 5	5 à 10	10 à 20	20 à 100	> 100

3.3.4 Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle d'éolienne E4

Les graphiques des pages suivantes synthétisent la chronologie de l'activité relevée par le Batcorder à hauteur de nacelle (E4), au cours de la période de suivi allant du 28 juillet au 09 novembre 2023. Les résultats sont décomposés par espèce ou groupe d'espèces. L'analyse synthétique de ce type d'histogramme est délicate dans la mesure où elle peut se faire selon diverses approches complémentaires :

- Par une approche large des principales périodes d'activités (par semaine ou mois) ou bien au contraire par une approche plus fine des pics ponctuels d'activité (nocturnes ou horaires) ;
- Par corrélation avec différents paramètres d'influences possibles (conditions météo, ressources alimentaires, cycle biologique des espèces...).

Le profil de ces graphiques témoigne bien de la très forte hétérogénéité de l'activité des chauves-souris d'une nuit à l'autre, et donc de l'importance marquée des conditions météorologiques et de la phénologie des espèces pour faire évoluer cette activité. Cela justifie le suivi en continu de l'activité des chauves-souris sur plusieurs mois vis-à-vis de ce cumul de facteurs d'influence. Il est possible d'observer des périodes où l'activité est très faible et la nuit suivante un gros pic d'activité peut être relevé. Ces pics d'activité sont souvent ponctuels dans le temps (quelques minutes ou quelques heures seulement).

Les niveaux d'activité présentés dans les graphiques suivants se basent sur la grille de hiérarchisation de l'activité chiroptérologique, basée sur l'expérience EXEN (cf. 3.1.4 Référentiel de niveau d'activité page 12).

L'activité mesurée en hauteur au niveau de l'éolienne E4 peut être qualifiée de **faible à modéré** en moyenne sur la période suivie.

L'activité estivale (jusqu'à mi-août), automnale (de mi-août à novembre) et hivernale (à partir de début novembre) sont très hétérogènes au cours du temps. Tout au long de la période de suivi, l'activité oscille entre un niveau d'activité très faible voire nulle et des niveaux d'activité plus importants.

- **Période estivale (jusqu'à mi-août)**

En été, les femelles s'installent dans des gîtes de mise-bas et élèvent leur petit. C'est aussi à cette période de l'année que l'activité en hauteur est généralement plus marquée, parfois sous forme de pics, notamment liée à des comportements de chasse.

Dans le cas présent, l'activité chiroptérologique est effectivement récurrente, mais elle reste très hétérogène, avec une nuit d'activité modérée (le 11 août) d'activité très importante, et la nuit suivante, une activité faible par exemple. Les conditions météorologiques relevées en hauteur sont favorables pour les chiroptères (vents moyens de 7 m/s, température moyenne de 19°C), ce qui peut expliquer ce constat.

En termes de cortège d'espèces, les espèces de vol haut sont contactées régulièrement à partir de début août alors que les espèces de lisières sont contactées plus ponctuellement.

- **Période automnale (mi-août à début novembre)**

A la fin de l'été, les chauves-souris reconstituent leurs réserves pour l'hiver, ce qui se traduit par une activité de chasse intensive. C'est aussi la période de rassemblement des individus pour s'accoupler au niveau des sites de swarming, puis, de déplacements saisonniers ou migrations (selon les espèces) pour gagner leurs gîtes d'hiver. Cette phase de leur cycle biologique est donc à la fois caractérisée par une activité de chasse importante, mais aussi par des comportements sociaux (pariade et migration).

A hauteur de nacelle d'E4, l'activité des chauves-souris est récurrente et hétérogène (comme c'est le cas en été). L'activité des espèces de vol haut (comme les noctules) est plus régulière sur toute la période alors qu'elle est plus ponctuelle (sous forme de pics) pour les espèces de lisière.

A partir de la mi-octobre, l'activité s'amenuise au fil des nuits, ce qui peut être mis en lien avec des conditions météorologiques moins favorables (vents plus importants, températures plus fraîches). Le dernier contact de la période de suivi est relevé le 14 octobre. Il s'agit de contacts de sérotules (Nyctimini) et de Pipistrelle commune.

- **Période hivernale (début novembre à fin février)**

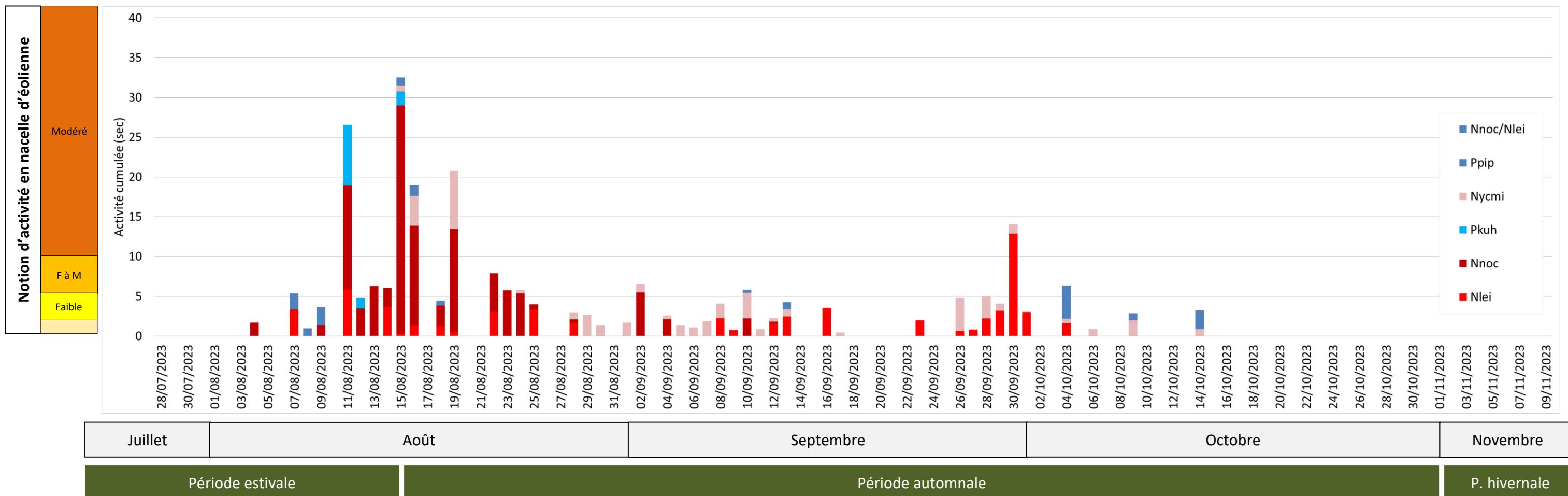
En début d'hiver, les chauves-souris ont gagné leur gîte d'hibernation. La diminution de la température et l'absence d'insectes induisent une diminution de l'activité de chasse de ces mammifères volants, puis un profond sommeil.

En nacelle d'éolienne E4, aucun contact n'a été relevé pendant cette période. Cependant, le suivi s'arrêtant le 09 novembre et ayant commencé le 28 juillet, la période hivernale n'est pas vraiment bien représentée ici (seulement 9 jours). Mais il s'agit de toute façon d'une période d'activité très réduite pour les chiroptères, compte tenu de leur cycle biologique. Et cette période de leur cycle biologique ne faisait pas l'objet de ce suivi complémentaire.

Comparaison avec la campagne de suivi de 2022 :

Au niveau de la phénologie du cortège d'espèces enregistré, les profils d'activité entre les deux campagnes de suivis les plus récentes sont globalement similaires. Déjà en 2022, les noctules étaient contactées très régulièrement pendant la période de suivi, alors que les pipistrelles étaient présentes de façon plus ponctuelles. On notera aussi que les niveaux d'activité relevés sont globalement les mêmes en 2022 et 2023.

Figure 17 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce ou groupe d'espèces relevés en nacelle d'éolienne E4



3.3.5 Influence des conditions météorologiques

3.3.5.1 Influence de la vitesse du vent

Le principal paramètre avancé à ce jour comme facteur d'influence de l'activité des chauves-souris est la vitesse du vent. L'expérience montre en effet que l'activité des chauves-souris chute de façon corrélée avec l'augmentation de la vitesse du vent. Cela s'explique surtout par le fait que les vents forts limitent l'activité des insectes/proies et donc l'activité de chasse des chauves-souris. Selon la taille des insectes, ces vitesses de vent jouent différemment. Ce qui explique aussi qu'en fonction de la spécialisation du type de proie, l'activité de chasse des chauves-souris sera aussi influencée de façon variable. Il est régulièrement convenu que les espèces les plus grosses sont capables de voler par les vents les plus forts. En réalité, il faut plutôt considérer que les espèces de chauves-souris les plus grosses chassent aussi des proies de plus grande taille susceptibles de voler dans des conditions de vents plus forts. Cette distinction entre influence des vitesses de vent sur les proies de chauves-souris et influence des vitesses de vent sur les chauves-souris elles-mêmes est importante à garder à l'esprit. En effet, sur la base de nombreux sites étudiés dans les mêmes conditions depuis 2009, il a été régulièrement relevé que des espèces de taille relativement modeste sont parfois détectées en hauteur par des vents forts voire très forts (ex. : pipistrelle commune jusqu'à plus de 12 m/s). Cela peut alors s'expliquer soit par une activité déconnectée de celle des insectes (comportements sociaux, de transit ou de migration), soit par des situations particulières liées à des phénomènes d'aérologie favorisés par le vent (ascendances dynamiques), et entraînantes des insectes en hauteur et donc les chauves-souris qui les chassent.

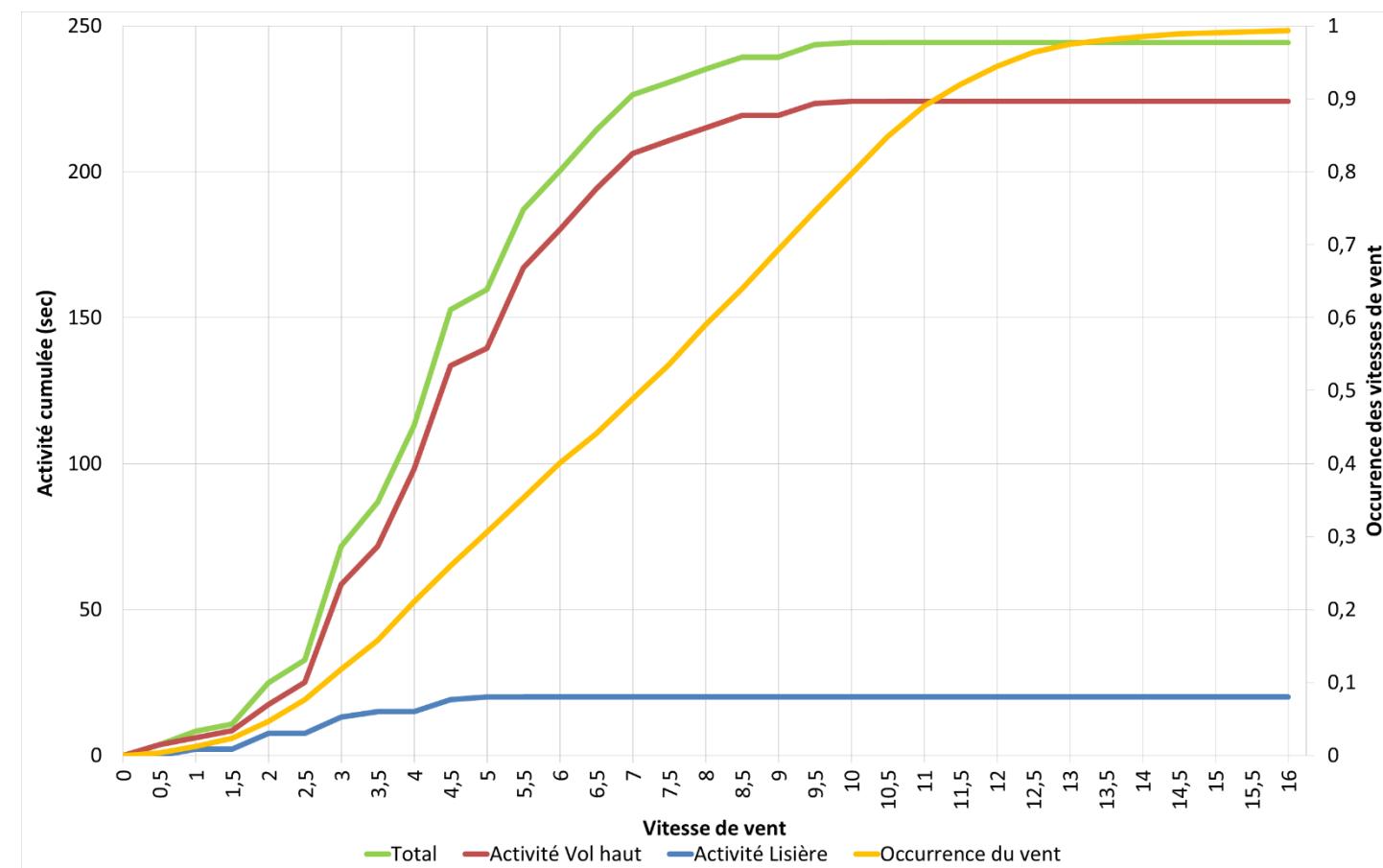
Autrement dit, si l'activité cumulée des chauves-souris diminue généralement avec la vitesse de vent, ces précisions montrent qu'il faut aussi rester prudent sur des perspectives de phénomènes ponctuels particuliers moins sensibles à ce paramètre.

Dans notre cas précis, le graphique ci-contre montre que la totalité de l'activité des espèces de lisières a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures à 5 m/s pour. Pour les espèces de haut vol, la totalité de leur activité a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures à 10 m/s.

En nacelle d'E4, **94 % de l'activité totale des espèces** a été enregistrée pour des vitesses de vent **inférieures ou égales à 7,5 m/s**. Par groupe de vol, ce seuil est atteint pour des **vitesses de vent inférieures ou égales à 7,5 m/s pour les espèces de haut vol contre 4,5 m/s pour les espèces de lisières**.

En 2022, la majorité de l'activité a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures à 8 m/s.

Figure 18 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E4 (sur la base des données relevées en 2023 par le Batcorder)



3.3.5.2 Influence de la direction du vent

La direction du vent peut aussi être un facteur d'influence de l'utilisation du site par les chauves-souris. Cette influence est recherchée au niveau des graphiques suivants, représentant l'activité totale enregistrée et l'occurrence du vent relevée sur cette éolienne, selon la direction du vent. Ils permettent une comparaison entre :

- L'orientation générale des vents sur le site au cours de la période suivie (occurrence),
- L'orientation du vent liée à l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur,

De ce fait, il s'agit de comparer le graphique de l'activité totale à celui de l'occurrence du vent :

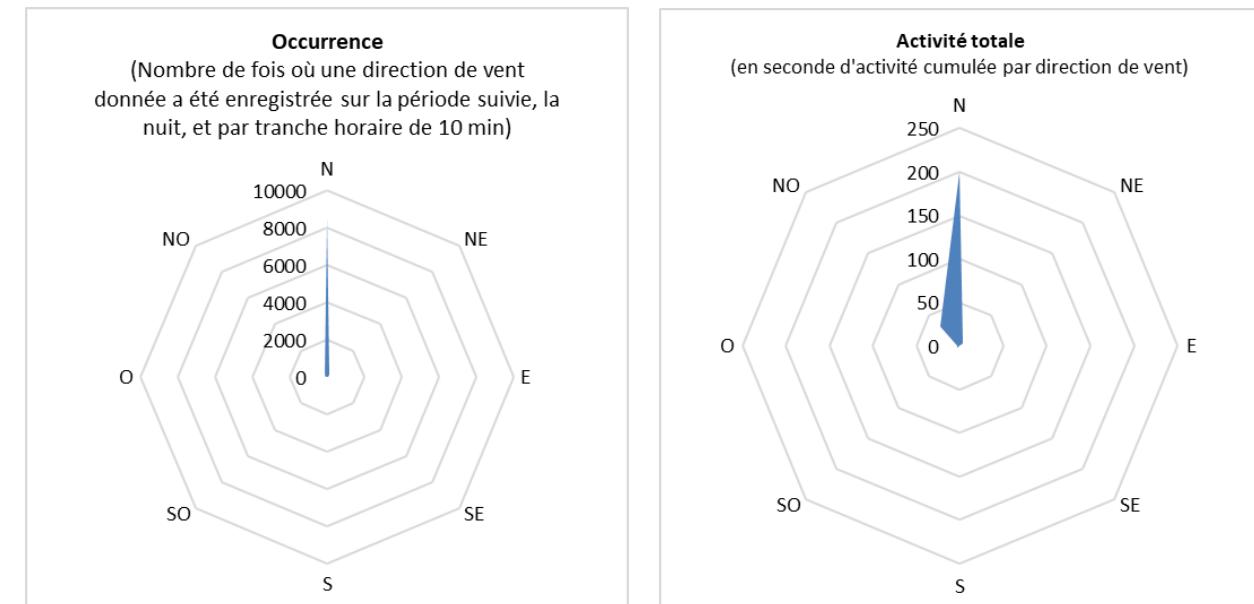
- Dans le cas d'une activité aucunement liée à la direction du vent, la forme des deux graphiques du haut sera similaire ;
- Dans le cas d'une activité plus importante liée à certaines directions de vent, les deux graphiques auraient alors des différences qu'il conviendra d'essayer d'expliquer.

L'occurrence du vent correspond au nombre de fois où chaque direction de vent a été relevée, par période de 10 min, la nuit et au niveau de l'éolienne concernée.

Dans le cas où une activité soit plus importante par certaines directions de vent, cela pourrait traduire un phénomène d'essaimage d'insectes amenant une éventuelle augmentation de l'activité des chiroptères.

D'après le graphique de la figure ci-contre, **l'activité totale** est généralement plus importante par vent de nord. Cela correspond aux vents dominants du site qui proviennent majoritairement du nord. **L'activité sur le site ne semble donc pas dépendante de la direction du vent.**

Figure 19 : Graphique présentant l'occurrence de chaque direction du vent (à gauche) et l'activité chiroptérologique totale (à droite) relevés en nacelle d'éolienne E4



3.3.5.3 Influence de la température

La température apparaît également comme un paramètre parfois important à prendre en compte pour expliquer les modalités de fréquentation des chauves-souris. Les périodes de chaleur s'accompagnent généralement d'une activité des chauves-souris plus importante que le reste de l'année. Dans ce contexte, des conditions de températures élevées sont cohérentes avec les périodes d'essaimages de beaucoup d'espèces d'insectes (fin de printemps et début d'été principalement). Il est d'ailleurs logique que cette période corresponde aussi assez bien à la phase de mise bas de la plupart des espèces de chauves-souris, phase où il est important que les mères puissent trouver une nourriture abondante aussi bien en phase de gestation que de lactation. S'ajoute à cette notion d'influence de température, le fait que cette période de chaleur peut encore plus favoriser la formation d'ascendances thermiques (après échauffement diurne des milieux ouverts exposés), ainsi ces conditions pourront favoriser plusieurs modalités d'exploitation des essaimages pour différentes espèces entre le sol et les altitudes plus élevées.

La courbe d'occurrence de la température correspond au nombre de fois où chaque valeur de température a été relevée, par période de 10 min, dans la nuit et au niveau de l'éolienne. De ce fait, il s'agit de comparer la courbe d'occurrence à celle de l'activité réelle :

- Dans le cas d'une activité aucunement liée à la température, la forme des représentations sera similaire ;
- Dans le cas d'une activité liée à certaines valeurs de température (les chiroptères sont connus pour avoir une activité plus faible par température basse), les deux représentations auraient alors des différences qu'il conviendra d'essayer d'expliquer.

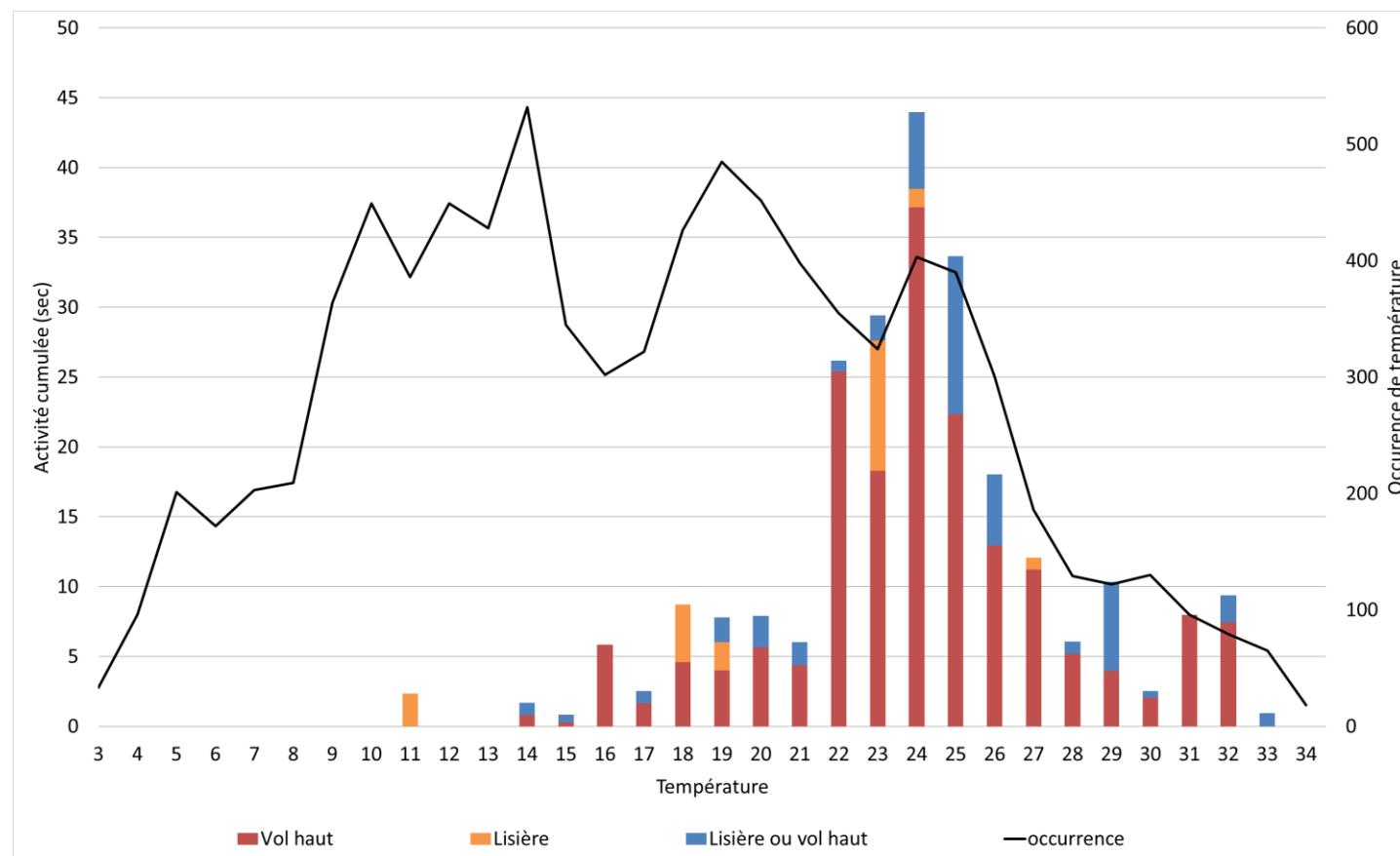
L'activité chiroptérologique est relevée entre 11°C et 33°C pour E4. Au niveau du site, les températures de 9 à 26°C sont celles qui sont le plus souvent relevées, mais ce ne sont pas les températures pour lesquelles l'activité est la plus importante. En effet, les chauves-souris ont été plus actives par des températures plus élevées mais moins fréquentes sur le site (entre 16°C et 32°C). Les niveaux d'activité relevés par température sont globalement similaires.

En pourcentage d'activité, **95% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 17°C.**

L'activité relevée par les températures les plus faibles (11°C) correspondent à quelques contacts de Pipistrelle commune. Ces derniers ont été enregistrés à la mi-octobre, ce qui pourrait correspondre à une activité de déplacements saisonniers, moins dépendante des conditions météorologiques.

En 2022, 97% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 14°C en nacelle d'E4.

Figure 20 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur au niveau de l'éolienne E4 en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité



3.3.6 Rythme d'activité nocturne

Le rythme d'activité nocturne est une composante importante de l'étude de l'activité des chiroptères. De l'activité relevée en tout début de nuit ou en toute fin de nuit peut indiquer la présence de gîtes à proximité du site d'étude.

D'après les graphiques suivants, sur l'ensemble de la période de suivi, la plupart des données ultrasonores ont été enregistrées **en première partie de nuit et en milieu de nuit**, mais de façon trop tardive pour correspondre à une sortie de gîte. **Le site est donc plutôt utilisé comme secteur de chasse/transit** en sortie de gîtes. Le rythme est globalement similaire au cours des mois suivis.

La totalité de l'activité est relevée entre **15 minutes après le coucher du soleil et 45 minutes avant le lever du soleil** en nacelle E4, sachant que **90% de l'activité est relevée entre 45 minutes après le coucher du soleil et 45 minutes avant le lever du soleil**.

En 2022, 90% de l'activité est mesurée entre 1 heure après le coucher du soleil et 1 heure avant le lever du soleil, en nacelle d'éolienne E4.

Figure 21 : Décomposition de l'activité totale enregistrée (en seconde d'activité cumulée) en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil et par groupe de vol (sur la base des données relevées en nacelle d'éolienne E4 en 2023)

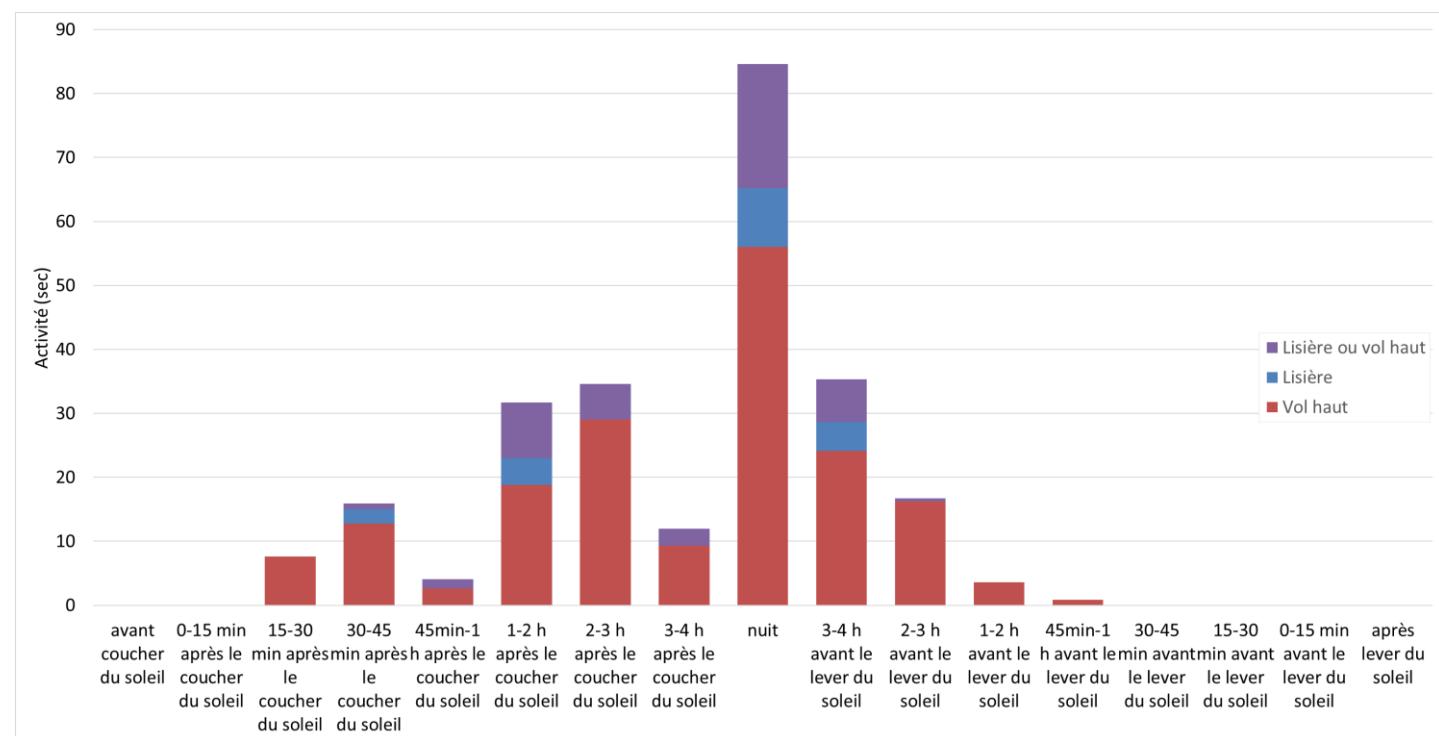
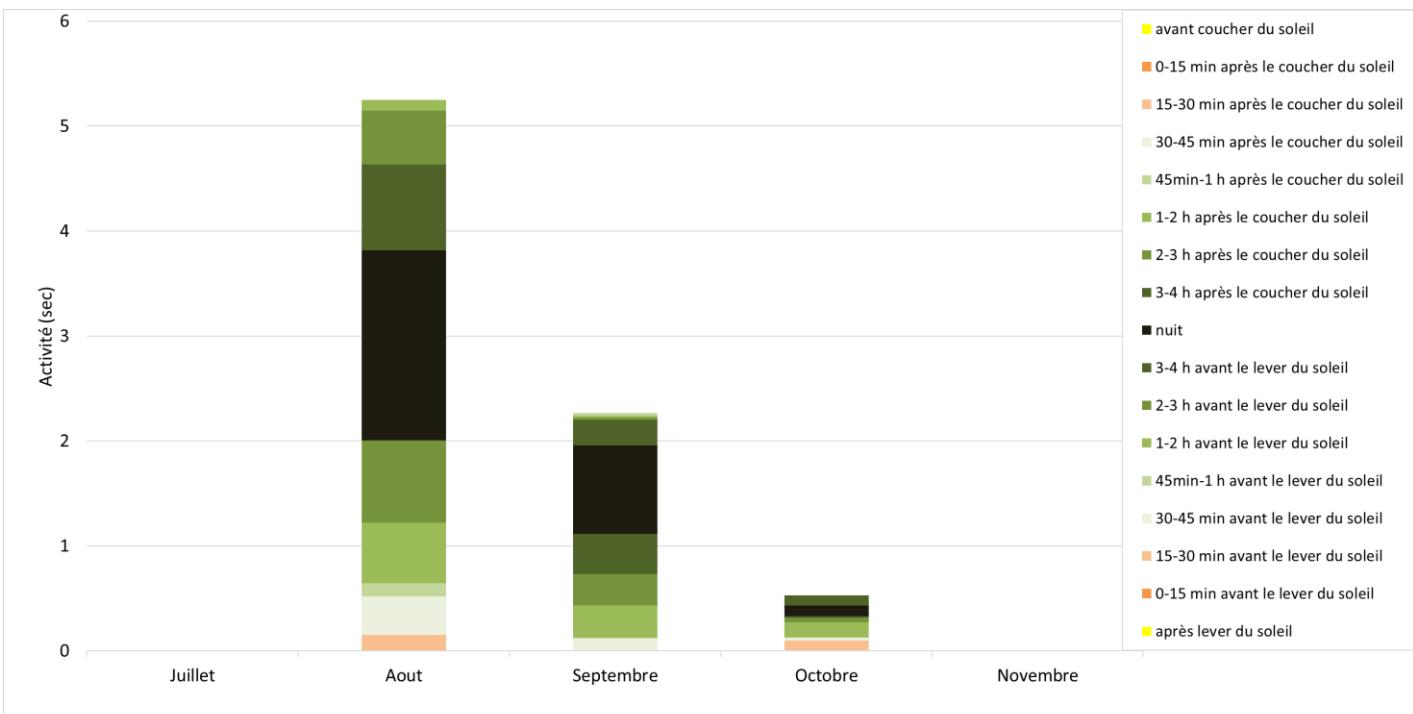


Figure 22 : Décomposition de l'activité moyenne enregistrée (en seconde d'activité cumulée moyenne par nuit) en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil, du mois suivi et par groupe de vol (sur la base des données relevées en nacelle d'éolienne E4 en 2023)



4 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVESSOURIS ET DES OISEAUX

4.1 Objectifs du suivi de la mortalité

Le suivi de la mortalité sous les éoliennes du parc éolien de Champagne berrichonne rentre dans le cadre de la réglementation ICPE (article 12 de l'arrêté du 26 août 2011) et d'un ensemble de suivis thématiques ciblés sur les effets des éoliennes sur l'activité et la mortalité de la faune volante (oiseaux et chiroptères).

Le suivi de la mortalité sous les éoliennes est l'option de suivi la plus consommatrice de temps pour obtenir des résultats pertinents. Elle reste pour autant un des thèmes d'étude prépondérants du suivi post-implantation.

Le suivi de cette mortalité vise donc à apporter des informations précises et ciblées sur :

- Les modalités de mortalité observées par une double approche dans l'espace (par éolienne, en fonction de la configuration du parc éolien, des milieux concernés, du type de végétation), et dans le temps (en fonction de la phénologie des espèces, des conditions météorologiques (si disponibles) ...);
- Les espèces les plus exposées ;
- Le taux de mortalité estimé pour l'ensemble du parc éolien par unité de temps.

4.2 Méthodologie

4.2.1 Choix d'une méthode standardisée

Le choix d'une méthodologie standardisée est particulièrement important pour réaliser le suivi de mortalité. Ce choix apporte le triple avantage :

- De faire l'économie de biais méthodologiques déjà expérimentés ailleurs, et d'aboutir sur des résultats pertinents et parfaitement exploitables dès le début de l'étude,
- D'éviter une modification trop importante du protocole d'une année sur l'autre pour permettre une analyse efficace de l'évolution des résultats dans le temps,
- D'être en mesure de comparer les résultats obtenus avec ceux d'autres suivis réalisés sous d'autres parcs éoliens et sur d'autres types de milieux (regards croisés).

La méthode standardisée développée par WINKELMAN (1989) est adaptée au suivi de la mortalité des chauves-souris et oiseaux. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis (ERICKSON et al. 2002, ERICKSON 2003, KERNS et KERLINGER 2004, COSSON et DULAC 2004, ARNETT 2005, BEUCHER et KELM 2010...) et représente notre cadre de travail. À partir de cette base méthodologique, la configuration du site éolien, l'assolement et notre recul vis-à-vis de ce protocole nous permettent de cibler et d'ajuster plus spécifiquement le suivi du parc (choix des périodes de suivi, choix des cadavres test, délimitation des transects de recherche...).

Globalement, la méthode consiste en la recherche d'animaux morts (oiseaux et chauves-souris) autour des éoliennes comme première évaluation du nombre de mortalités entraînées par le fonctionnement des éoliennes. En tenant compte de plusieurs coefficients correcteurs dont principalement l'efficacité des chercheurs (« taux de détection ») et la vitesse du retrait des carcasses par les charognards (« taux de persistance »), le dénombrement des carcasses permet d'estimer un **taux de mortalité moyen** à l'échelle du parc éolien pour la période qui aura été suivie.

4.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites

Le choix des périodes de suivi se fait généralement en fonction des thèmes d'étude à cibler prioritairement et en fonction des résultats de l'étude d'impact, des préconisations administratives et globalement des sensibilités des espèces et des comportements, qu'elles soient supposées ou mal maîtrisées initialement.

Dans notre cas précis, il était préconisé de reconduire un suivi de la mortalité entre août et novembre 2023 (rapport de suivi post-implantation 2022, EXEN) :

« Pour s'assurer que les corrections de mesures préconisées en 2022 soient efficaces pour diminuer l'impact du parc éolien de Champagne Berrichonne sur la faune volante, il faudra poursuivre un suivi de mortalité sur ce parc en 2023. »

Ce suivi de mortalité devra être effectué en particulier sur la base des résultats de mortalité de 2022 de manière à cibler les périodes les plus accidentogènes. Ce suivi de mortalité devra donc idéalement se

dérouler de début août à début novembre 2023, afin de recouvrir la période de modification du pattern de régulation.

Il s'agira donc d'effectuer 28 visites, réparties sur 14 semaines, à raison de deux visites par semaine étant donnée du taux de prédation élevé sur le site. »

Le planning ci-dessous permet de visualiser la distribution des visites et la pression de suivi (2 = 2 visites par semaine).

Figure 23 : Calendrier du suivi de la mortalité en 2023

	Juil. 2023				Août 2023				Sept. 2023				Oct. 2023				Nov. 2023				Dec. 2023				
Suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris					2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
n° semaine	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51



4.2.3 Choix des éoliennes suivies

Par expérience, devant le caractère très hétérogène de l'impact sur la faune volante générée d'une éolienne à une autre, le choix de suivre toutes les éoliennes du parc avec une même pression de suivi était la solution la plus pertinente. C'est ce qui fut retenu, avec, nous le verrons, cependant, quelques particularités à prendre en compte selon les éoliennes et les différentes contraintes qui peuvent y être liées (présence de milieux défavorables à la recherche...).

4.2.4 Organisation des parcours de prospection

La surface de recherche est de forme carrée. Les études de Kerns, Erickson et Arnett (2005) montrent que près de 80 % des carcasses pouvaient être trouvées à l'intérieur de la moitié de la distance mesurée du bout de pale jusqu'au sol. De façon plus générale, les différents suivis de la mortalité montrent logiquement l'existence d'un gradient croissant de la densité des cadavres en s'approchant du mât de l'éolienne.

Les carrés de prospection sont définis pour faire en sorte qu'une surface d'un rayon d'au moins 50 m autour des mâts des éoliennes soit couverte, correspondant au moins à la zone de survol des pales. Cette surface est aussi conforme avec les prescriptions nationales du protocole de suivi environnemental publié des parcs éoliens terrestres en avril 2018. Concrètement, nous choisissons de réaliser les transects de prospection sur des carrés échantillons de 100 m de côté, permettant donc de couvrir 1 ha sous chaque éolienne.

4 types ont ainsi été définis pour prendre en compte l'évolution des milieux au cours de la période de suivi, dans l'estimation du taux de mortalité, que sont :

- Type 1 (à prospecter) : zone très facilement prospectable (gravier, terre battue sans aspérités...)
- Type 2 (à prospecter) : zone facilement prospectable (labour, gravier avec végétation rase, végétation très basse et peu dense (< 30 cm) ...)
- Type 3 (à prospecter) : zone moyennement prospectable (végétation herbeuse et peu dense, > 30 cm mais inférieure à 60 cm, bruyères, zone hétérogène...)
- Type 4 (non prospectable) : zone non prospectable (friches, ronces, fougères, herbes hautes (> 60 cm) et denses, végétation arbustive (genêt, arbustes...), végétation arborée ou éolienne en maintenance.

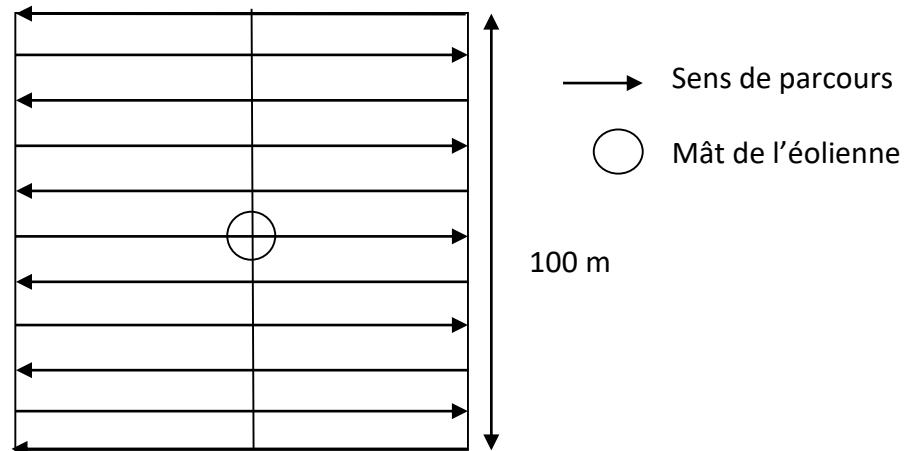
Pour une surface de prospection standard de 1 ha sous chaque éolienne (carré de 100 m de côté), il faut compter environ 30 min. Pour une zone de prospection correspondant à 50 % du Carré, la durée de prospection sera proportionnelle, soit d'environ 15 min. Il convient donc d'adapter son allure à cette durée de prospection faisant référence pour l'ensemble des observateurs afin de limiter le biais « observateur » au maximum.

Les prospections doivent se faire en journée, lorsque la lumière naturelle est suffisante pour voir les éventuels cadavres et non rasante pour ne pas éblouir le chercheur.

La phase de prospection suit une méthodologie visant à limiter le risque de non découverte. Un parcours de prospection (transect) a donc été établi au cours de la première visite afin d'avoir autant que possible une pression de prospection égale pour chaque zone de prospection (en temps et en linéaire parcouru), et pour pouvoir faire des comparaisons pertinentes au sein du parc éolien. Ce sera d'autant plus facile que les surfaces prospectables sont très homogènes d'une éolienne à l'autre. La recherche de cadavres sous les éoliennes se fait donc par transects parallèles plus ou moins espacés (2-3 m dans les zones moyennement ou difficilement prospectables, et 5 m ou plus dans les zones de gravier ou de végétation rase).

Enfin, les prospections sont faites dans le respect du règlement défini lors de la Visite d'Inspection Commune (port des EPI obligatoire, s'éloigner des installations en cas d'orage, de risque de chute de glace, etc).

Figure 24 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique



Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents niveaux de difficulté de prospection. Ainsi, l'évolution de la hauteur de végétation sera prise en compte dans l'estimation des taux de mortalité.

Certaines zones ne sont pas prospectées (zones non prospectables) et on ne peut alors pas exclure, par exemple, que certains cadavres soient restés bloqués au niveau des branchages dans leur chute. Ces surfaces non prospectées seront alors évaluées pour prendre en compte ce biais au niveau des calculs du taux de mortalité (coefficient surfacique).

Pour l'ensemble de la période de suivi, il est possible de calculer le pourcentage de prospection pour chaque zone délimitée (100% : surface prospectée à chaque visite, 0% : surface non prospectée sur la période). Ce paramètre est aussi pris en compte dans le calcul du coefficient surfacique. La figure de la page suivante propose de visualiser les surfaces prospectées et non prospectées en 2023. A noter que les pourcentages de prospection des différents secteurs définis dans les périmètres de prospection varient d'une éolienne à l'autre, selon le calendrier de récolte des cultures (prospection réalisée dans les cultures, uniquement lorsque la culture n'est pas levée pour ne pas la piétiner).

Figure 25 : Carte 1 de l'orientation des périmètres de prospection et des surfaces prospectées lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes de Champagne Berrichonne en 2023

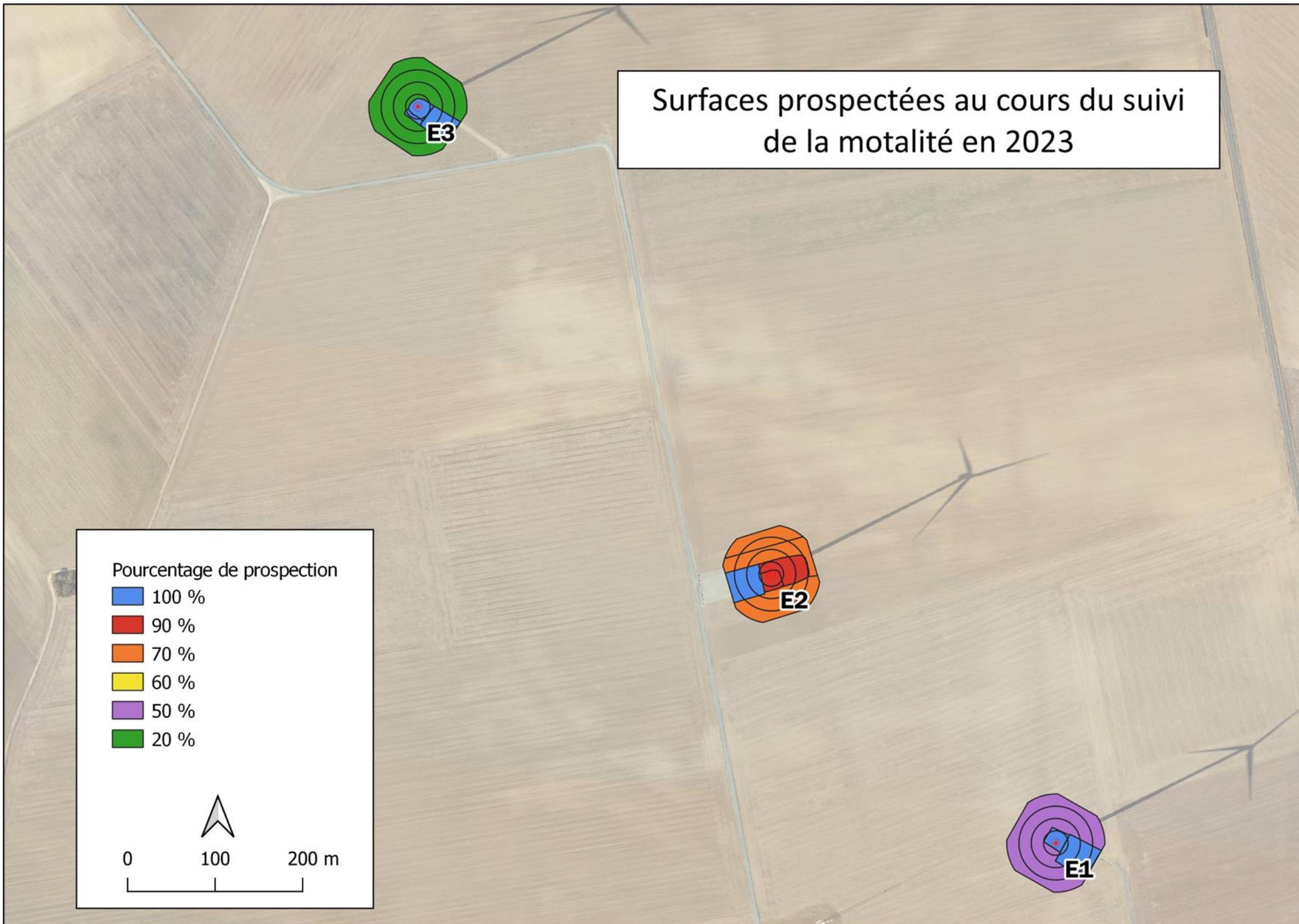


Figure 26 : Carte 2 de l'orientation des périmètres de prospection et des surfaces prospectées lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes de Champagne Berrichonne en 2023

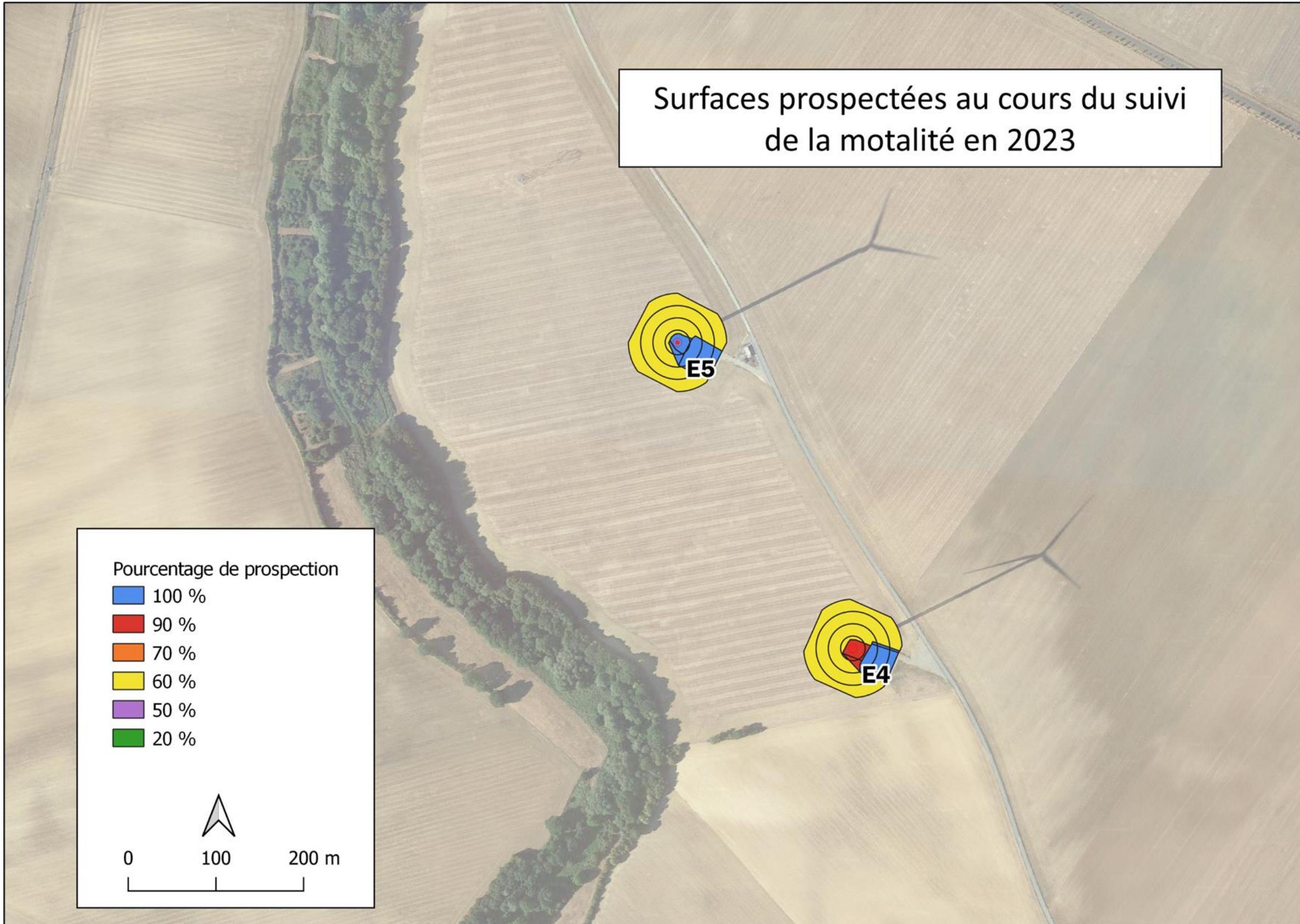


Figure 27 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris

4.2.5 Recueil des données

De façon générale, chaque visite nécessite de renseigner une fiche de terrain prévue à cet effet comprenant la date de la visite, les heures de début et de fin de recherche, les conditions météorologiques, la direction du vent, l'activité des éoliennes, l'état de la végétation, les conditions de visibilité. En fin de campagne de suivi, toutes les fiches de terrain sont saisies sur tableau et rassemblées pour analyse.

Chaque fois qu'un cadavre est découvert, il est localisé sur une carte de terrain. La distance et l'azimut sont mesurés vis à vis du mât de l'éolienne.

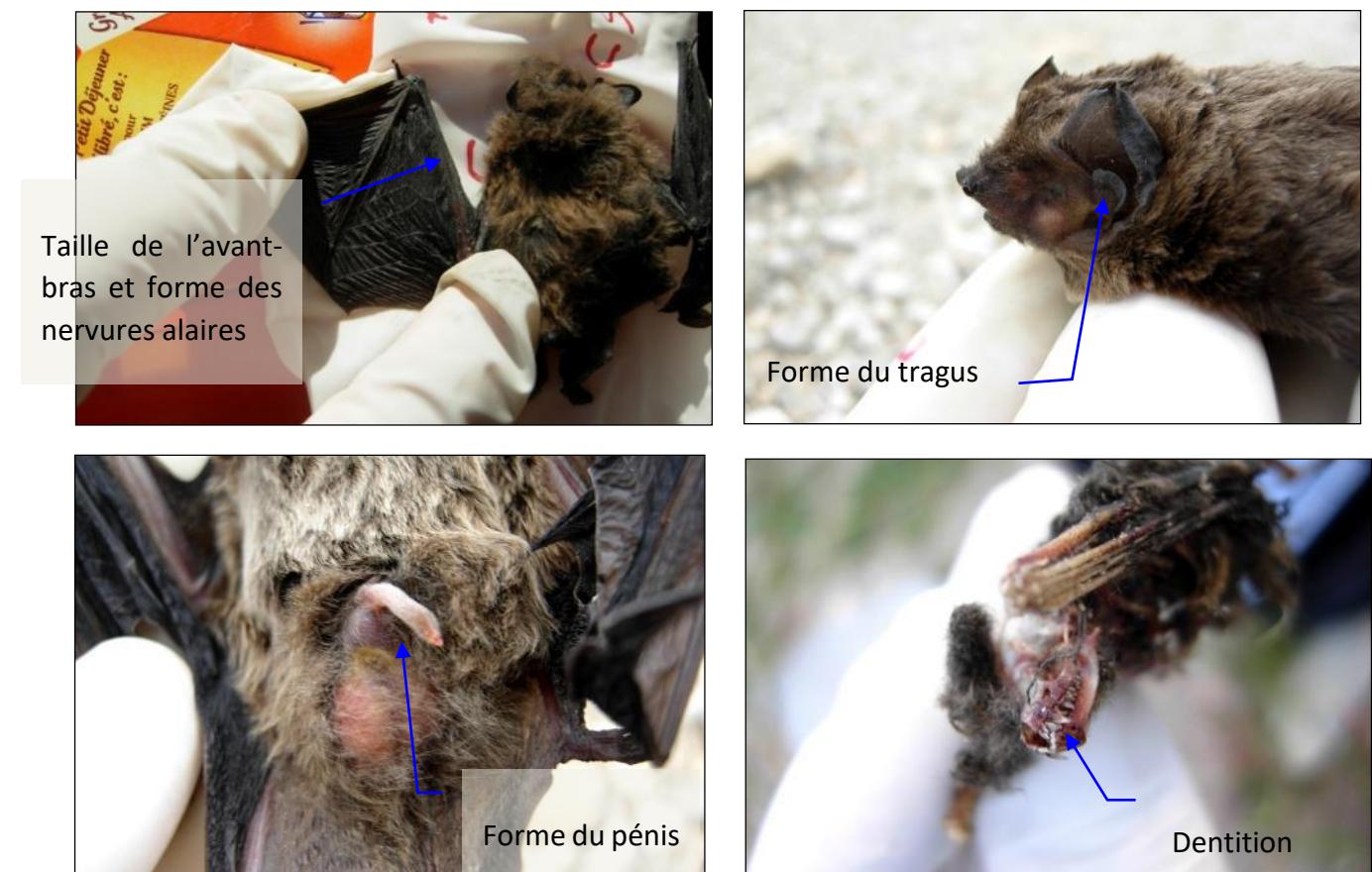
Le cadavre est photographié et identifié autant que possible par l'utilisation de différents critères morphologiques plus ou moins disponibles selon l'état du cadavre (forme du tragus, taille de l'avant-bras, cellules alaires, pénis...). Dans la mesure du possible, au-delà de l'espèce, d'autres données sont relevées concernant l'âge, le sexe, l'état de décomposition ou de prédation, l'heure de découverte, l'estimation de la date de mortalité.... Pour éviter les risques de confusion, chaque cadavre est répertorié avec un code permettant son identification à postérieur et la précision du découvreur. Il est alors généralement prélevé pour procéder aux analyses à posteriori.

Tous les cadavres prélevés sont conservés dans un congélateur. En fin de campagne annuelle, l'ensemble des cadavres est rassemblé. Chacun d'entre eux fait alors l'objet d'une deuxième analyse à l'aide de clefs de détermination plus détaillées et pour préciser certains détails pas toujours aisés à déterminer sur le terrain selon les conditions climatiques (critères d'âges, de sexe, indices de reproduction....).

Concernant les chiroptères, la phase de détermination se fait donc souvent à plusieurs reprises, par différents chiroptérologues formés aux techniques de captures, sur la base de diverses clefs de détermination des chauves-souris (Clef de détermination des chauves-souris de Midi Pyrénées (DEJEAN 2007), Clé de détermination illustrée des chauves-souris d'Europe (DIETZ C. & HELVERSSEN O. 2004), Cahier technique d'identification des chiroptères (MARMET J. 2015...)).

Pour les oiseaux, la phase de détermination se fait par différents ornithologues, sur la base de diverses clefs de détermination d'oiseaux (Guide ornitho (SVENSSON L., MULLARNEY K., ZETTERSTRÖM D., 2015), Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale (FRAIGNEAU C., 2017)).

La fiche type de saisie de données de terrain est présentée en Annexe 3. Le tableau de synthèse général des données brutes de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux retrouvés lors du suivi 2023 est présenté en Annexe 4.



A propos de l'estimation de la date de mortalité, le délai qui s'écoule entre la mort de la faune volante et la date des découvertes des cadavres dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur.

Comme le protocole d'étude était basé en 2023, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier :

- Entre 0 (cas d'un animal tombé la nuit précédant la visite) et 3-4 jours (2 visites par semaine),
- Parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

Si on veut tenter d'analyser même grossièrement cette chronologie des mortalités avec différents facteurs d'influence, nous cherchons à estimer la date de la mortalité de chaque cadavre en fonction de son état au moment de la découverte. Quand il est trouvé, chaque cadavre fait en effet l'objet d'une description de son état de décomposition, avec estimation approximative de la date de la mort.

Plusieurs critères d'appréciation peuvent être utilisés en parallèle comme :

- L'aspect général du cadavre (raideur cadavérique, état de déshydratation des chairs, yeux vitreux, décomposition, putréfaction des chairs, ...)
- La fréquentation d'insectes nécrophages et nécrophiles. Sans aller à une datation précise, nous distinguons grossièrement sur les cadavres les phases de :
 - Colonisation par les diptères les plus précoce, et les premières pontes quelques minutes après la mort ; pupes non écloses -> la mort date de moins de 8-20h, c'est-à-dire la nuit précédant la découverte pour un suivi matinal.
 - L'évolution des pontes des diptères ; présence d'asticots -> mort antérieure à 8-20h, c'est-à-dire que la mort a pu se produire deux ou trois nuits en arrière.
 - Les phases plus tardives, de l'ordre du jour ou quelques jours après la mort, de colonisation des coléoptères et hyménoptères, avec notamment la présence de Silphes non fouisseurs tels que le Bouclier sinué (*Thanatophilus sinuatus*) intervenant au stade de putréfaction (digestion extra orale des cadavres) ou du Nécrophore chasseur (*Nicrophorus investigator*) qui creuse des galeries sous les cadavres et les enterre progressivement. L'état d'avancement de l'enfouissement précise aussi un délai de plusieurs heures (ou jours).
- Et l'analyse comparative que nous pouvons faire du processus de décomposition des cadavres tests dispersés sur le site et suivis au cours des sessions de test de la campagne de suivi.

Cette estimation reste approximative pour la présente étude, le niveau de précision nécessaire pour la suite des analyses étant aussi assez grossier. Ainsi, il convient de rester prudent sur toute analyse trop fine issue de la chronologie estimée des mortalités.

*Figure 28 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) par un couple de Nécrophore chasseur (*Nicrophorus investigator*), sous un autre parc*



4.2.6 Détermination des coefficients correcteurs

4.2.6.1 Organisation générale

Le nombre total de chauves-souris ou d'oiseaux tués par les éoliennes est égal au nombre de chauves-souris et d'oiseaux trouvés morts au cours de la phase de recherche, plus ceux qui ont été tués et qui n'ont pas été retrouvés (cadavres non découverts dans la végétation ou prélevés par la faune nécrophage locale). Le calcul du taux de mortalité nécessite donc la prise en compte de coefficients d'erreur déterminés au préalable et liés à :

- L'efficacité de la découverte des cadavres d'une part (« **taux de détection** »),
- Et au temps que la faune nécrophage met à faire disparaître le cadavre d'autre part (« **taux de persistance** »).

Les suivis de mortalité réalisés montrent que ces coefficients correcteurs varient considérablement en fonction de nombreux paramètres extérieurs (nombre de charognards sur le site, proximité de villages, accoutumance des prédateurs, évolution de la couverture végétale, fréquentation touristique, période de chasse, météo, type et taille des cadavres...).

Une session de détermination de ces coefficients correcteurs a été réalisée durant la campagne de suivi (7 août 2023).

4.2.6.2 Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »)

L'objectif de ce test est d'apprécier l'efficacité du chercheur (nombre de cadavres trouvés par rapport au nombre de cadavres déposés), tout en tenant compte du niveau de difficulté de prospection (hauteur de végétation plus ou moins haute, plus ou moins dense, etc.). A ce propos, les zones « non prospectables » ne font pas l'objet du test.

Un test de détection sont effectués au cours du suivi de la mortalité le 7 août 2023.

Ces tests sont faits grâce à des peluches de taille et de couleur différente afin de mimer des cadavres de chauves-souris et d'oiseaux. Les peluches souris miment les chauves-souris, les peluches oiseaux (petite autruche et moineaux) miment les passereaux et les peluches de grande taille (type rapace) miment les rapaces (cf. Figure 29). Autrement dit, les coefficients correcteurs utilisés pour calculer le taux de mortalité des chiroptères se baseront sur les résultats de test liés aux souris. Pour les oiseaux, ils se baseront sur les résultats de test liés aux petites peluches d'oiseaux (type passereaux) et ceux liés aux plus grands oiseaux (type rapace). Au total et pour chaque test de détection, 10 peluches souris, 7 peluches oiseaux et 3 gros gabarits de peluches oiseaux sont dispersés (soit un total de 10 peluches pour mimer les chauves-souris et 10 peluches pour mimer les oiseaux). Les résultats de ces différents tests seront développés plus bas.

Le choix de l'éolienne sous laquelle se fait le test de détection est scrupuleusement réfléchi et est basé sur la représentative des types de milieux présents sur le parc éolien.

Les peluches doivent être dispersés de manière la plus équitable possible au niveau de chaque type de revêtement prospectable (ex : sur les 10 peluches souris, on en place 3 sur du type 1, 4 sur du type 2 et 3 sur du type 3). Cette équité de dispersion doit se faire avec les « petites » peluches entre elles et avec les « grosses » peluches entre elles.

Cette répartition dans différents types de végétation permet ainsi de prendre en compte la difficulté de perception des peluches (mimant des cadavres) en fonction de la taille ou de la couleur des peluches mais aussi du substrat au sol.

Figure 29 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection (sur un autre site)



Figure 30 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées (sur un autre site)



Il faut être 2 personnes pour réaliser les tests, c'est-à-dire une personne qui disperse les peluches (« disperseur ») et une autre qui les recherche par la suite (« chercheur »). Le disperseur va les positionner sur la zone test. Evidemment, le chercheur n'est pas présent sur la zone au moment de la dispersion. Les limites de la zone test correspondent aux carrés de prospection. Les peluches sont dispersées sur

l'ensemble du carré et dans les différents types de végétation. Le disperseur note alors sur carte de terrain la position de chaque peluche en précisant le code affecté à celle-ci (« G1 » pour première peluche de grande taille, « P2 » pour seconde peluche de petite taille ...).

Une fois la dispersion effectuée, la recherche destinée à identifier le taux de découverte peut commencer. Le chercheur parcourt donc la parcelle de façon méthodique, suivi par le disperseur qui consulte en même temps les relevés de position sur carte. Il ne donne aucune information au chercheur sur le positionnement des peluches, mais veille à l'efficacité de la recherche en informant le chercheur sur la régularité de son parcours (parallélisme des lignes virtuelles, limites de la zone test, régularité de la vitesse de prospection...). Chaque fois que le chercheur découvre une peluche, le disperseur enregistre cette découverte. En fin de session, les résultats permettent d'apprécier l'efficacité du chercheur, caractérisée par le « taux de détection » (nombre de peluches découvertes / nombre de peluches déposées).

4.2.6.3 Tests de disparition (ou « test de persistance »)

L'objectif de ce test est d'apprécier la vitesse de disparition des cadavres, soit le nombre de jours au bout duquel les cadavres disparaissent totalement.

Un test de persistance a été effectué au cours du suivi de la mortalité le 7 août 2023.

20 cadavres-tests (15 petits + 5 doublés) sont disposés sous les éoliennes, pour chaque test. Ce choix se justifie par la nécessité d'avoir assez de données pour avoir une idée précise du taux de préation sur le site.

Pour une meilleure efficacité lors de la recherche des cadavres ultérieures, le disperseur s'aide au maximum des éléments structurant le secteur pour disperser les cadavres (ex : mi-distance entre l'éolienne et un chemin, angle d'une parcelle, tas de pierres, branches proches des cadavres, planter un piquet...).

Pour se faire, des poussins et des cailles d'élevage sont placés sous les éoliennes de manière la plus équitable possible au niveau de chaque type de revêtement prospectable (Type 1, 2 et 3), comme pour le test de détection.

Afin d'être plus représentatif et afin d'éviter l'effet selon lequel un seul prédateur pourrait prélever l'ensemble des cadavres déposés sous une seule éolienne, les cadavres ont été dispersés sous l'ensemble du parc pour tester cette persistance en fin de test d'efficacité du chercheur. Pas plus de 4 cadavres tests sont disposés sous la même éolienne.

Nous considérons qu'un poussin est le cadavre test de petite taille (chauves-souris ou passereaux). Pour les cadavres de grande taille, on utilise une caille.

Pour apprécier la vitesse de disparition des cadavres, il suffit de revenir sur chaque carré de mortalité après un délai variable, la parcourir de façon méthodique (comme lors du test de l'efficacité du

chercheur) et de s'aider de la carte de terrain pour remarquer la disparition ou le déplacement des cadavres par rapport aux positions initiales. En effectuant ce travail à plusieurs reprises, on peut alors apprécier l'action des nécrophages par unité de temps.

Les visites retour-tests sont réalisées de la façon suivante : un retour le lendemain du jour de dispersion, puis 2 par semaines jusqu'à disparition des cadavres ou après une période de 14 jours.

4.2.7 Calculs

La méthode standardisée développée par WINKELMANN (1989) est adaptée au suivi de la mortalité des chauves-souris et oiseaux. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis (ERICKSON et al. 2002, ERICKSON 2003, KERNS et KERLINGER 2004, COSSON et DULAC 2004, ARNETT 2005...) et sera notre cadre de travail.

Néanmoins pour l'analyse des résultats, la formule de Winkelmann paraît moins adaptée que d'autres développées plus récemment au niveau international dans le cadre de suivis de la mortalité sous des parcs éoliens (HUSO, JONES, ERICKSON adaptée et réelle...), puisque cette formule surestime le taux de mortalité. Les résultats seront donc présentés pour chacune des 4 formules présentées en suivant.

Ces 4 formules sont proposées par la littérature spécialisée pour permettre d'estimer, au regard des découvertes de cadavres et des résultats de coefficients correcteurs, la mortalité que le parc aura pu générer par éolienne et par an. Les différentes formules que nous utilisons sont les suivantes : Erickson (réelle et adaptée), Huso et Jones. Mais devant les nombreux biais à prendre en compte dans le cadre d'un exercice d'estimation d'une mortalité annuelle, sans vouloir préjuger de la pertinence mathématique de chaque formule, et pour faciliter des comparaisons pertinentes et objectives entre les résultats avec d'autres résultats de suivis des mortalités menés sur d'autres parcs éoliens, nous présenterons les résultats obtenus avec chacune des formules. Nous proposerons également une moyenne entre ces formules qui sera la base de la comparaison interannuelle des résultats.

4.2.7.1 Les formules utilisées

Quatre modèles sont utilisés pour le calcul des estimations (Eriksson réelle et adaptée, Jones et Huso). Le paramètre clef pour l'expression de ces estimations est la probabilité que l'observateur détecte un cadavre sous l'éolienne. Ce paramètre est fonction de deux facteurs :

- le taux de persistance d'un cadavre (c'est-à-dire la probabilité que l'observateur trouve le cadavre après un laps de temps donné),
- l'efficacité de l'observateur (c'est-à-dire la probabilité qu'un cadavre tombé sur le sol sans être prédaté soit découvert par l'observateur).

■ Erickson (2000)

Cette équation ressemble à celle de Winkelmann, mais permet de faire le calcul même lorsque le taux de prédation est très élevé (donc le taux de persistance nul). Pour cela, deux paramètres sont ajoutés, I (fréquence de passage) et tm (durée de persistance en jours) :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a$$

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées,

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours),

C : Le nombre de cadavres comptés,

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours),

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection,

a : Coefficient de correction surfacique.

Nous appliquerons un coefficient surfacique à cette formule par la suite selon la prospection effectuée sur le terrain.

Une équation adaptée de cette dernière est aussi utilisée (Aves & Groupe chiroptère Provence 2010) :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a$$

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées,

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours),

C : Le nombre de cadavres comptés,

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours),

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection,

p : Le taux de persistance durant l'intervalle, équivalent à la proportion de cadavres qui restent sur le terrain après x jours (x étant le nombre de jours séparant 2 visites, par exemple si on effectue 2 visites par semaine, x = 3,5),

a : Coefficient de correction surfacique.

Korner-Nievergelt et al. (2011) montrent que le modèle d'Erickson sous-estime le nombre de cadavres potentiels lorsque la durée de persistance est faible.

▪ Jones (2009)

Cette méthode repose sur plusieurs hypothèses, le taux de mortalité est constant sur l'intervalle. La durée de persistance suit une variable exponentielle négative et la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle. Le taux de persistance est alors remplacé par la formule suivante :

$$p = e^{-0.5 \times I/tm}$$

La notion d'intervalle effectif est aussi ajoutée par Jones et al. (2009). Plus l'intervalle I est long et plus le taux de persistance tend vers 0. Un cadavre découvert au bout d'un I très long n'est certainement pas mort au début de cet intervalle. Il est plus vraisemblablement mort dans « l'intervalle effectif » qui correspond à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1%.

L'intervalle effectif \hat{I} est donc égal à : $-\log(0.01) \times tm$

D'où :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times \hat{I}/tm)}} \times a$$

On notera que dans l'équation, I prendra la valeur minimale entre I et \hat{I} .

Avec N : Le nombre de cadavres estimés total sur la période et les éoliennes considérées,

C : Le nombre de cadavres comptés,

a : Coefficient de correction surfacique,

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection,

\hat{I} : Intervalle effectif,

\hat{e} : Coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à : $\frac{\text{Min}(I:\hat{I})}{I}$

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours),

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).

▪ Huso (2010)

Comme Jones, Huso considère une mortalité constante sur l'intervalle et que la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle, n'est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre. Le coefficient proposé est plus élevé : $p = \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I}$

D'où :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-\hat{I}/tm})}{\hat{I}} \times \hat{e}} \times a$$

On notera que dans l'équation, I prendra la valeur minimale entre I et \hat{I} .

Avec N : Le nombre total de cadavres estimés sur la période et les éoliennes considérées,

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts,

a : Coefficient de correction surfacique,

d : L'efficacité de l'observateur ou taux de détection,

\hat{I} : Intervalle effectif,

\hat{e} : Coefficient correcteur de l'intervalle équivalent à : $\frac{\text{Min}(I:\hat{I})}{I}$

I : La durée de l'intervalle (entre 2 visites), équivalent à la fréquence de passage (en jours),

tm : Durée moyenne de persistance d'un cadavre (en jours).

Korner-Nievergelt et al. (2011) indiquent que le modèle d'Huso est assez robuste pour des cas où la durée de persistance des cadavres est élevée (tel qu'en Amérique du Nord, en moyenne 32 jours (Arnett et al., 2009)) et la fréquence de prospection supérieure à 14 jours. En revanche, pour des cas où la persistance est plus faible (tel qu'en Europe centrale, en moyenne 4,2 jours (Niermann et al., 2011)) et la fréquence de prospection allant de 1 à 7 jours, le modèle d'Huso tend à surestimer le nombre de cadavres. En outre, la formule d'Huso est particulièrement robuste lorsque l'efficacité de détection est hétérogène dans le temps, c'est-à-dire qu'elle diminue au fur et à mesure des recherches (Huso, 2010). Or, dans la présente étude, l'efficacité de détection est considérée constante et indépendante du nombre de prospections, ce qui a pour effet de produire une surestimation.

4.2.7.2 EolApp (Besnard et Bernard, 2018)

Nous utilisons aussi l'application web Shiny « EolApp » proposé par le CEFE-CNRS (A. Besnard & C. Bernard) pour estimer la mortalité réelle sur site. Cette application permet d'obtenir une médiane des estimations de mortalité (calculée selon les trois modèles statistiques présentés précédemment) encadrée par un intervalle de confiance à 80 % et à 95%.

Cette application web est disponible à l'adresse suivante : <https://shiny.cefe.cnrs.fr/EolApp/>.

Dans cette application, il est nécessaire de renseigner plusieurs informations telles que :

- Le nombre de cadavres trouvés pour chaque visite (1 ligne par visite),
- La durée de persistance des cadavres déposés, en jours : pour chaque cadavre (un cadavre par ligne) le nombre de jours pendant lesquels le cadavre était toujours présent,
- La méthode de calcul employée (paramétrique ou non-paramétrique),
- L'intervalle de temps entre les passages (en jours),
- Le nombre de cadavres déposés pour étude de la détection,
- Le nombre de cadavres trouvés pour étude de la détection,
- Le pourcentage de la surface prospectée (moyen).

Pour ce qui est de la méthode de calcul à employer, il y a deux possibilités, soit non-paramétrique, soit paramétrique. La première option est la plus lente mais elle est plus fiable quand nous disposons d'un nombre limité de passages ou de cadavres détectés. La deuxième méthode est plus rapide mais pertinente uniquement pour des jeux de données très conséquents.

Les résultats sont présentés sous forme d'un tableau, pour chaque formule utilisée (Erickson, Huso, Winkelmann et Jones), avec la médiane, l'intervalle de confiance (IC) à 95% (bornes à 2.5% et 97.5%) et celui à 80% (bornes à 10% et 90%). Ces chiffres correspondent au nombre total de mortalités estimées sur l'ensemble de la période d'étude.

4.2.7.1 GenEst (Simonis et al, 2018)

Plus récemment, des spécialistes internationaux se sont associés pour mettre à disposition gratuitement une application « GenEst » ayant pour objectif d'estimer la mortalité réelle sur le parc. Celle-ci permet d'imbriquer les différents paramètres pour modéliser finement la mortalité (persistance des cadavres, efficacité de la détection, correction surfacique) et fournir des estimations ajustées selon les variables prises en compte (taille des cadavres, période de l'année, distinction oiseaux / chauves-souris...).

Tout comme EolApp, cette application permet d'obtenir une médiane et des intervalles de confiance à 80 % ou 95 % pour les estimations de mortalité ainsi obtenues.

Les estimations obtenues via ces différents outils seront comparées entre elles.

4.2.8 Evaluation des impacts du parc éolien de Champagne berrichonne

Concernant la définition de l'impact quantitatif du parc éolien sur la faune volante, celui-ci est défini sur la base du taux de mortalité estimé par éolienne et par an. La valeur obtenue est comparée à celles qui sont observés dans le secteur pour les chauves-souris et pour les oiseaux.

Pour l'impact qualitatif défini par espèce, celui-ci se base sur le croisement entre le risque d'occurrence de la mortalité et le niveau de patrimonialité de l'espèce considérée (cf. Figure 32).

Le risque d'occurrence de la mortalité est défini sur la base du croisement entre la sensibilité de l'espèce à l'éolien (définie elle-même sur la liste de T. DÜRR 2022) et le nombre de mortalités retrouvées au cours du suivi (cf. Figure 31).

Figure 31 : Grille de calcul pour la définition du risque d'occurrence de la mortalité (Sensibilité*Nombre de mortalités brutes)

		Sensibilité						
		Très faible	Faible	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Très fort
Nombre de Mortalité	1	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré
	2	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort
	3	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort
	4	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort
	5	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Fort
	6	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Fort	Très fort
	7	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Fort	Très fort	Très fort
	8	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Fort	Très fort	Très fort	Très fort +
	9	Modéré à fort	Fort	Fort	Très fort	Très fort	Très fort +	Très fort +
	10	Fort	Fort	Très fort	Très fort	Très fort +	Très fort +	Très fort ++
	11	Fort	Très fort	Très fort	Très fort +	Très fort +	Très fort ++	Très fort ++

Figure 32 : Grille de calcul pour la définition du niveau d'impact théorique (Patrimonialité*Risque d'occurrence)

		Patrimonialité						
		Très faible	Faible	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Très fort
Occurrence du risque de mortalité	Très faible	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort
	Faible	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort
	Faible à modéré	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort
	Modéré	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort
	Modéré à fort	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Fort
	Fort	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Très fort
	Très fort	Modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Fort	Très fort

4.3 Bilan de la mortalité des chauves-souris

4.3.1 Bilan des mortalités brutes retrouvées

Une chauve-souris morte fut retrouvée sous l'éolienne E3 du parc de Champagne Berrichonne au cours de la campagne de suivi menée entre le 31 juillet et le 3 novembre 2023. Pour 28 visites de recherche réalisées au cours de cette période de 3 mois, cela représente une moyenne de 0,33 chauve-souris découverte par mois pour l'ensemble du parc éolien (soit 5 éoliennes).

Le cas de mortalité a été découvert **le 13 octobre 2023** sous l'éolienne E3. En prenant en compte l'état de décomposition du cadavre (sec et abîmé), la mortalité est **considérée** comme datant du **10 octobre** (soit le lendemain de la visite précédente).

Il s'agit d'un individu de **Pipistrelle de Natusius**. La Pipistrelle de Natusius est une espèce protégée. Sa conservation est considérée comme en Préoccupation mineure au niveau mondial mais elle est Quasi-menacée à l'échelle nationale et régionale. De fait, son niveau de patrimonialité est jugé modéré.

Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection, les statuts de l'espèce pour le plan national d'action pour les chiroptères et les statuts de conservation.

Figure 33 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation de l'espèce de chauves-souris retrouvée sous les éoliennes

Espèce	Nom scientifique	Protoc. Fr.	Protoc. U.E.	Conv Berne	Espèce prioritaire du Plan National d'Action chiroptères 2016-2025	Espèce PNA à forte pression liée à l'éolien (PNA 2016-2025)	Tendance évolutive (PNA 2016-2025)	Liste rouge IUCN (Mondiale)	Liste rouge IUCN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre-Val de Loire (2013)	Valeur patrimoniale
Pipistrelle de Natusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	P	H4	2	oui	oui	?	Précoc. Mineure	Précoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré



En 2022, les éoliennes E1, E2, E3 et E4 avaient causées des cas de mortalité. L'éolienne E3 avait impactée une Noctule commune (espèce de vol haut).

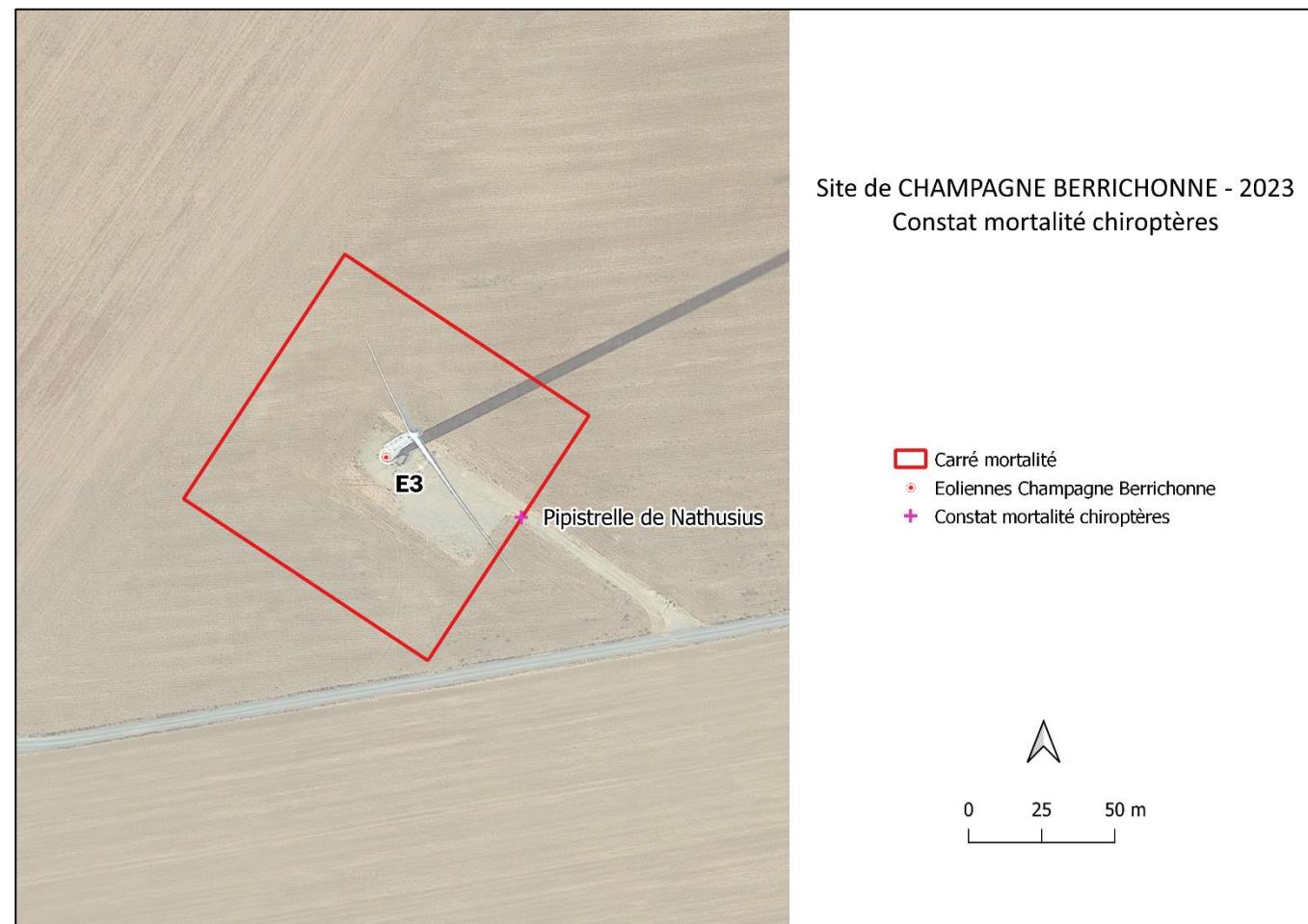
A cette période de l'année, l'individu se trouvait très probablement en période de migration automnale. Lors de cette phase, l'espèce est amenée à voler plus haut dans le ciel.

Aucune activité de Pipistrelle de Natusius n'a été enregistrée en nacelle d'E4 durant la période de suivi, mais l'impact a été relevé sous une autre éolienne. Sur les nuits précédentes, les conditions météos étaient favorables à l'activité des chiroptères (température moyenne entre 19°C et 24°C, des vents de 3-4 m/s les nuits du 9 et 10 octobre, mais plus importants entre le 11 et le 12 octobre).

Il s'agit d'un mâle.

La carte ci-dessous permet de localiser le constat de mortalité effectué lors de la campagne de terrain de 2023. Aucun facteur géographique et/ou topographique permet d'expliquer la localisation de la mortalité autour de l'éolienne, si ce n'est l'assoulement du sol, qui en facilite la découverte (chemin d'accès à la plateforme). La Pipistrelle de Natusius a été retrouvée au sud-est du mât à l'entrée de la plateforme.

Figure 34 : Carte de la répartition des cas de mortalité de chauves-souris



4.3.2 Synthèse interannuelle des mortalités de chauves-souris

Au cours des 6 campagnes de suivi du parc éolien de Champagne Berrichonne (2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023), au moins 27 individus de chauves-souris ont été impactés (données brutes), correspondant à au moins 6 espèces différentes.

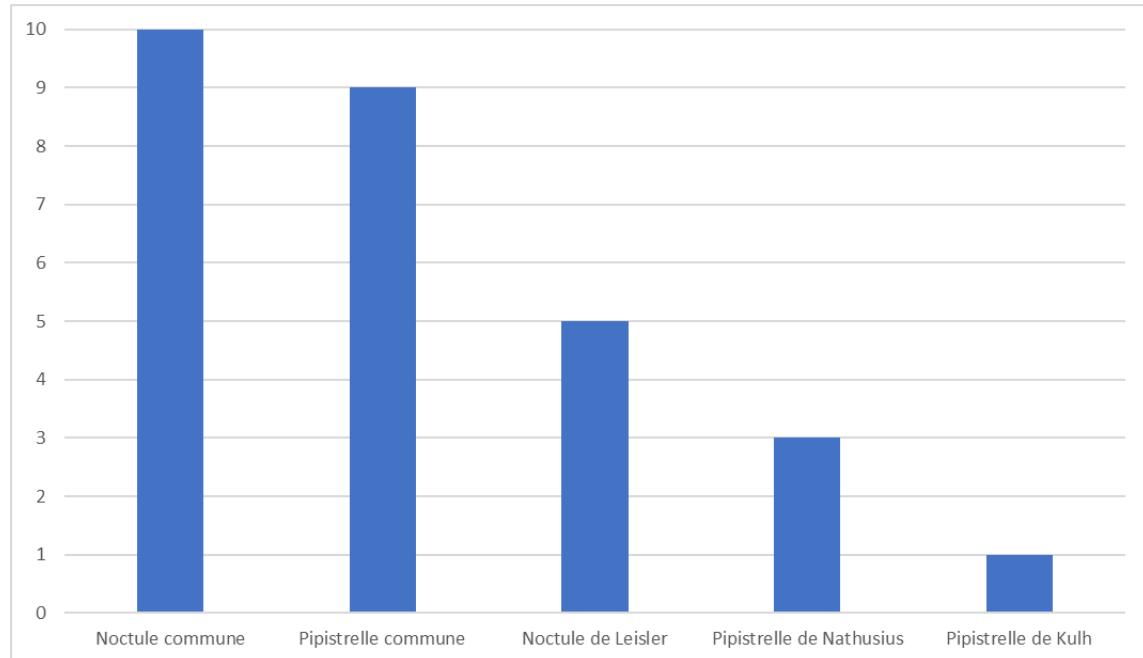
Le tableau suivant récapitule la pression de suivi mis en place lors de chaque campagne afin de mettre en perspective les résultats suivants. Il est également valable pour la synthèse réalisée dans la partie suivante pour les oiseaux.

Figure 35 : Périodes de suivi des différentes campagnes de 2018 à 2023

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Nb de visites	16	24	34	37	32	28
Période suivi	du 26/02 au 9/03, du 20/06 au 6/07, du 28/08 au 6/09 et du 16/10 au 26/10	du 13/05 au 23/10	du 17/06 au 13/11	du 29/06 au 12/11	du 1/08 au 18/11	du 31/07 au 03/11
Durée du suivi (mois)	2	5	5	4,5	3,5	3

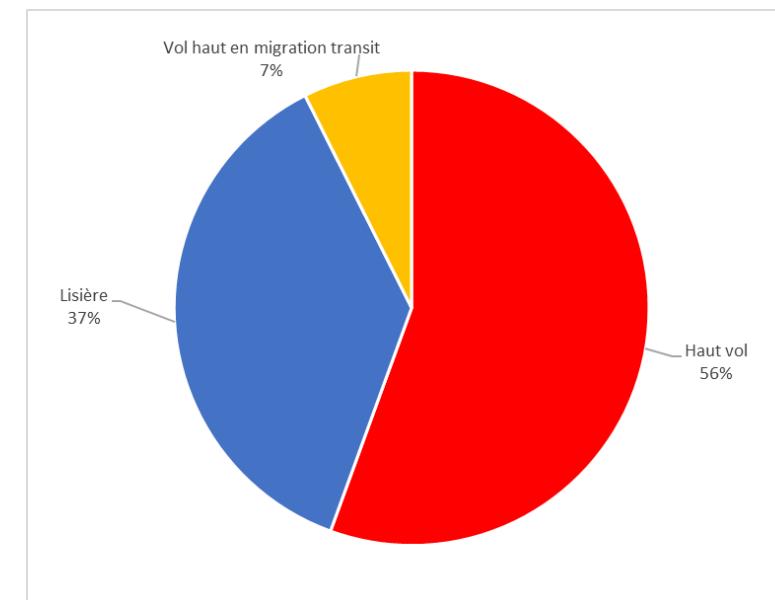
La Noctule commune (espèce de vol haut) représente 37% des cas de mortalités (10 cas). La Pipistrelle commune (espèce de lisière) est également bien représentée avec 9 cas avérés (33% des cas). Ces deux espèces représentent à elles seules 70 % des cas de mortalités. Les autres cas de mortalité sont relevés en plus faible quantité et concernent aussi bien des espèces de vol haut, des espèces de vol haut en migration/transit ou des espèces de lisière.

Figure 36 : Histogramme du nombre de chauves-souris impactées par espèce au cours des 6 campagnes de suivi du parc



Les espèces de vol haut représentent plus de la moitié des cas de mortalités sur les 6 campagnes de suivi. Il s'agit des noctules communes et des noctules de Leisler dont la grande majorité des individus ont été impactées au mois d'août, c'est-à-dire lorsque les conditions de chasse en plein ciel sont les plus favorables (courants thermiques, essaimage d'insectes), mais aussi en début de période de migration automnale et de swarming. Les espèces de lisière représente 37 % des cas de mortalité. Pour les cas recensés autour d'E4 et E5, cela pourrait s'expliquer par la présence d'une ripisylve (zone d'habitat et de corridor) à proximité.

Figure 37 : Répartition des cas de mortalités en fonction du comportement en vol des espèces impactées

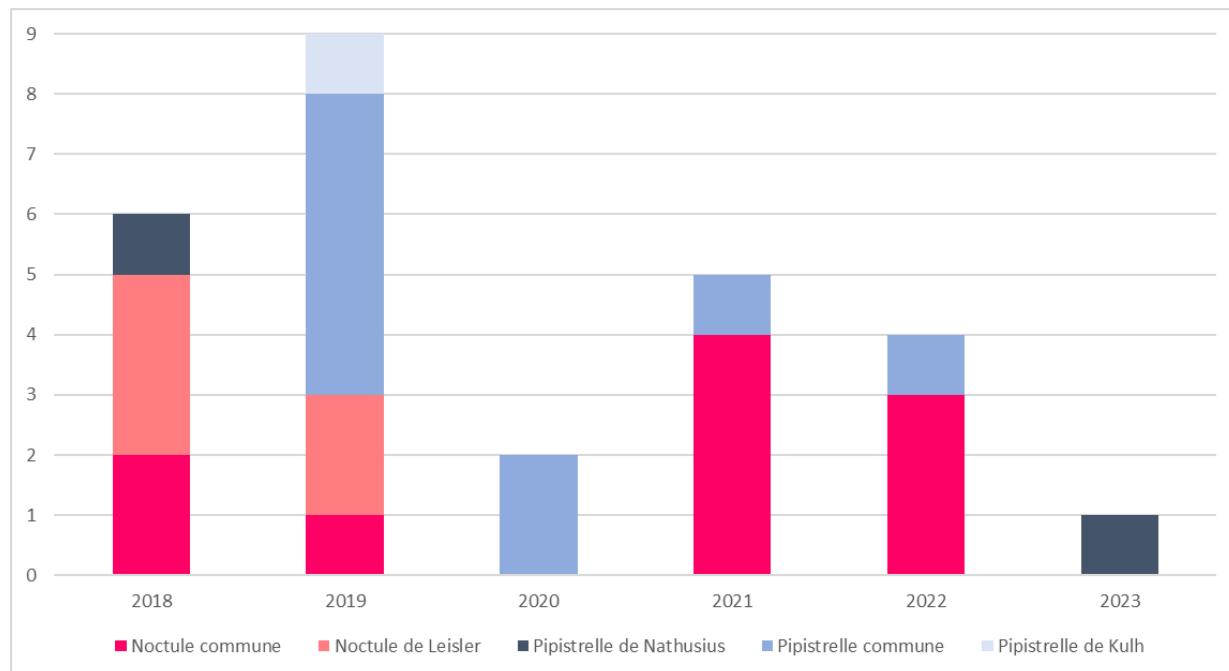


La figure suivante montre que le nombre de mortalités brutes est très variable d'une campagne de suivi à une autre. Le maximum est de 9 mortalités constatées sur la campagne 2019 et le minimum de 1 pour la campagne 2023.

Mais ces variations de mortalités brutes sont aussi à mettre en lien avec la mise en place d'une régulation nocturne (totale ou partielle) en faveur des chiroptères :

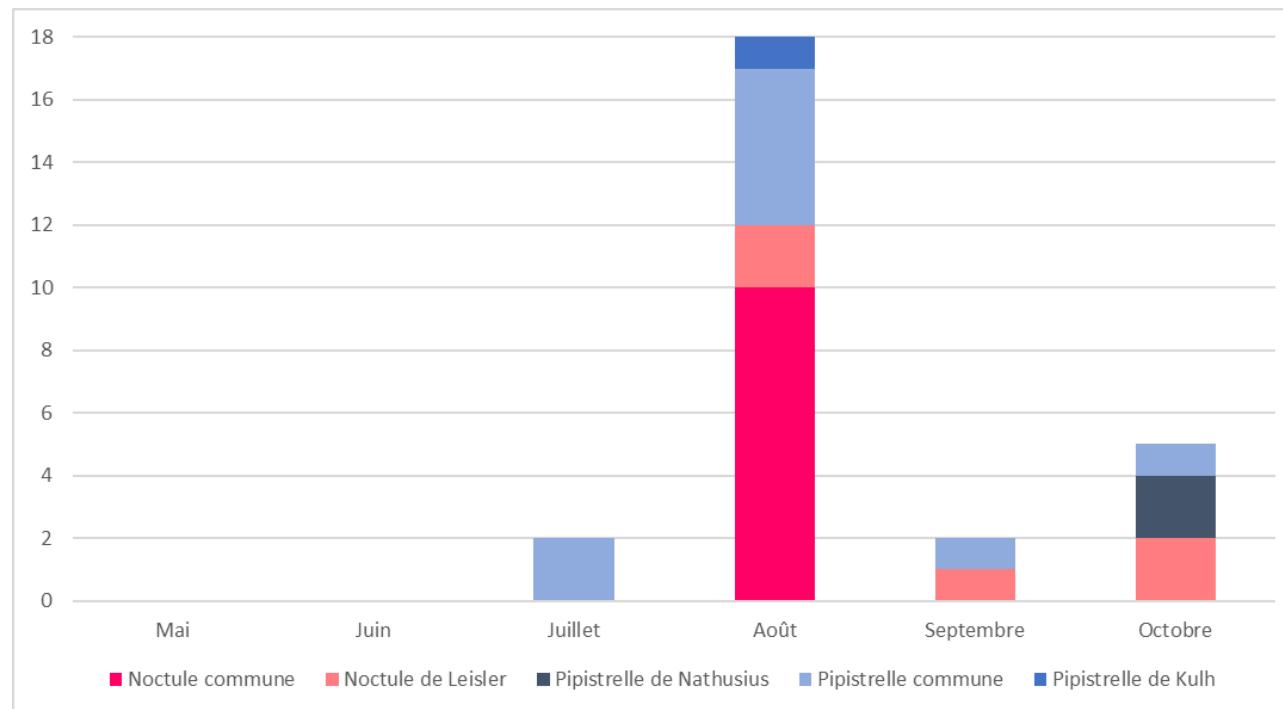
- du 27/08 au 21/10 en 2019 (mise en place tardive) ;
- du 01/05 au 31/10 en 2020 ;
- du 01/05 au 31/10 en 2021 (excepté sur E5 où un dysfonctionnement a été relevé entre le 09/08 et le 07/10 induisant l'impact de 4 chauves-souris) ;
- du 23/08 au 31/10 en 2022 (dont 2 cas relevés avant mise en œuvre du bridage) ;
- du 01/05 au 31/10 en 2023.

Figure 38 : Evolution des données brutes de chauves-souris au cours des 6 campagnes de suivi



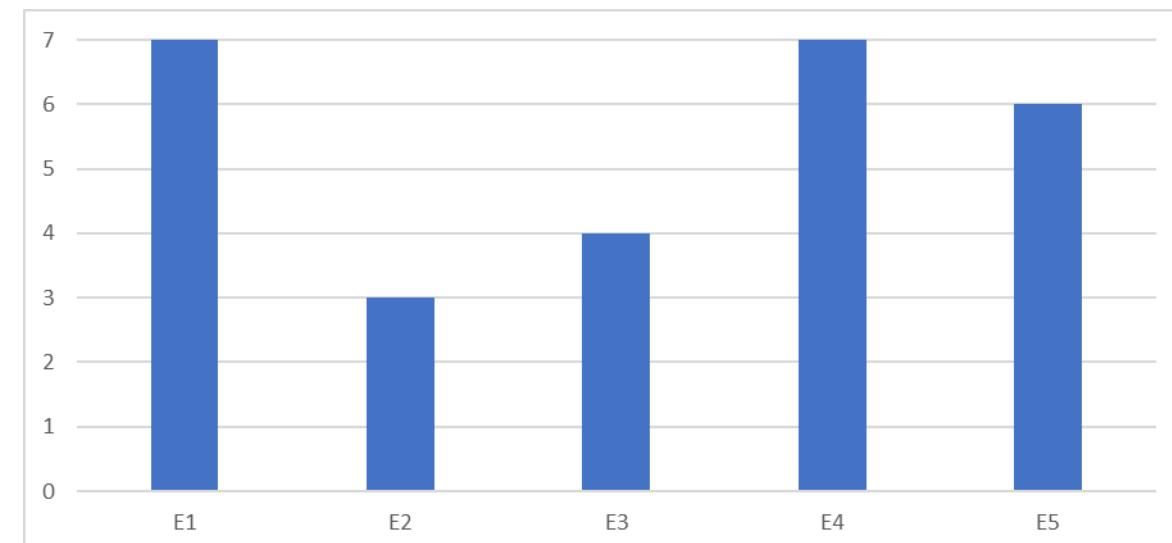
Le graphique suivant présente la répartition mensuelle des mortalités. Il montre que les mortalités interviennent surtout aux mois d'août correspondant à la période de swarming/migration automnale. C'est aussi à cette période que les conditions météorologiques sont favorables à l'activité de chasse des chauves-souris.

Figure 39 : Répartition mensuelle des mortalités interannuelles du cortège d'espèces chiroptérologiques



La figure suivante compare la répartition des mortalités par éolienne. Les éoliennes E1 et E4 du parc de Champagne Berrichonne semblent les plus accidentogènes (7 cas), suivies par l'éoliennes E5 (6 cas chacune). A l'inverse, les éoliennes E2 et E3 représentent respectivement 3 et 4 cas de mortalités.

Figure 40 : Répartition des mortalités interannuelles de chauves-souris par éolienne



4.3.3 Taux de mortalité des chauves-souris

4.3.3.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2023

Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents types de végétation.

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

- Niveau 1 : très facilement prospectable (gravier, chemin d'accès ...),
- Niveau 2 : facilement prospectable (végétation épars ou basse, ...),
- Niveau 3 : moyennement prospectable (végétation plus haute, hétérogénéité du milieu, ...)
- Niveau 4 : non prospectable (zone boisée, arbustes, ...).

Cette proportion est calculée au prorata de la **surface prospectée (et n'intègre donc pas les zones non prospectables)**. Par exemple, si sur une surface de 1 hectare, nous prospectons 0,80 hectare (0,20 hectare correspond à du boisement et n'est donc pas prospecté) et que sur ce 0,80 hectare, 0,40 hectare correspondent à du type 1, 0,30 hectare correspondent à du type 2 et 0,10 hectare correspondent à du type 3, nous aurons alors prospecté 50% en type 1, 37,5% en type 2 et 12,5% en type 3 (soit un total de 100% de 0,8 hectare prospectable).

Le tableau ci-contre montre la part moyenne de chaque niveau de difficulté de prospection au cours du suivi (**parmi les zones prospectables**), ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies.

Figure 41 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de chauves-souris retrouvées)

Date des visites	Végétation			Mortalité chauves-souris
	Type 1	Type 2	Type 3	
31-juil	16,46	83,54	0,00	
04-août	15,18	84,82	0,00	
07-août	15,18	84,82	0,00	
11-août	15,42	84,58	0,00	
14-août	12,80	87,20	0,00	
18-août	24,51	75,49	0,00	
21-août	61,76	38,24	0,00	
25-août	33,69	66,31	0,00	
28-août	33,69	66,31	0,00	
01-sept	26,81	73,19	0,00	
04-sept	34,73	65,27	0,00	
08-sept	18,86	81,14	0,00	
11-sept	18,86	81,14	0,00	
15-sept	18,86	81,14	0,00	
18-sept	18,86	81,14	0,00	
22-sept	18,86	81,14	0,00	
25-sept	25,00	75,00	0,00	
29-sept	15,18	84,82	0,00	
02-oct	15,18	84,82	0,00	
06-oct	15,18	84,82	0,00	
09-oct	15,18	84,82	0,00	
13-oct	15,18	84,82	0,00	1
16-oct	15,18	84,82	0,00	
20-oct	15,87	84,13	0,00	
23-oct	34,43	65,57	0,00	
27-oct	35,80	64,20	0,00	
30-oct	35,39	64,61	0,00	
03-nov	64,95	35,05	0,00	
Moyenne	24,54	75,46	0,00	1,00

4.3.3.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

Un test de détection et un test de prédation ont été menés le 7 août 2023 pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

▪ Taux de détection

Figure 42 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	10	7	0,70
Type 1	Moyenne	Moyenne	3	3	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	4	3	0,75
Type 3	Moyenne	Moyenne	3	1	0,33

	Pourcentage de prospection		
	d	Type 1	Type 2
Moyenne	0,81	24,54	75,46
		0,00	

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavre découvert par l'observateur :

$$d = \frac{\text{Nombre de cadavres découverts}}{\text{Nombre de cadavres déposés}}$$

Le taux de détection étant logiquement lié à la hauteur de végétation, nous avons pondéré les calculs en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de niveau vus précédemment.

Les zones de type 4 n'ont pas fait l'objet d'un test de détection, puisqu'elles n'ont pas été prospectées au cours du suivi. En effet, elles ne peuvent pas être prospectées de façon rigoureuse (cadavres retenus dans les branchages au niveau des zones arborées). Cet autre biais est pris en compte avec le calcul du coefficient de correction surfacique (cf. paragraphe plus bas).

Rappelons qu'au niveau de ces calculs relatifs aux chauves-souris, ne sont utilisés que les résultats obtenus à partir des peluches-test de petite taille (souris). Ceux obtenus à partir des peluches de plus grande taille seront utilisés pour les calculs relatifs à la mortalité des oiseaux.

Par exemple, le calcul du taux de détection moyen sur la totalité du suivi nous donne :

$d = d(\text{niveau 1}) * \text{proportion de niveau 1 prospecté en moyenne} + d(\text{niveau 2}) * \text{proportion de niveau 2 prospecté en moyenne} + d(\text{niveau 3}) * \text{proportion de niveau 3 prospecté en moyenne}$

$$d = 1,00 * (24,54/100) + 0,75 * (75,46/100) + 0,33 * (0/100) = 0,81$$

Le taux de détection est de 0,81. Autrement dit, 81% des peluches dispersées ont été retrouvées.

▪ Taux de persistance

Figure 43 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Nombre de jours après dépôt							Tm	p_moyen
				1	3	7	11	14	18			
Moyen			Moyenne	15	11	4	3	2	1	0	2,80	0,26
Type 1			Moyenne	5	4	0	0	0	0	0	0,80	0,00
Type 2			Moyenne	5	4	2	2	2	1	0	5,40	0,40
Type 3			Moyenne	5	3	2	1	0	0	0	2,20	0,38

▪ Paramètre p (formule d'Erickson adaptée)

« p », utilisé pour la formule d'Erikson (adaptée), caractérise un taux de persistance sur la base de l'intervalle de temps de retours moyen entre deux visites au cours de la campagne de suivi (I).

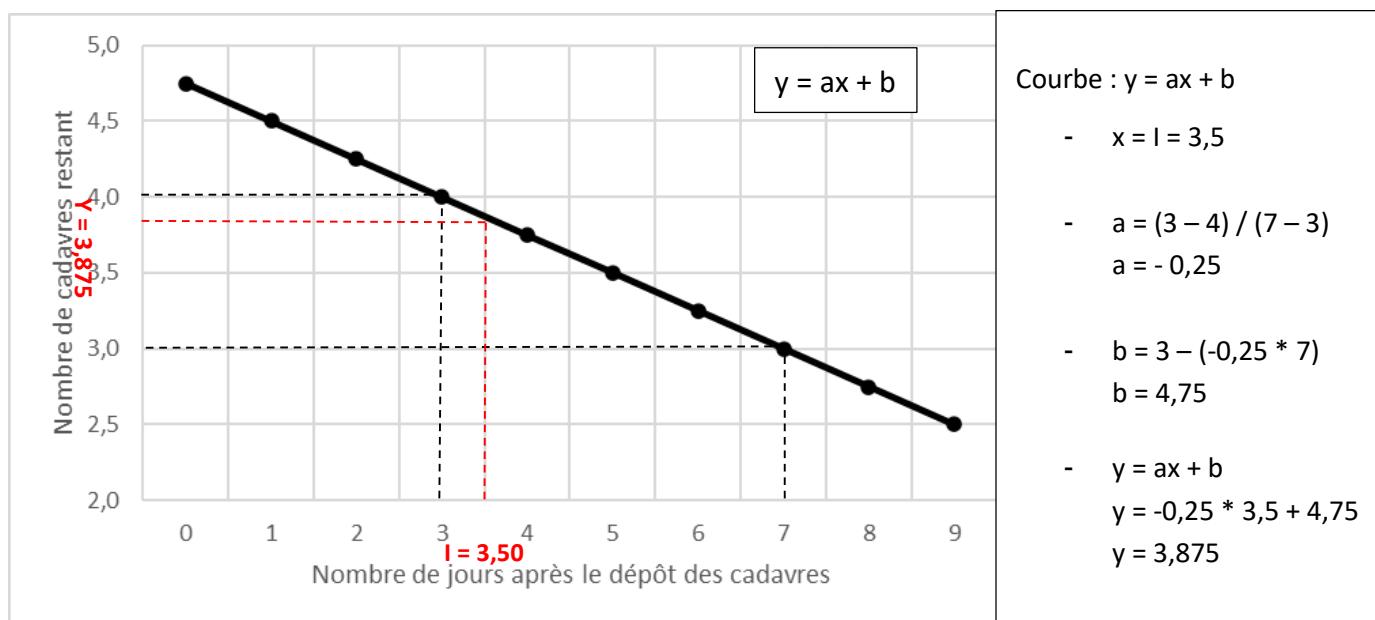
Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de la campagne 2023. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de $I = 3,50$.

Figure 44 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours)

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	0	0
3	13	39
4	13	52
5	0	0
Total	26	91
Intervalle pondéré (tot)		3,50

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 18 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Le schéma suivant montre les étapes de calcul du « nombre de cadavres encore présents après I jours ».

Figure 45 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après « I jours » »



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après } I \text{ jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{3,875}{30} = 0,26$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,26**.

■ Coefficient de correction surfacique

Le coefficient surfacique sert à corriger le fait que certaines zones autour des éoliennes (notamment les forêts ou les haies denses) ne soient pas prospectées. Plusieurs formules peuvent être utilisées pour prendre en compte ce biais. Dans notre cas précis, la formule d'Arnett (2005) sera celle utilisée.

Arnett (2005) propose un mode de calcul du coefficient surfacique qui prend en compte à la fois la dispersion des cadavres découverts sous les éoliennes et la proportion de surfaces prospectées par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne. Cette estimation est basée sur la formule suivante, revue par CORNU & VINCENT 2010. Il s'agit de subdiviser la surface prospectable en cercles centrés sur l'éolienne et dont les rayons respectifs sont de 14, 28, 42, 56 m, de sorte de la surface considérée soit proche des 1 ha de prospection réalisée. La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

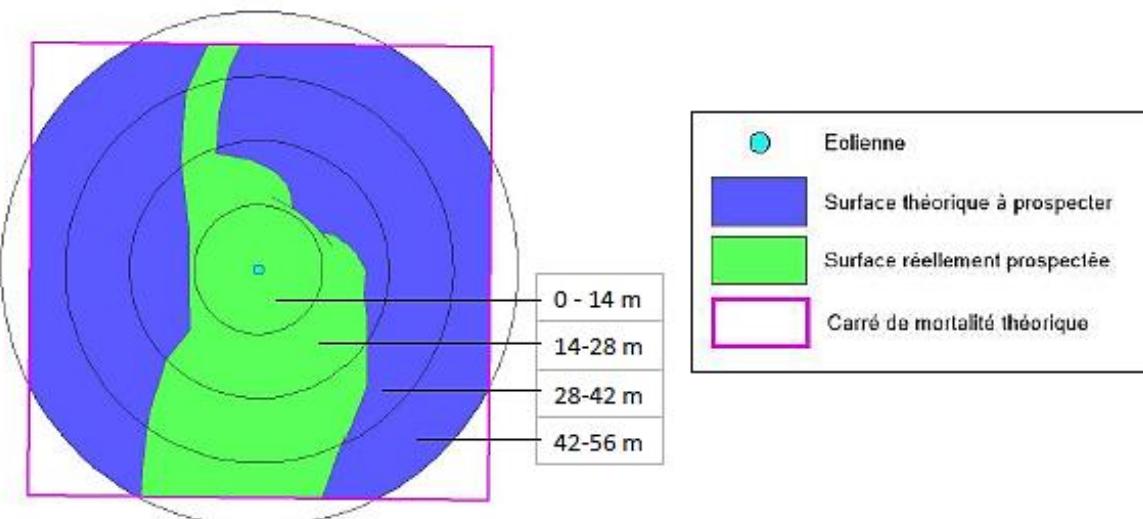
$$A = \frac{\sum_k C_k / S_k}{\sum_k C_k}$$

Avec

- A = coefficient de correction surfacique pondéré par la dispersion.
- C = nombre de cadavres retrouvés dans le cercle k.
- S = proportion de la surface du cercle k prospectée.

Le schéma suivant détaille ces différents cercles concentriques mis en relation avec la surface réellement prospectée autour d'une éolienne.

Figure 46 : Schéma des différents cercles concentriques utilisés pour le calcul du coefficient surfacique



■ Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso)

Le paramètre Tm traduit la durée moyenne de persistance d'un cadavre. Tm se calcule sur la durée au bout de laquelle tous les cadavres test ont disparus.

La durée moyenne de persistance d'un cadavre en jour est donc de :

$$tm = \frac{\text{Nb cadavres persistant 1 jour}_{j+1} + \text{Nb cadavres persistant 2 jours}_{j+2} \times 2 + \text{Nb cadavres}_{j+4} \times 4 + \dots}{\text{Nb cadavres présent}_{\text{Départ}}}$$

Dans notre cas précis, **Tm = 2,80**. Autrement dit, la vitesse de disparition des cadavres est d'environ 3 jours.

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2023 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

Figure 47 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a

	Surface à prospecter par éolienne	Nombre d'éolienne suivie	Surface à prospecter totale	Surface réellement prospectée (toute éolienne confondues, en ha)	Pourcentage prospecté	Nombre de cadavre de chauve-souris
42m - 56m	0,4308	5	2,154	0,97	45,23	1
28m - 42m	0,3077	5	1,5385	0,93	60,52	0
14m - 28m	0,1846	5	0,923	0,61	66,47	0
0m - 14m	0,0615	5	0,3075	0,26	86,05	0

a = 2,21

4.3.3.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL

Le tableau suivant synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 48 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations

Paramètres	Valeurs	Explications
C	1,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,81	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,26	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,80	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	3,50	Pas de temps du suivi
\hat{I}	5,60	$\hat{I} = -\log(0.01) * tm$
\hat{e}	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(I/\hat{I}) / I$
a	2,21	Coefficient de correction surfacique

Sur la base des paramètres précédents, les résultats de calculs des taux de mortalités sont les suivants pour les différentes formules utilisées.

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{3,50 \times (1 - 1 \times 0,26)}{2,80 \times 0,81} \times 2,21 = \mathbf{3,40}$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{3,50 \times 1}{2,80 \times 0,81} \times 2,21 = \mathbf{3,41}$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I/tm)}} \times a = \frac{1}{0,81 \times 1,00 \times e^{(-0.5 \times 3,50/2,80)}} \times 2,21 = \mathbf{5,09}$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I} \times \hat{e}} \times a = \frac{1}{0,81 \times \frac{2,80 \times (1 - e^{-3,50/2,80})}{3,50} \times 1,00} \times 2,21 = \mathbf{4,77}$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 31 juillet au 3 novembre 2023 (environ 3 mois), et pour les 5 éoliennes du parc suivi.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 5 → on aura une estimation de la mortalité par éolienne pour la période de suivi
- On divise par 3 (3 mois de suivi) → on aura une estimation de la mortalité par éolienne et par mois
- On multiplie par 8 (environ 8 mois d'activité des chauves-souris dans le secteur, contre 4 mois d'hibernation) → on aura une estimation de la mortalité par éolienne et par an (pour la période d'activité moyenne des chiroptères)
- On multiplie par 5 → on aura une estimation de la mortalité pour le parc entier et par an.

Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 2,22 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 1,81 et 2,72 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées. Pour l'ensemble du parc de Champagne Berrichonne en 2023, on obtient un taux de mortalité de 11,11 [9,06 - 13,58].

En se concentrant uniquement sur le taux de mortalité estimé durant la période à contrôler (et la plus à risques d'après les suivis antérieurs), le taux de mortalité est de 0,83 cas/éolienne sur la période suivie.

Figure 49 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2023

	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
	adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	3,40	3,41	5,09	4,77	4,17
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	0,68	0,68	1,02	0,95	0,83
Mortalité par éolienne et par mois	0,23	0,23	0,34	0,32	0,28
Mortalité par éolienne et pour une année	1,81	1,82	2,72	2,55	2,22
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	9,06	9,08	13,58	12,73	11,11

4.3.3.4 Estimation de la mortalité avec l'application « EolApp »

Le tableau suivant détaille l'ensemble de ces paramètres.

Figure 50 : Paramètres à renseigner dans l'application « EolApp »

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	3,50
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	10
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	7
Pourcentage de la surface prospectée	0,57

Les résultats sont présentés sous forme d'un tableau, pour chaque formule utilisée (Erickson, Huso et Jones), avec la médiane, l'intervalle de confiance (IC) à 95% (bornes à 2,5% et 97,5%) et celui à 80% (bornes à 10% et 90%). Ces chiffres correspondent au nombre total de mortalités estimées sur l'ensemble de la période d'étude et pour le parc entier.

Figure 51 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2,5	IC 97,5	IC 0,10	IC 0,90
Erickson	2,80	0,00	16,75	0,00	9,45
Huso	4,12	0,00	19,94	0,00	12,06
Jones	4,38	0,00	25,86	0,00	14,00
Moyenne par éolienne	0,75	0,00	4,17	0,00	2,37

En considérant les 3 modèles, il y a 80% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 0 à 2,37 cas de mortalité. De même, il y a 95% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 0 et 4,17 cas de mortalité. La médiane est de 0,75 mortalités par éolienne sur la période suivie.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- On divise par 3 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- On multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des chauves-souris).

En considérant les 3 modèles, on aboutit à un résultat à un intervalle de confiance de 95% de l'ordre de **0,00 à 11,12 mortalités par éolienne et par an**. A un intervalle de confiance de 80%, le résultat est de l'ordre de **0,00 à 6,31 mortalités par éolienne et par an**. La **médiane** quant à elle est de **2,01 mortalités**

par éolienne et par an. De la même façon, le taux de mortalité est estimé à 0,75 cas/éolienne sur la période suivie.

4.3.3.5 Estimation de la mortalité avec l'application GenEst

L'application GenEst aboutit sur un résultat médian de **1,80 cas par éolienne et par an**, soit 9,01 cas pour le parc entier par an. A un intervalle à 90%, la mortalité est estimée à **entre 0,53 et 5,55 cas par éolienne et par an**, soit entre 2,67 et 27,73 cas pour le parc entier et par an.

4.3.3.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2023

Selon la méthode employée, la mortalité réelle des chauves-souris est estimée à entre **1,80 cas par éolienne et par an et 2,22 cas par éolienne et par an** en 2023. Ils sont tous du même ordre de grandeur. Ces résultats permettent d'estimer le nombre de mortalités par année sur l'ensemble du parc entre 9 et 11,10.

4.4 Bilan de la mortalité des oiseaux

4.4.1 Bilan des mortalités brutes retrouvées

Un **cadavre d'oiseau mort** fut retrouvé sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 31 juillet et le 3 novembre 2023 **sous l'éolienne E2**. Pour 28 visites de recherche réalisées au cours de cette période de 3 mois, cela représente une moyenne de 0,33 oiseau découvert par mois pour l'ensemble du parc éolien (soit 5 éoliennes).

Le cas de mortalité a été découvert **le 16 octobre 2023** sous l'éolienne E2. En prenant en compte l'état de décomposition du cadavre (frais), la mortalité est **considérée** comme datant de la veille, soit le **15 octobre**.

Il s'agit d'un **Rougegorge familier**. Le Rougegorge familier est protégé au niveau national. Son état de conservation est favorable puisqu'il est classé en Préoccupation mineure à toutes les échelles géographiques. Sa valeur patrimoniale est quant à elle jugée faible.

Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation de l'espèce correspondant à la découverte effectuée sous les éoliennes.

Figure 52 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité

Nom Français	Nom Latin	Type	Statut de protection			Statut de conservation						Valeur patrimoniale
			Protec. Fr.	Protec. UE	Conv. Berne	Liste rouge Mondiale	Liste rouge Européenne	Listes rouges nationales (oiseaux nicheurs)	Listes rouges hivernants	Listes rouges nationales (oiseaux de passage)	Liste Rouge Région Centre (oiseaux nicheurs)	
Rougegorge familial	<i>Erythacus rubecula</i>	Passereau	P		2	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Préoc. mineure	NA	NA	Préoc. mineure	Faible

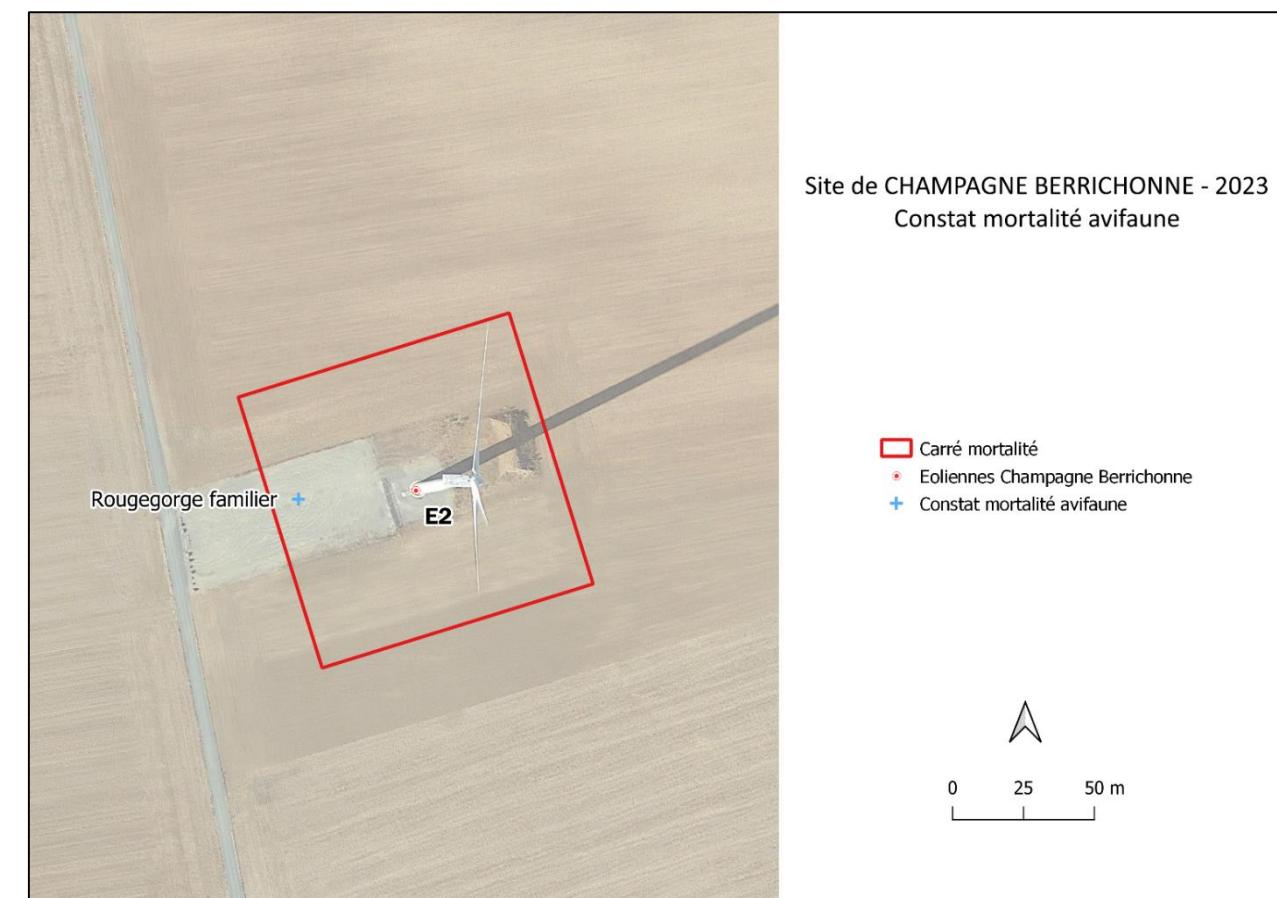
A noté que l'un des 3 cas de mortalité constatés en 2022 l'a été sous l'éolienne E2. Il s'agissait d'un Roitelet à triple bandeau, qui comme le Rougegorge familial, possède un régime alimentaire insectivore.

Le Rougegorge familial est une espèce partiellement migratrice. En France, la majorité des individus sont sédentaires. Pour les populations migratrices, les déplacements s'effectuent de nuit.

Compte tenu de la date de découverte du cadavre, l'individu impacté est soit un sédentaire en période inter nuptiale, soit un migrateur en provenance d'une population d'Europe du Nord ou de l'Est. La seconde hypothèse est privilégiée puisque le parc a déjà fait l'objet d'une surmortalité de passereaux migrants fin octobre 2019 (dont 6 rougegorges). L'impact a probablement eu lieu la nuit pour ce migrateur nocturne.

La carte ci-dessous permet de localiser la mortalité brute relevée en 2023. Comme pour la Pipistrelle de Natusius, l'assolement en a facilité la découverte (sur la plateforme, avec une bonne visibilité). Le Rougegorge familial a été retrouvé à l'ouest du mât, au milieu de la plateforme.

Figure 53 : Répartition des données brutes de mortalité avifaunistique (2023)



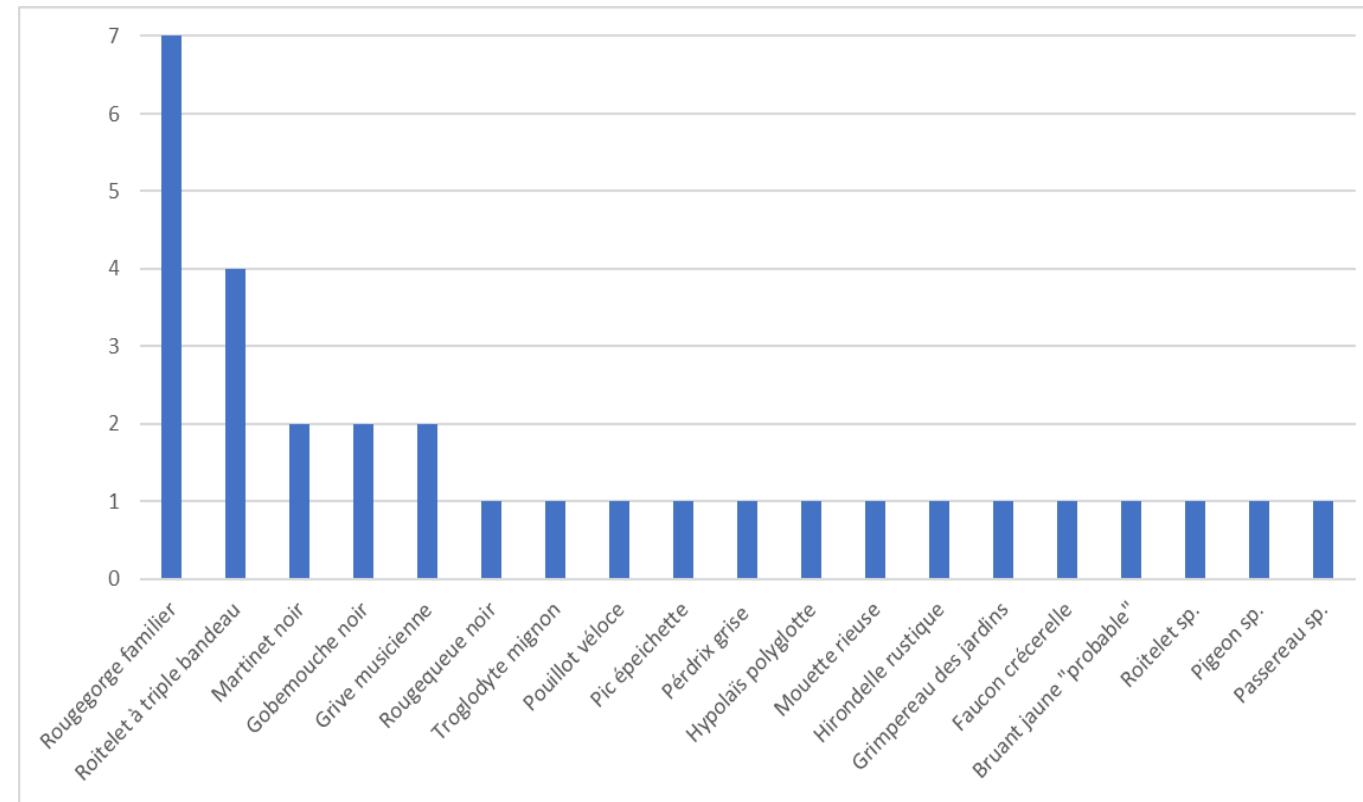
4.4.2 Synthèse interannuelle des mortalités d'oiseaux sous les éoliennes

Au cours de ces 6 campagnes de suivi du parc éolien de Champagne Berrichonne, au moins 31 individus ont été impactés (données brutes), correspondant à un minimum de 17 espèces différentes.

Pour rappel, la Figure 35 suivant récapitule la pression de suivi mis en place lors de chaque campagne entre 2018 et 2023.

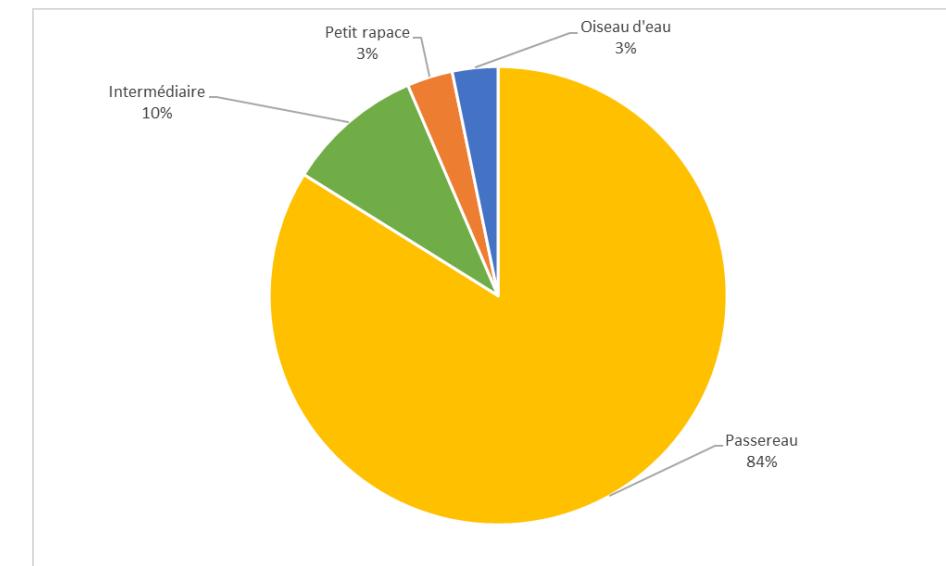
Le Rougegorge familier (passereau) domine ces mortalités avec 7 cas minimum (dont 6 en 2019). Le Roitelet à triple bandeau (4), le Martinet noir (2), le Gobemouche noir (2) et la Grive musicienne (2) sont les autres espèces à avoir été impactées à plus d'une reprise.

Figure 54 : Histogramme du nombre d'oiseaux impactés par espèce au cours des 6 campagnes de suivi du parc



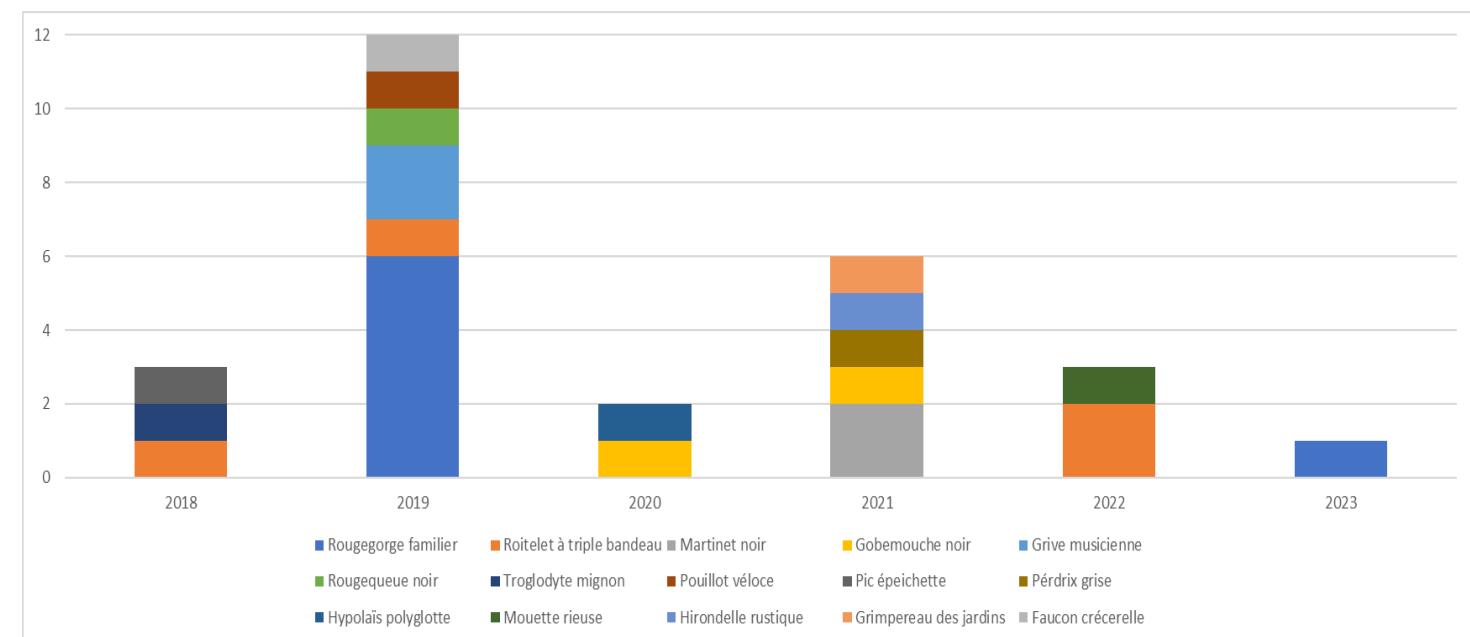
Les passereaux représentent 84% des cas de mortalités. On distingue comme oiseau « intermédiaire » le Pic épeichette, la Perdrix grise et le Pigeon sp. Enfin, le groupe des petits rapaces est représenté par le Faucon crécerelle et celui des oiseaux d'eau par la Mouette rieuse.

Figure 55 : Répartition des cas de mortalités en fonction des différents groupes d'espèces impactées



Le nombre de mortalités brutes est relativement stable et restreint d'une année sur l'autre (entre 1 et 6 cas) si l'on excepte le pic de l'année 2019 (12 cas).

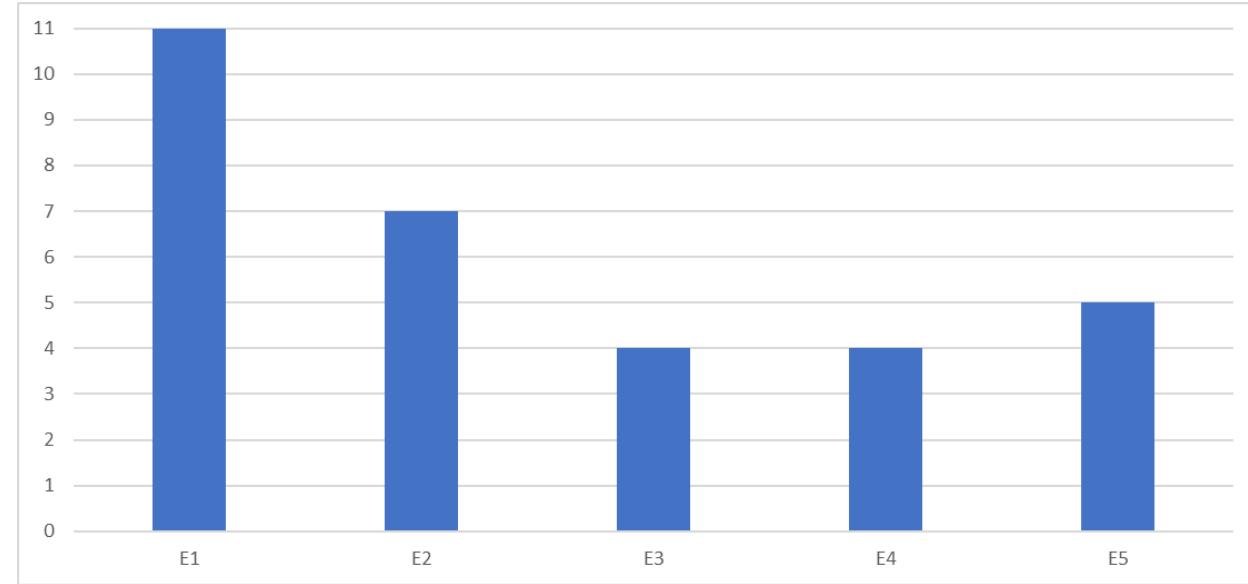
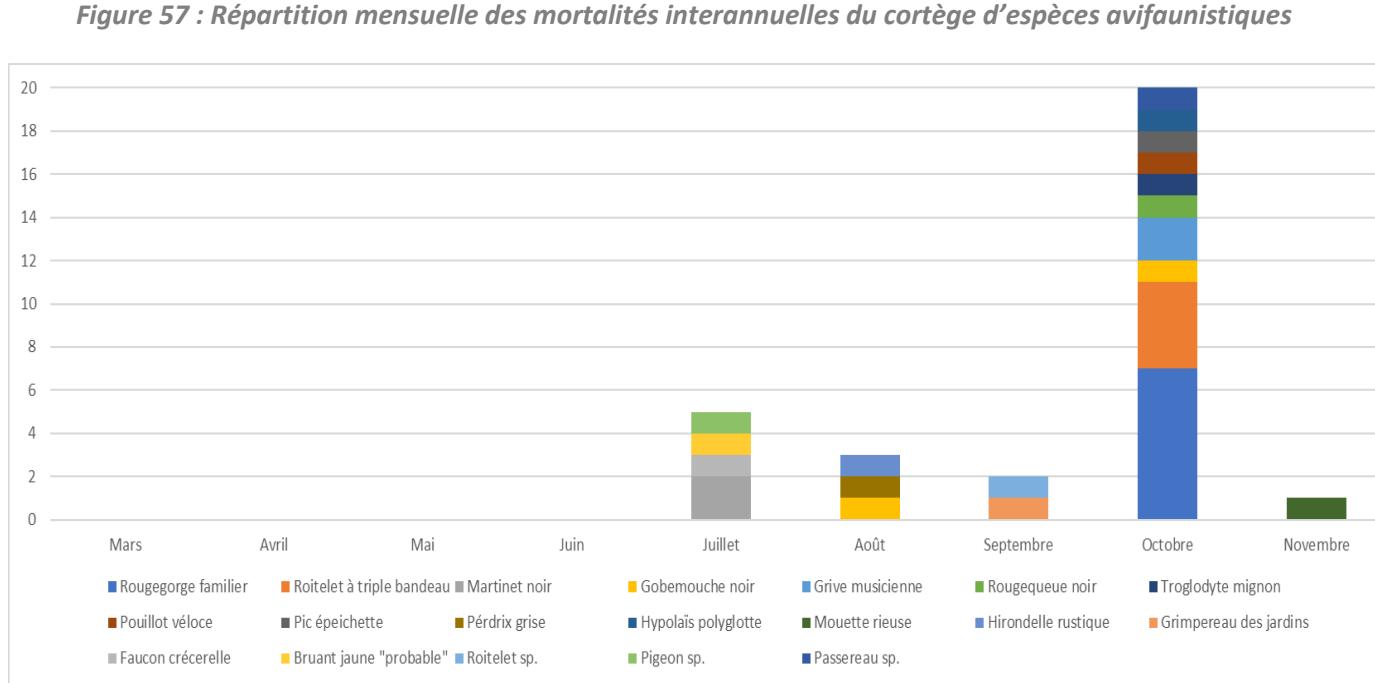
Figure 56 : Evolution des données brutes d'oiseaux au cours des 6 campagnes de suivi



Là encore, la variation de la mortalité brute retrouvée d'une année à l'autre s'explique aussi par la mise en œuvre (totale ou partielle) de la mesure de régulation nocturne en faveur des passereaux migrateurs.

D'un point de vue phénologique, le mois d'octobre utilisé par de nombreuses espèces pour leurs migrations, concentre 65% des cas de mortalité observés. Il faut aussi noter que la période de migration pré nuptiale (printemps) n'a quasiment pas été suivie.

Figure 58 : Répartition des mortalités interannuelles d'oiseaux par éolienne



L'éolienne E1 du parc de Champagne Berrichonne semble le plus accidentogène (11 cas), suivie par l'éolienne E2 (7 cas). A l'inverse, les éoliennes E3 et E4 représentent 4 cas de mortalités chacune. Pour rappel, E1 et E2 sont les plus proches de la ripisylve située à l'ouest du parc. L'habitat y est donc plus favorable pour une majorité d'espèces.

4.4.3 Taux de mortalité des oiseaux

4.4.3.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2023

Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents types de végétation.

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

- Niveau 1 : très facilement prospectable (gravier, chemin d'accès ...),
- Niveau 2 : facilement prospectable (végétation épars ou basse, ...),
- Niveau 3 : moyennement prospectable (végétation plus haute, hétérogénéité du milieu, ...),
- Niveau 4 : non prospectable (zone boisée, ...).

Pour rappel, cette proportion est calculée au prorata de la **surface prospectée (et n'intègre donc pas les zones non prospectables)**.

Le tableau ci-contre montre la part moyenne de chaque niveau de difficulté de prospection au cours du suivi (**parmi les zones prospectables**), ainsi que la mortalité constatée (cadavres uniquement) à chaque visite sous les éoliennes suivies.

Figure 59 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total d'oiseaux retrouvés sous les éoliennes)

Date des visites	Végétation			Mortalité cadavre oiseaux
	Type 1	Type 2	Type 3	
31-juil	16,46	83,54	0,00	
04-août	15,18	84,82	0,00	
07-août	15,18	84,82	0,00	
11-août	15,42	84,58	0,00	
14-août	12,80	87,20	0,00	
18-août	24,51	75,49	0,00	
21-août	61,76	38,24	0,00	
25-août	33,69	66,31	0,00	
28-août	33,69	66,31	0,00	
01-sept	26,81	73,19	0,00	
04-sept	34,73	65,27	0,00	
08-sept	18,86	81,14	0,00	
11-sept	18,86	81,14	0,00	
15-sept	18,86	81,14	0,00	
18-sept	18,86	81,14	0,00	
22-sept	18,86	81,14	0,00	
25-sept	25,00	75,00	0,00	
29-sept	15,18	84,82	0,00	
02-oct	15,18	84,82	0,00	
06-oct	15,18	84,82	0,00	
09-oct	15,18	84,82	0,00	
13-oct	15,18	84,82	0,00	
16-oct	15,18	84,82	0,00	1
20-oct	15,87	84,13	0,00	
23-oct	34,43	65,57	0,00	
27-oct	35,80	64,20	0,00	
30-oct	35,39	64,61	0,00	
03-nov	64,95	35,05	0,00	
Moyenne	24,54	75,46	0,00	1,00

4.4.3.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

Un test de détection et un test de prédation ont été menés le 7 août 2023 pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

- Taux de détection

Figure 60 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	10	10	1,00
Type 1	Moyenne	Moyenne	5	5	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	3	3	1,00
Type 3	Moyenne	Moyenne	2	2	1,00

	Pourcentage de prospection			
	d	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	1,00	24,54	75,46	0,00

Le taux de détection est de 1. Autrement dit, 100% des peluches dispersées ont été retrouvées.

- Taux de persistance

Figure 61 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Jour de dépôt						Tm	p_moyen
				1	3	7	11	14	18		
Moyen	X	Moyenne	20	14	5	4	3	1	0	2,75	0,24
Type 1	X	Moyenne	6	4	0	0	0	0	0	0,67	0,00
Type 2	X	Moyenne	7	6	3	3	3	1	0	5,57	0,43
Type 3	X	Moyenne	7	4	2	1	0	0	0	1,71	0,27

- Paramètre p (formule d'Erickson adaptée)

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2023. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de **I = 3,50**.

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 et 18 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,24**.

- Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso)

Dans notre cas précis, **Tm est égal à 2,75. Autrement dit, il faut environ une journée pour que les cadavres disparaissent.**

- Coefficient de correction surfacique

Comme pour les chauves-souris, le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2023 en fonction des surfaces prospectées (en hectare) pour les oiseaux.

Figure 62 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a

Surface à prospection par éolienne	Nombre d'éolienne suivie	Surface à prospection totale	Surface réellement prospectée (toute éolienne confondues, en ha)	Pourcentage prospecté	Nombre de cadavre d'oiseaux
42m - 56m	,4308	5	2,15	0,97	45,23
28m - 42m	,3077	5	1,54	0,93	60,52
14m - 28m	,1846	5	0,92	0,61	66,47
0m - 14m	,0615	5	0,31	0,26	86,05

$$a = 1,65$$

4.4.3.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL

Les tableaux suivants synthétisent les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 63 : Paramètres de calcul des équations

Paramètres	Valeurs	Explications
C	1,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	1,00	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,24	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,75	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	3,50	Pas de temps du suivi
\hat{I}	5,50	$\hat{I} = -\log(0.01) * tm$
\hat{e}	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(I/\hat{I}) / I$
a	1,65	Coefficient de correction surfacique

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux morts sur la période allant du 31 juillet au 3 novembre 2023, et pour les 5 éoliennes du parc suivi. Ces résultats sont basés sur l'intégralité du parc éolien et sur 3 mois.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 5 → on aura une estimation de la mortalité par éolienne pour la période de suivi
- On divise par 3 (3 mois de suivi) → on aura une estimation de la mortalité par éolienne et par mois
- On multiplie par 12 → on aura une estimation de la mortalité par éolienne et par an (pour la période d'activité des oiseaux, c'est-à-dire tout au long de l'année).
- On multiplie par 5 → on aura une estimation de la mortalité pour le parc entier et par an.

Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Si uniquement les cadavres sont pris en compte, on aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 2,05 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 1,68 et 2,50 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

En se concentrant uniquement sur le taux de mortalité estimé durant la période à contrôler (et la plus à risques d'après les suivis antérieurs), le taux de mortalité est de 0,51 cas/éolienne sur la période suivie.

Figure 64 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2023

	Erickson adaptée	Erickson réelle	Jones	Huso	Moyenne
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	2,10	2,10	3,12	2,92	2,56
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	0,42	0,42	0,62	0,58	0,51
Mortalité par éolienne et par mois	0,14	0,14	0,21	0,19	0,17
Mortalité par éolienne et pour une année	1,68	1,68	2,50	2,34	2,05
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	8,39	8,41	12,49	11,68	10,24

4.4.3.4 Calcul de la mortalité avec l'application EolApp

Le tableau suivant détaille l'ensemble de ces paramètres utilisés.

Figure 65 : Paramètres à renseigner dans l'application « EolApp »

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	3,50
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	10
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	10
Pourcentage de la surface prospectée	0,57

Figure 66 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	2,05	0,00	10,23	0,00	6,14
Huso	2,97	0,00	12,13	0,00	8,05
Jones	3,14	0,00	15,08	0,00	9,04
Moyenne par éolienne	0,54	0,00	2,50	0,00	1,55

En se basant uniquement sur les cadavres découverts, et en considérant les 3 modèles, il y a 95% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0,00 et 2,50 cas de mortalité. De même, il y a 80% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0,00 et 1,55 cas de mortalité. La médiane quant à elle est de 0,54 mortalités par éolienne et sur la période suivie.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- On divise par 3 -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- On multiplie par 12 -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux).

On aboutit à un résultat à un intervalle de confiance de **95%** de l'ordre de **0 à 9,98 mortalités par éolienne et par an**. A un intervalle de confiance de **80%**, le résultat est de l'ordre de **0 à 6,19 mortalités par éolienne et par an**. La **médiane** est de **2,18 mortalités par éolienne et par an**. De la même façon, le taux de mortalité est estimé à 0,54 cas/éolienne sur la période suivie.

4.4.3.5 Estimation de la mortalité avec l'application GenEst

L'application GenEst aboutit sur un résultat médian de **2,46 cas par éolienne et par an**, soit 12,32 cas pour le parc entier par an. A un intervalle à 90%, la mortalité est estimée à **entre 0,80 et 6,66 cas par éolienne et par an**, soit entre 4 et 33,32 cas pour le parc entier et par an.

4.4.3.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2023

La mortalité réelle des oiseaux est finalement estimée entre **2,05 cas par éolienne et par an** et **2,46 cas par éolienne et par an**. Ces résultats permettent d'estimer le nombre de mortalité par année sur l'ensemble du parc à entre 10,25 et 12,3 cas.

5 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE CHAMPAGNE BERRICHONNE

5.1 Impact sur les chiroptères

5.1.1 Analyse quantitative et comparaison avec d'autres parcs éoliens

Un seul cas de mortalité a été retrouvé entre le 31 juillet et le 3 novembre 2023 (période la plus à risque sur ce parc).

Pour la campagne de suivi 2023, le taux de mortalité est estimé à entre **1,80 cas par éolienne et par an** et **2,22 cas par éolienne et par an, soit entre 9 et 11,10 cas de mortalité pour le parc entier et par an.**

D'après les données disponibles actuellement en France (voir tableau suivant), cette estimation de la mortalité témoignerait **d'une valeur de mortalité par éolienne et par an faible vis-à-vis des chauves-souris en 2023**. Pour cette année de suivi, le taux de mortalité tend vers l'absence d'un niveau de mortalité jugé hors norme, comparé à d'autres parcs éoliens français dont le niveau de mortalité est exceptionnellement haut. Ces derniers sont situés dans des contextes biogéographiques particuliers (Bouin en littoral atlantique (Dulac, 2006), Castelnau Pégayrols en contexte forestier et ligne de crête (Beucher & Kelm, 2009-2010), en plaine camarguaise de la Crau (GCP, 2010), ou en forêt ou bordure de canal (Cornut et Vincent, 2010)). À titre de comparaison, sous ces parcs éoliens qui font aujourd'hui référence parmi les plus meurtriers, les taux de mortalité peuvent dépasser les 20 chauves-souris/éolienne/an, correspondant à plusieurs centaines de cadavres sur chaque parc selon leur taille.

L'impact quantitatif du parc éolien de Champagne Berrichonne en 2023 peut être qualifié de **Faible** en 2023 par rapport à d'autres parcs suivis en France.

Figure 67 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)

Site	Département	Contexte de milieux	Année de suivi	Mortalité de chiroptère / éolienne / an	Référence
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2010	0	ALEPE (2010)
Rézentières	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2013	0-3	Beucher, Albespy, Mognot (2014)
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2011	0,95 - 0,99	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) (2011)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2011	1,29-1,41	Albespy, Beucher (2015)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2016	1,4-1,5	EXEN (2017)
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2010	1,3 - 2	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) (2010)
Haut Cabardès	11	Forêt de résineux + lisières	2012	1,6 - 1,9	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) (2012)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2010	2,2 - 2,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2013)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2008	3,12	ALEPE (2009)
Sauveterre	81	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2013	3,64	EXEN (2014)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2011	3,7 - 3,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2014)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2010	4,2-4,9	Albespy, Beucher (2015)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2012	4,4 - 5,5	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2015)
Cuq Servies	81	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2013	5,5 - 6,9	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2014)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2012	6,1-6,6	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2014	7,5-7,9	Beucher, Albespy (2015)
Talizat	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2010	7,4-8,7	Beucher, Albespy (2011)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2006	6,0 - 9,3	Dulac (2008)
Cuxac Grand-bois, Lacombe	11	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2015	8,4-10,7	Exen (2016)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2008	9,78	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2009	10	ALEPE (2009)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2009	13,5	Albespy, Beucher (2015)
Cuxac Grand-bois, Lacombe	11	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2016	13-17	Exen (2017)
Sambres	11	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2016	15-14	Exen (2017)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2007	20,3 - 21,6	Dulac (2008)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2005	21,5 - 26,7	Dulac (2008)
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2009	26,8 - 31,1	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) (2011)
Le Pouzin	7	Bordure de canal	05/05 - 20/10/2010	44 - 76	Cornut & Vincent (2010)
Mas de Leuze	13	Plaine camarguaise	17/3 - 27/11/2009	79,3	Aves et GCP (2010)
La Répara-Auriples	26	Forêt de résineux et lisières	05/05 - 20/10/2010	79 - 87	Cornut & Vincent (2010)

Niveau d'impact quantitatif évalué					
Faible	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Très fort

5.1.2 Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères

Tel que proposé au chapitre 4.2.8, le tableau ci-dessous détaille en premier lieu le risque d'occurrence des mortalités, et en second lieu, le niveau d'impact théorique pour chaque espèce (issu du croisement entre la patrimonialité spécifique et son risque d'occurrence).

Figure 68 : Définition du niveau d'impact théorique pour les espèces contactées avec certitude ou potentielles en nacelle et la Pipistrelle de Natusius (espèce retrouvée morte lors du suivi de la mortalité)

Espèce	Nom scientifique	Niveau d'activité relevée en nacelle	Niveau d'activité relevée lorsque les pales tournent (à risque)	Sensibilité théorique à l'éolien	Mortalités relevées sur le site en 2023	Risque d'occurrence de la mortalité	Patrimonialité	Niveau d'impact théorique (risque d'occurrence * patrimonialité)
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Très faible	Très faible	Forte	0	Faible à modéré	Modérée à forte	Modéré
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Très faible	Très faible	Forte	0	Faible à modéré	Modérée à forte	Modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Très faible	Très faible	Forte	0	Faible à modéré	Modérée	Faible à modéré
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Faible	Nul	Modérée à forte	0	Faible	Très faible	Très faible
Pipistrelle de Natusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Nul	Négligeable	Forte	1	Faible	Modérée	Faible à modéré
Sérotine bicolore	<i>Vesptilio murinus</i>	Négligeable	Négligeable	Modérée à forte	0	Faible	Faible à modérée	Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Négligeable	Négligeable	Modérée	0	Faible	Modérée	Faible à modéré

L'impact qualitatif du parc pour la seule espèce impactée (un cadavre de Pipistrelle de Natusius retrouvé) est jugé **Faible à modéré**, du fait de sa patrimonialité et sa sensibilité importante à l'éolien.

En intégrant les biais liés à la détection des cadavres au cours des suivis de la mortalité, l'impact qualitatif pourrait varier de « Très faible » à « Modéré » selon les espèces, même si l'absence de mortalité brute pour celles-ci permet de relativiser ces niveaux théoriques.

L'analyse de l'efficacité du bridage nocturne en faveur des chiroptères (en suivant) permettra d'apporter des éléments complémentaires et de juger de l'impact qualitatif ou non du parc sur ces espèces.

5.2 Impact sur l'avifaune

5.2.1 Analyse quantitative et comparaison avec d'autres parcs éoliens

Un cadavre d'oiseau fut retrouvé sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 31 juillet et le 3 novembre 2023 (période la plus à risque sur ce parc).

La mortalité réelle des oiseaux est finalement estimée entre **2,05 cas par éolienne et par an** et **2,46 cas par éolienne et par an**. Ces résultats permettent d'estimer le nombre de mortalité par année sur l'ensemble du parc à entre 10,25 et 12,3 cas.

Ces taux sont jugés faibles par rapport à ce qui a été observé sur d'autres parcs français et européens suivis dans les mêmes conditions à des valeurs plus importantes. Si les résultats restent encore peu nombreux à l'échelle régionale, les évaluations à l'échelle nationale ou européenne montrent généralement un taux de mortalité variant de 0 à 10 oiseaux/éolienne/an. Dans son rapport de juin 2017 "Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune", la LPO estime un taux de mortalité moyen de 7 cas par WT/an. Toujours d'après ce même rapport, "*les suivis les plus robustes (au moins 48 semaines de prospections dans l'année à raison d'au moins 1 prospection par semaine sur un rayon théorique d'au moins 50 m sous chaque éolienne du parc) réalisés sur des parcs présentant des enjeux environnementaux a priori forts puisque situés à proximité de ZPS, ont permis de découvrir en moyenne 2,2 oiseaux par éolienne et par année de suivi ; La mortalité réelle estimée varie de 0,3 à 18,3 oiseaux tués par éolienne et par an, la médiane s'établissant à 4,5 et la moyenne à 7,0*".

Les niveaux de mortalité varient considérablement selon les situations locales et notamment selon les milieux. Des taux de mortalité sont en effet bien plus élevés pour des parcs installés sur des sites fréquentés par des espèces sensibles et en forte densité (vautours espagnols, rapaces californiens, laridés de Vendée (parc de Bouin, DULAC 2008...)). À titre de comparaison, sous ces parcs éoliens qui font aujourd'hui référence parmi les plus meurtriers, les taux de mortalité peuvent dépasser les 30 oiseaux/éolienne/an, correspondant à plusieurs centaines de cadavres sur chaque parc selon leur taille.

L'impact quantitatif du parc éolien de Champagne Berrichonne sur l'avifaune peut être qualifié de **Faible** par rapport à d'autres parcs suivis en France.

5.2.2 Analyse qualitative des impacts sur l'avifaune

Une seule espèce d'oiseaux a été retrouvée sous les éoliennes à l'occasion du suivi 2023, il s'agit du Rougegorge familier.

Une évaluation de l'impact théorique du parc éolien est proposée ci-dessous au regard de la mortalité constatée, mais aussi en se prenant en compte sa valeur patrimoniale.

Le Rougegorge familier fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Elle correspond à la 20^{ème} espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR août 2023, 220 cas de mortalité en Europe). Sa sensibilité est jugée Faible. Un cadavre a été découvert le 16 octobre 2023 au niveau de l'éolienne E2. Compte tenu du faible risque d'occurrence ainsi que du faible niveau de patrimonialité de l'espèce, **l'impact théorique du parc éolien sur cette espèce est estimé comme faible**.

Le tableau ci-dessous synthétise les différents paramètres permettant d'aboutir à la définition de niveau d'impact théorique par espèce.

Figure 69 : Evaluation des niveaux d'impacts théoriques sur l'avifaune en 2023

Nom de l'espèce	Sensibilité	Nombre de mortalités	Risque d'occurrence (sensibilité * nb de mortalités)	Patrimonialité	Niveau d'impact théorique (risque d'occurrence * patrimonialité)
Rougegorge familier	Faible	1	Faible	Faible	Faible

L'impact qualitatif du parc de Champagne Berrichonne peut donc être qualifié de **Faible** pour la seule espèce impactée.

6 BILAN DE L'EFFICACITE DES MESURES CORRECTIVES EN 2023

6.1 Régulation nocturne des machines en faveur des chiroptères

6.1.1 Rappel du pattern

Pour le parc de Champagne Berrichonne, le pattern qui devait être appliqué en 2023 est le suivant, pour toutes les éoliennes :

- **Du 01^{er} mai au 25 juin (Phase 1) :**
 - Vitesse de **vent inférieure à 4 m/s** (à hauteur de moyeu),
 - Pour des **températures supérieures à 7°C** (à hauteur de moyeu),
 - **Du coucher du soleil au lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride),
 - Pour toutes les éoliennes du parc.
- **Du 26 juin au 15 septembre (Phase 2) :**
 - Vitesse de **vent inférieure à 6,5 m/s** (à hauteur de moyeu),
 - Pour des **températures supérieures à 10°C** (à hauteur de moyeu),
 - **De 30 minutes après le coucher du soleil à 30 minutes avant le lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride),
 - Pour toutes les éoliennes du parc.
- **Du 16 septembre au 31 octobre (Phase 3) :**
 - Vitesse de **vent inférieure à 5 m/s** (à hauteur de moyeu),
 - Pour des **températures supérieures à 10°C** (à hauteur de moyeu),
 - **Du coucher du soleil au lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride),
 - Pour toutes les éoliennes du parc.

6.1.2 Mortalités brutes, mortalités estimées en 2023, comparaisons avec 2022, et impacts du parc sur les chiroptères

En 2023, **1 cadavre de chauve-souris** (Pipistrelle de Nathusius) a été retrouvé sous les éoliennes du parc de Champagne Berrichonne lors de la campagne de suivi de la mortalité, réalisé entre le 31 juillet et le 03 novembre 2023.

La mortalité « réelle » est estimée entre 1,80 et 2,22 cas par éolienne et par an (soit environ 9 à 11,1 mortalités pour le parc entier et par an). **L'impact quantitatif** du parc éolien de Champagne Berrichonne est jugé **Faible** en 2023 par rapport à d'autres parcs suivis en France.

En 2022, 4 chiroptères avaient été retrouvés (3 Noctule commune et 1 Pipistrelle commune) aboutissant à l'estimation **d'un taux de mortalité de 19 à 24 cas par éolienne et par an**, soit entre 96 et 119 mortalités par an pour le parc éolien de Champagne Berrichonne. L'impact quantitatif du parc était jugé Modéré à fort et l'impact qualitatif était jugé Modéré à fort pour la Noctule commune (3 cas) et Modéré pour la Pipistrelle commune (1 cas).

On notera donc une diminution de la mortalité brute retrouvée et du taux de mortalité estimé entre 2022 et 2023. Comme vu au paragraphe 3.3.4, la baisse de mortalité n'est pas dû à une baisse d'activité, puisque l'activité des chiroptères ont été globalement les mêmes en 2022 et 2023.

En ce sens, le bridage nocturne des machines de Champagne Berrichonne a permis de réduire l'impact du parc éolien sur les chiroptères d'après les données de mortalité brute, la mortalité estimée, les espèces impactées et les impacts évalués.

6.1.3 Vérification du dimensionnement de la régulation

➤ Analyse des paramètres de régulation

Il s'agit de s'intéresser à chaque paramètre de régulation à proprement parler, afin d'évaluer l'efficacité du pattern de régulation mis en place en 2023. Ces analyses se basent sur les données d'activité relevées en nacelle d'éolienne E4 et sur les données de mortalité en 2023. Le suivi ayant débuté le 28 juillet 2023, seules les phases 2 et 3 de la régulation des machines seront vérifiées.

- Concernant la plage de fonctionnement :

- Période de fonctionnement (entre le 1^{er} mai et le 31 octobre)

D'après les profils d'activité relevée en hauteur en 2023 à la page 24, les chauves-souris ont été actives dès le début août (premiers contacts le 04 août) et jusqu'au mois d'octobre (derniers contacts le 14 octobre). L'activité est plus intense et régulière à partir de début août et jusqu'à la mi-octobre. L'unique impact relevé est noté à la mi-octobre.

La période de fonctionnement des mesures de régulation est donc jugée pertinente sur la base des données d'activité et de mortalité de 2023.

- Horaires de fonctionnement au cours de la nuit (variable en fonction des périodes)

D'après l'analyse menée au paragraphe du 3.3.6 page 29, l'intégralité de l'activité des chiroptères relevés sur site a été enregistrée entre 15 minutes après le coucher du soleil et 45 minutes avant le lever du soleil, sachant que 90% de l'activité est relevée entre 45 minutes après le coucher du soleil et 45 minutes avant le lever du soleil.

Les horaires de fonctionnement du bridage sont donc jugés pertinents.

- Concernant le seuil de vitesse du vent (variable selon les périodes, entre 6,5 et 5 m/s)

L'analyse menée au paragraphe 3.3.5.1 page 26, a pu mettre en évidence que l'activité des espèces de lisières a été relevée jusqu'à des vitesses de vent de 5 m/s et jusqu'à 10 m/s pour les espèces de vol haut. Pour la Phase 2 de la régulation, la majeure partie de l'activité des chiroptères a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures à 8 m/s. Concernant la Phase 3 de la régulation, la majeure partie de l'activité des chiroptères a été enregistré pour des vitesses de vent inférieures à 5 m/s.

D'après le tableau suivant, **les seuils de vent sont donc globalement bien dimensionnés au regard des données d'activité recueillies en 2023.**

Figure 70 : Pourcentage d'activité enregistré pour des vitesses de vent inférieures au seuil de régulation

Phase de régulation	Date début	Date fin	Seuil de régulation Vitesse Vent (en m/s)	Pourcentage d'activité enregistré pour des vitesses de vent inférieures au seuil de régulation (en %)
Phase 2	26/06/2023	15/09/2023	6,5	85
Phase 3	16/09/2023	31/10/2023	5	94

- Concernant le seuil de température (10°C)

L'analyse menée au paragraphe de la page 28, a pu mettre en évidence que les chauves-souris ont été actives par des températures comprises entre 11°C et 33°C. Mais, la majeure partie de l'activité des chiroptères (95%) a été enregistrée par des températures supérieures à 17°C.

Le seuil de température est donc jugé conservateur (et donc optimisable) au regard des données d'activité recueillies en 2023.

➤ Analyse de l'activité relevée en conditions de bridage et hors conditions de bridage

Sur la base des données d'activité des chauves-souris relevées en nacelle d'éolienne E4 en 2023 et des paramètres de régulation, il est possible de détailler l'activité chiroptérologique relevée en dehors des conditions de bridage (à risque) et celle couverte par le bridage (protégée).

34 secondes d'activité cumulée ont été relevées en dehors des conditions de bridage sur les 244 secondes d'activité totale, représentant 14% de l'activité totale. Autrement dit, le bridage devait permettre de protéger 86% de l'activité chiroptérologique relevée en hauteur.

Finalement, l'analyse des paramètres de régulation pris un à un et celle de l'activité protégée par le pattern (tous paramètres de régulation confondus) démontrent que le dimensionnement de la régulation apparaît comme adapté et efficace pour réduire les impacts du parc de Champagne Berrichonne sur les chiroptères en 2023 (en tenant compte des variations interannuelles).

Figure 71 : Détail de l'activité cumulée relevée en dehors des conditions de bridage (à risque), lors des conditions de bridage (protégée), totale et pourcentage d'activité protégée, par groupe de vol (sur la base des données d'activité relevée en nacelle d'éolienne d'E4 en 2023)

Activité	Groupe de vol			
	Vol haut	Lisière	Lisière ou vol haut	Total général
Activité cumulée restante à risque	28,07	0,00	6,28	34,35
Activité cumulée protégée	153,04	20,06	36,84	209,93
Total	181,11	20,06	43,12	244,28
Pourcentage d'activité protégée	84,50	100,00	85,43	85,94

6.1.4 Vérification de l'implantation du pattern de régulation en machine E4

Pour vérifier la bonne implantation du bridage en machine et le déclenchement de l'arrêt des machines en conditions de bridage, l'activité relevée en conditions de bridage présentée précédemment (209,93 secondes) a été confrontée au fonctionnement de l'éolienne E4 via ses tours-rotors (nombre de tours/minutes des pales d'éolienne).

36 secondes d'activité cumulée ont été relevées lorsque les pales tournent ($RPM > 0$), représentant 17% de l'activité chiroptérologique totale relevée en conditions de régulation. **83% de l'activité chiroptérologique relevée en conditions de bridage a été relevée lorsque les pales étaient à l'arrêt.**

Cette analyse montre que le bridage a été mis en œuvre correctement en machine.

Figure 72 : Activité cumulée relevée en conditions de régulation, en fonction du tour-rotor d'E4 (sur la base des données d'activité relevée en nacelle d'E4 en 2023)

Activité	Groupe de vol			
	Vol haut	Lisière ou vol haut	Lisière	Total
Activité relevée lorsque les pales sont à l'arrêt	124,73	29,93	19,18	173,84
Activité relevée lorsque les pales tournent ($RPM > 0$ ou = 1)	28,30	6,90	0,87	36,07
Total	153,03	36,83	20,06	209,91
Pourcentage d'activité protégée	81,51	81,26	95,65	82,82

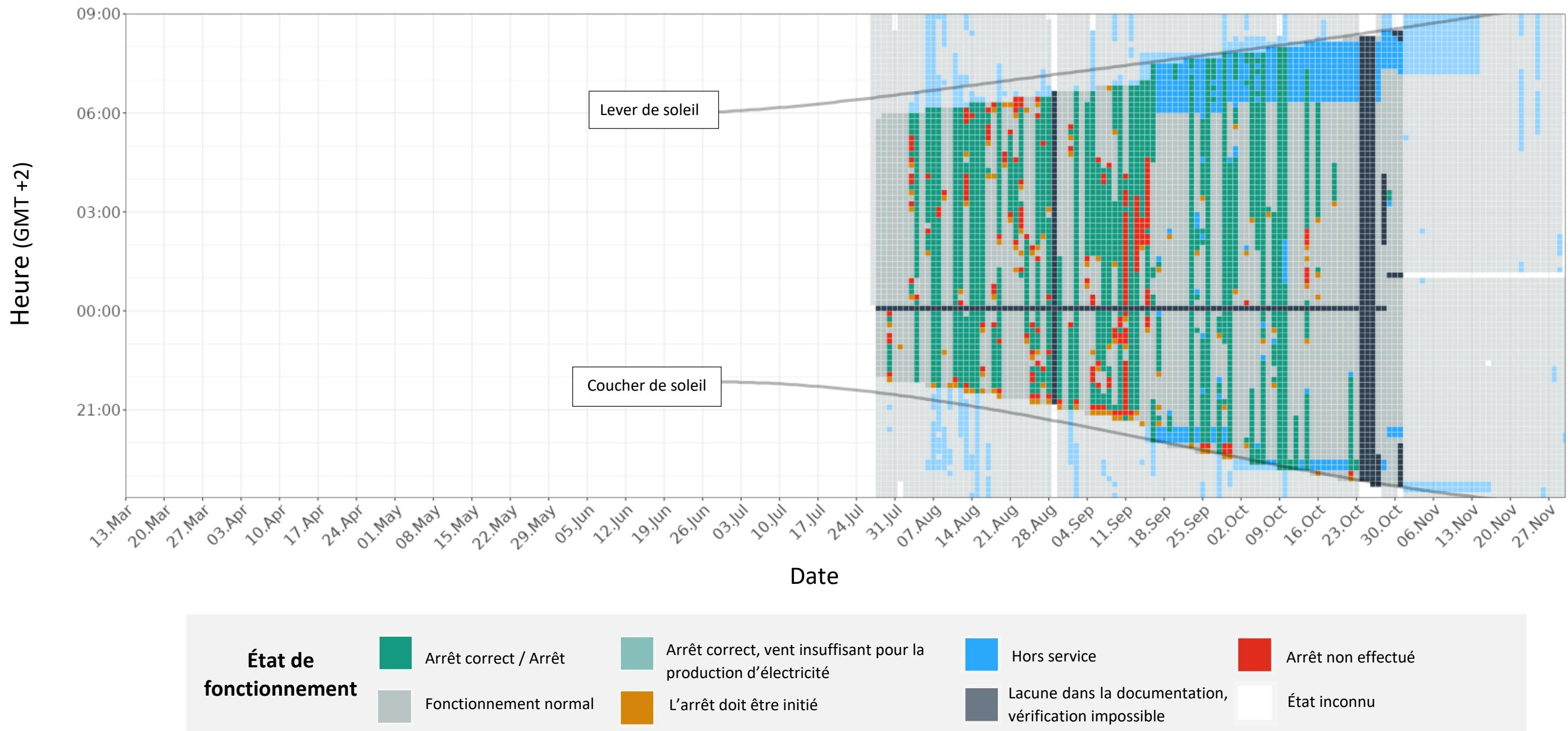
Il existe une application web capable de vérifier la bonne implantation d'une régulation sur une éolienne sur la base des données météorologiques (température, vitesse de vent et horaire de fonctionnement) et de fonctionnement de la machine (tour rotor). **Celle-ci ne prend pas en compte l'activité des chiroptères. Cette application a seulement vocation à calculer et représenter les moments où l'éolienne s'est bien arrêtée en condition de bridage et les moments où elle ne s'est pas arrêtée alors qu'elle aurait dû.**

Cette application se nomme Probat Inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>). Le résultat obtenu, disponible à la Figure 73, page 63 indique que dans **72,9 % du temps, le bridage demandé a fonctionné correctement** (carrés verts) ; que dans **7,3% des cas l'éolienne était en fonctionnement alors que les conditions de bridages étaient réunies** (carrées rouges) ; et que dans 4,1% des cas les conditions étaient réunies pour le lancement du bridage (ce type de cas est représenté par des carrés orange et doit être suivi de carrés verts logiquement qui démontre la bonne mise en place de la régulation). Enfin, les données manquantes (carrés gris foncé), ne permettant pas la vérification de la bonne régulation, représentent 15,6%.

Globalement, le bridage a donc été correctement implémenté en machine (excepté les nuits du 11 septembre et entre le 13 et le 15 septembre).

On notera qu'autour du 10 octobre 2023 (date de mortalité estimée de la Pipistrelle de Nathusius), le bridage a fonctionné correctement. La cause de cette mortalité n'est donc pas liée à un défaut d'opérationnalité du bridage en machine. Comme évoqué précédemment au chapitre 4.3.1 Bilan des mortalités brutes retrouvées page 41, l'individu devait être en migration et donc potentiellement moins dépendant des conditions météorologiques. Il a pu voler par des vents supérieurs à ceux retenus au seuil de régulation (vents moyens de 7,64 - 9,81 ms/ les nuits du 11 et du 12 octobre). **Cet évènement sera considéré comme accidentel (impact non significatif sur la Pipistrelle de Nathusius).**

Figure 73 : Chronologie nocturne du fonctionnement de la régulation, sur l'éolienne E4 (extrait du rapport issu de Probat inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>)



Graphique de vérification de l'arrêt de l'éolienne E4, en 2023.

Sur les 6 244 intervalles de 10 minutes au cours desquels l'éolienne a dû être éteinte, elle a été **correctement éteinte ou s'est arrêtée dans 72,9 % des cas.**

Dans **7,3 %** des cas, **l'arrêt n'a pas été exécuté.**

Dans **15,6 %** des intervalles de 10 minutes pendant la période d'arrêt, il n'a pas été possible de vérifier s'il y avait un arrêt obligatoire ou si le système fonctionnait en raison d'un **manque de documentation**.

6.2 Régulation nocturne des machines en faveur des passereaux migrants

Après la surmortalité d'oiseaux relevée en 2019, une régulation spécifique aux oiseaux en période de migration a été préconisée en 2020. Celle-ci, correspondant à un arrêt des machines en période de migration, est définie selon les conditions suivantes :

- Du 15 septembre au 15 novembre et,
- Du coucher du soleil à 30 minutes après le coucher du soleil et,
- De 2 heures avant le lever du soleil jusqu'au lever du soleil et,
- Pour toutes les éoliennes.

En 2020, la régulation n'était pas opérationnelle entre le 15 septembre et le 15 octobre. 2 cas de mortalité de passereaux migrants nocturnes ont été relevés sur cette même période. Entre le 15 octobre et le 15 novembre, aucun cas de mortalité n'a été relevé (efficacité présumée).

En 2021, la régulation visant à protéger les passereaux migrants n'a pas été implantée en machine, sur toute la période de régulation. Bien qu'aucune mortalité de passereaux migrants n'ait été constatée sur cette période, il semble difficile d'évaluer l'efficacité ou non de ce pattern.

En 2022, la régulation ciblée sur l'avifaune a été mise en place aux alentours du 5-7 octobre. Un cadavre de Roitelet à triple bandeau (migrateur nocturne) a été trouvé le 07 octobre, la mortalité a donc eu lieu lorsque la régulation était défectueuse. Le 2^{ème} cadavre de Roitelet à triple bandeau a été trouvé le 31 octobre, en période de fonctionnement de la régulation. Dans ces conditions, il est difficile de statuer sur l'efficacité de cette mesure de réduction des risques de mortalité sur l'avifaune migratrice.

En 2023, la Figure 73 permet de visualiser les périodes de bridage pour l'avifaune, en début de nuit et en fin de nuit (carrés bleus). **La régulation a été correctement mis en œuvre sur toute la période.** Un seul cas de mortalité de Rougegorge (migrateur nocturne) a été retrouvé sous les machines à la mi-octobre. En 2019, 6 cas de mortalité de cette espèce avaient été retrouvés durant une visite, fin octobre. **En ce sens, il est possible que le bridage ait permis de réduire les risques de mortalité sur cette espèce lors de ses déplacements migratoires. Une seule mortalité brute a été relevée au cours du suivi concentré sur la période accidentogène identifiée du parc. La mesure de régulation a très probablement permis de protéger d'autres passereaux migrants déjà impactés par le passé (Roitelet, Gobemouche, Hypolaïs ...).**

7 POURSUITE DES MESURES CORRECTIVES

Les **mesures de régulation** nocturne des machines en faveur des chiroptères et des passereaux migrants nocturnes ont été jugés **efficaces** pour réduire les impacts sur la faune volante. Pour ces 2 groupes faunistiques, l'impact quantitatif est faible. L'impact qualitatif est jugé non significatif.

7.1 Mesures concernant les chiroptères

Il s'agira de **reconduire la régulation nocturne des machines**, jusqu'à nouvel ordre. Le pattern de régulation, correspondant à un arrêt des machines, est défini selon les conditions suivantes :

- **Du 01^{er} mai au 25 juin (Phase 1) :**
 - Vitesse de **vent inférieure à 4 m/s** (à hauteur de moyeu) et,
 - Pour des **températures supérieures à 7°C** (à hauteur de moyeu) et,
 - Du **coucher du soleil au lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride) et,
 - Pour **toutes les éoliennes** du parc.

- **Du 26 juin au 15 septembre (Phase 2) :**
 - Vitesse de **vent inférieure à 6,5 m/s** (à hauteur de moyeu) et,
 - Pour des **températures supérieures à 10°C** (à hauteur de moyeu) et,
 - De **30 minutes après le coucher du soleil à 30 minutes avant le lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride) et,
 - Pour **toutes les éoliennes** du parc.

- **Du 16 septembre au 31 octobre (Phase 3) :**
 - Vitesse de **vent inférieure à 5 m/s** (à hauteur de moyeu) et,
 - Pour des **températures supérieures à 10°C** (à hauteur de moyeu) et,
 - Du **coucher du soleil au lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride) et,
 - Pour **toutes les éoliennes** du parc.

L'exploitant s'assurera avec le turbinier et via des outils internes de contrôle, que le pattern de régulation est correctement mis en œuvre pour l'ensemble des éoliennes du parc et sur toute la période de régulation. Il s'agira de contrôler très régulièrement l'opérationnalité du bridage, et d'intervenir rapidement si des dysfonctionnements sont identifiés.

7.2 Mesures concernant l'avifaune

La régulation spécifique aux passereaux migrants nocturnes, correspondant à un arrêt des machines, est définie selon les conditions suivantes :

- **Du 15 septembre au 15 novembre et,**
- **Du coucher du soleil à 30 minutes après le coucher du soleil et,**
- **De 2 heures avant le lever du soleil jusqu'au lever du soleil et,**
- **Pour toutes les éoliennes.**

L'exploitant s'assurera avec le turbinier et via des outils internes de contrôle, que le pattern de régulation est correctement mis en œuvre pour l'ensemble des éoliennes du parc et sur toute la période de régulation. Il s'agira de contrôler très régulièrement l'opérationnalité du bridage, et d'intervenir rapidement si des dysfonctionnements sont identifiés.

7.3 Mesures concernant les chiroptères et les oiseaux

7.3.1 Continuer à limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes

❖ Entretenir l'entourage immédiat et les abords des éoliennes

Il s'agira de réduire dans la mesure du possible l'attractivité des insectes dans l'entourage immédiat des éoliennes, afin d'éviter la création de nouvelles zones de chasse et donc des niches écologiques pour les chauves-souris et les oiseaux insectivores. Il s'agit donc de limiter la régénération de toute pelouse ou friche herbacée au droit des plateformes empierrées avec la mise en œuvre d'une gestion régulière de ces emprises en excluant l'utilisation de pesticides (via des coupes mécaniques). Il est donc important de veiller à ce que les zones de survol des pales ne deviennent pas enrichies.

❖ Veiller à ne pas entreposer des éléments attractifs dans l'entourage immédiat et les abords des éoliennes

Il s'agira également de ne pas entreposer de tas de fumier ou de tas de graines sous les éoliennes, qui pourraient attirer la faune insectivore (chauves-souris et oiseaux) et les oiseaux granivores à proximité des éoliennes.

❖ Veiller à ne pas favoriser la présence de la faune volante à proximité des machines lors des aménagements

Il s'agira de ne pas créer des fosses ou autres zones où l'eau stagne sous les éoliennes (pouvant attirer les insectivores), de limiter la création de talus enherbés sous les éoliennes, au niveau des chemins et des plateformes de levage (c'est-à-dire sous le champ de rotation des pales) et de favoriser des aménagements les plus artificialisés sous les éoliennes, avec des revêtements inertes (gravillons) ne favorisant pas la repousse d'un couvert végétal.

8 CONCLUSION

Un suivi environnemental (activité et mortalité) a été réalisé en 2023 sur le parc éolien de Champagne Berrichonne par le bureau d'études EXEN. Le suivi d'activité des chauves-souris s'est déroulé du 28 juillet au 09 novembre 2023 au niveau de la nacelle de l'éolienne E4. En parallèle, un suivi de la mortalité a été effectué au sol entre le 31 juillet et le 03 novembre 2023.

8.1 Suivi de l'activité des chiroptères en nacelle d'éolienne

En ce qui concerne l'activité des chiroptères, les points suivants ont été observés :

- Une proportion d'activité marquée par les espèces de haut vol majoritairement, mais aussi par les espèces de lisières en moindre mesure,
- Une activité très hétérogène, concentrée entre août et octobre, régulière pour les noctules et plus ponctuelle pour les pipistrelles,
- Une activité plus marquée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 7,5 m/s, par des températures supérieures à 17°C et au rythme nocturne principalement condensé en première partie de nuit et en milieu de nuit,

8.2 Suivi de la mortalité des chiroptères et des oiseaux

8.2.1 Concernant les chiroptères

A propos de la mortalité des chiroptères, les résultats les plus importants de ce suivi sont les suivants :

- 1 cas de mortalité découvert en octobre 2023 (1 Pipistrelle de Nathusius),
- Un niveau d'impact quantitatif qualifié de Faible,
- Un niveau d'impact qualitatif qualifié de Faible à modéré pour la Pipistrelle de Nathusius.

8.2.2 Concernant les oiseaux

En ce qui concerne le suivi de mortalité des oiseaux, nous pouvons retenir les points suivants :

- 1 cadavre d'oiseaux retrouvé en octobre 2023 (1 Rougegorge familier),
- Un niveau d'impact quantitatif qualifié de Faible,
- Un niveau d'impact qualitatif qualifié de Faible pour le Rougegorge familier.

8.3 Mesures correctives et perspectives

Les **mesures correctives** mises en place sur le parc de Champagne Berrichonne sont jugées **efficaces** concernant la régulation nocturne des machines en faveur des chiroptères et celle des passereaux migrateurs nocturnes.

Il est préconisé **de poursuivre la mise en place de ces mesures durant la période de fonctionnement du parc et de vérifier que celles-ci soient correctement mis en œuvre en machine.**

Il conviendra également de poursuivre les mesures de réduction déjà engagées comme limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes.

9 BIBLIOGRAPHIE

- **ADOMEIT U., WILLUTZKI F., BRINKMANN R., NIERMANN I., BEHR O.** (2009) : Caractérisation de l'activité des Chiroptères à proximité des éoliennes à l'aide d'enregistrements stéréoscopiques à infrarouge. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **ARNETT E.B., SCHIRMACHER M.R., HUSO M.M.P. & HAYES J.P.**, 2009. Patterns of bat fatality at the Casselman Wind Project in south-central Pennsylvania. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA, 60 p.
- **ADAMS A M., JANTZEN M K., HAMILTON RM., BROCKETT FENTON M.** (2012) – Do you hear what I hear ? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. Methods in Ecology and Evolution 2012, 3, 992-998.
- **ALBOUY S., DUBOIS Y. & PICQ H.** (1997-2001) Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude). ABIES, LPO Aude, ADEME, 59 p. + annexes.
- **ANDRE Y. (2005)** – Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. (avril 2005 en cours de validation MEDD) – LPO, 21 p.
- **ARTHUR L., LEMAIRE M.** (2009) – Les chauves-souris de France, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénope) ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 544 p.
- **BAERWALD E.F., D'AMOURS G.H., KLUG B.J., BARCLAY R.** (2008) - Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. University of Calgary, Calgary
- **BARCLAY, R.M.R., BAERWALD, E.F., AND GRUVER, J.C.** (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. Can. J. Zool. 85, 381–387.
- **BEHR, O., NIERMANN, I., MAGES, J., BRINKMANN, R.** (2009): Fachtagung Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen: 06.09.2009; Hannover
- **BERGEN F.** (2001), Untersuchungen zum Einfluss der Errichtung und des Betriebs von Windenergieanlagen auf Vogel im Binnenland. 283 p.
- **BEUCHER Y.** (2007), Suivi évaluation de l'impact sur les oiseaux du parc éolien de Ségur (12). Campagne 2007, première année d'exploitation. 66p.
- **BEUCHER Y., KELM V., GEYELIN M. PICK D.** (2010) - Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12) ; suivi évaluation post-implantation de l'impact sur les chauves-souris. Bilan de campagne de la première et de la deuxième année d'exploitation (2009 2010).
- **BEUCHER Y., ALBESPY F., MOUGNOT J. (2012)** - Projet éolien de Gelles et Heume l'Eglise (63) Focus sur la Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780). Prospections complémentaires visant la localisation de gîtes et la précision des enjeux. 62 p.
- **BOUZIN M., WALEAU A. (2017)** Parcs éoliens de Murat, de la Salesse et du Haut Languedoc – Bilan du suivi de la mortalité – Années 2015 & 2016. 80 p.
- **BOUZIN M. (2015)** Parc éolien de Fraïsse-sur-Agout (34) – SAS Parc éolien de Fontfroide et SAS Parc éolien de Roc de l'Ayre. Bilan du suivi de la mortalité. Année 2015. 40 p.
- **BUREAU DE COORDINATION ENERGIE EOLIENNE** (2009) – Méthodes pour l'analyse et la réduction du risque de collision de chiroptères avec des installations éoliennes terrestres. Synthèse de congrès chauves-souris. Hanovre, 9 juin 2009. 5 p.
- **CORNUT J. VINCENT S.** (2010) – Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du Sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme. 39 p.
- **COSSON, M., DULAC, P.** (2004) : Suivi Évaluation de l'impact du parc Éolien de Bouin, 2003 : Comparaison État initial et fonctionnement des Éoliennes. A.D.E.M.E. Pays de la Loire, Région Pays de la Loire, L.P.O., Rochefort, 91 p.
- **Dachverband der deutschen Natur- und Umweltschutzverbände (DNR)** (2005). Pour une exploitation de l'énergie éolienne respectueuse de la nature et de l'environnement en Allemagne (onshore). Traduction du Bureau de coordination énergie éolienne/ Koordinierungsstelle Windenergie e.V.166 p.
- **De LUCAS M., JANSS G.F.E., FERRER M.**(2007) – Birds and wind farms, Risk assessment and mitigation. Quercus publishing compagny. 275p.
- **DEJEAN S.** (2007) – Clé de détermination des chauves-souris de Midi-Pyrénées – En main-Cren/Gcmp DS. 16 p.
- **DIETZ C., VON HELVERSEN O.** (2004) – Clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe. Version 1. Tuebingen & Erlangen (Allemagne). Traduction JC Louis. 56 p.
- **DUBOURG-SAVAGE M-J.,** (2005) : Impact des éoliennes sur les Chiroptères, de l'hypothèse à la réalité, Arvicola XVI n°2, SFEPM.
- **DUBOURG-SAVAGE M-J, BACH ET AL.** (2005): Report of the Intersessional Working Group on Wind Turbines and Bat Populations. Eurobats10th Meeting of the Advisory CommitteeBratislava, Slovak Republic, 25 – 27 April 2005
- **DULAC, P.** (2008) : Évaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon - Nantes, 106 pages.
- **DURR Tobias** (2016) Synthèse de bilan de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Allemagne et d'Europe, bilan de décembre 2016.
- **EXO, K.-M., O. HÜPPPOP et S. GARTHE.** 2003. « Birds and offshore wind farms: a hot topic in marine ecology », Wader Study Group Bull. 100:50-53
- **GEROUDET P. & CUISIN M.** (2000)- Les rapaces d'Europe diurnes et nocturnes. Editions Delachaux et Niestlé. 446p.
- **GENSBOL B.** (2004) – Guide des rapaces diurnes, Europe, Afrique du Nord et Moyen Orient – Coll° Les guides du naturaliste – Ed° Delachaux et Niestlé. Paris. 403 p.
- **GISCLAR D., WALEAU A.** (2018) Evaluation de l'impact du parc éolien de Bois de Merdelou sur l'Avifaune et les Chiroptères. 2018 – Année 1 39 p.
- **Groupe Chiroptères de la SFEPM**, 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, 17 pages
- **HORN, J., ARNETT, E.,KUNZ, T.: (2008)** : Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. Journal of Wildlife Management 72(1):123-132. 2008
- **HÖTKER H.** (2006). NABU. The impact of repowering of wind farms on birds and bats. 38p.
- **HÖTKER H., THOMSEN K-M, JEROMIN H.** (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : the example of birds and bats. NABU Michael-Otto-Institut. 65 p.

- **HUSO M.**, 2010. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. Environmetrics. 19 p.
- **KINGSLEY et WHITTAM** (2007) – Les éoliennes et les oiseaux : Revue de la documentation pour les évaluations environnementales. 93p.
- **KORN M., STÜBING S.** (2003) - Regionalplan Oberpfalz-Nord – Ausschlusskriterien für Windenergieanlagen im Vorkommensgebiet gefährdeter Großvogelarten. Stellungnahme des Büros für faunistische Fachfragen. 56p.
- **KORNER-NIEVERGELT F., KORNER-NIEVERGELT P., BEHR O., NIERMANN I., ROBERT BRINKMANN R. & HELLRIEGEL B.**, 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. Wildlife Biology. 17 : 350-363.
- **KINGSLEY A., WHITTAM B.** (2007), - Les éoliennes et les oiseaux, revue de la littérature pour les évaluations environnementales. Version provisoire du 2 avril 2007. Etudes d'Oiseaux Canada pour Environnement Canada/ Service Canadien de la Faune. 93 p.
- **Kunz, T., Arnett, E.B, Wallace P, Erickson, W.P., Hoar, A.R., Johnson G.D., Larkin, R.P., Strickland, Thresher, R.W., Tuttle, M.D.** (2007): Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. Front Ecol Environ 2007; 5(6): 315–324.
- **LEKUONA, J.** (2001) : Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. Informe Técnico. Dirección General de Medio Ambiente. Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. Gobierno de Navarra.
- **MADDERS M. & WHITFIELD D.P** (2006) – Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. Art. 148 43-56 of Ibis, British Ornithologists' Union. 14 p.
- **MARMET J.** (2014) Cahier technique d'identification des chiroptères (2014)
- **MAUREL C., TALHOET S.** (2018) Parc éolien de Bois de Merdelou. Suivi des mouvements de vautours et de l'Aigle royal. Avril-décembre 2017. 30 p.
- **MEEDDAT** (2010) - Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. Actualisation 2010. 188p + annexes techniques.
- **MULLARNEY K., SVENSSON L., ZETTERSTRÖM D., GRANT P. J** (2004) - Le guide ornitho — Delachaux et Niestlé – Paris - 398 p.
- **NEOMYS, CPEPESC-Lorraine et COL** (2012) – Définition et cartographie des enjeux avifaunistiques et chiroptérologiques vis-à-vis des éoliennes en Lorraine. 70p.
- **Niermann, I., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F. & Behr, O.** 2011. Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. - In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Eds.); Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany, Umwelt und Raum. 4 : 40-115.
- **NIERMANN I., BRINKMANN R., BEHR O., KORNER-NIEVERGELT F., MAGES J.** (2009) : Recherche systématique de cadavres –conditions méthodologiques, méthodes d'analyses statistique et résultats. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **ROCAMORA G., YEATMAN-BERTHELOT D.** (1999) - Oiseaux menacés et à surveiller en France. Liste rouge et priorités. Société d'Etudes ornithologiques de France / Ligue pour la protection des oiseaux. Paris. 560p.
- **SANE F. CHRISTOPHE F., MERLY S. (ALEPE)** (2012) - Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : bilan des 3 années de suivi (2008-2009-2010). 110 p.
- **THIOLLAY JM., BRETAGNOLLE V.** (2004) – Rapaces nicheurs de France ; distribution, effectifs, conservation. - Coll° Les guides du naturaliste - Ed° Delachaux et Niestlé. Paris. 175 p.
- **ULDRY V. (2013)** – Comparaison entre deux détecteurs d'ultrasons automatiques (Batcorder et Batlogger) dans le domaine de l'éolien. 36 p.
- **WALEAU A.** (2018) Evaluation de l'impact du parc éolien de Puech del Vert sur l'Avifaune et les chiroptères. 2018-année 1. 40 p.
- **WHITFIELD D.P. & MADDERS M.** (2006) – A review of the impacts of wind farms on hen harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. Natural research information note 1 (revised). Aberdeen. 32 p.
- **WHITFIELD D.P. & MADDERS M.** (2005) – Flight height in the hen harrier *Circus cyaneus* and its incorporation in wind turbine collision risk modelling. Natural research information note 2. Aberdeen. 13 p.

10 ANNEXES

10.1 Annexe 1 : Modalité de détermination des espèces

Pour préciser les modalités de détermination des espèces, et les suppositions qui ont été faites pour les espèces non discriminantes, nous distinguons :

- **Le groupe des "Pipistrelles"**, qui comprend 4 espèces appartenant à ce genre (Pipistrelle de Kuhl, Pipistrelle de Nathusius, Pipistrelle commune et Pipistrelle pygmée) mais aussi à deux autres espèces (Minioptère de Schreibers et Vespère de savi) qui peuvent s'apparenter à ces 4 espèces du point de vue acoustique. L'analyse des séquences ne permet pas toujours d'aller jusqu'au niveau de l'espèce. De ce fait, plusieurs sous-groupes peuvent être créés par l'analyse semi-automatique des logiciels du Batcorder :
 - Le groupe des « **Ptief** », qui représente des signaux en Fréquence Modulée Aplanie ou en Quasi-Fréquence Constante dont la fréquence de maximum d'énergie pourrait correspondre avec la Pipistrelle de Kuhl et le Vespère de Savi.
 - Le groupe des « **Pmid** », qui représente des signaux en Fréquence Modulée Aplanie ou en Quasi-Fréquence Constante dont la fréquence de maximum d'énergie pourrait correspondre avec la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle de Nathusius.
 - Le groupe des « **Pnat/Ppip** » correspond à des signaux en recouvrement entre la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune.
 - Le groupe des « **Phoch** », qui représente des données présentant un recouvrement des signaux de Pipistrelle commune, de Minioptère de Schreibers et de Pipistrelle pygmée.
- **Le groupe des Sérotules** (espèces de grande taille, familles des sérotines, molosses et des noctules). Il s'agit ici d'un groupe d'espèces dont les signaux sont également souvent en recouvrement. Plusieurs groupes peuvent apparaître :
 - Le groupe des « **Nyctaloïd** » comprend le plus grand nombre d'espèces, et pour lequel l'analyse ne permet pas de distinguer les noctules des sérotines. Il s'agit de séquence en Fréquence Modulé Aplanie dont le recouvrement est important avec un nombre d'espèce important (Sérotine commune, Noctule de Leisler, Noctule commune, Sérotine bicolore...)
 - Le groupe des « **Nycmi** » qui représente des signaux en Fréquence Modulée Aplanie ou en Quasi-Fréquence Constante dont la fréquence de maximum d'énergie pourrait correspondre avec la Sérotine commune, la Sérotine bicolore ou la Noctule de Leisler.
- Le groupe des « **Vmur/NLei** » correspond à des signaux en Quasi-Fréquence Constante dont on ne peut déceler d'alternance de fréquence ou de structure et qui sont donc en recouvrement entre la Noctule de Leisler et la Sérotine bicolore.
- Le groupe des « **NLei/Nnoc** » représente un recouvrement entre la Noctule de Leisler et la Noctule commune, notamment avec des signaux en Quasi-Fréquence Constante.
- Le groupe des « **Nyctief** » correspond à des signaux basse fréquence dont la détermination entre le Molosse de Cestoni et la Grande noctule n'est pas possible.
- **Les Murins**, il s'agit ici de séquences en fréquence modulée abrupte qui caractérisent ce groupe d'espèces. La détermination de ces espèces s'avère très difficile. Leur comportement de vol bas (espèces souvent forestières « glaneuses ») ne justifie pas, vis à vis d'un projet éolien, de toujours tenter de les identifier jusqu'au niveau de l'espèce (au moins pour les signaux pouvant poser problème).
- **Les Oreillards**, tout comme les murins, émettent des séquences en fréquence modulée abrupte, ce qui rend la détermination difficile. Seules trois espèces d'oreillards sont présentes en France et seuls l'Oreillard roux et l'Oreillard gris sont potentiellement présents au niveau du site et partiellement distinguables entre eux acoustiquement (selon les conditions).
- **La Barbastelle d'Europe**, qui possède une signature acoustique assez différente des autres espèces est plus facilement identifiable.
- **Les Rhinolophes**, avec 3 espèces potentiellement présente sont plus ou moins facilement déterminable (Grand rhinolophe, Petit rhinolophe et Rhinolophe euryale). Ce groupe d'espèce possède aussi une signature propre avec des signaux en fréquence constante.
 - Le Grand rhinolophe est facilement déterminable avec des fréquences sans recouvrement avec d'autres espèces.
 - Le groupe des « **Rhoch** » regroupe des signaux dont la fréquence ne peut permettre de déterminer précisément l'espèce entre le Rhinolophe euryale et le Petit rhinolophe.

10.2 Annexe 2 : Abréviations et espèces

Abréviation	Espèce	Nom latin	Type acoustique	Comportement de vol
Bbar	Barbastelle d'Europe	<i>Barbastella barbastellus</i>	Myotis	Vol bas
Enil	Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Sérotule	Lisière
Eser	Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Sérotule	Lisière
Hsav	Vespère de Savi	<i>Hypsugo savii</i>	Vespère de Savi	Vol haut
Leis.Noct	Noctule de Leisler / Noctule commune	<i>Nyctalus leisleri / Nyctalus noctula</i>	Sérotule	Vol haut
Mdau	Murin de Daubenton	<i>Myotis daubentonii</i>	Myotis	Vol bas
Misch	Minioptère de Schreibers	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Minioptère de Schreibers	Vol haut en migration/transit
Mnat	Murin de Natterer	<i>Myotis nattereri</i>	Myotis	Vol bas
MSch/Ppyg	Minioptère de Schreibers / Pispidstrele pygmée	<i>Miniopterus schreibersii / Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle	Lisière ou vol haut en migration/transit
Myotis	Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	Myotis	Vol bas
Nlas	Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Sérotule	Vol haut
Nlei	Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Sérotule	Vol haut
Nlei/Nnoc	Noctule commune / Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri / Nyctalus noctula</i>	Sérotule	Vol haut
Nnoc	Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Sérotule	Vol haut
Nsp	Noctule sp.	<i>Nyctalus sp.</i>	Sérotule	Vol haut
Nycmi	Noctule de Leisler / Sérotine commune / Sérotine bicolore	<i>Vesperilio murinus</i>	Sérotule	Lisière ou vol haut
Nyctaloid	Sérotule	<i>Nyctalus sp. / Eptesicus sp. / Vesperilio murinus</i>	Sérotule	Lisière ou vol haut
Nyctief	Noctule commune / Grande noctule	<i>Nyctalus noctula / Nyctalus lasiopterus</i>	Sérotule	Vol haut
Phoch	Pipistrelle commune / Minioptère de Schreibers / Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pipistrellus / Miniopterus schreibersii / Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle	Lisière ou vol haut en migration/transit
Pipistrelloid	Pipistrelle sp.	<i>Pipistrellus sp.</i>	Pipistrelle	Indéterminé
Pkuh	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle	Lisière
Plecotus	Oreillard sp.	<i>Plecotus sp.</i>	Oreillard	Lisière
Pmid	Pipistrelle Nathusius / Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus nathusii / Pipistrellus kuhlii</i>	Pipistrelle	Lisière ou vol haut en migration/transit
Pnat	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pipistrelle	Vol haut en migration/transit
Pnat/Ppip	Pipistrelle de Nathusius / Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus nathusii / Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle	Lisière ou vol haut en migration/transit
Ppip	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Pipistrelle	Lisière
Ppyg	Pipistrelle pygmée	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	Pipistrelle	Lisière
Ptief	Pipistrelle de Kuhl / Vespère de Savi	<i>Pipistrellus kuhlii / Hypsugo savii</i>	Pipistrelle	Lisière ou vol haut
Reur	Rhinolophe euryale	<i>Rhinolophus euryale</i>	Rhinolophe	Vol bas
Rfer	Grand Rhinolophe	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Rhinolophe	Vol bas
Rhinolophus	Rhinolophe sp.	<i>Rhinolophus sp.</i>	Rhinolophe	Vol bas
Rhip	Petit Rhinolophe	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Rhinolophe	Vol bas
Rhoch	Petit Rhinolophe / Rhinolophe Euryale	<i>Rhinolophus hipposideros / Rhinolophus euryale</i>	Rhinolophe	Vol bas
Spec.	Chiroptère sp.	<i>chiroptera sp.</i>	—	—
Tten	Molosse de Cestoni	<i>Tadarida teniotis</i>	Sérotule	Vol haut
Vmur/Nlei	Sérotine bicolore / Noctule de Leisler	<i>Vesperilio murinus / Nyctalus leisleri</i>	Sérotule	Vol haut
Vmur/Nyc	Sérotine bicolore / Noctule de Leisler / Noctule commune	<i>Vesperilio murinus / Nyctalus leisleri / Nyctalus noctula</i>	Sérotule	Vol haut

10.3 Annexe 3 : Fiche de relevé de terrain

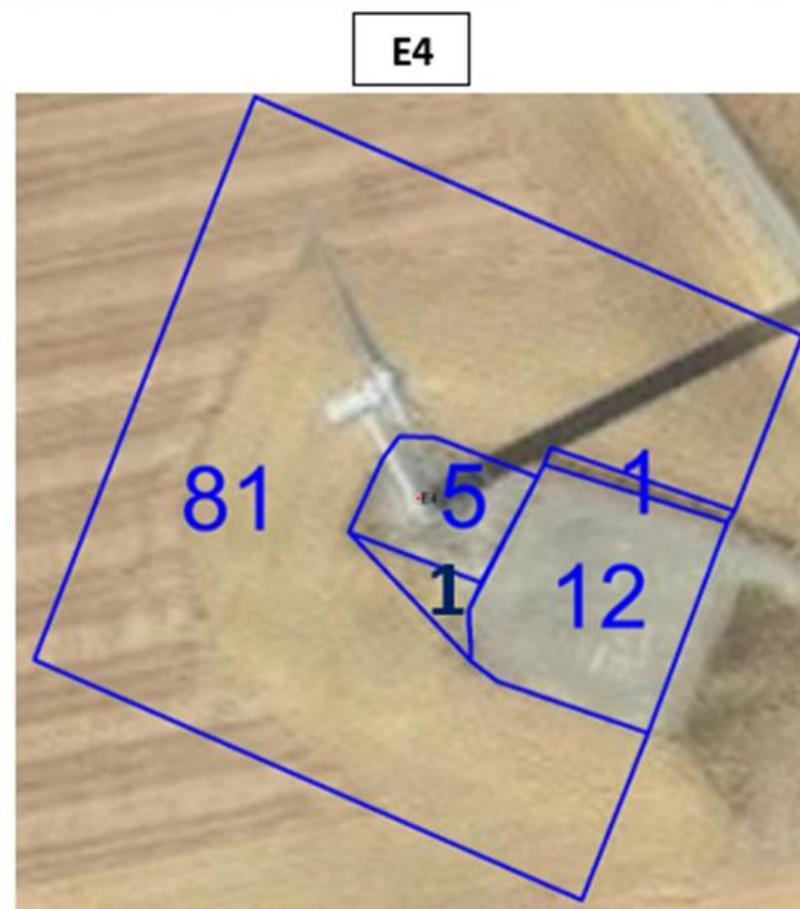
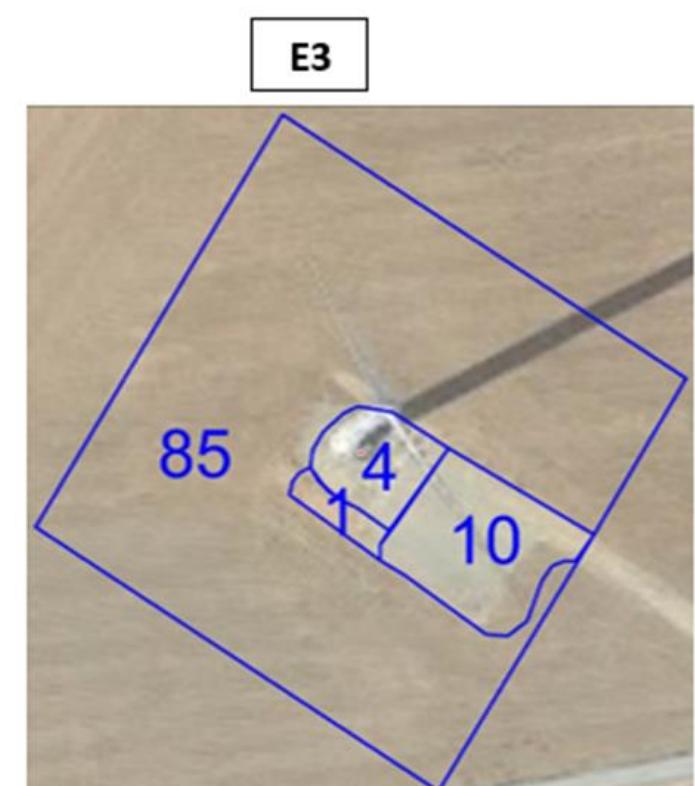
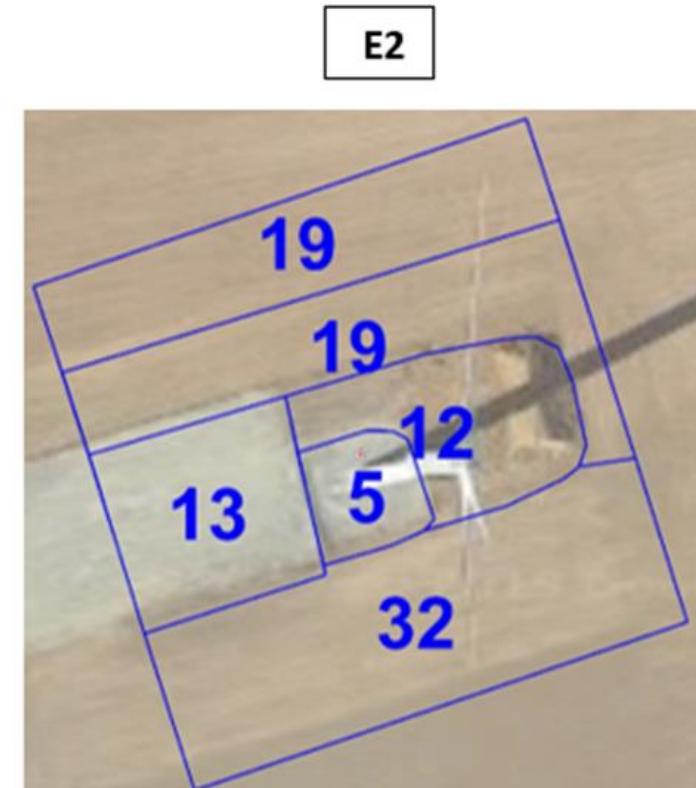


FICHE DE TERRAIN MORTALITE

(Mail d'entrée et de sortie à envoyer)

Suivi mortalité du parc éolien de CHAMPAGNE BERRICHONNE (2023)

Chercheur :		Heure début suivi :		Heure d'embauche :		Temps de pause :		
Date :		Heure fin suivi :		Heure de débauche :		Orages depuis dernière visites ?		
CONTEXTE	Durée de prospection	Surface prospectée (%)	Type 1 (%) Gravier	Type 2 (%) <30cm	Type 3 (%) >30cm	Type 4 (%) Non prospectable	Assolement : culture, prairie, lande ...	Rq par éolienne (traces prédat, maintenance...)
	E1							
	E2							
	E3							
	E4							
	E5							
DECOUVERTES IN PROTOCOLE	Oiseau ou Chauve-souris (OIS ou CS)							
	Numéro éolienne							
	Distance au mât							
	Direction au mât							
	Coordonnées X, Y (Lambert 93)	X :						
	Y :							
	Type dans lequel le cadavre a été trouvé (type 1, type 2...)							
	Etat (vivant, frais, avancé, sec)							
	Mort depuis (nb j)							
	Blessure (non/oui et quoi)							
	Insectes dans la bouche ?							
	Espèce (ou genre...)							
	Taille Avant bras (mm)							
	Age (ad, jeune)							
	Sexe (male, fem) ?							
Si fem allaitante? (mamelles pelées)								
Si fem, gestante ?								



10.4 Annexe 4 : Données brutes des relevés de mortalité EXEN



▪ Chauves-souris

Date	Découvreur	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Oiseau (OIS) ou Chauve-souris (CS)	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol	Sexe	Age	Mesure de l'avant-bras (mm)
13/10/2023	CC	cadavre	E3	50	SE	CS	10/10/2023	pas de blessure	Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Vol haut en migration/transit	Mâle		34

▪ Oiseaux

Date	Découvreur	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Oiseau (OIS) ou Chauve-souris (CS)	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol
16/10/2023	CC	cadavre	E2	40	O	OIS	15/10/2023	pas de blessure	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Passereau

10.5 Annexe 5 : Comparaison de l'activité des chiroptères entre 2022 et 2023

