

Parc éolien de la Chaussée de César Sud et Nord

Suivi environnemental post-implantation 2020 ciblé sur les chauves-souris et les oiseaux

Suivi de l'activité des chauves-souris en nacelle

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux



SARL EXEN
RD64, route de Buzéins, 12310 VIMENET
Tél : 05 81 63 05 99
ybeucher@exen.pro

Parc éolien de la Chaussée de César Sud et Nord

Suivi environnemental post-implantation 2020 ciblé sur les chauves-souris et les oiseaux

Suivi de l'activité des chauves-souris en nacelle

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux

- **Recherches de mortalité sur site** : R. Dellaleau, S. Dervaux, D. Cornet, C. Metge, J. Mougnot, T. Mouysset, V. Perrot, C. Respaud, C. Siccardi,
- **Organisation, méthodes, recueil et analyses des données** : F. Albespy, Y. Beucher, A. Langlois,
- **Rédaction, relecture** : A. Langlois, X. Nardou.

Mars 2021

SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS	4
1 OBJET	6
2 CONTEXTE	7
3 SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHAUVES-SOURIS EN HAUTEUR	12
3.1 METHODOLOGIE	12
3.1.1 <i>Suivi automatisé en continu (passif) : généralités et organisation</i>	12
3.1.2 <i>Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E3 de la Chaussée de César Sud</i>	12
3.2 LIMITES DE LA METHODOLOGIE	14
3.2.1 <i>Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle)</i>	14
3.2.2 <i>Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces</i>	14
3.2.3 <i>Une détection divergente selon les espèces</i>	15
3.2.4 <i>Autres limites de détection acoustique</i>	16
3.3 RESULTATS DU SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES	18
3.3.1 <i>Cortège d'espèces</i>	18
3.3.2 <i>Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle E3</i>	19
3.3.3 <i>Influence de la vitesse du vent</i>	21
3.3.4 <i>Influence de la direction du vent</i>	22
3.3.5 <i>Influence de la température</i>	22
3.3.7 <i>Influence du rythme d'activité nocturne</i>	23
3.3.8 <i>Influence de la saisonnalité</i>	24
3.3.9 <i>Synthèse des résultats</i>	24
4 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX	25

4.1 OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE.....	25
4.2 METHODOLOGIE	25
4.2.1 <i>Choix d'une méthode standardisée</i>	25
4.2.2 <i>Choix des périodes de suivis et fréquence des visites</i>	25
4.2.3 <i>Choix des éoliennes suivies</i>	27
4.2.4 <i>Organisation des parcours de prospection</i>	27
4.2.5 <i>Recueil des données et destination des cadavres</i>	32
4.2.6 <i>Détermination des coefficients correcteurs</i>	32
4.3 BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS.....	36
4.3.1 <i>Bilan des mortalités par éolienne</i>	36
4.3.2 <i>Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris</i>	36
4.3.3 <i>Typologie des cadavres découverts</i>	39
4.3.4 <i>Dispersion des cadavres sous les éoliennes</i>	41
4.3.5 <i>Taux de mortalité des chauves-souris</i>	42
4.4 BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX	51
4.4.1 <i>Bilan des mortalités par éolienne</i>	51
4.4.2 <i>Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux</i>	51
4.4.3 <i>Typologie des cadavres découverts</i>	53
4.4.4 <i>Dispersion des cadavres sous les éoliennes</i>	55
4.4.5 <i>Taux de mortalité des oiseaux</i>	56
5 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE CHAUSSEE CESAR SUD ET NORD	62
5.1 IMPACTS SUR LES CHIROPTERES.....	62
5.1.1 <i>Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens</i>	62
5.1.2 <i>Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères</i>	63
5.2 IMPACTS SUR L'AVIFAUNE.....	65

5.2.1	Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens.....	65
5.2.2	Analyse qualitative des impacts sur l'avifaune	65
6	EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA MESURE DE REGULATION.....	66
6.1	RAPPEL DE LA MESURE DE REGULATION RETENUE SUR LES PARCS EOLIENS DE LA CHUSSEE DE CESAR NORD ET SUD 66	
6.2	INFLUENCE DE LA REGULATION SUR LA MORTALITE DES CHIROPTERES	66
6.3	INFLUENCE DE LA REGULATION SUR LA MORTALITE DE L'AVIFAUNE.....	67
6.4	RECONDUITE DES MESURES DE REGULATION PRECONISEES	67
7	CONCLUSION	68
7.1	SUIVI DE MORTALITE DES CHIROPTERES	68
7.2	SUIVI DE MORTALITE DES OISEAUX.....	68
7.3	NIVEAU D'IMPACT DES PARCS EOLIENS DE LA CHUSSEE DE CESAR NORD ET SUD SUR LES CHIROPTERES ET SUR LES OISEAUX.....	68
7.4	EFFICACITE DES MESURES DE REGULATION ET PERSPECTIVES	68
8	BIBLIOGRAPHIE	69
9	ANNEXES	71
	ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES DE MORTALITE DECOUVERTES EN 2020.....	71
	ANNEXE 2 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN	72

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation des parcs éoliens à échelle rapprochée sur fond de photographie aérienne	8	Figure 16 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur au niveau de l'éolienne E3 en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité	22
Figure 2 : Carte de localisation des parcs éoliens à échelle rapprochée sur fond de carte IGN.....	10	Figure 17 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E3 (en 2020).....	23
Figure 3 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes.....	13	Figure 18 : Décomposition de l'activité moyenne (en seconde d'activité par nuit) des chauves-souris au niveau de l'éolienne E3 en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil.....	23
Figure 4 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)	13	Figure 19 : Activité journalière moyenne (en seconde d'activité cumulée) relevée selon les espèces contactées et par demi-mois, corrigé selon le nombre de jours d'enregistrement.....	24
Figure 5 : Synthèse de la plage de fonctionnement du module en continu en éolienne E3, et nombre d'enregistrements.....	14	Figure 20 : Calendrier des visites réalisées en 2020 sous les éoliennes du parc de la Chaussée de César Nord et Sud	26
Figure 6 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie > 30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »).....	15	Figure 21 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique	27
Figure 7 : 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)	15	Figure 22 : Cartes de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes.....	28
Figure 8 : Analyse comparative des capacités de détection des principaux enregistreurs à ultrasons, selon la distance, l'angle d'émission et les différentes plages de fréquences ultrasonores (Adams & al. 2012).....	16	Figure 23 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris	32
Figure 9 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu.....	18	Figure 24 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection	33
Figure 10 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevées au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E3 (en haut détail par espèce, en bas par groupe de vol).....	19	Figure 25 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées	33
Figure 11 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience EXEN).....	19	Figure 26 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2020 et par éolienne	36
Figure 12 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce relevée en nacelle d'éolienne E3.....	20	Figure 27 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii) par un couple de Nécrophore chasseur (Thanatophilus sinuatus), sous un autre parc	37
Figure 13 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par groupe d'espèces relevé en nacelle d'éolienne E3.....	20	Figure 28 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020	38
Figure 14 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E3 (sur la base des données relevées en 2020 en nacelle d'éolienne).....	21	Figure 29 : Chronologie des mortalités de chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2020 et en fonction des éoliennes suivies.....	39
Figure 15 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E3.....	22	Figure 30 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation de l'espèce de chauves-souris retrouvée sous les éoliennes des parcs de Chaussée César en 2020	39
		Figure 31 : Cliché de la Noctule de Leisler découverte le 02 Septembre 2020 sous l'éolienne 2 de Chaussée César Nord	40
		Figure 32 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne.....	41

Figure 33 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres de chauves-souris découverts sous les éoliennes)	42	Figure 52 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres d'oiseaux découverts sous les éoliennes).....	56
Figure 34 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d.....	45	Figure 53 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d.....	57
Figure 35 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance (en orange le nombre de cadavres restant estimé)	45	Figure 54 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance	57
Figure 36 : Tableau de calcul de l'intervalle moyen entre deux visites	46	Figure 55 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après 1 jours.....	58
Figure 37 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après 1 jours.....	46	Figure 56 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul.....	59
Figure 38 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul.....	48	Figure 57 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)	60
Figure 39 : Résultats des calculs de taux de mortalité des chauves-souris pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)	49	Figure 58 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul	60
Figure 40 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul.....	49	Figure 59 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....	60
Figure 41 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)	49	Figure 60 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »	61
Figure 42 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »	50	Figure 61 : Sortie de l'application Shiny EolApp (IC : Intervalle de confiance)	61
Figure 43 : Sortie de l'application Shiny EolApp (IC : Intervalle de confiance)	50	Figure 62 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)	62
Figure 44 : Bilan des mortalités des oiseaux constatées en 2020 et par éolienne	51	Figure 63 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE)	63
Figure 45 : Chronologie des mortalités des oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020	52	Figure 89 : Niveau d'intensité des risques de mortalité	64
Figure 46 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2020	53	Figure 90 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010)	64
Figure 47 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes	53	Figure 91 : Évaluation des impacts des parcs éoliens de la Chaussée de César sur les chauves-souris	64
Figure 48 : Graphique de la relation espèce-éolienne sur le site de Chaussée César Nord et Sud.....	54		
Figure 49 : Dates estimées de mortalité par espèces d'oiseaux sur le parc éolien de Chaussée César Nord et Sud.....	54		
Figure 50 : Cliché du reste de cadavre d'Etourneau sansonnet retrouvé le 21 octobre 2020.....	55		
Figure 51 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne	55		

1 OBJET

Les parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et de la Chaussée de César Sud sont situés sur la commune de Civray, dans le département du Cher (18). Ces deux parcs de 4 éoliennes chacun sont administrativement distincts et exploités par deux sociétés distinctes, mais implantés en une seule et même ligne de 8 machines (éoliennes Nordex N100/2500). Le parc de Chaussée César Sud est exploité par l'opérateur VSB Energies Nouvelles et le parc de Chaussée César Nord par les opérateurs Terre et Lac.

Le parc éolien de Chaussée César Sud a été mis en service en juillet 2013. Pour apprécier objectivement les niveaux d'atteintes du parc éolien sur la biodiversité, le bureau d'étude EXEN a été missionné en 2018 pour réaliser un suivi naturaliste multithématique, notamment destiné à estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères au niveau des éoliennes du parc, les oiseaux et les chauves-souris étant les deux principaux groupes d'espèces animales les plus sensibles aux effets des parcs éoliens. Ce suivi s'inscrivait dans la réglementation ICPE mise en place depuis 2011, imposant ce type de 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.

Ce suivi a alors révélé des niveaux d'impacts faibles à modérés pour les oiseaux et les chiroptères par rapport à d'autres parcs éoliens en France et en Europe. Pour ce qui est des oiseaux, aucun cas de mortalité d'espèce patrimoniale n'a été relevée, le parc éolien semblant impacter majoritairement des passereaux migrateurs. Quant au suivi de mortalité et d'activité des chiroptères, il a permis de mettre en évidence des périodes d'activité potentiellement à risque et deux espèces de chauves-souris ont été impactées en 2018 : la Noctule commune et la Pipistrelle commune.

Le suivi environnemental du parc éolien CHAUSSEE DE CESAR NORD a été réalisé en 2016 par le bureau d'études ECOSPHERE. Le rapport de suivi met en évidence **deux cas de mortalité** de Pipistrelle commune au niveau des éoliennes n°2 et n°3 en août, période connue pour être la plus sensible pour les espèces.

A la suite de ce suivi, plusieurs mesures ont ainsi été préconisées, notamment des mesures de régulation de l'activité des éoliennes en vue de la réduction de l'impact du parc sur les chiroptères. L'arrêté préfectoral du 30 Avril 2020 émis par la préfecture du Cher relate la mise en œuvre d'un plan de régulation des éoliennes pour les parcs de Chaussée César Nord et Sud comme suit :

➤ du 1^{er} mai au 10 juin inclus :

- en cas de vitesse de vent inférieure à 3,5 m/s ;
- et en cas de précipitations inférieures à 0,2 mm/h ;
- et en cas de température supérieure à 10°C ;

Le fonctionnement de tous les aérogénérateurs du parc est arrêté dès le coucher du soleil et sur la nuit entière.

➤ du 11 juin au 17 août inclus :

- en cas de vitesse de vent inférieure à 4 m/s ;
- et en cas de précipitations inférieures à 0,2 mm/h ;

- et en cas de température supérieure à 10°C ;

Le fonctionnement de tous les aérogénérateurs du parc est arrêté dès le coucher du soleil et sur la nuit entière.

➤ du 18 août au 15 octobre inclus :

- en cas de vitesse de vent inférieure à 5 m/s ;
- et en cas de précipitations inférieures à 0,2 mm/h ;
- et en cas de température supérieure à 10°C ;

Le fonctionnement de tous les aérogénérateurs du parc est arrêté dès le coucher du soleil et sur la nuit entière.

Les deux parcs de Chaussée César Nord et Sud sont concernés car ils représentent une même ligne de huit machines

Ce même arrêté préconise la mise en place d'un suivi d'activité des chiroptères et de mortalité des chiroptères et des oiseaux sous les éoliennes des parcs de Chaussée César Nord et Sud durant la période du 15 août au 15 octobre inclus. Le présent document fait donc état du suivi de mortalité des chauves-souris et des oiseaux réalisé du 18 août au 28 octobre 2020, ainsi que du suivi d'activité en hauteur des chiroptères. **L'objet du présent rapport** est de faire la **synthèse de ce suivi, et de mettre en perspective ces résultats avec ceux obtenus lors des suivis de mortalités des années précédentes**. Il s'agit en particulier d'évaluer l'efficacité des mesures de régulation mises en place à l'issue du suivi de mortalité 2018. De plus, l'analyse du suivi d'activité des chiroptères permettra de préciser les conditions de risques d'impacts (typologie des mortalités, saisonnalités, facteurs climatiques...), et d'apporter des réponses sur les mesures complémentaires à mettre en œuvre, si besoin, pour faire en sorte que les modalités d'exploitation du parc éolien limitent les risques de façon significative.

2 CONTEXTE

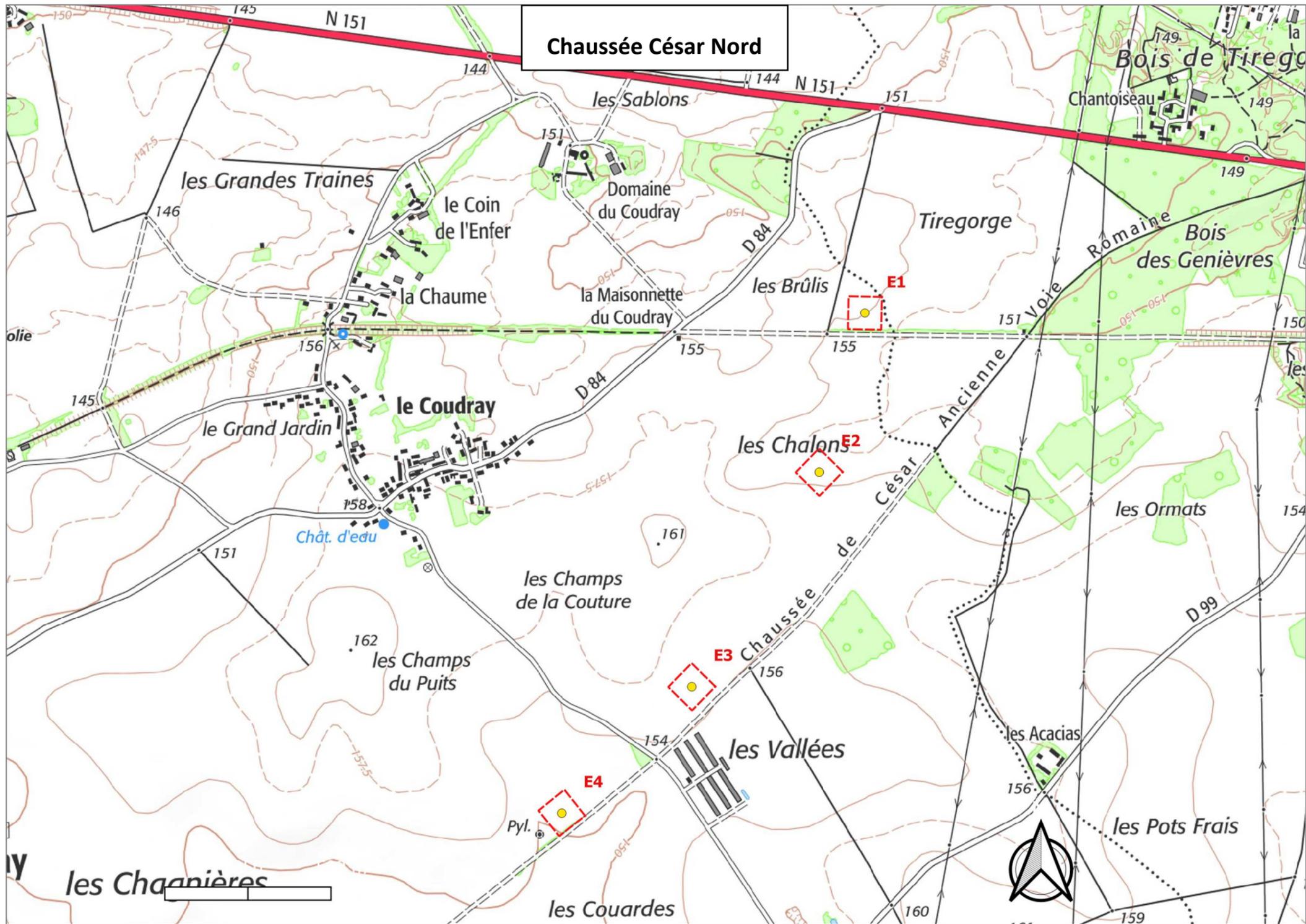
Les parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud suivis en 2020 sont situés sur la commune de Civray, dans le département du Cher (18).

Les parcs se situent dans un contexte majoritairement agricole, entouré de grandes cultures (Figure 1). Le site est situé entre plusieurs lotissements comme le Colombier ou la Maison rouge situés à 650 mètres de l'éolienne E4 Sud (Figure 2). Des patchs forestiers sont également présents au centre des cultures proches des éoliennes, moins de 200 mètres de l'éolienne E1 Sud et moins de 250 mètres de l'éolienne E2 Nord. Le site est également longé par une haie arboricole qui relie les éoliennes E4 et E3 Sud. Deux patchs forestiers sont situés au Sud-Ouest et Nord-Est du site, et le village de Civray et du Coudray au nord du site. Les parcs éoliens sont composés de 4 x 2 machines implantées sous la forme d'une ligne, orientée dans un axe sud-ouest/nord-est. Les éoliennes sont de type Nordex N100/2500 (puissance de 2500 kW, diamètre du rotor 100 m, nacelle à 100 m de hauteur) pour les deux parcs.

Figure 1 : Carte de localisation des parcs éoliens à échelle rapprochée sur fond de photographie aérienne







3 SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHAUVES-SOURIS EN HAUTEUR

3.1 Méthodologie

3.1.1 Suivi automatisé en continu (passif) : généralités et organisation

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 échantillonnage de suivi par période, par mois ou par nuit. 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'aérodynamique...). 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'aérodynamique... et donc plus largement des fonctionnalités des différents secteurs pour les chiroptères. Il n'était toutefois pas envisagé d'installer un enregistreur automatique d'ultrasons sur chacune des éoliennes du parc éolien. Le cahier des charges de la société Eoliennes VSB énergies nouvelles prévoyait la mise en oeuvre d'un point d'enregistrement. Ce point sera considéré comme représentatif de l'activité en altitude du secteur (l'activité en hauteur est moins soumise à variation spatialement que l'activité au sol), c'est-à-dire représentatif des deux parcs formant une seule et même ligne d'implantation.

L'éolienne choisie en 2020 pour l'installation d'un Batcorder fut l'éolienne E3 sur le parc de la Chaussée de César Sud, comme en 2018. Le Batcorder fut installé du 24 juillet au 24 novembre 2020.

Le suivi en continu a donc permis de couvrir les périodes estivale et automnale en 2020, soit une partie de la période d'activité des chiroptères.

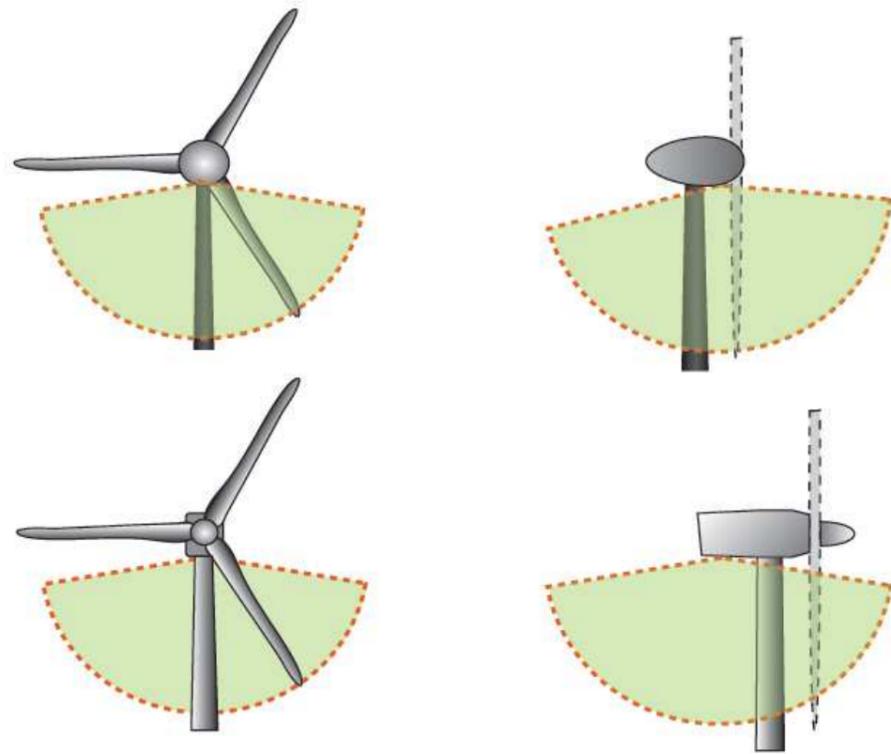
3.1.2 Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E3 de la Chaussée de César Sud

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 niveau de l'éolienne E3 de la Chaussée de César Sud. 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.

Au niveau de l'éolienne E3, il s'agissait de caractériser l'activité des chauves-souris dans la zone de rotor de l'éolienne (principalement dans un demi-espace inférieur). Un module spécial éoliennes (WKA) est proposé par la société Eco Obs comprenant :

- une alimentation en 220V sur éolienne,
- une batterie de secours,
- un boîtier GSM permettant un contrôle à distance quotidiennement (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'accorche interne et d'antivibrations,
- un paramétrage particulier limitant la détection de bruits parasites machines de basse fréquence.

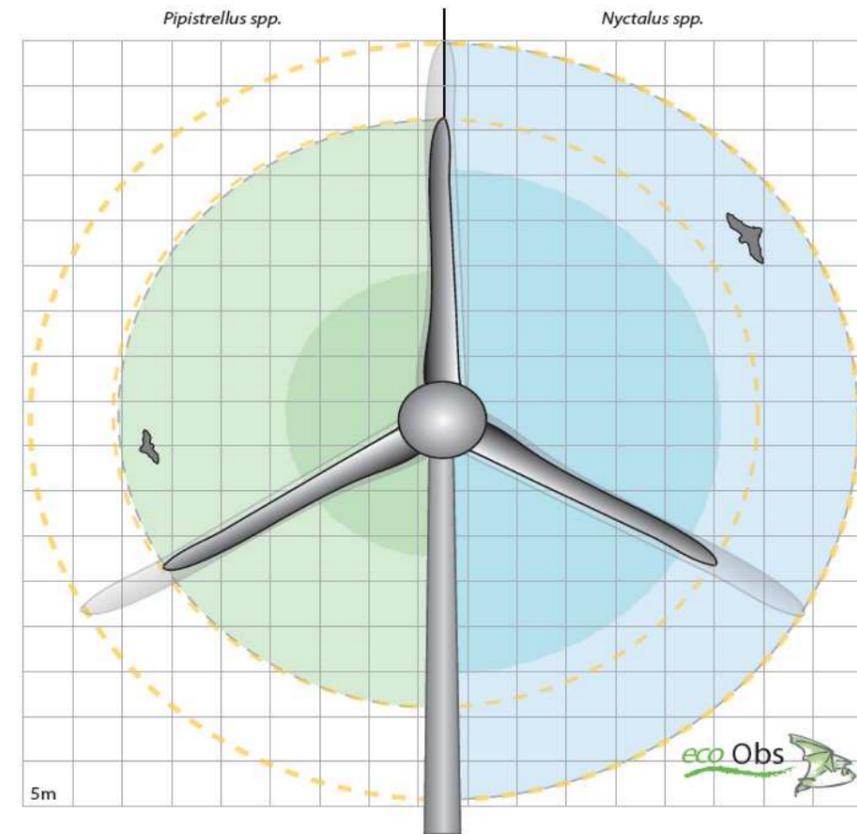
Figure 3 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes



L'efficacité des Batcorders placés sur nacelle d'éolienne a pu être testée au cours de plusieurs études pilotes menées en Allemagne (ADOMEIT et al., 2009). Les tests ont été réalisés par comparaison des résultats de suivis optiques (stéréoscope à deux caméras infrarouges) et de suivis acoustiques (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'activités 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 4 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)



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 bcIdent. 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 groupe 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 2. 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. De plus, au-delà des veilles et mises à jour régulières des paramètres d'analyse et des sons de références, plusieurs plugins proposent notamment une corrélation rapide des données d'activité des chiroptères avec les données climatiques enregistrées sur l'éolienne.

Figure 5 : Synthèse de la plage de fonctionnement du module en continu en éolienne E3, et nombre d'enregistrements

Emplacement du Batcorder	Date d'intervention	Type d'intervention	Nombre total de séquences enregistrées	Nombre de séquences de chiroptères enregistrées
Nacelle d'éolienne E3, Chaussée César Sud	24/07/2020	Installation	2776	170
	11/08/2020	Maintenance		
	24/11/2020	Désinstallation		

Cela représente un total de 2 776 données ultrasonores à analyser dont 170 correspondaient 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 module Batcorder autonome).

Une maintenance a été effectuée le 11 août pour changer l'enregistreur et la carte SD. Cette première carte SD était illisible par les logiciels d'analyses de sons. Après récupération des données auprès d'un prestataire informatique, l'ensemble des données a pu être analysé. De nombreuses séquences ont été relevées entre le 24 juillet et le 11 août correspondant la plupart à des parasites acoustiques.

La continuité des enregistrements fut assurée sur l'enregistreur en continu pendant environ 4 mois (123 nuits, soit environ 1722 heures de suivi).

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 (Batacorder 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'aérodynamique, 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.

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

3.2.2 Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces

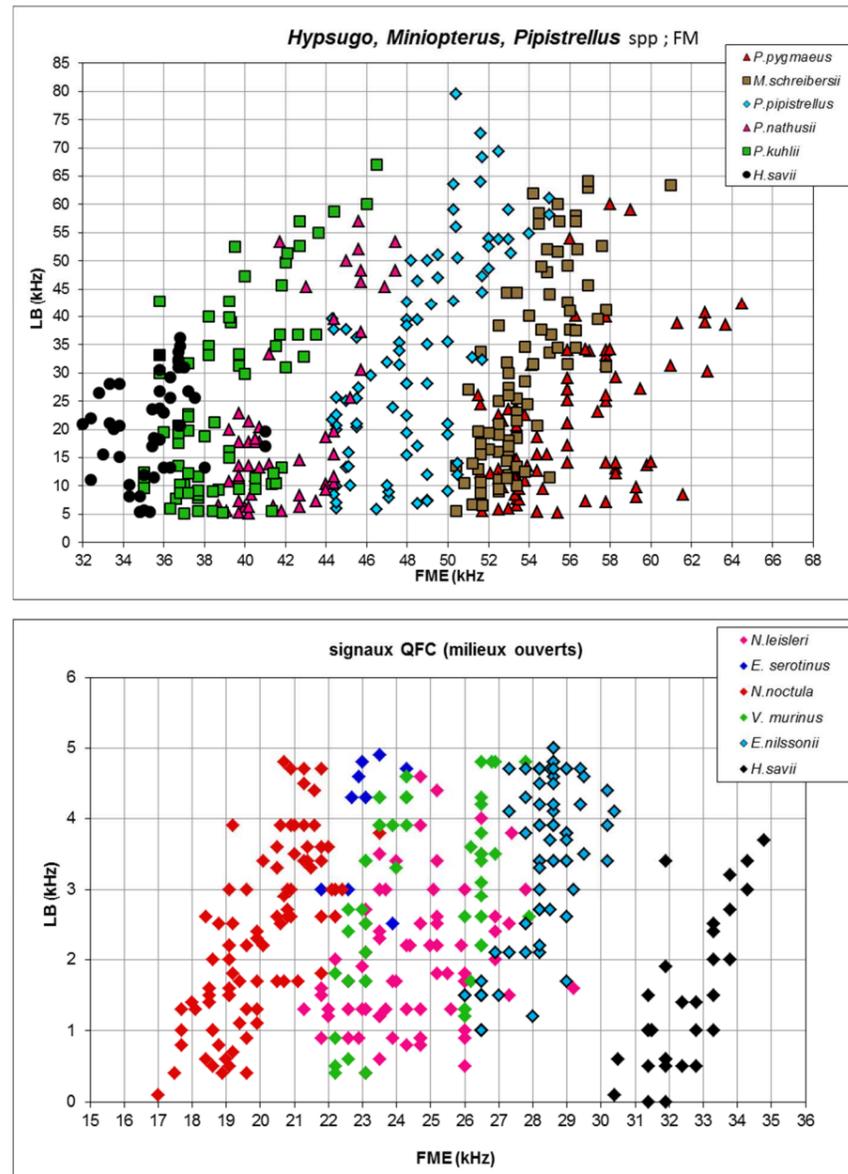
L'identification acoustique des chiroptères est une science encore en évolution et qui bénéficie d'avancées récurrentes ces dernières années. La plupart des espèces peuvent être déterminées précisément.

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* 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.

Page suivante, 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 6 : 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 7 : 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	<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	
Forte	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00	
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63	<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	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	
	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50	<i>Eptesicus isabellinus</i>	50	0,50	
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50	<i>Vespertilio 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 manuel, 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 :

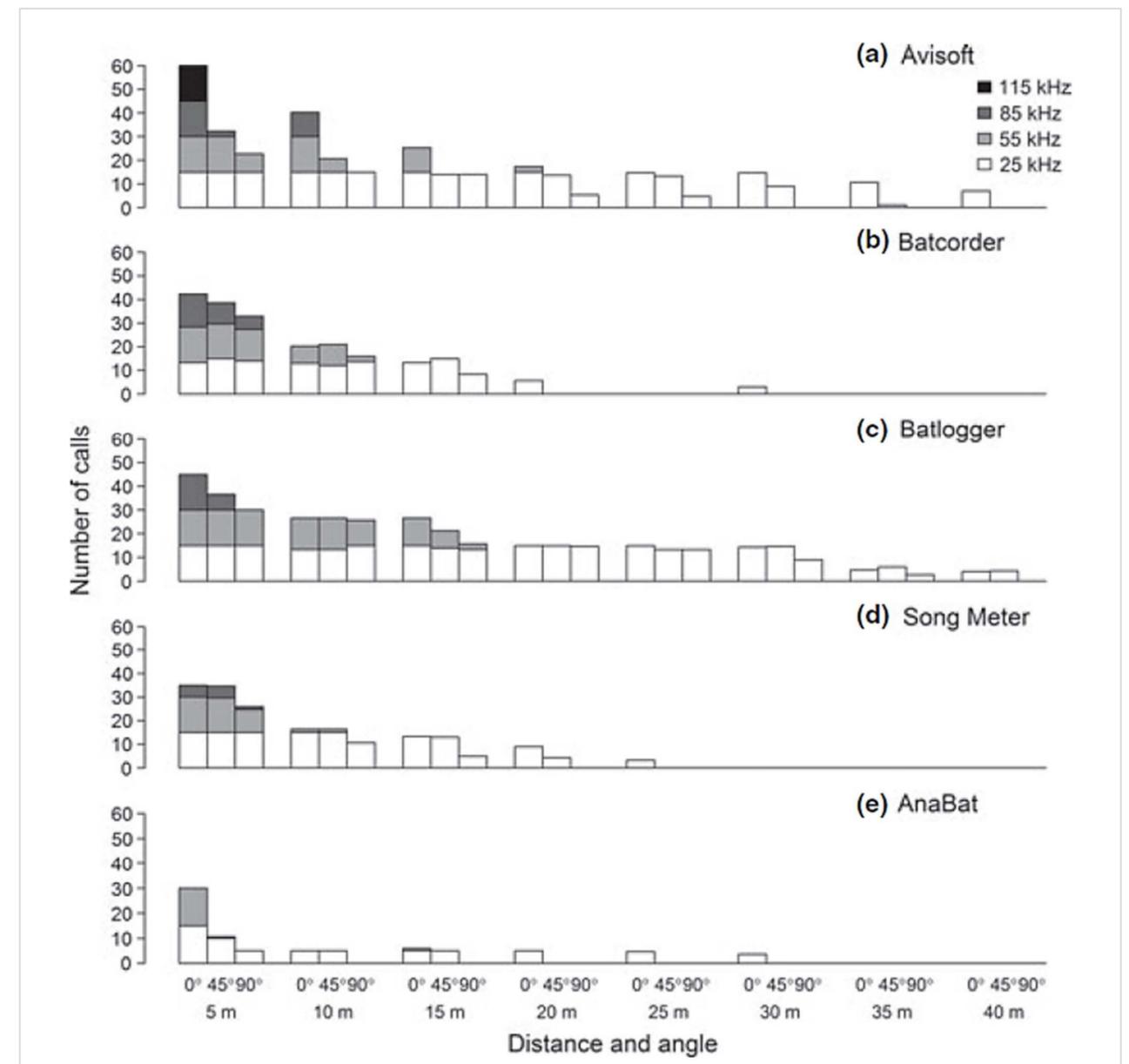
- Les limites liées à la qualité et à la fréquence de recalibrage des micros,
- Leur volume de détection (cône de détection) et à leur caractère directionnel ou multidirectionnel,
- Les paramétrages retenus (filtres des basses ou hautes fréquences, durée d'enregistrement depuis le déclenchement),
- Les 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.

En ce qui concerne plus particulièrement le Batcorder, **c'est en parfaite conscience de ses limites que nous avons décidé de choisir ce matériel**. Les diverses études comparatives qui ont testé l'efficacité de détection ultrasonore des différents enregistreurs automatiques disponibles sur le marché (Batcorder, SM2, SM3, Avisoft, Batlogger, Anabat, Petterson...) montrent que tous les produits ne restituent qu'une vision partielle plus ou moins importante de l'activité ultrasonore émise dans leur environnement. La figure suivante (ADAMS, 2012) montre que le Batcorder présente une capacité de détection à distance

théoriquement globalement moins bonne que celle du Batlogger ou des systèmes Avisoft. Mais ces deux produits présentent des contraintes techniques très importantes pour des suivis sur le long terme (ULDRY V., 2013), nécessitant des opérations de maintenance régulières et une difficulté majeure à la perception de problèmes à distance.

Figure 8 : Analyse comparative des capacités de détection des principaux enregistreurs à ultrasons, selon la distance, l'angle d'émission et les différentes plages de fréquences ultrasonores (Adams & al. 2012)



Comparé aux autres produits concurrents (SM2, Anabat), le Batcorder présente des résultats de détection comparables voire meilleurs, avec toutefois l'avantage d'une autonomie plus importante vis-à-vis des suivis en continu depuis des points difficiles d'accès (faible consommation énergétique, panneau solaire de petite taille, pré-tri des sons à la source limitant des contraintes de mémoire liée aux parasites, autoévaluation de l'efficacité de détection quotidienne, envoi quotidien de SMS pour informer du bon déroulement du suivi...). Ainsi, dans la plupart des cas, un module Batcorder autonome peut fonctionner sur 8 mois d'affilée depuis un mât de mesure, le haut d'un arbre ou une nacelle d'éolienne presque sans aucune intervention humaine.

Toutefois, nous évoquerons enfin un problème propre au Batcorder lié à ses **limites de détection des signaux en très basses fréquences**. Un réglage système limite en effet la perception des signaux inférieurs à 16 kHz, ce qui réduit considérablement les capacités de détection de principalement 2 espèces qui émettent dans cette bande de fréquences : le Molosse de Cestoni (*Tadarida teniotis*) et la Grande noctule (*Nyctalus lasiopterus*). Aussi, pour des suivis en continu, nous descendons manuellement ce seuil de réglage usine à 14 kHz pour limiter la perte de données pour ces espèces, ce qui ne permet toutefois pas d'écarter totalement l'hypothèse d'une sous-évaluation de l'activité de ces grandes espèces. Pour le Molosse de Cestoni qui présente les sonorités les plus basses en fréquence, il faudra considérer ce biais comme potentiellement important. Par contre, pour la Grande noctule qui pratique régulièrement l'alternance de structure de sons, et qui exploite quand même une bande de fréquences majoritairement au-dessus de 15 kHz dans ses activités quotidiennes (13 à 21 kHz), on considère que le Batcorder échouera à la détection d'une petite portion des signaux émis par l'espèce et en particuliers ceux liés à des passages de transits très ponctuels d'un individu en milieu ouvert (vol haut), écartés de toute structure de lisière, et sans activité de chasse. Autrement dit, si le site représente une certaine fonctionnalité écologique pour l'espèce (autre qu'un passage ponctuel haut en transit), les enregistreurs réussiront à la percevoir. La preuve en est que nous avons pu découvrir les premiers gîtes de mise-bas de l'espèce en France en 2012 grâce à une nouvelle méthode de suivi et de poursuites acoustiques (méthode EXEN) basée sur l'utilisation de nombreux Batcorders utilisés surtout en début et en fin de nuit (BEUCHER Y., ALBESPY F. MOUGNOT J., 2012).

3.3 Résultats du suivi de l'activité des chiroptères

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 sur l'éolienne E3 du parc de la Chaussée de César Sud.

La position de l'enregistreur permet de mieux percevoir l'activité des chiroptères qui concerne directement le rotor de l'éolienne. La plage de suivi s'est étendue sur environ 4 mois en 2020 (24 juillet au 24 novembre 2020).

Le tableau suivant synthétise le cortège d'espèces détectées à partir de l'enregistreur automatique en continu placé au niveau de la nacelle de l'éolienne E3 en 2020. Au total, 4 espèces sont ainsi déterminées avec certitude et 5 espèces supplémentaires pourraient potentiellement fréquenter le parc. En 2018, le cortège d'espèces contacté était assez similaire.

Figure 9 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu

Espèce	Nom scientifique	Abréviation	Espèce contactée en nacelle d'éolienne E3
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Nnoc	X
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nlei	X
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ppip	X
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pkuh	(X)
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pnat	X
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Vmur	(X)
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Eser	(X)
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Enil	(X)
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savi</i>	Hsav	(X)

Pour une meilleure lisibilité, un regroupement des espèces selon leur comportement de vol est réalisé. 3 groupes peuvent être dissociés, il s'agit :

- **Du groupe des espèces de lisières** qui comprend l'ensemble des pipistrelles (hormis la Pipistrelle de Nathusius), la Sérotine commune et la Sérotine de Nilsson. On notera que ce groupe d'espèces correspond aux espèces évoluant à des hauteurs de vols modérées (moins de 50m) la plupart du temps en suivant les éléments structurants du paysage (lisières de boisement, haies, chemin...). Cependant il est possible de retrouver ponctuellement ce groupe d'espèces plus en hauteur, notamment lors de poursuite en altitude d'essaimages d'insectes présents en hauteur (ascendance thermique ou dynamique). Il arrive donc que ces espèces se retrouvent à des hauteurs de vol plus importantes.
- **Du groupe des espèces de vol haut**, qui comprend l'ensemble des noctules (Noctule de Leisler, Noctule commune), le Vespère de Savi, la Sérotine bicolore et le groupe des Nlei/Nnoc (Noctule de Leisler et Noctule commune). Ce groupe d'espèce comprend donc des espèces qui utilisent les secteurs plus ouverts et donc régulièrement des hauteurs de vols plus importantes même lors de vols de chasse.

- **Du groupe des espèces de vol haut en migration/transit** : Ce groupe comprend la Pipistrelle de Nathusius. Cette espèce chasse en général au niveau du sol, mais n'utilise pas forcément les structures arborées pour se déplacer. Elle est alors contactée en plein ciel lors de ses phases de transit, à des hauteurs importantes. Il s'agit également d'une espèce migratrice, dont la hauteur de vol augmente en période de migration, entre avril et mai et entre septembre et octobre.

Certaines identifications d'enregistrement ne pouvant aboutir à une espèce précise, des groupes intermédiaires sont donc créés, il s'agit :

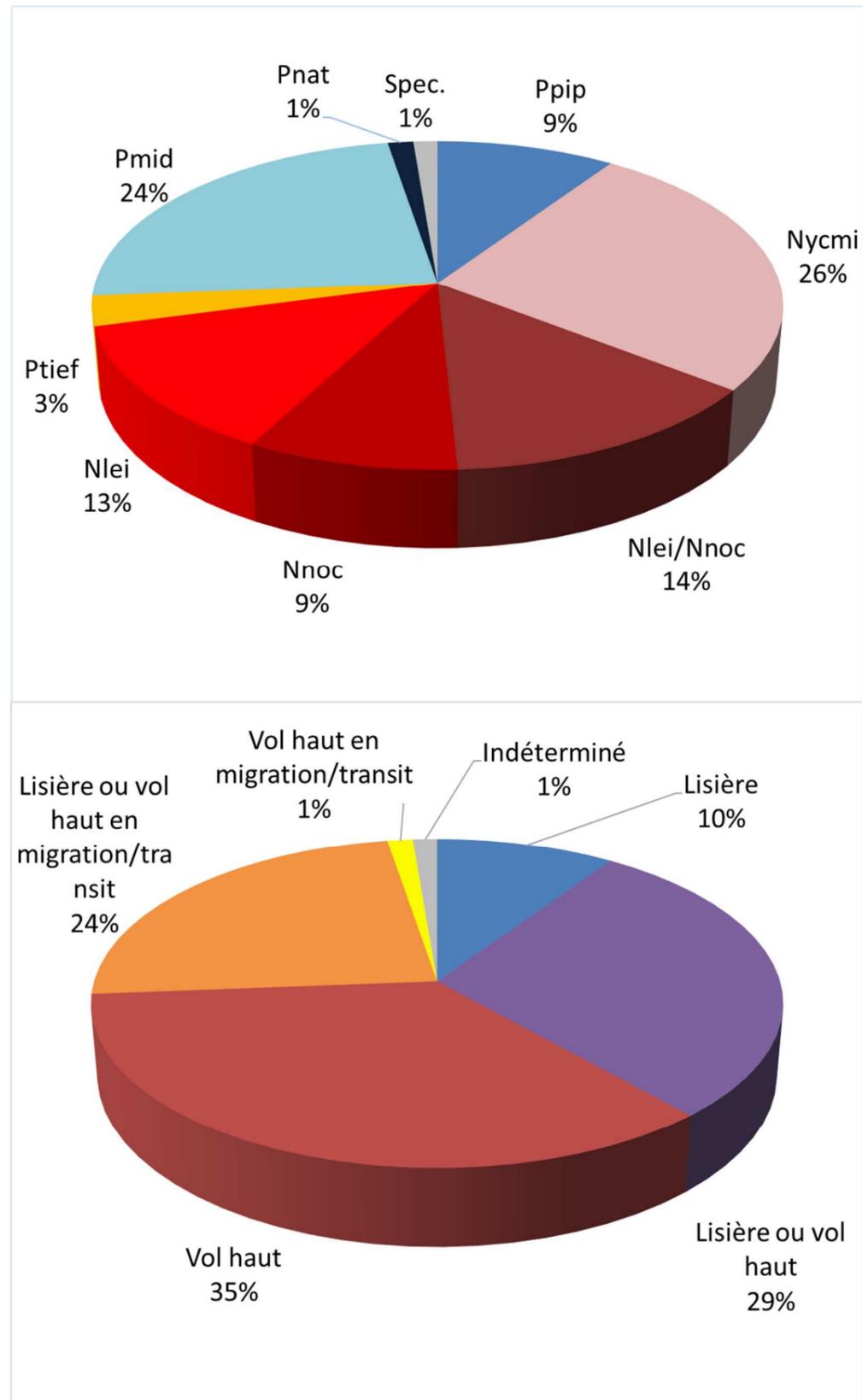
- **Du groupe des espèces de vol haut ou de lisières**, qui comprend le groupe des Nycmi qui peut correspondre soit à la Sérotine commune, soit à la Sérotine de Nilsson (espèces de lisières), soit à des noctules ou à la Sérotine bicolore (espèces de vol haut), le groupe des Ptief, qui peut correspondre à la Pipistrelle de Kuhl (espèce de lisières) ou au Vespère de Savi (espèce de vol haut),
- **Du groupe des espèces de vol haut en migration/transit ou de lisières**, 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 lisières),
- **Du groupe des espèces de vol indéterminé**, il s'agit d'un seul contact dont la séquence tronquée ne permet pas de déterminer de quelle espèce il s'agit.

Les graphiques de la Figure 10 témoignent de la proportion par grands groupes d'espèces dans l'activité totale relevée au niveau du Batcorder sur l'éolienne E3. On remarque que le groupe des espèces de vol haut (notamment la Noctule de Leisler et la Noctule commune) est le plus contacté en nacelle à hauteur de 35% de l'activité totale. Une partie des contacts identifiés en lisière ou vol haut pourrait correspondre à des contacts d'espèces de vol haut (29%). Les espèces de lisières et celle de vol haut en migration/transit sont nettement moins actives en nacelle (35% tout confondu).

En 2018, le groupe d'espèces de lisières était le plus contacté en hauteur (plus des trois quarts de l'activité totale). Les proportions d'espèces et de groupe de vol ont donc évoluées entre les 2 années de suivi.

Rappelons toutefois qu'il s'agit ici d'une approche des proportions d'activité spécifique par rapport à l'activité totale.

Figure 10 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevées au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E3 (en haut détail par espèce, en bas par groupe de vol)



3.3.2 Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle E3

Le graphique de la Figure 12 et celui de la Figure 13 page 20 synthétisent la chronologie de l'activité relevée par le module Batcorder à hauteur de nacelle (E3), au cours de la période de suivi. Les résultats sont décomposés par espèce ou groupe d'espèces et par groupe de vol. 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) ;
- et par corrélation avec différents paramètres d'influences possibles (conditions climatiques, ressources alimentaires, cycle biologique des espèces...).

Le profil de ce graphique 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 climatiques 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. 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).

L'activité mesurée en hauteur au niveau de l'éolienne E3 peut être qualifiée de faible à modérée globalement.

Figure 11 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience EXEN)

EXEN)	
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

L'activité estivale (du début du suivi à mi-août), et automnale (à partir de mi-août jusqu'à la fin du suivi) sont très hétérogènes au cours du temps. Elle peut être modérée une nuit, et la nuit suivante, nulle (cas des nuits du 11 et 12 août 2020). Seulement 5 nuits sont de niveau modéré, 3 nuits sont de niveau faible à modéré et le reste des nuits est de niveau faible ou très faible voire nul. La plupart de l'activité est relevée en août et en septembre. Si les espèces de haut vol (dégradé de rouge) sont contactées assez régulièrement, les espèces de lisières (en dégradé de bleu) sont actives ponctuellement.

En 2018, le profil d'activité était différent sur cette même période. L'activité des espèces de haut vol et de lisières était ponctuelle et ce sont les espèces de lisières qui étaient les plus actives entre fin juillet et fin novembre. Deux pics d'activité de pipistrelles de niveau modéré à fort (5 octobre 2018) et de niveau fort (27 septembre 2018) avaient d'ailleurs été relevés. Globalement, l'activité était plus importante en hauteur.

3.3.3 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 proies, 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, nous relevons régulièrement 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 12m/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'aérodynamique favorisés par le vent (ascendances dynamiques), et entraînant 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.

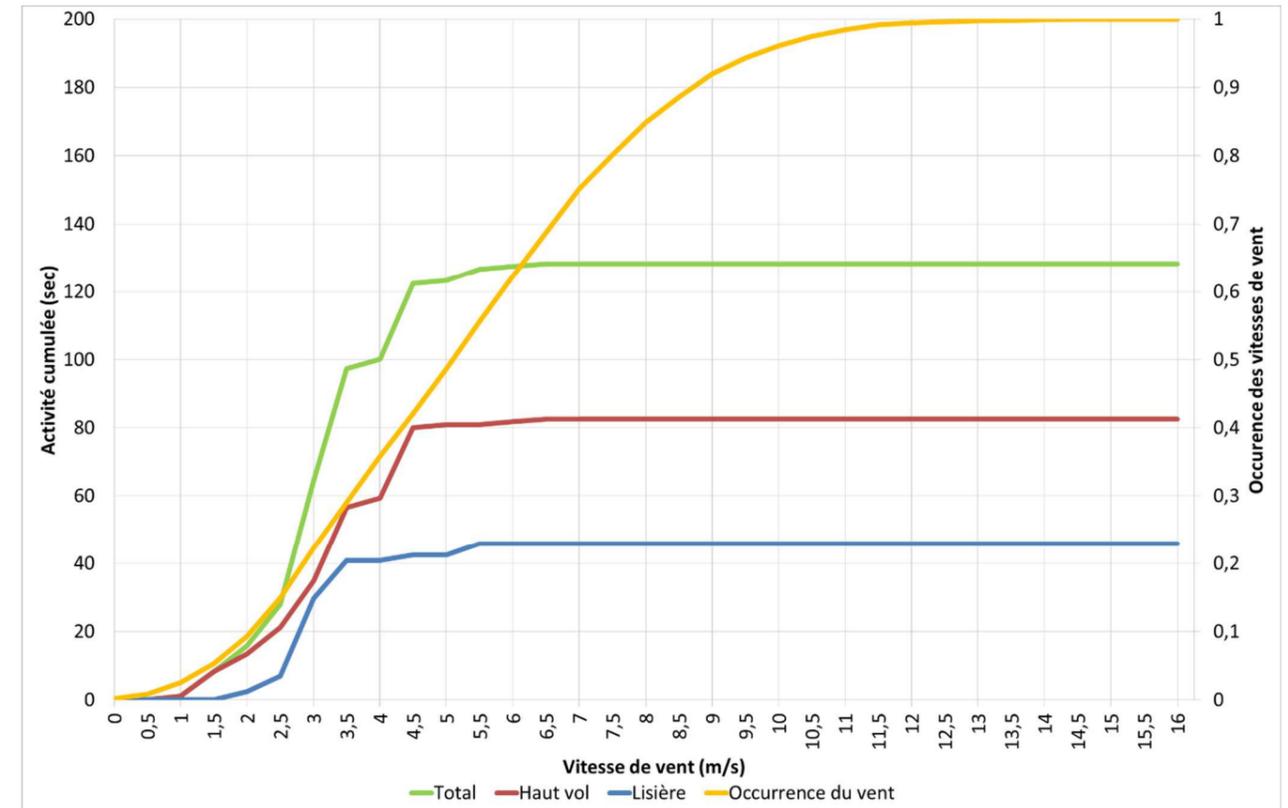
Le graphique ci-contre témoigne de la corrélation entre l'activité cumulée des chauves-souris en ordonnée (en seconde d'activité cumulée) et les notions de vitesse de vent en abscisse (en m/s). C'est ce type de graphique qui permet généralement d'apprécier le seuil de vent à partir duquel l'activité des différents groupes de chauves-souris diminue de façon significative. Généralement, ce type de graphique montre logiquement que l'activité des espèces de lisières diminue plus vite que celle des espèces de haut vol lorsque la vitesse de vent augmente.

Dans notre cas précis, le graphique témoigne d'une activité cumulée d'espèces de lisières à un niveau de 45.88 secondes pour des vents inférieurs à 5,5 m/s avec un maximum de l'activité entre 2 et 3,5 m/s. En ce qui concerne les espèces de haut vol, 82.48 secondes d'activité a lieu aussi par des vitesses de vent inférieures à 6,5 m/s avec un maximum d'activité entre 1 et 4,5 m/s.

En 2018, l'activité des espèces de lisières se concentrait pour des vitesses de vent entre 2 et 3 m/s, mais elles ont été actives jusqu'à 7 m/s. En ce qui concerne les espèces de haut vol, le maximum d'activité a eu lieu pour des vitesses de 2 m/s mais elles ont été actives jusqu'à 4 m/s. Les conditions de vol sont donc

assez cohérentes entre 2018 et 2020. Les espèces de haut vol ont cependant volé par des vitesses de vent plus faibles qu'en 2018.

Figure 14 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E3 (sur la base des données relevées en 2020 en nacelle d'éolienne)



3.3.4 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. Au niveau de l'éolienne E3, on s'aperçoit que l'activité totale est plus importante pour certaines directions du vent. Ce constat se manifeste au niveau de la Figure 15 ci-dessous. Les graphiques représentent l'activité totale enregistrée et l'occurrence du vent relevée sur l'éolienne E3, selon la direction du vent. Précisons que 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.

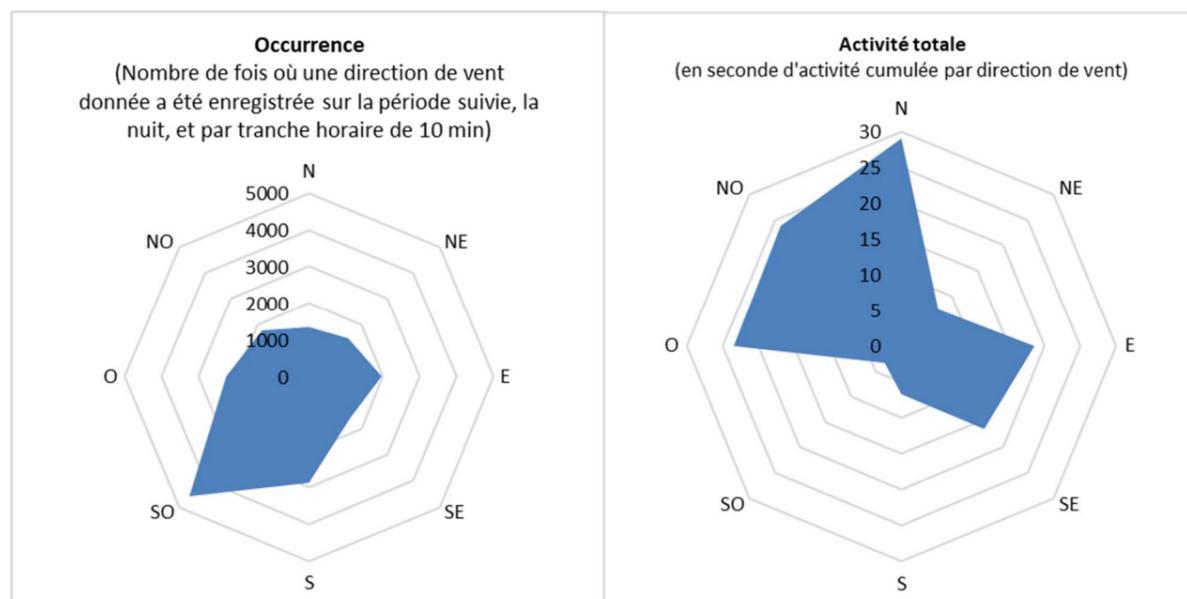
De ce fait, il s'agit de comparer le graphique de l'activité totale à celui de l'occurrence du vent pour chaque éolienne :

- Dans le cas d'une activité aucunement liée à la direction du vent, la forme des deux graphiques sera similaire ;
- Dans le cas d'une activité plus importante liée à certaines directions de vent (selon l'orientation du vent, des essaimages d'insectes pourraient éventuellement être amenés au niveau du module Batcorder autonome et entraîner une augmentation de l'activité des chiroptères), les deux graphiques auraient alors des différences qu'il conviendra d'essayer d'expliquer.

On s'aperçoit que l'activité est généralement la plus importante par vent de nord, de nord-ouest et d'ouest, et plus faiblement par vent d'est et de sud-est. Sur ce parc, les vents dominants proviennent majoritairement du sud-ouest sur la période de référence (occurrence). L'absence d'activité par vent de sud-ouest suppose une influence négative de cette direction sur l'activité des chauves-souris, pourtant c'est pour cette direction que la vitesse de vent est en moyenne la plus faible (1,5 m/s).

Au vu du contexte paysager du parc, l'activité importante enregistrée par certaines directions du vent ne semble pas à mettre en lien avec la topologie du site (faible relief), l'hypothèse d'ascendances dynamiques drainant des insectes en hauteur est donc écartée. En 2018, l'activité régulière (hors-pic) était relevée essentiellement par vent de nord-ouest, de nord et d'est.

Figure 15 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E3



3.3.5 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.

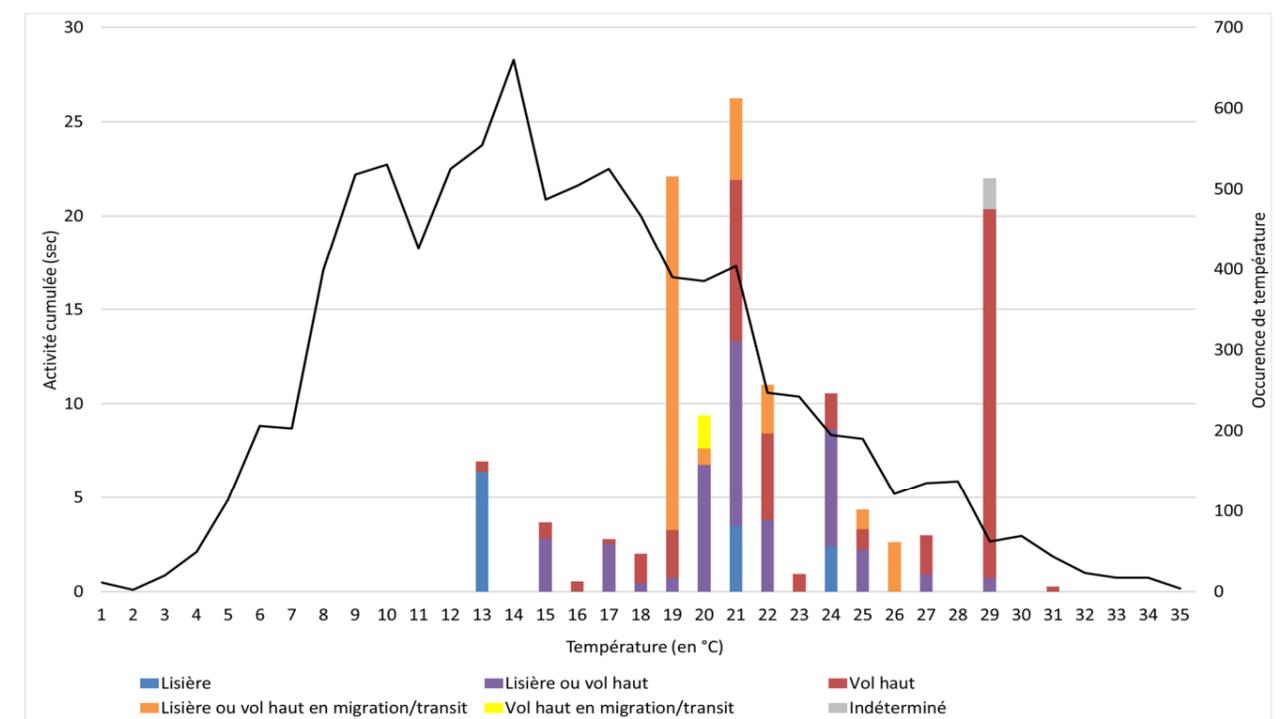
La courbe d'occurrence de la température correspond au nombre de fois où chaque valeur de température a été relevée, par période de 10 min, la nuit et au niveau des éoliennes. De ce fait, il s'agit de comparer la courbe d'occurrence à celle d'activité réelle :

- 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.

Le graphique suivant montre que l'activité des chauves-souris en hauteur est présente à partir d'une température de 13°C. Au niveau du site, les températures de 13 à 14°C sont celles qui sont le plus souvent relevées, mais ça n'est pas pour ces températures que l'activité est plus importante. L'occurrence des températures est en effet légèrement décalée avec le profil d'activité en fonction des températures. Plus les températures sont importantes, plus les chauves-souris sont actives en hauteur. A l'inverse, plus les températures chutent, moins les chauves-souris sont actives en hauteur.

En pourcentage d'activité, 95% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 15°C et plus de 80% pour des températures supérieures à 19°C. En 2018, plus de 95% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 16°C et plus de 80% pour des températures supérieures à 17°C. Les conditions de vol sont assez comparables.

Figure 16 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur au niveau de l'éolienne E3 en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité

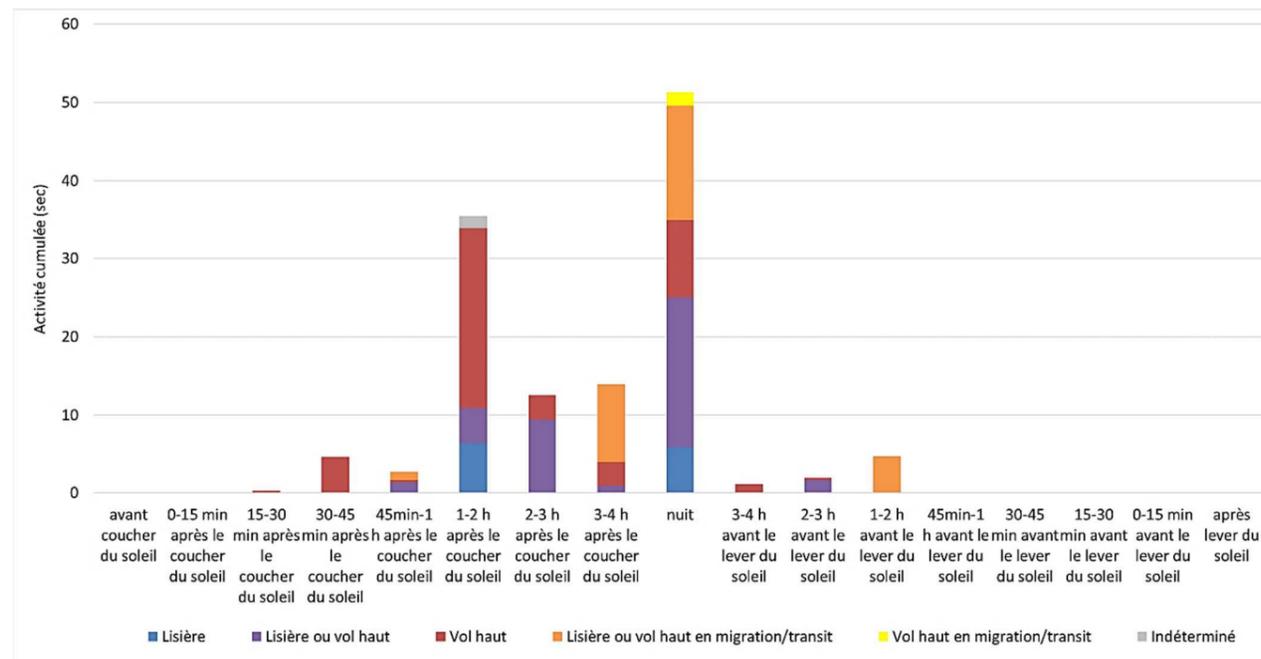


3.3.7 Influence du rythme d'activité nocturne

Sur l'ensemble de la période de suivi, les horaires d'activités des chiroptères sont répartis sur l'ensemble de la nuit pour l'éolienne E3, avec des activités s'étalant de 15 minutes après le coucher du soleil à 1 heure avant le lever du soleil. On notera quand même une activité légèrement plus importante en début de nuit qu'en fin de nuit. Ce constat est représenté sur le graphique suivant.

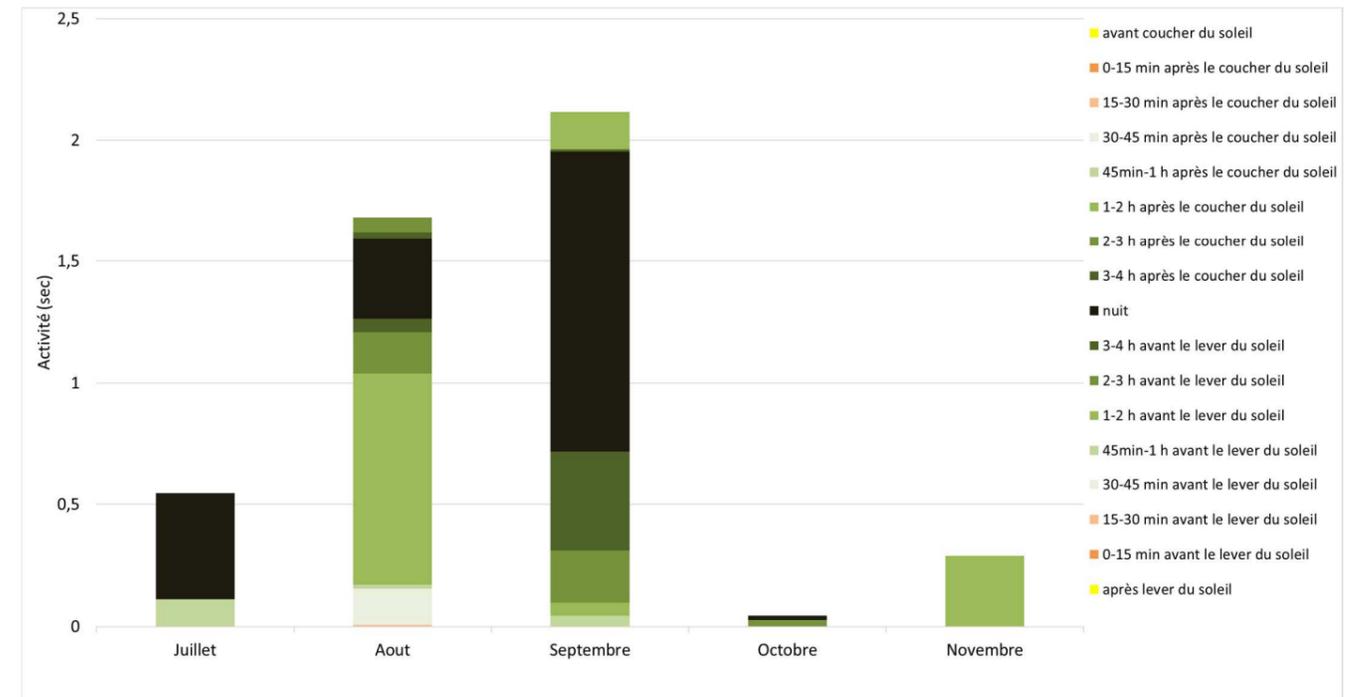
Dans notre cas précis, on peut calculer que plus de 85% de l'activité est mesurée entre 1h après le coucher du soleil et 4h avant le lever du soleil. De même, environ 95% de l'activité est mesurée entre 45 minutes après le coucher du soleil et 1 heure avant le lever du soleil. En 2018, environ 95% de l'activité est mesurée entre 1 heure après le coucher du soleil et 1 heure avant le lever du soleil.

Figure 17 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E3 (en 2020)



La décomposition de l'activité nocturne des chauves-souris en fonction des mois permet de mettre en évidence une certaine variabilité du rythme nocturne. Les chauves-souris ont été actives essentiellement entre 4h après le coucher du soleil et 4 h avant le lever du soleil en juillet et en septembre. Elles ont été plus actives entre 1h et 2h après le coucher du soleil en août et en novembre. Elles sont actives en première partie de nuit en octobre.

Figure 18 : Décomposition de l'activité moyenne (en seconde d'activité par nuit) des chauves-souris au niveau de l'éolienne E3 en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil



3.3.8 Influence de la saisonnalité

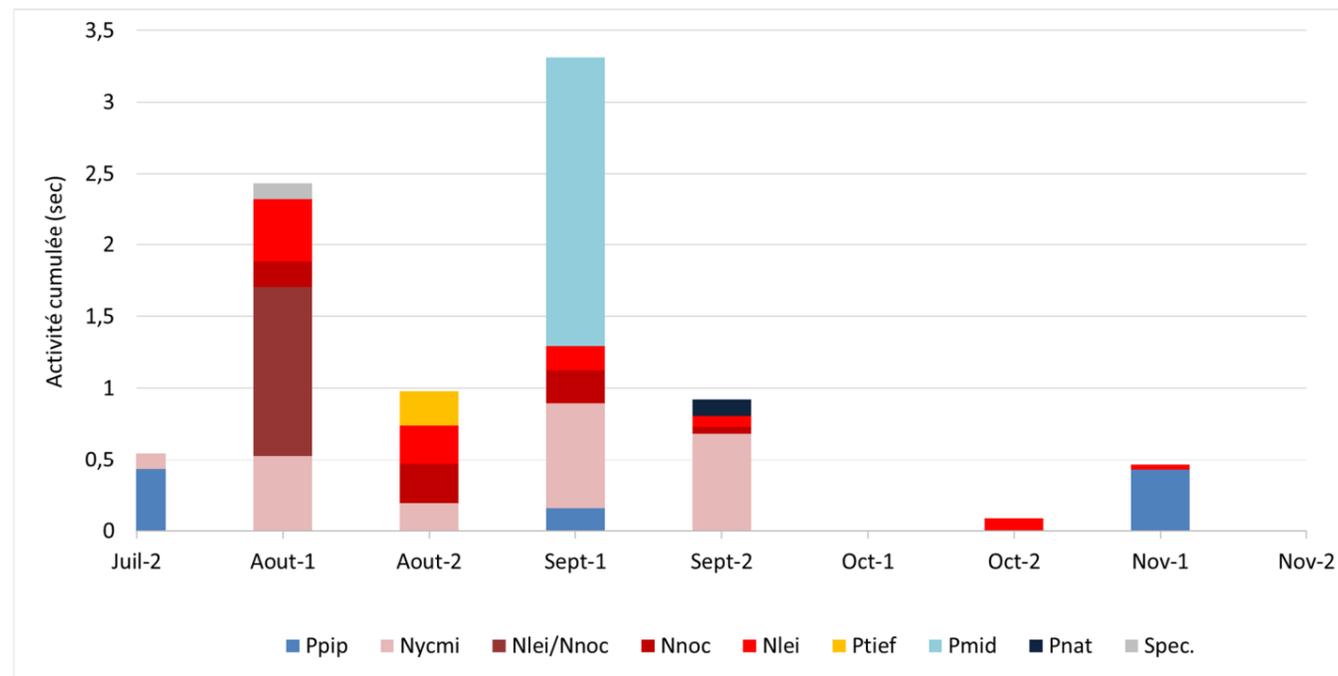
Le graphique suivant présente la répartition de l'activité par espèce (ou groupe d'espèces) et par demi-mois. Habituellement, l'activité des chauves-souris augmente au fur et à mesure que le printemps avance, et diminue au fur et à mesure que l'automne avance.

Dans ce cas précis, l'activité varie entre mi-juillet et fin novembre. Malgré des profils en dent de scie, l'activité diminue au fur et à mesure que l'automne avance. Les mois d'août et de septembre correspondent aux quinzaines où l'activité est la plus importante.

Concernant l'activité des espèces de lisières, et en particulier la Pipistrelle de Kuhl ou la Pipistrelle de Nathusius et la Pipistrelle commune, elle est plus importante en septembre, et plus faiblement fin juillet et début novembre. Malgré tout, l'activité est hétérogène et faible en hauteur.

Concernant les espèces de haut vol (Noctule de Leisler, Noctule commune, une part des sérotules ...), elles sont présentes quasiment tout au long de la période de suivi, mais elles sont plus actives au cours de 2 mois : août et septembre.

Figure 19 : Activité journalière moyenne (en seconde d'activité cumulée) relevée selon les espèces contactées et par demi-mois, corrigé selon le nombre de jours d'enregistrement



3.3.9 Synthèse des résultats

Le suivi d'activité mené en nacelle d'éolienne E3, s'est étendue sur environ 4 mois en 2020, entre le 24 juillet et le 24 novembre 2020. Au cours de cette période, ce sont les espèces de haut vol (avec la Noctule de Leisler et la Noctule commune) qui sont les plus actives en hauteur. Les espèces de lisières, comme la Pipistrelle commune, sont relevées en plus faible proportion.

L'activité mesurée en hauteur au niveau de l'éolienne E3 peut être qualifiée de faible à modérée globalement. Seules quelques nuits sont de niveau modéré, aucun pic d'activité n'est relevé.

A propos des conditions de vol, les chauves-souris ont volé préférentiellement pour des vents entre 1 et 4,5 m/s, même si des contacts sont relevés jusqu'à 6,5 m/s. Celles-ci ont volé surtout par vent de nord, de nord-ouest et d'ouest, et plus faiblement par vent d'est et de sud-est. La plupart de leur activité s'effectue pour des températures supérieures à 15°C.

A propos de leur rythme nocturne, les chiroptères ont volé surtout entre 45 minutes après le coucher du soleil et 1 heure avant le lever du soleil.

Enfin, les mois d'août et de septembre correspondent aux quinzaines où l'activité est la plus importante.

4 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX

4.1 Objectifs du suivi de la mortalité

Le suivi de la mortalité sous les éoliennes des parcs éoliens de la Chaussée de César Sud et Nord 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). Ce suivi correspond aussi à la demande de la préfecture du Cher dans son arrêté du 30 Avril 2020.

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, sans quoi l'interprétation des données des autres thèmes reste limitée.

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 climatiques ...);
- Le taux de mortalité estimé pour l'ensemble des parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud, par unité de temps;
- Les espèces les plus exposées en fonction des milieux, et en fonction des conditions météorologiques...

De façon plus générale, idéalement, les résultats du suivi de la mortalité doivent être analysés en parallèle des résultats d'activité des chauves-souris. Le tableau de synthèse général des données brutes de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux retrouvés lors du suivi 2020 est présenté en Annexe 1 : Données brutes de mortalité découvertes en 2020.

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. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis (Erickson et al. 2002 ; Erickson 2003 ; Kerns et al. 2004 ; Cosson et al. 2004 ; Arnett 2006 ; Beucher et al. 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 des parcs éoliens de Chaussée César Nord et Sud (choix des périodes de suivi, choix des cadavres test, délimitation des transects de recherche...).

Globalement, la méthode consiste en la recherche d'animaux morts (chauves-souris et oiseaux) 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.

De façon générale, [...] le suivi doit idéalement être basé sur un nombre représentatif de visites, et sur un intervalle de temps réduit entre chaque visite afin de limiter les biais liés à la disparition progressive des cadavres. L'intervalle de temps entre chaque visite doit idéalement être proportionnée à la vitesse de disparition des cadavres, qui doit idéalement être évalué préalablement sur chaque site car elle lui est spécifique et varie selon les saisons et le type de cadavres. [...] (MEEDDAT 2010). Autrement dit, plus le délai entre chaque visite est important et moins l'estimation du taux de mortalité est fiable et précise.

Dans le cas présent, l'exploitant a choisi de retenir une période de suivi de la mortalité s'étendant **du 18 août au 28 octobre 2020**, avec pression de suivi d'une visite par semaine. **Au total, 11 visites ont été effectuées en 2020** (Figure 20).

Pour rappel, ce suivi de courte durée (2 mois et demi) ciblait tout particulièrement la période de mortalité relevée en 2016 par ECOSPHERE.

Figure 20 : Calendrier des visites réalisées en 2020 sous les éoliennes du parc de la Chaussée de César Nord et Sud

	mai-20			juin-20			juil.-20			août-20			sept.-20			oct.-20			nov.-20			déc.-20					
Nombre de visites ciblées sur le suivi de la mortalité oiseaux et chauves-souris											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Réalisation des tests pour calcul des coefficients correcteurs du taux de mortalité											1						1										

4.2.3 Choix des éoliennes suivies

Par expérience, et devant le caractère très hétérogène de l'impact sur la faune volante généré 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, quelques particularités à prendre en compte selon les éoliennes et les différentes contraintes qui peuvent y être liées (milieux défavorables à la recherche...).

4.2.4 Organisation des parcours de prospection

La surface de recherche est de forme carrée. Les études de Arnett et al. 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 (pales de 50 m). Cette surface est aussi conforme avec les prescriptions nationales du protocole de suivi environnemental publié 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.

La recherche sous chaque éolienne doit être réalisée seulement au niveau des zones prospectables. C'est-à-dire au niveau de la végétation herbeuse (moins de 60 cm de hauteur) et le gravier. Les boisements, les zones arbustives (genêts, jeunes arbres...) ainsi que les secteurs en culture ne doivent pas être prospectés.

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 zone de culture (blé, maïs, colza...), secteur avec bétail (selon le comportement des animaux), éolienne en maintenance.

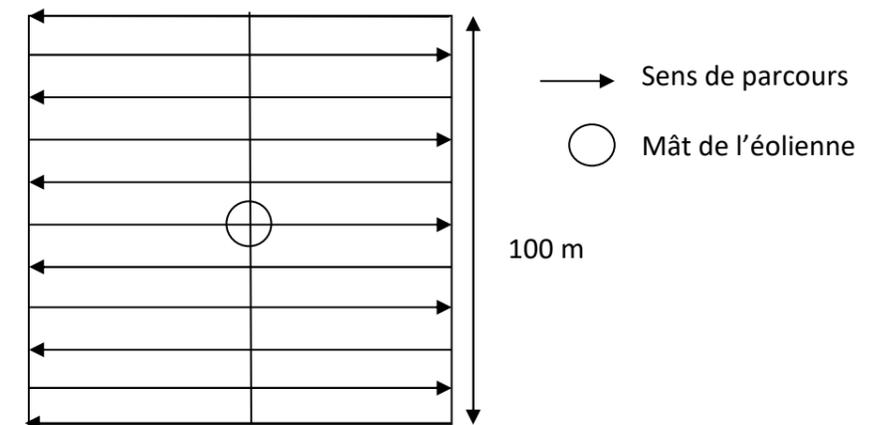
La durée de prospection sous une éolienne pour 100 % de prospection du carré (1 hectare) est d'environ 30 min. Pour une zone de prospection correspondant à 50 % du carré, la durée de prospection sera proportionnelle, soit d'environ 15 min. Il convient donc d'adapter son allure à cette durée de prospection 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 21 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique

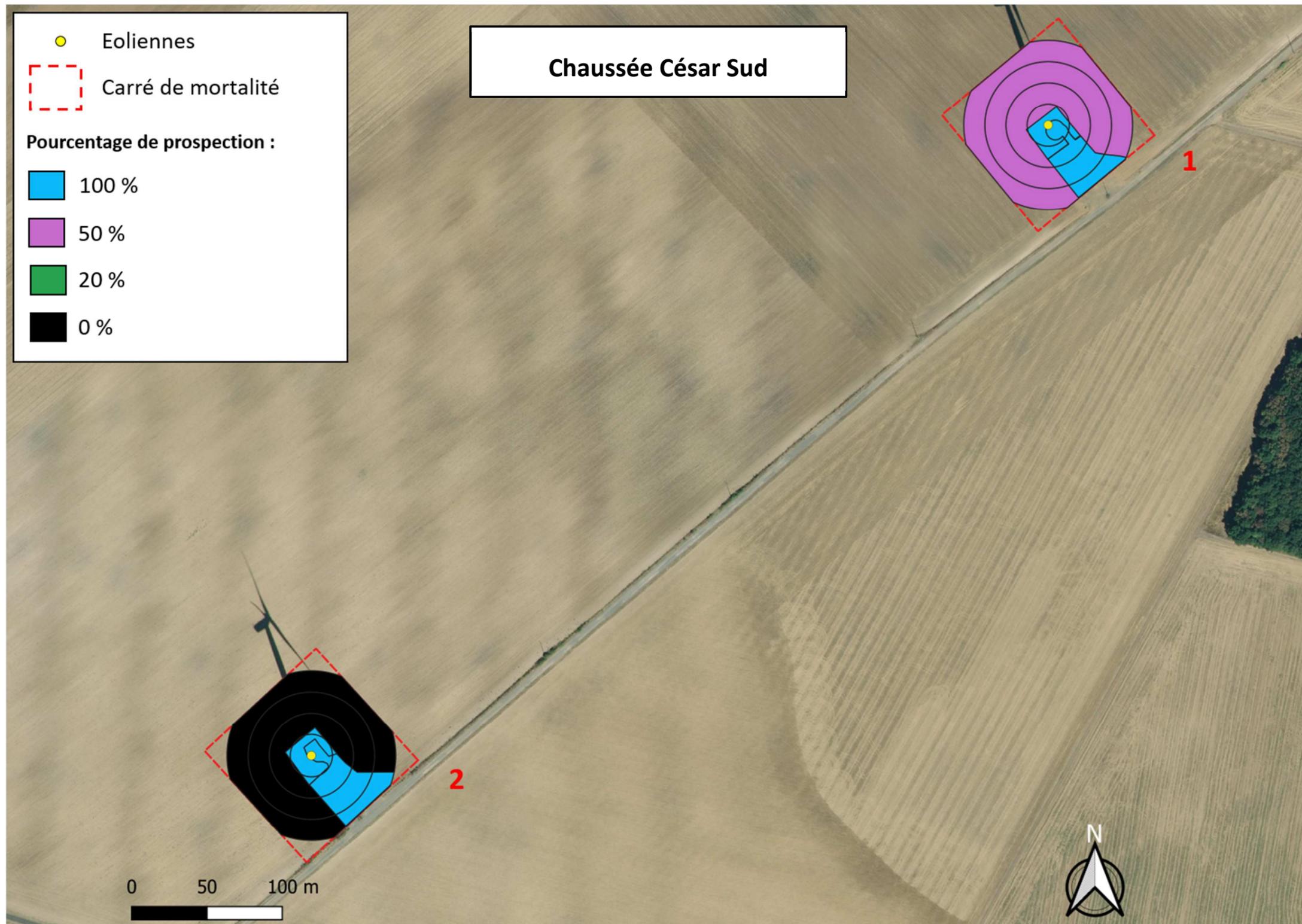


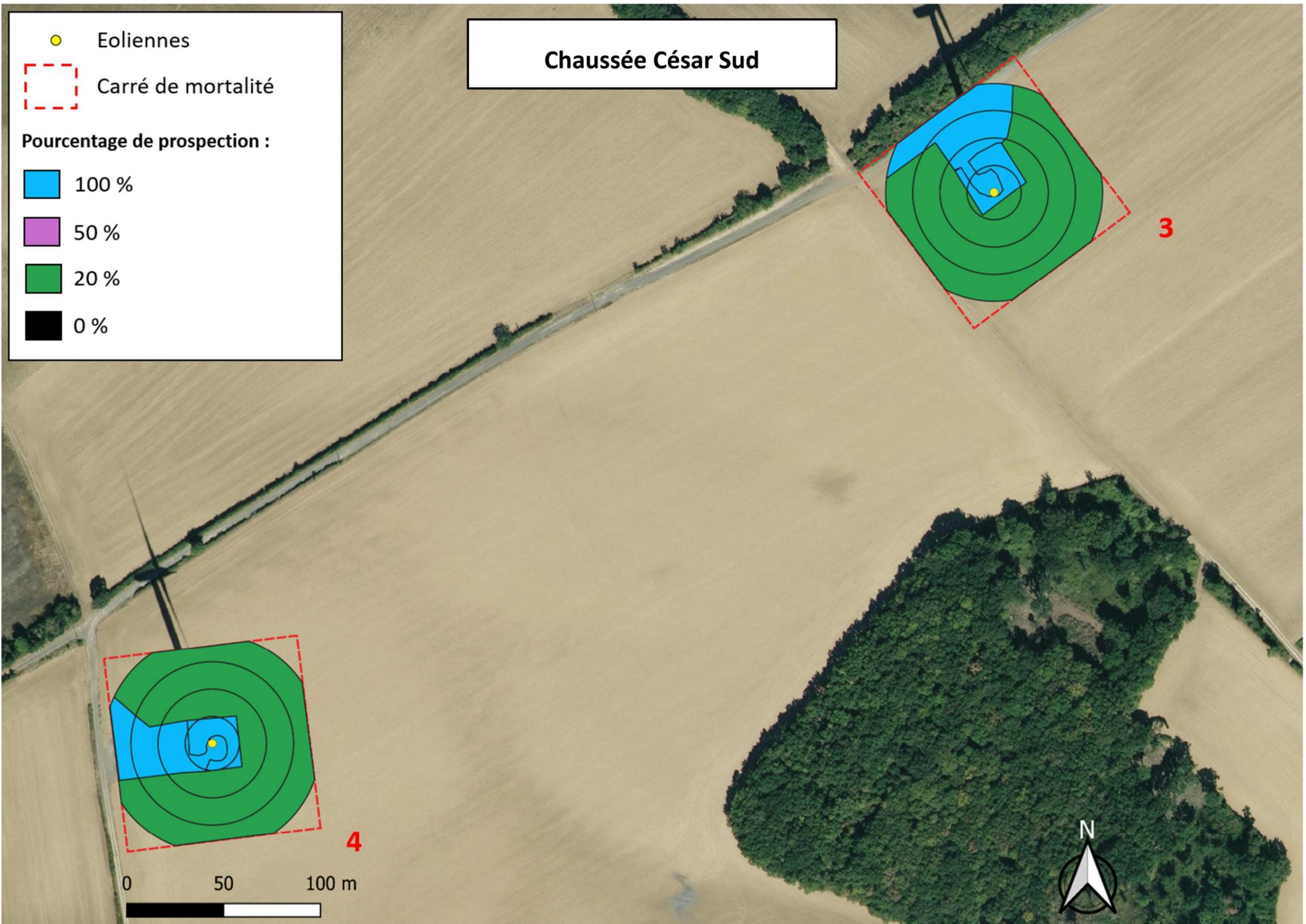
Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents niveaux de difficulté de prospection. Ainsi, l'évolution de la hauteur de végétation sera prise en compte dans l'estimation des taux de mortalité.

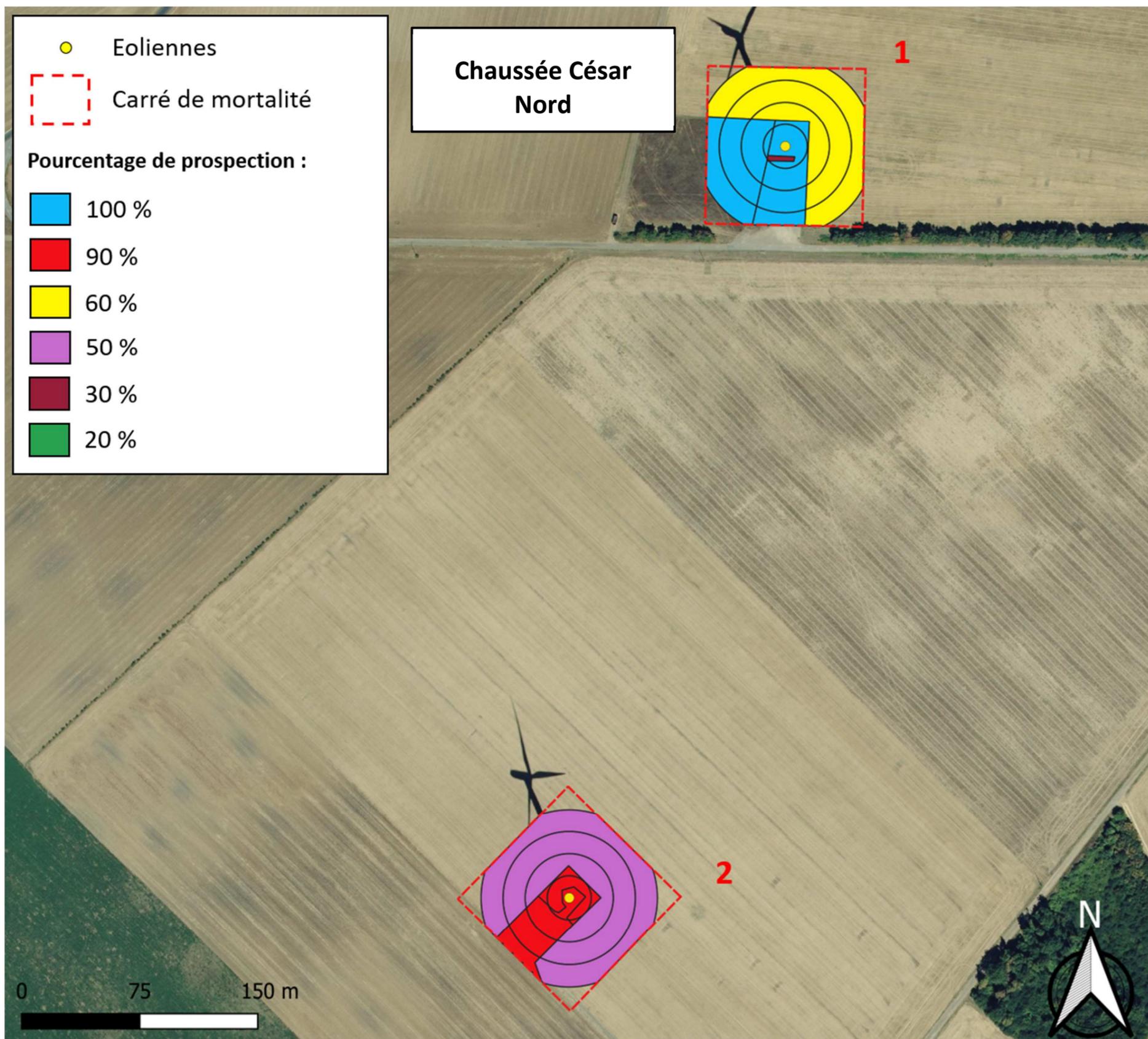
Certaines zones ne sont pas prospectées (zones non prospectables) puisqu'on ne peut pas exclure, par exemple, que certains cadavres soient restés bloqués au niveau des branchages dans leur chute. Ces surfaces non prospectées seront alors évaluées pour prendre en compte ce biais au niveau des calculs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

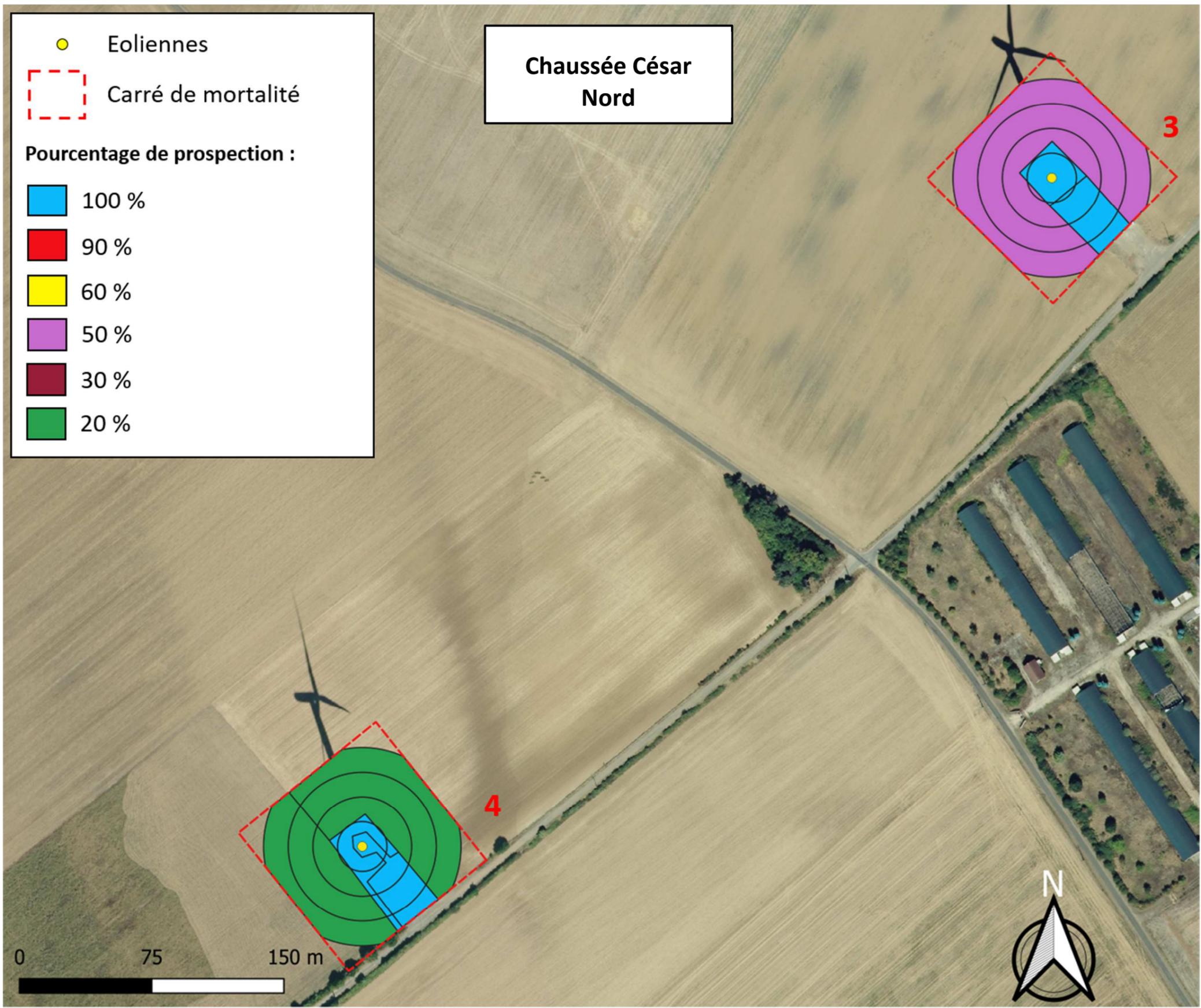
Pour l'ensemble de la période de suivi, il est possible de calculer le pourcentage de prospection pour chaque zone délimitée (100% : surface prospectée à chaque visite, 0% : surface non prospectée sur la période). Ce paramètre est aussi pris en compte dans le calcul du coefficient surfacique. La Figure 22 de la page suivante propose de visualiser les surfaces prospectées et celles non prospectées.

Figure 22 : Cartes de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes









4.2.5 Recueil des données et destination des cadavres

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 climatiques, 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 tableur 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 a posteriori et la précision du découvreur. Une photo du cadavre est également prise à proximité du sac de congélation préalablement codifié. Il est alors prélevé pour procéder aux analyses a 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 et al. 2009), Cahier technique d'identification des chiroptères (Marmet 2014) ...).

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 2 : Fiche de relevé de terrain.

Figure 23 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris



4.2.6 Détermination des coefficients correcteurs

4.2.6.1 Organisation générale

Le nombre total de chauves-souris tuées par les éoliennes est égal au nombre de chauves-souris trouvées mortes 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). Il en est de même pour les oiseaux. 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...).

Deux sessions de détermination de ces coefficients correcteurs ont été réalisées durant la campagne de suivi (les 17-18 Août et le 28 septembre 2020).

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 peluches trouvées par rapport au nombre de peluches déposées), 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 de test.

Deux tests de détection sont effectués au cours du suivi de la mortalité, répartis sur des saisons différentes. Ces derniers 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 25). 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).

Figure 24 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection



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

Les peluches doivent être dispersées 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 pourra ainsi permettre 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 25 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées



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.

Dans le cas présent, 2 tests de persistance ont été menés sur le parc, à différentes saisons. Ce choix se justifie par la nécessité d'avoir assez de données pour avoir une idée précise du taux de prédation sur le site, mais aussi pour éviter de répartir un grand nombre de proies sous 1 éolienne.

Pour se faire, des poussins 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. Chacun des tests a été réalisé à l'aide de 15 poussins (pour imiter des petits cadavres) et de 5 tas de 2 poussins positionnés côte à côte (pour imiter des plus gros cadavres). Ne disposant actuellement que de poussins d'élevage de taille comparable, nous considérons qu'un poussin est le cadavre test de petite taille (chauves-souris ou passereaux). Pour les cadavres de grande taille, 2 cadavres de poussins ont été disposés l'un contre l'autre.

Pour une meilleure efficacité lors de la recherche ultérieure des cadavres, 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 ...).

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 3 cadavres tests sont disposés sous la même éolienne.

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 : une visite le lendemain de la dispersion des cadavres (Retour test 1), puis 3 jours après la dispersion (Retour test 2), puis au bout de 7 jours après la dispersion (Retour test 3). Les retours-tests suivant sont espacés de 7 jours entre eux à chaque fois. Ces retours-tests sont réalisés jusqu'à ce que l'ensemble des cadavres-test ait disparu. Les retours-tests 1 à 3 sont rapprochés car les poussins disparaissent souvent dans la semaine. Il est donc important de revenir régulièrement sur le site pour avoir une idée précise de la vitesse de disparition des cadavres-tests.

4.2.6.4 Coefficient surfacique

Ce coefficient correcteur est déterminé in fine, après avoir saisi l'ensemble des fiches de terrain. Il se base sur les zones réellement prospectées au cours du suivi (Type 1 + Type 2 + Type 3) versus la zone de 1 ha par éolienne théoriquement prospectable, et aussi sur la dispersion des cadavres.

4.2.6.5 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 al. 2004 ; Cosson et al. 2004 ; Arnett 2006 ; Beucher et al. 2010...) 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...), puisque cette formule surestime le taux de mortalité. Les résultats seront donc présentés pour chacune des 5 formules disponibles à ce jour à notre connaissance.

4 à 5 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 : Winkelmann, Erickson, 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.

Précisons également que la typologie de la couverture végétale au niveau de chaque carré de prospection sera prise en compte pour permettre de distinguer l'influence de ce paramètre aussi bien sur la pression de prédation des nécrophages que sur l'efficacité de la recherche. Au cours de chaque passage, le chercheur précise alors au niveau du tableau l'évolution de cette végétation (taille de l'herbe qui pousse, opérations de débroussaillage...), de sorte qu'il sera possible de faire évoluer les valeurs de coefficients correcteurs de façon fine au cours de la campagne de suivi.

Aussi, nous avons utilisé 2 méthodes distinctes pour mener l'estimation du taux de mortalité :

- **La méthode des « moyennes »** est basée en grande partie sur une estimation moyenne des différents paramètres :
 - Plusieurs valeurs sont calculées sans prendre en compte la différence de prédation selon le type de végétation (p et Tm notamment)
 - Le taux de détection est quant à lui issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des types de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de

végétation. Ces paramètres sont ici calculés une fois, pour toute la période de suivi, quel que soit l'évolution de l'habitat (pousse de la végétation selon les périodes de l'année).

- **La méthode « pondérée »** est quant à elle basée sur la prise en compte des différents types de végétation et de l'évolution éventuelle de ces types de végétation durant la période de suivi.
 - Dans le cas d'une faible évolution de la hauteur de végétation durant le suivi, les paramètres seront donc estimés comme suit :
 - Le taux de détection est toujours issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des types de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation.
 - Les paramètres p et t_m sont aussi issu d'une pondération entre le calcul de ces mêmes paramètres selon le type de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation.
 - Dans le cas d'une évolution de la hauteur de végétation durant le suivi, cette méthode permet d'ajuster les paramètres selon des « périodes » où le pourcentage de chaque type de végétation prospecté est homogène. Les paramètres seront donc estimés comme suit pour chacune des périodes identifiées :
 - Le taux de détection est toujours issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des types de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation selon la période considérée.
 - Les paramètres p et t_m sont aussi issu d'une pondération entre le calcul de ces mêmes paramètres selon le type de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation selon la période considérée.

4.2.6.6 Intervalle de confiance

Nous utilisons aussi l'outil d'analyse de l'intervalle de confiance « EolApp » (Shiny) proposé par le CEFÉ-CNRS (A. Besnard) pour apprécier la robustesse statistique du protocole de suivi de la mortalité mis en œuvre pour estimer le taux de mortalité.

Par contre, nous tenons à souligner que cette approche des intervalles de confiance ne concerne qu'une approche quantitative des mortalités. Or, le constat de l'impact et donc, la nécessité et la façon de mettre en œuvre des mesures correctives repose aussi et surtout sur une perception qualitative de l'impact (quelles espèces sont concernées ? quels sont les statuts biologiques ou de patrimonialité ? quels rapports entre mortalités et état des populations ? ...). Autrement dit, au-delà de l'approche statistique du nombre de mortalités estimées, l'analyse fine des données brutes est tout aussi essentielle dans le processus de maîtrise des impacts éoliens.

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.

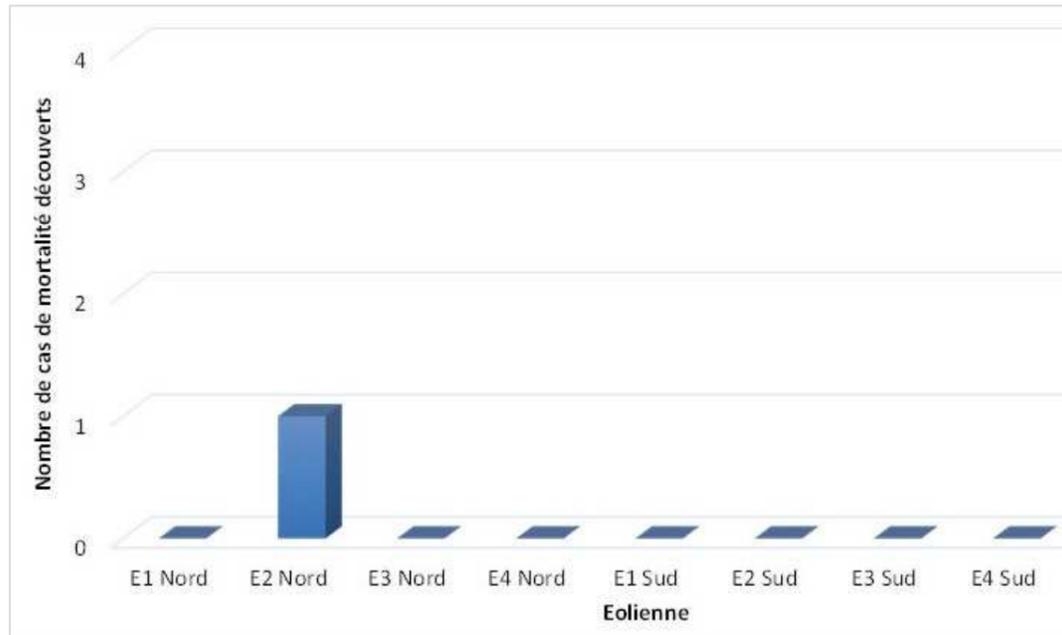
L'analyse des résultats cherchera à mettre en évidence l'importance de différents facteurs pour expliquer les éventuelles mortalités constatées (facteurs climatiques, facteurs milieux, facteurs lumières, autres facteurs comportementale particulier, types d'espèces, phénologie des espèces...) et proposer des mesures correctives adaptées.

4.3 Bilan de la mortalité des chauves-souris

4.3.1 Bilan des mortalités par éolienne

Une seule chauve-souris fut retrouvée sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 18 août et le 28 octobre 2020 (Figure 26). Pour rappel, lors du suivi de mortalité de 2018 sur le parc de Chaussée César Sud, 2 cadavres au total avaient été retrouvés au mois d'août.

Figure 26 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2020 et par éolienne



Pour 11 visites de recherche réalisées au cours du suivi de mortalité 2020 (2,5 mois de suivi réel), cela représente une moyenne de 0,4 chauve-souris découverte par mois sous l'ensemble des éoliennes (soit 8 éoliennes). L'éolienne E2 du parc de Chaussée César Nord est à l'origine de l'unique cas de mortalité avérée de chauve-souris en 2020. Durant les suivis précédents, le nombre moyen de chauves-souris découvertes était de 0,66 par mois sous l'ensemble des éoliennes et les deux cas de mortalité avérés avaient été provoqués par les éoliennes E1 et E4 du parc de Chaussée César Sud.

4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris

Le premier graphique de la Figure 28 représente la chronologie des découvertes de cadavres de chauves-souris sur l'ensemble du parc éolien en 2020.

Le délai qui s'écoule entre la mort des chiroptères 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 2020 sur une visite de terrain par semaine selon la période, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier ;

- Entre 0 (cas d'une chauve-souris tombée la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (en période d'une seule visite 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 précoces, 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 fousseurs tels que le Bouclier sinué (*Thanatophilus sinuatus*) intervenant au stade de putréfaction (digestion extra orale des cadavres).
 - Ou du Nécrophore chasseur (*Necrophorus 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 deux 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. Le deuxième graphique de la Figure 28 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur

une si large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations à posteriori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

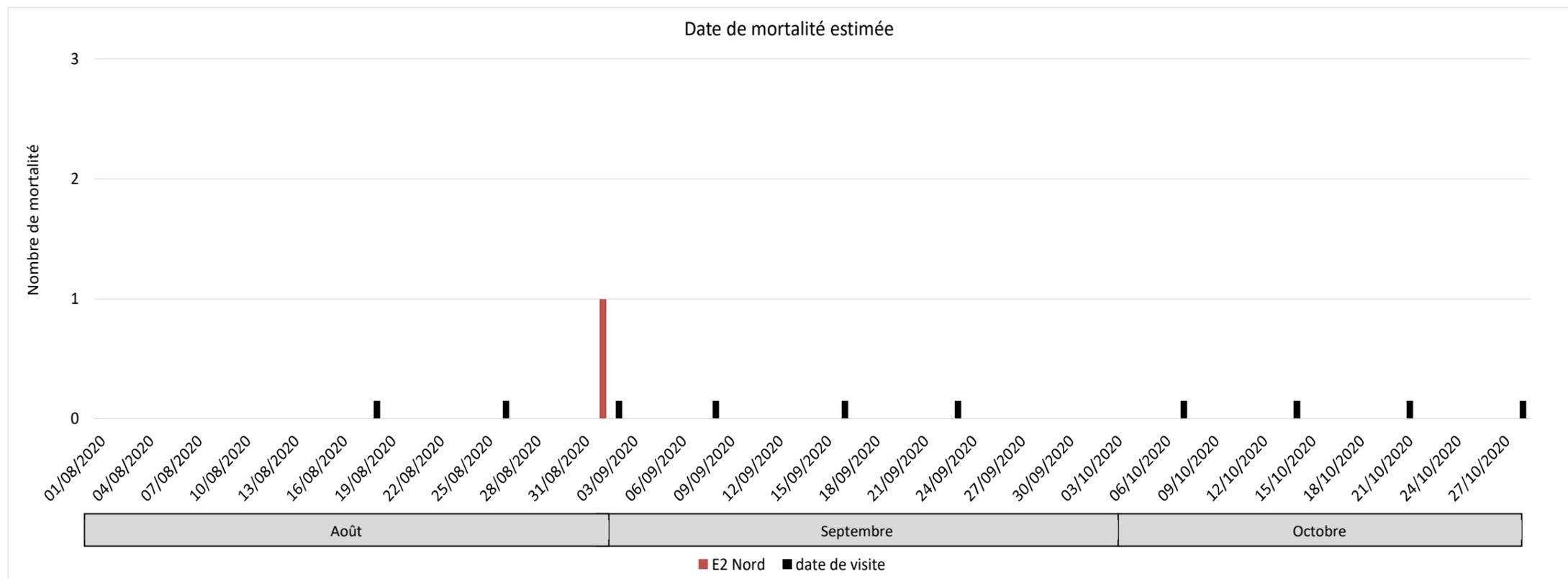
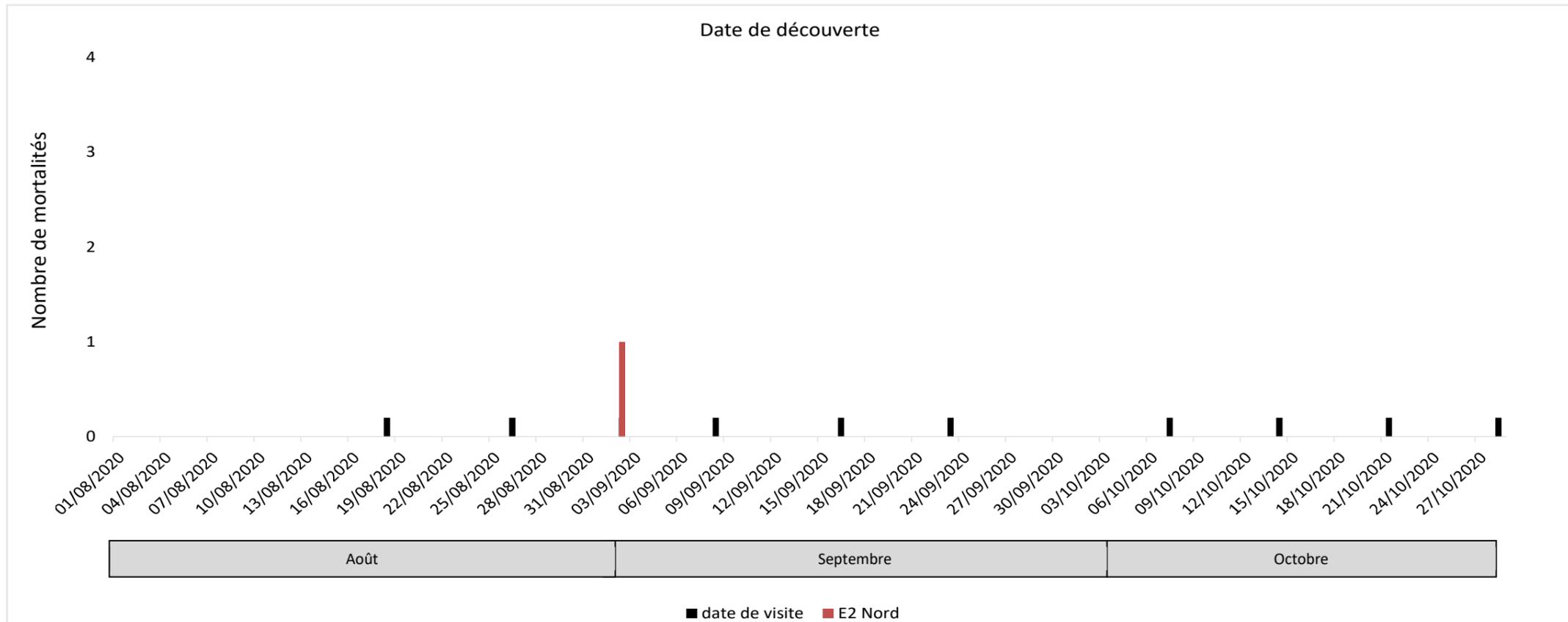
Précisons que, comparativement à d'autres parcs éoliens suivis dans la région avec la même méthodologie, les mortalités constatées sous celui de Chaussée César Sud et Nord ont apparemment été peu concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage même si l'état de dégradation de certains cadavres était avancé.

Figure 27 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) par un couple de Nécrophore chasseur (*Thanatophilus sinuatus*), sous un autre parc



Les profils généraux des histogrammes mensuels des mortalités constatées de la page suivante permettent une vision de synthèse des périodes sensibles pour les chiroptères.

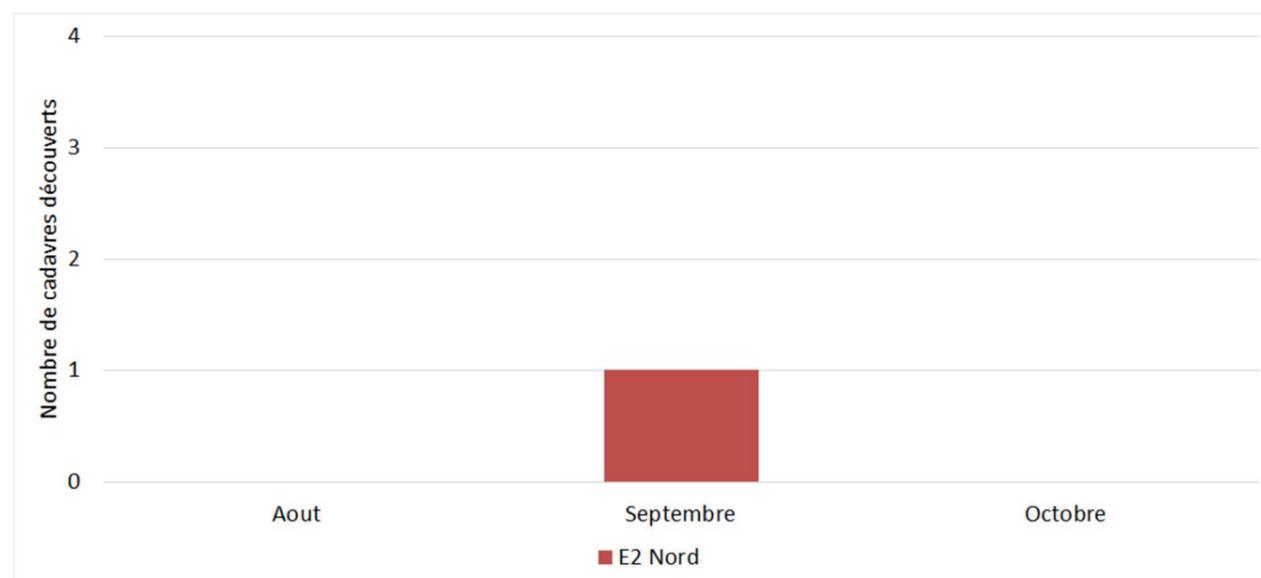
Figure 28 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020



En ce qui concerne les rapports entre chronologie des mortalités et les éoliennes, il est risqué de tirer des conclusions au vu du nombre de cadavres retrouvés en 2020. La seule éolienne affectée par un cas de mortalité de chauve-souris est l'éolienne 2 de Chaussée César Nord le 02 septembre 2020 (Figure 29). A titre de comparaison, les précédents cas de mortalité ont été retrouvés en août et en septembre 2018 au niveau de E1 et E4 de Chaussée César Sud.

Nous analyserons par la suite à quelle phénologie du cycle biologique des espèces correspond cette période de mortalité et dans quelles conditions climatiques générales a-t-elle pu avoir lieu.

Figure 29 : Chronologie des mortalités de chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2020 et en fonction des éoliennes suivies



4.3.3 Typologie des cadavres découverts

4.3.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. Dans notre cas précis, la chauve-souris retrouvée en 2020 sur site était en bon état, le cadavre a fait l'objet de plusieurs analyses biométriques.

Le **cortège d'espèces impactées en 2020 est donc peu diversifié** car un seul cadavre a été découvert, une Noctule de Leisler. A titre indicatif, une Pipistrelle commune et une Noctule commune ont été retrouvées en 2018.

La Figure 30 présente les statuts de protection et de conservation de l'espèce retrouvée sous l'éolienne E2 de Chaussée César Nord.

Figure 30 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation de l'espèce de chauves-souris retrouvée sous les éoliennes des parcs de Chaussée César en 2020

Espèce	Nom scientifique	Abréviation	Statut de protection			Plan national d'action (2016-2025)			Statut de conservation				Niveau de patrimonialité
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Espèce prioritaire	Espèce à forte pression liée à l'éolien	Tendance évolutive	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre (2012)	
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nlei	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré à fort

4.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne

Au vu de l'unique cas de mortalité, il semblerait hasardeux d'avancer que la mortalité de la Noctule de Leisler est associée à une éolienne en particulier sur ce site. Néanmoins, il est toujours possible de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, dispersion des jeunes...) ou comportementales (chasse en groupe, comportements sociaux...) pour l'éolienne considérée. Sur ce parc, il apparaît que les éoliennes sont relativement hautes (hauteur en bout de pale de l'ordre de 150m), et que la distance entre le bout de pale et le sol est d'une cinquantaine de mètres. L'ensemble de ces éoliennes est situé en milieu ouvert. Certaines espèces de chiroptères se trouvent généralement aux alentours de 32 mètres au-dessus du sol mais d'autres espèces comme la Noctule de Leisler sont des espèces de haut vol (vol de plein ciel, sans support d'écholocation particulier) qui peuvent donc se retrouver à hauteur de rotor sur ce parc.

4.3.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

Deux types de mortalité peuvent être définis :

- La mortalité dite « régulière » correspond à une mortalité étalée sur la période de suivi et qui apparaît par hasard due à une activité régulière (mais très faible) des chiroptères en hauteur.
- Les pics de mortalité sont quant à eux bref dans le temps et correspondent à plusieurs cas de mortalité consécutifs. Il s'agit d'une forte mortalité très ponctuelle qui est due à plusieurs facteurs climatiques dont la durée dans le temps ne dépasse pas quelques minutes ou quelques heures et qui augmente le risque de collision pour les chiroptères (conditions orageuses, essaimages d'insectes...).

La mortalité de début septembre peut être définie comme aléatoire et ne correspond pas à un pic de mortalité. Cette mortalité semble donc liée à une activité régulière en hauteur sur le site et donc amener des cas de mortalité ponctuels. Aucun pic de mortalité n'a été relevé durant ce suivi, ni dans les suivis de mortalité des années précédentes.

4.3.3.4 Interprétation par espèce (phénologie, comportement de vol...)

- Noctule de Leisler (1 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Noctule de Leisler**, le cas de mortalité constaté est noté début Septembre (1 individu femelle). Il est probable que cet individu ait été impacté lors de comportements de chasse, mais on ne peut exclure d'éventuels mouvements de transits. Cette espèce possède un statut de conservation peu favorable en France et en région Centre (quasi-menacée), et est une espèce prioritaire faisant l'objet d'un plan national d'action du fait de sa forte sensibilité à l'éolien. La Noctule de Leisler possède un vol très rapide, à plus de 40km/h, et en général rectiligne. Elle adopte en particulier des comportements dangereux vis à vis des éoliennes lorsqu'elle chasse, pouvant s'élever à haute altitude (au-delà de 100m, Dietz et al. 2009)

Figure 31 : Cliché de la Noctule de Leisler découverte le 02 Septembre 2020 sous l'éolienne 2 de Chaussée César Nord

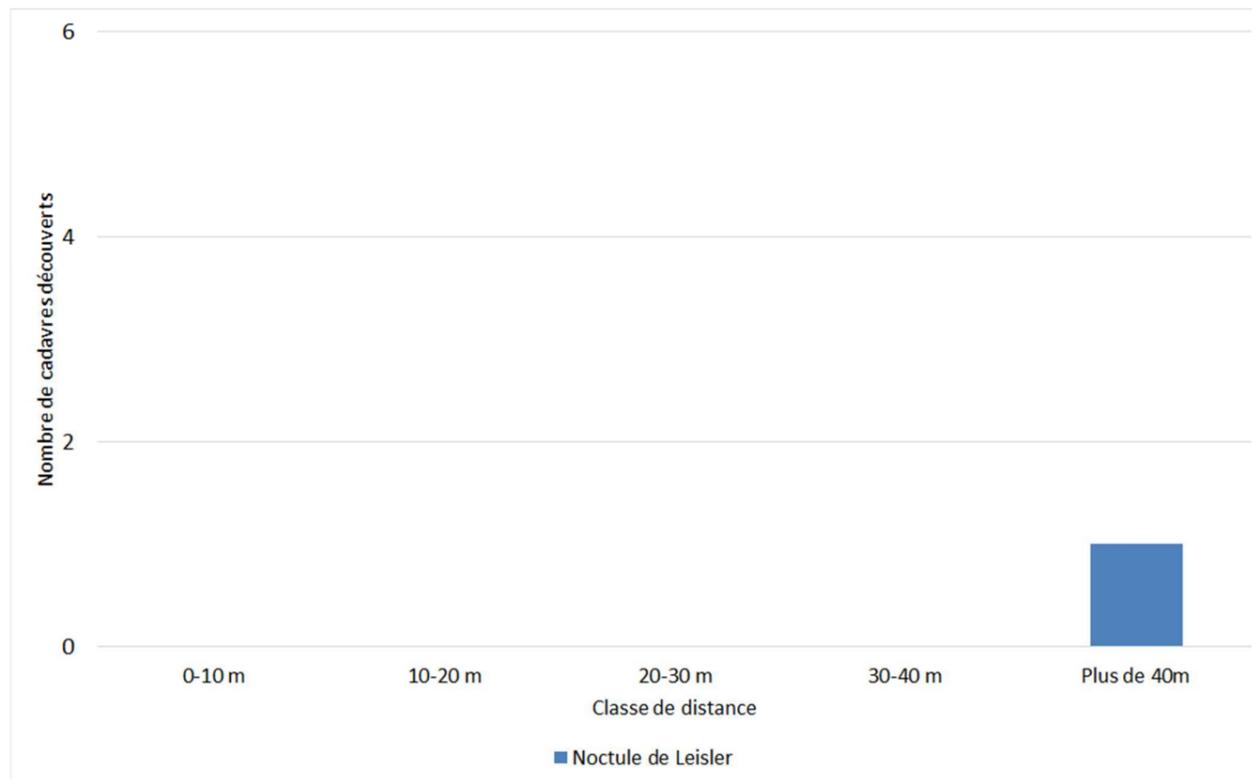


4.3.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

L'expérience montre que la précision de la distance de dispersion des cadavres vis-à-vis des mâts des éoliennes peut permettre de préciser la nature des causes de mortalité. Ainsi sous le parc éolien de Castelnau Pégayrols ce paramètre était apparu caractéristique des mortalités occasionnées dans la partie basse du champ de rotation des pales, mortalités alors dues en partie à l'allumage automatique de lumières au passage des chauves-souris (BEUCHER et KELM 2010).

Concernant le suivi de 2020, le graphique suivant (Figure 32) témoigne d'une dispersion à plus de 40 mètres pour le cas de mortalité avéré. Elle laisse présager **des causes ou des conditions de mortalités particulières** pour ce cadavre.

Figure 32 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



Pour préciser cette notion de dispersion selon les espèces, on peut ajouter que :

- La Noctule de Leisler a été retrouvée à 44 mètres du mât de l'éolienne, ce qui peut laisser penser que la collision ait eu lieu pour un individu volant dans la partie haute du champ de rotation du rotor.

De ce fait, nous retiendrons que la dispersion laisse supposer que la mortalité constatée peut être liée à des vols relativement hauts de la part d'une espèce de haut vol.

4.3.5 Taux de mortalité des chauves-souris

4.3.5.1 Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2020

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

3 types de recouvrement du sol ont donc été créés :

- Type 1 : Gravier et chemin d'accès (pas ou très peu de végétation)
- Type 2 : Végétation d'une hauteur inférieure à 30 cm et peu dense
- Type 3 : Végétation d'une hauteur supérieure à 30 cm et dense.

Cette proportion est calculée au prorata de la surface prospectée. Par exemple, si sur une surface de 1 hectare, nous prospectons 0,4 hectares (0,6 hectares de boisement) et que sur ces 0,4 hectares, 0,2 hectares correspond à du type 1 et 0,2 hectares correspond à du type 2, nous aurons alors prospecté 50% en type 1 et 50% en type 2.

Le tableau ci-contre (Figure 33) montre la part moyenne de chaque type végétation au cours du suivi, ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies selon le protocole standardisé.

Dans le cas présent, une seule période a pu être distinguée en fonction de la hauteur de végétation en fonction des différents types identifiés.

Figure 33 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres de chauves-souris découverts sous les éoliennes)

Date des visites	Période	Végétation			Mortalité chauves-souris
		Type 1	Type 2	Type 3	
18-août	Période 1	28,39	70,35	1,26	
26-août	Période 1	0,00	74,58	25,42	
2-sept.	Période 1	22,45	54,65	22,90	1
8-sept.	Période 1	28,66	68,03	3,31	
16-sept.	Période 1	25,92	74,08	0,00	
23-sept.	Période 1	63,28	36,72	0,00	
28-sept.	Période 1	15,25	84,75	0,00	
7-oct.	Période 1	15,60	84,40	0,00	
14-oct	Période 1	47,37	52,63	0,00	
21-oct	Période 1	63,28	36,72	0,00	
28-oct	Période 1	62,64	37,36	0,00	
Moyenne		33,89	61,30	4,81	1,00

4.3.5.2 Les formules utilisées

■ Winkelmann (2005)

Cette équation est celle conseillée par le protocole LPO (Andre 2009) et c'est la formule la plus simpliste des quatre que nous avons utilisées :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a$$

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

C : Le nombre de cadavres comptés

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)

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

a : Coefficient de correction surfacique

L'inconvénient de cette formule, et pas des moindres, est l'impossibilité d'effectuer le calcul si le taux de persistance est égal à 0 (si tous les cadavres disparaissent entre 2 visites). Ce cas peut être assez courant sur des sites où la prédation est très marquée notamment à proximité de fermes où des chiens errants peuvent être présents. L'expérience montre également que cette formule surestime la réalité.

■ 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 (cf. paragraphe « Coefficient de correction surfacique »).

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

■ 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 :

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

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)

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 :

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

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

4.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2020, deux tests ont été menés le 18 août et le 28 septembre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

Il est important de noter que dans l'ensemble des tableaux de résultats, autant pour le calcul des paramètres que pour les résultats du taux de mortalité, **les nombres indiqués sont arrondis au centième pour une meilleure lisibilité**. Cependant, dans les calculs du taux de mortalité, les calculs ne prennent pas en compte ces nombres arrondis mais bien dans leur intégralité, ce qui peut induire des petites différences dans les résultats de calculs des taux de mortalité notamment.

■ Taux de détection

Figure 34 : Tableau des résultats du test 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	20	12	0,60
Type 1	Moyenne	Moyenne	7	5	0,71
Type 2	Moyenne	Moyenne	10	6	0,60
Type 3	Moyenne	Moyenne	3	1	0,33
Moyen	E2 Nord	18/08/2020	10	5	
Type 1	E2 Nord	18/08/2020	4	2	
Type 2	E2 Nord	18/08/2020	4	2	
Type 3	E2 Nord	18/08/2020	2	1	
Moyen	E1 Sud	28/09/2020	10	7	
Type 1	E1 Sud	28/09/2020	3	3	
Type 2	E1 Sud	28/09/2020	6	4	
Type 3	E1 Sud	28/09/2020	1	0	

	d	Pourcentage de prospection		
		Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,63	33,89	61,30	4,81
Méthode pondérée	0,63	33,89	61,30	4,81

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavres découverts 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 végétation vus précédemment.

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

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

$$d = 0,71 * (33,89/100) + 0,60 * (61,30/100) + 0,33 * (4,81/100) = 0,63$$

Les parties boisées contenues dans les carrés de mortalité n'ont pas été prospectées car elles ne peuvent être prospectées de façon rigoureuse (cadavres dans les branchages, au sol...).

Lors du suivi de mortalité de 2018, le coefficient d était de 0,80. En 2020, la détection des cadavres a donc été légèrement moins bonne : 63% des peluches dispersées pour le test ont été retrouvées par le chercheur.

■ Taux de persistance

Figure 35 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance (en orange le nombre de cadavres restant estimé)

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Nombre de jours après dépôt						Tm	p_moyenne	p_période 1
				1	3	8	9	18	23			
Moyen		Moyenne	30	27	18	9	9	6	0	5,70	0,35	0,35
Type 1		Moyenne	10	10	5	1	1	1	0	3,50	0,17	0,17
Type 2		Moyenne	11	9	6	5	5	3	0	7,09	0,47	0,47
Type 3		Moyenne	9	8	7	3	3	2	0	6,44	0,41	0,41
Moyen	Toutes	17/08/2020	15	12	7	0	0	0	0			
Type 1	Toutes	17/08/2020	5	5	3	0	0	0	0			
Type 2	Toutes	17/08/2020	5	3	1	0	0	0	0			
Type 3	Toutes	17/08/2020	5	4	3	0	0	0	0			
Moyen	Toutes	28/09/2020	15	15	11	9	9	6	0			
Type 1	Toutes	28/09/2020	5	5	2	1	1	1	0			
Type 2	Toutes	28/09/2020	6	6	5	5	5	3	0			
Type 3	Toutes	28/09/2020	4	4	4	3	3	2	0			

	Tm	p	Pourcentage de prospection		
			Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	5,70	0,35			
Méthode pondérée	5,84	0,37	33,89	61,30	4,81

- Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

« p », utilisé pour la formule de Winkelman (+ 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).

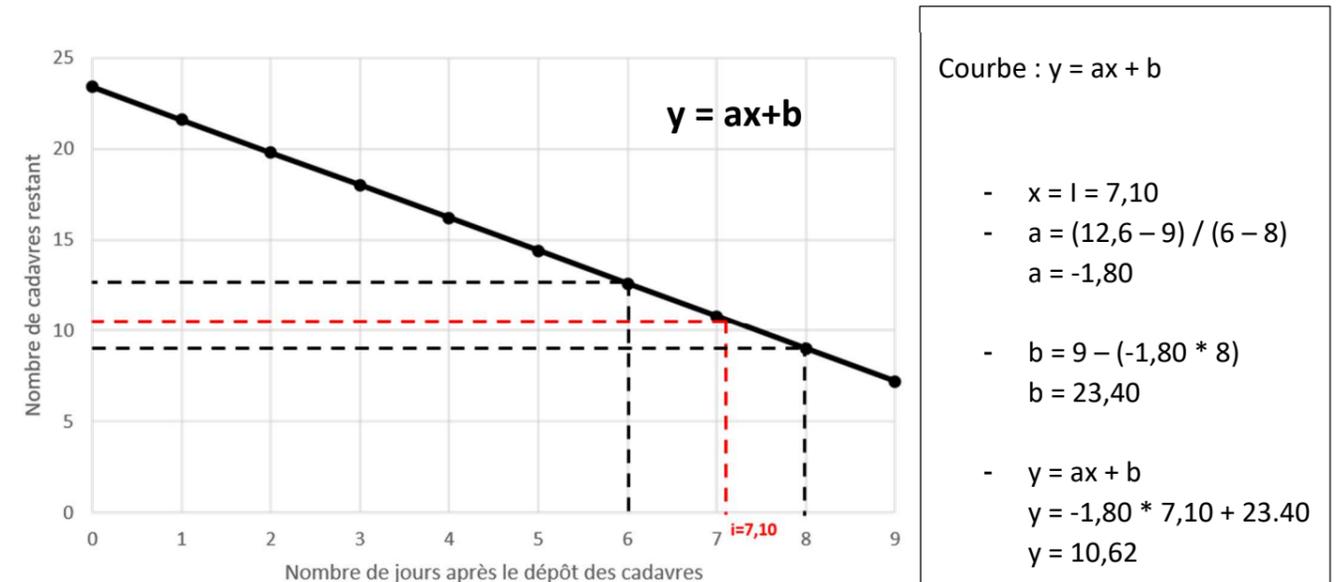
Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2020 (cf. Figure 20). Le tableau suivant détaille ce calcul. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de **I = 7,10 jours**.

Figure 36 : Tableau de calcul de l'intervalle moyen entre deux visites

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	1	5
6	1	6
7	5	35
8	2	16
9	1	9
Total	10	71
Intervalle pondéré (tot)		7,10

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 23 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Le schéma suivant (Figure 37) montre les étapes de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours ».

Figure 37 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après I jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{10,62}{30} = 0,35$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,35**.

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **p de 0,37**.

En 2018, le coefficient p moyen était de 0,39. Le taux de persistance est similaire en 2020, signifiant que la prédation est aussi importante en 2020 qu'en 2018.

- Paramètre Tm (formules d'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 disparu. Dans notre cas précis, **Tm est égal à 5,70.**

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

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **Tm de 5,84.**

En 2018, le coefficient Tm moyen était de 4,68. En 2020, la vitesse moyenne de disparition des cadavres est plus longue. Les cadavres disparaissent plus lentement en 2020, ce qui dénote une prédation moins importante sur le site. Les cadavres disparaissent entre 5 et 6 jours.

■ 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 et 56 m, de sorte de la surface considérée soit proche des 1ha de prospection réalisé sous la plupart des parcs éoliens (pour permettre des comparaisons). 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 tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2020 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

	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	8	3,4464	1,19	34,42	1
28m - 42m	0,3077	8	2,4616	1,09	44,40	0
14m - 28m	0,1846	8	1,4768	0,77	52,23	0
0m - 14m	0,0615	8	0,492	0,46	92,68	0

$$a = 2,91$$

En 2018, le coefficient surfacique était de 1,49. Le coefficient de correction surfacique est donc plus élevé en 2020, avec l'unique cadavre retrouvé dans le dernier disque de prospection (42-56 m), et un pourcentage de surface prospectée de moins en moins important lorsqu'on s'éloigne du mât. En 2020, le pourcentage prospecté est très élevé dans le premier cercle de prospection (0 - 14m) mais est plus faible qu'en 2018 pour les autres disques de prospection, expliquant un coefficient surfacique plus élevé en 2020.

4.3.5.4 Calcul de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »)

Le tableau suivant (Figure 38) synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 38 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	1,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,63	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,35	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	5,70	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	7,10	Pas de temps du suivi
Î	11,40	Î = - log(0.01) * tm
ê	1,00	ê = Min(I/Î) / I
a	2,91	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 (sachant que les valeurs de chaque paramètre est arrondi au centième).

Winkelmann :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{1}{0.35 \times 0.63} \times 2.91 = 13.11$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{7.10 \times (1 - 1 \times 0.35)}{5.70 \times 0.63} \times 2.91 = 5.76$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{7.10 \times 1}{5.70 \times 0.63} \times 2.91 = 5.78$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}} \times a = \frac{1}{0.63 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 7.10 / 5.70)}} \times 2.91 = 8.65$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I / tm})}{I} \times \hat{e}} \times a = \frac{1}{0.63 \times \frac{5.70 \times (1 - e^{-7.10 / 5.70})}{7.10} \times 1} \times 2.91 = 8.12$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 18 août au 28 octobre 2020 et pour la totalité des éoliennes du site. Ces résultats sont basés sur 2,5 mois, soit une partie de la période d'activité du cycle biologique des chiroptères. Même si ce raisonnement dépend bien sûr des espèces, on considère en effet que la phase d'activité des chiroptères s'étale en moyenne sur 8 mois/an (4 mois d'hibernation) sur le site de Chaussée César Sud et Nord.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- on divise ces résultats par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- on divise par 2,5 (2,5 mois) → 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 moyenne des chiroptères)
- on multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères).

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 2,83 mortalités par éolienne et par an** (Figure 39), avec une fourchette qui oscille entre 2,30 et 3,46 (5,25 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 39 : Résultats des calculs de taux de mortalité des chauves-souris pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	13,11	5,76	5,78	8,65	8,12	8,29	7,08
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	1,64	0,72	0,72	1,08	1,01	1,04	0,88
Mortalité par éolienne et par mois	0,66	0,29	0,29	0,43	0,41	0,41	0,35
Mortalité par éolienne et pour une année	5,25	2,30	2,31	3,46	3,25	3,31	2,83
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	41,96	18,44	18,50	27,69	25,98	26,51	22,65

4.3.5.5 Calcul de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »)

Ici on tient compte de la hauteur des types de végétation. Ci-dessous (Figure 40) sont ainsi présentées les valeurs des paramètres nécessaires aux différentes équations.

Figure 40 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	1,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,63	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,37	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	5,84	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	7,10	Pas de temps du suivi
\hat{l}	11,69	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
\hat{e}	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
a	2,91	Coefficient de correction surfacique

Les résultats pour cette seconde méthode de calcul sont présentés dans le tableau suivant. Les résultats sont présentés selon les mêmes formats que pour la première méthode de calcul, c'est-à-dire ramenés par éolienne, puis par éolienne et par mois, puis par éolienne et sur l'ensemble de la période d'activité théorique des chauves-souris et enfin pour le parc éolien entier.

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. **Le tableau aboutit à un résultat moyen de l'ordre de 2,78 mortalités par éolienne et par an** (Figure 41), avec une fourchette qui oscille entre 2,25 et 3,41 (5,06 pour la formule de Winkelmann) mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 41 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	12,65	5,62	5,64	8,52	8,02	8,09	6,95
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	1,58	0,70	0,71	1,07	1,00	1,01	0,87
Mortalité par éolienne et par mois	0,63	0,28	0,28	0,43	0,40	0,40	0,35
Mortalité par éolienne et pour une année	5,06	2,25	2,26	3,41	3,21	3,24	2,78
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	40,49	17,98	18,05	27,27	25,66	25,89	22,24

4.3.5.6 Calcul de mortalité avec l'application Shiny « EolApp »

L'application Shiny « EolApp » a été créée par Aurélien Besnard et Cyril Bernard pour permettre d'obtenir les intervalles de confiance à 95% des estimations de mortalité obtenues dans le cadre des suivis sous les éoliennes. 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.

Pour ce qui est de la méthode de calcul à employer, il y a deux possibilités, soit en « non-paramétrique », soit en « 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 (ce qui est le cas ici). La

deuxième méthode est plus rapide mais pertinente uniquement pour des jeux de données très conséquents.

Le tableau suivant (Figure 42) détaille l'ensemble de ces paramètres.

Figure 42 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »

Paramètre	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	7,10
Nombre de cadavre déposé pour l'étude de détection	20
Nombre de cadavre découvert pour l'étude de détection	12
Pourcentage de la surface prospectée	0,45

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.

Figure 43 : Sortie de l'application Shiny 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	4,31	0,00	18,03	0,00	11,76
Huso	6,16	0,00	23,80	0,00	15,93
Winkelmann	11,40	0,00	53,33	0,00	33,33
Jones	6,59	0,00	26,23	0,00	17,29
Moyenne par éolienne	0,89	0,00	3,79	0,00	2,45
Moyenne par éolienne (sans Winkelmann)	0,71	0,00	2,84	0,00	1,87

En considérant les 4 modèles, il y a 80% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 0 et 2,45 cas de mortalité (entre 0 et 1,87 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann). De même, il y a 95% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 0 et 3,79 cas de mortalité (entre 0 et 2,84 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann).

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- on divise par 2,5 (2,5 mois de suivi) -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**

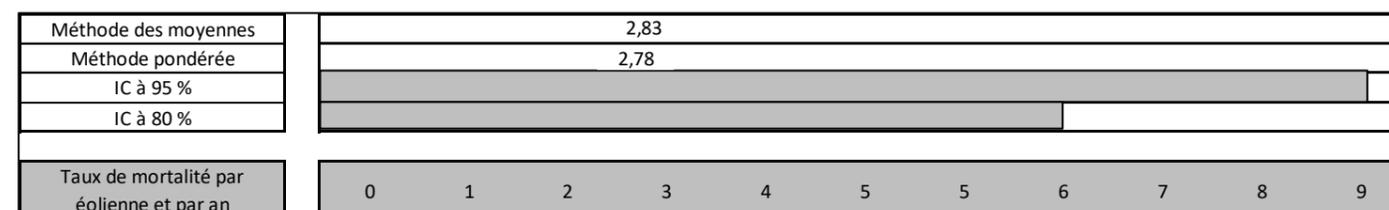
- on multiplie par 8 -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des chauves-souris).

On aboutit donc à un résultat pour un intervalle de confiance de 95% de l'ordre de 0 à 9 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann). A un intervalle de confiance de 80%, le résultat est de l'ordre de 0 à 6 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

Enfin, si on s'intéresse à la médiane moyennée (sans Winkelmann) de 0,71 mortalités par éolienne sur la période de suivi, on aboutit à un résultat de **2,27 mortalités/éolienne/an**.

4.3.5.8 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2020

La fourchette de résultats fournie par l'application Shiny « Eol App » concorde avec nos calculs, même s'ils se situent plutôt dans la fourchette basse de l'intervalle de confiance. Aussi, nous retiendrons que **théoriquement nous aboutissons à un résultat de l'ordre de 2 à 3 cas de mortalité par éolienne et par an, soit entre 16 et 24 mortalités par an pour les parcs éoliens de Chaussée César Sud et Nord (constitués en tout de 8 éoliennes, 4 pour chaque parc).**



Pour rappel, le taux de mortalité était estimé à entre 3,83 et 4,57 chauves-souris par éolienne et par an en 2018 (selon la méthode des moyennes et la méthode pondérée). Ces taux de mortalités sont plus élevés que ceux calculés par les mêmes méthodes en 2020, à savoir entre 2,78 et 2,83 chauves-souris par éolienne et par an.

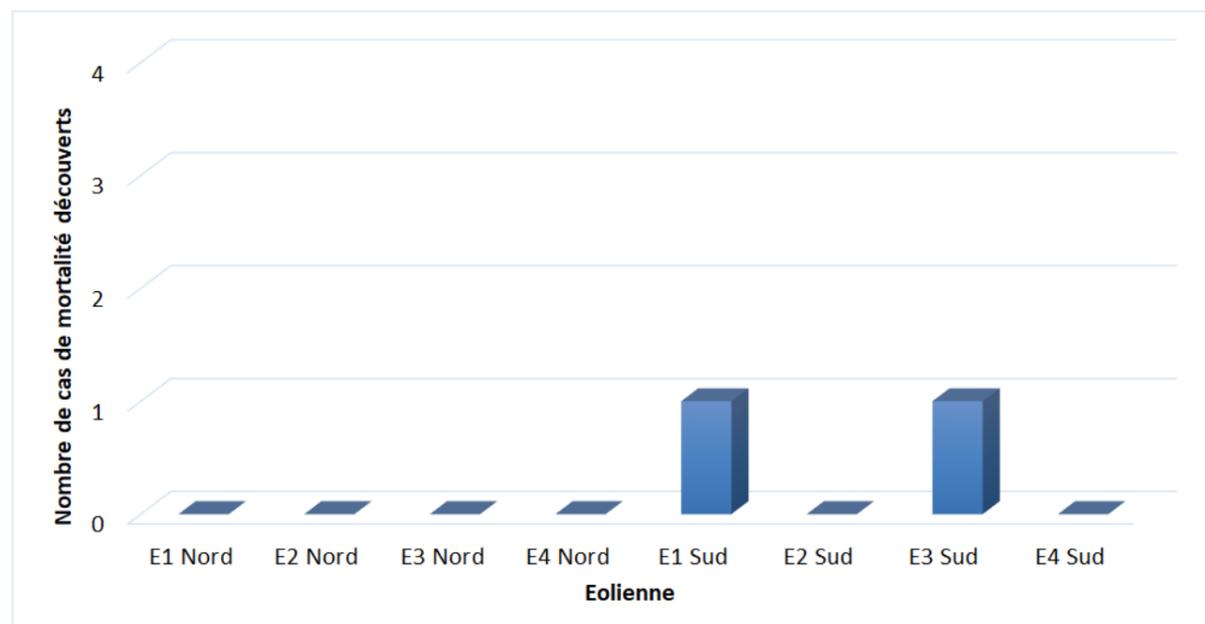
4.4 Bilan de la mortalité des oiseaux

4.4.1 Bilan des mortalités par éolienne

Deux oiseaux morts ont été retrouvés sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 18 août et le 28 octobre 2020 (Figure 44) et sont liés au fonctionnement du parc. Trois autres oiseaux morts ont été retrouvés mais correspondent vraisemblablement à des individus chassés à proximité des éoliennes (un Faisan de Colchide et deux plumées de gibiers chassables indéterminés), ces mortalités ne seront pas prises en compte dans les représentations graphiques et les calculs de taux de mortalité.

Pour rappel, deux oiseaux et deux plumées avaient été retrouvés au total durant les 3 mois de suivi de mortalité réalisé en mai, août et septembre 2018.

Figure 44 : Bilan des mortalités des oiseaux constatées en 2020 et par éolienne



Pour 11 visites de recherche réalisées au cours du suivi de mortalité 2020 (2,5 mois de suivi réel), cela représente une moyenne de 0,8 oiseau découvert par mois sous l'ensemble des éoliennes (soit 8 éoliennes). Les éoliennes E1 et E3 du parc de Chaussée César Sud sont à l'origine des deux cas de mortalité avérés en 2020 (Figure 44). Durant les suivis précédents, les cas de mortalité avaient été provoqués par les éoliennes E1 (une plumée), E2 (une mortalité) et E3 (une mortalité et une plumée) en 2018.

On note qu'en 2020, les mortalités se sont réparties uniquement sur le parc de Chaussée César Sud, tandis que le parc de Chaussée César Nord ne comptabilise aucune mortalité avérée. En prenant en compte les résultats de 2018 et de 2020, il semble que les éoliennes E1 et E3 de Chaussée César Sud soient plus impactantes que les autres, mais le faible nombre de mortalités ne permet pas d'être catégorique à ce sujet.

4.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux

Le premier graphique de la Figure 45 représente la chronologie des découvertes de cadavres d'oiseaux sur l'ensemble du parc éolien en 2020.

Le délai qui s'écoule entre la mort des oiseaux et la date de découverte 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 2020 sur une visite de terrain par semaine, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier ;

- entre 0 (cas d'un oiseau tombé la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (en période d'une visite par semaine),
- parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

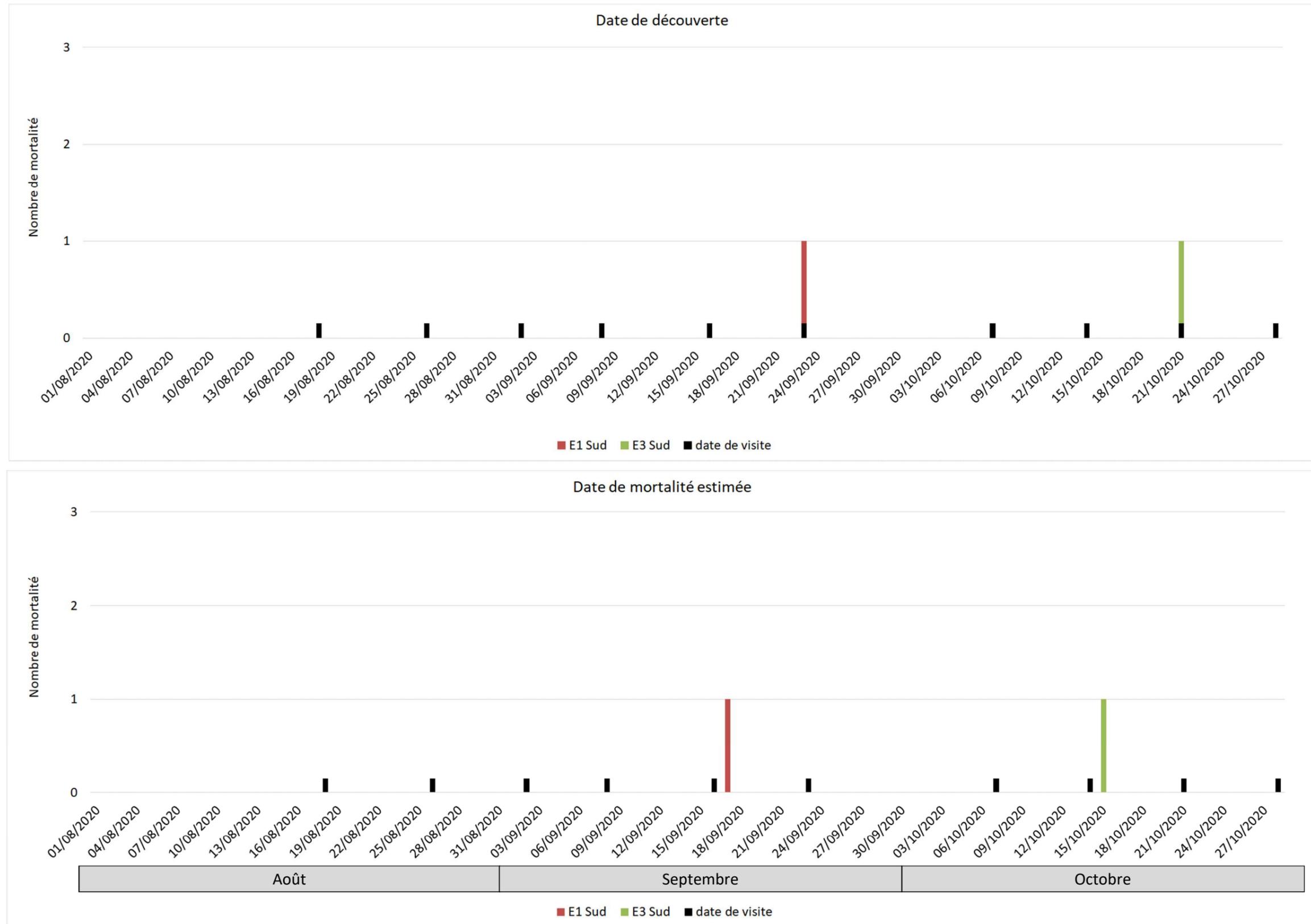
Si on veut tenter d'analyser même grossièrement cette chronologie des mortalités avec différents facteurs d'influence, nous cherchons à estimer la date de la mortalité de chaque cadavre en fonction de son état au moment de la découverte. Quand il est trouvé, chaque cadavre fait en effet l'objet d'une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

Comme pour les chauves-souris, plusieurs critères d'appréciation peuvent être utilisés en parallèle (cf. : 4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris).

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. Le deuxième graphique de la Figure 45 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur une large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations a posteriori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

Les profils généraux des histogrammes mensuels des mortalités constatées de la page suivante permettent une vision de synthèse des périodes sensibles pour les oiseaux.

Figure 45 : Chronologie des mortalités des oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020

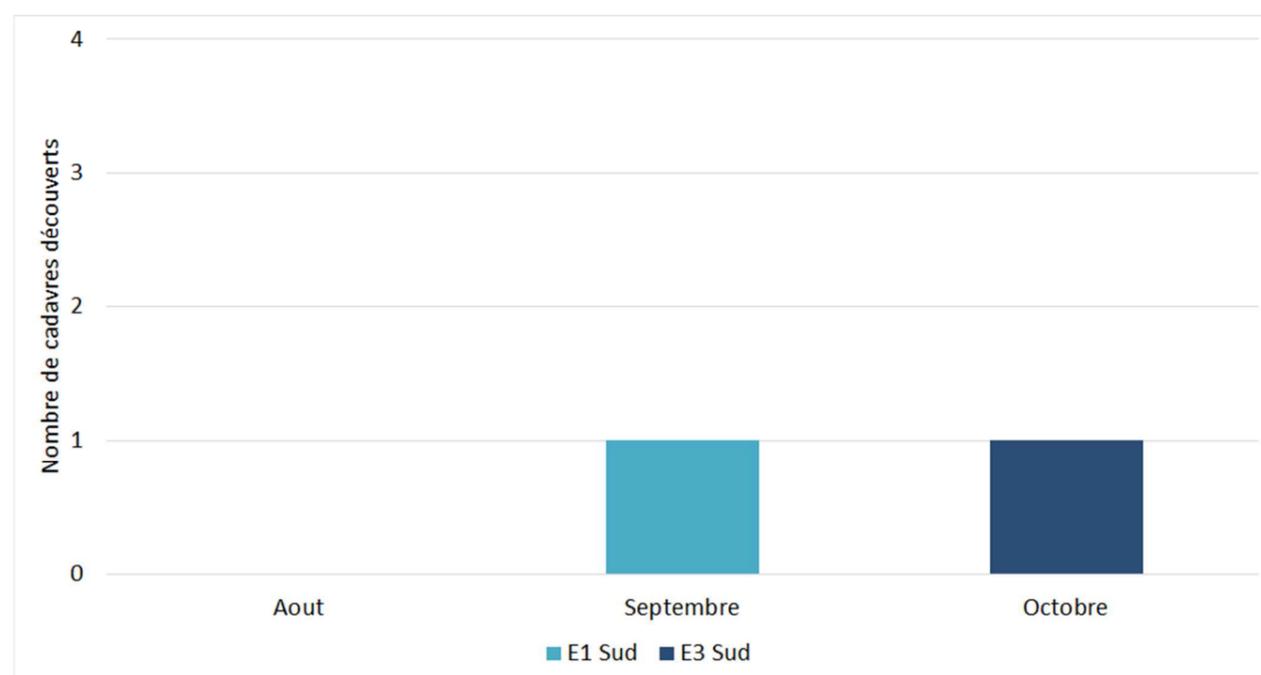


En ce qui concerne les rapports entre les cas de mortalité, leur chronologie, et les éoliennes, nous ne relevons pas de concentrations de mortalités sous une même éolienne sur une courte période en 2020.

Au regard du profil ci-dessous (Figure 46), on notera que la mortalité d’oiseaux est plus importante au mois de Septembre et Octobre, ce qui coïncide avec la période de migration postnuptiale. A titre de comparaison, les précédents cas de mortalité avaient été retrouvés en août et en septembre 2018. Les mortalités relevées semblent donc réparties aléatoirement dans le temps sur la période d’août à octobre.

Nous analyserons par la suite à quelle phénologie du cycle biologique des espèces correspondent ces périodes de mortalités et dans quelles conditions climatiques générales ont-elles pu avoir lieu.

Figure 46 : Chronologie des mortalités d’oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2020



4.4.3 Typologie des cadavres découverts

4.4.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce

La détermination des espèces n’est pas toujours aisée selon l’état des cadavres au moment de leur découverte. Ceci n’a pas été le cas en 2020, les cadavres étant bien conservés au moment de la détermination.

Le **cortège d’espèces impactées en 2020 est peu diversifié** puisque deux cadavres (lié au fonctionnement du parc) ont été découverts, représentant deux espèces : l’Alouette lulu et l’Etourneau sansonnet. Ce sont les premiers cas de mortalité pour ces espèces sur ce site. Ces deux espèces de passereaux sont des espèces migratrices.

Nous noterons également que le cortège d’espèces impactées diffère sensiblement avec celui du suivi précédent : le Roitelet à triple bandeau, le Pipit des arbres ainsi qu’un Colubridé et un Anatidé ayant été précédemment impactés en 2018.

Le tableau ci-dessous (Figure 47) présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes.

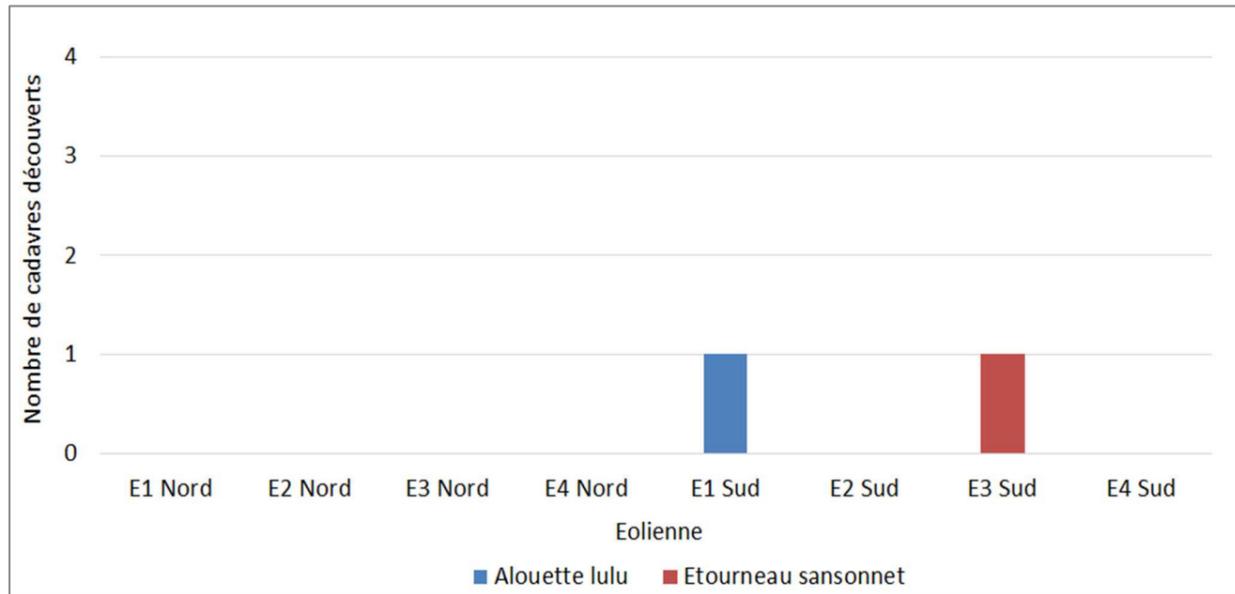
Figure 47 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d’oiseaux retrouvées sous les éoliennes

Espèce	Nom scientifique	Type	Statut de protection			Statut de conservation		Niveau de patrimonialité
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Liste Rouge Régionale Centre (oiseaux nicheurs 2013)	
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Passereau	P	O.1	3	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Faible à modéré
Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	Passereau	GN	O.2.2	–	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Très faible

4.4.3.2 Relation espèce / éolienne, phénologie de l'espèce et tentatives d'interprétations

Le graphique suivant (Figure 48) précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 48 : Graphique de la relation espèce-éolienne sur le site de Chaussée César Nord et Sud



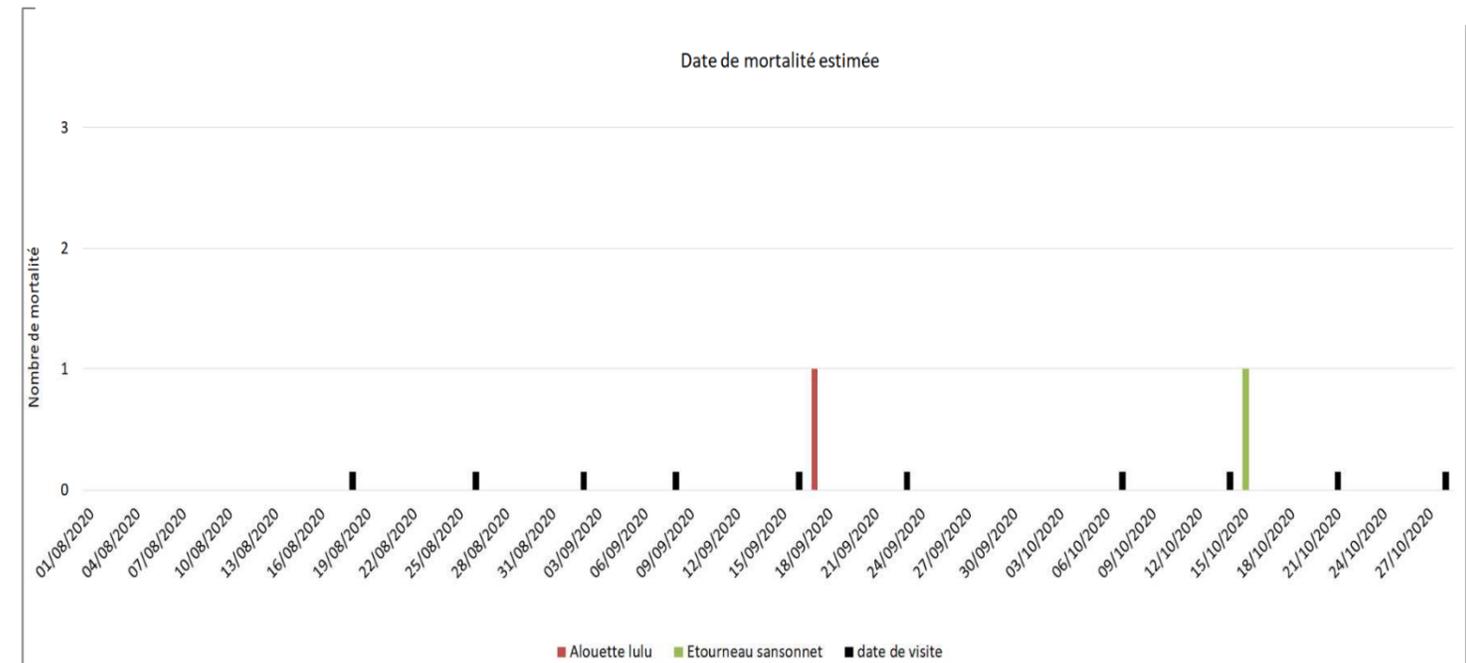
Au vu des deux cas de mortalité, il semblerait qu'aucune éolienne ne semble donc associée à la mortalité d'une espèce en particulier, mais il semble toutefois que le parc éolien de Chaussée César Sud induise des mortalités préférentiellement sur les passereaux migrateurs au vu des données de 2018 et 2020.

4.4.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

La figure suivante (Figure 49) représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2020. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

Aucun pic de mortalité n'aura été relevé pour une espèce en particulier et pour un jour précis. On ne note pas de concentration de mortalité sur une période spécifique, les mortalités semblent advenir tout au long de la période de migration postnuptiale.

Figure 49 : Dates estimées de mortalité par espèces d'oiseaux sur le parc éolien de Chaussée César Nord et Sud



4.4.3.4 Interprétation par espèce (phénologie, comportement de vol...)

➤ Alouette lulu (1 mortalité)

1 cadavre d'Alouette lulu (*Lullula arborea*) a été retrouvé sous les éoliennes du parc de Chaussée César Sud le 23 septembre 2020. La date de mortalité de ce cadavre a été estimée au 17 septembre 2020. Cette espèce est protégée en France et ses statuts de conservation ne sont pas défavorables en région Centre. A cette période de l'année, il est possible que ce cas de mortalité corresponde à un individu en migration postnuptiale. La possibilité d'un oiseau sédentaire n'est pas non plus à exclure.

➤ Etourneau sansonnet (1 mortalité)

1 cadavre d'Etourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*) a été retrouvé sous les éoliennes du parc de Chaussée César Sud le 21 octobre 2020. La date de mortalité de ce cadavre est estimée au 15 octobre 2020. Cette espèce n'est pas protégée en France et est autorisée à la chasse dans certains pays d'Europe. Ses statuts de conservation ne sont pas défavorables en région Centre. A cette période de l'année, il est possible que ce cas de mortalité corresponde à un individu en migration postnuptiale.

Figure 50 : Cliché du reste de cadavre d'Etourneau sansonnet retrouvé le 21 octobre 2020

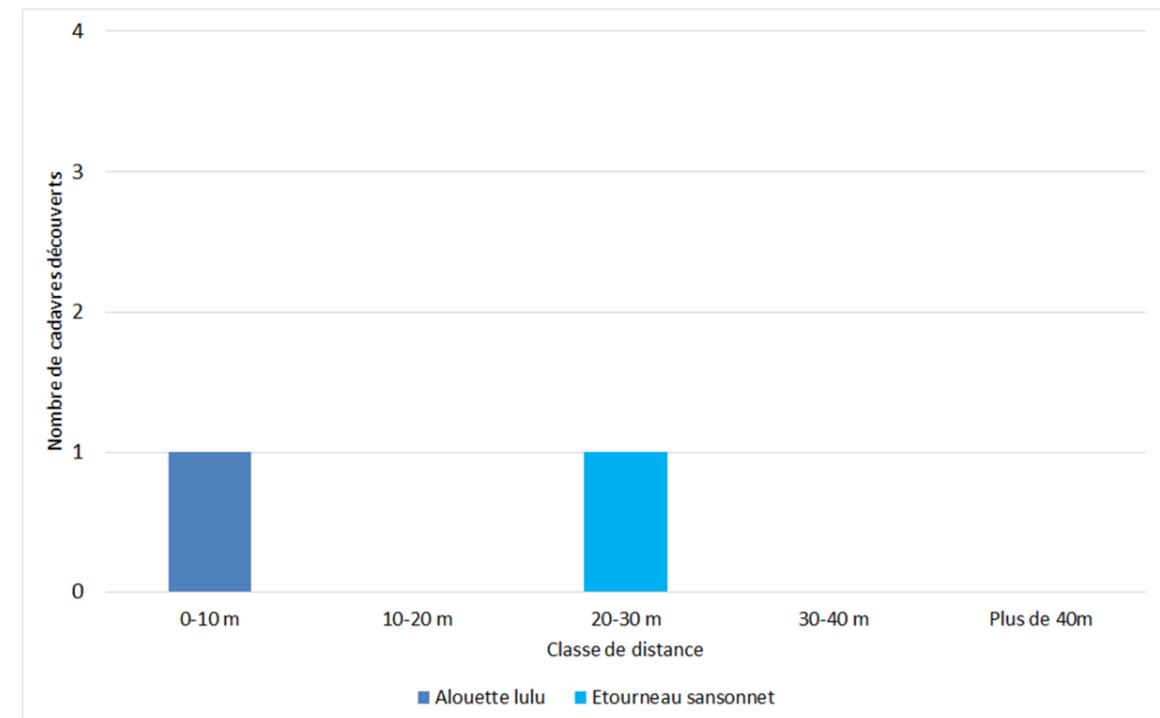


4.4.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

L'expérience montre que la précision de la distance de dispersion des cadavres vis-à-vis des mâts des éoliennes peut permettre de préciser la nature des causes de mortalité. Ainsi sous le parc éolien de Castelnau Pégayrols, ce paramètre était apparu caractéristique des mortalités occasionnées dans la partie basse du champ de rotation des pales (Beucher et al. 2010).

Lors du suivi de 2020 sur les parcs éoliens de Chaussée César Nord et Sud, le graphique suivant (Figure 51) témoigne d'une dispersion relativement proche du mat de l'éolienne. L'Alouette lulu a en effet été retrouvée à environ 3 mètres du mât de l'éolienne, ce qui peut laisser penser que la mortalité a eu lieu pour un individu volant dans la partie basse du rotor. L'Etourneau sansonnet a quant à lui été retrouvé à 23 mètres du mat de l'éolienne, ce qui laisse aussi penser que la mortalité a eu lieu pour un individu volant dans la partie basse du rotor.

Figure 51 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



4.4.5 Taux de mortalité des oiseaux

4.4.5.1 Planning du suivi de la mortalité et niveau de difficulté de prospection en 2020

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 éparse ou basse, ...),
- Niveau 3 : moyennement prospectable (végétation plus haute, hétérogénéité du milieu, ...)
- Niveau 4 : non prospectable (zone boisée, ...)

Cette proportion est calculée au prorata de la surface prospectée. Par exemple, si sur une surface de 1 hectare, nous prospectons 0,4 hectares (0,6 hectares de boisement) et que sur ces 0,4 hectares, 0,2 hectares correspondent à du type 1 et 0,2 hectares correspondent à du type 2, nous aurons alors prospecté 50% en type 1 et 50% en type 2.

Le tableau ci-contre (Figure 52) montre la part moyenne de chaque type végétation au cours du suivi, ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies selon le protocole standardisé.

Dans le cas présent, une seule période a pu être distinguée en fonction de la hauteur de végétation en fonction des différents types identifiés.

Figure 52 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres d'oiseaux découverts sous les éoliennes)

Date des visites	Période	Végétation			Mortalité oiseaux
		Type 1	Type 2	Type 3	
18-août	Période 1	28,39	70,35	1,26	
26-août	Période 1	0,00	74,58	25,42	
2-sept.	Période 1	22,45	54,65	22,90	
8-sept.	Période 1	28,66	68,03	3,31	
16-sept.	Période 1	25,92	74,08	0,00	
23-sept.	Période 1	63,28	36,72	0,00	1
28-sept.	Période 1	15,25	84,75	0,00	
7-oct.	Période 1	15,60	84,40	0,00	
14-oct	Période 1	47,37	52,63	0,00	
21-oct	Période 1	63,28	36,72	0,00	1
28-oct	Période 1	62,64	37,36	0,00	
Moyenne		33,89	61,30	4,81	2,00

4.4.5.2 Les formules utilisées

Les formules utilisées sont identiques à celles du calcul du taux de mortalité des chauves-souris (4.3.5.2 Les formules utilisées).

4.4.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2020, deux tests ont été menés le 18 août et le 28 septembre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

Il est important de noter que dans l'ensemble des tableaux de résultats, autant pour le calcul des paramètres que pour les résultats du taux de mortalité, **les nombres indiqués sont arrondis au centième pour une meilleure lisibilité**. Cependant, dans les calculs du taux de mortalité, les calculs ne prennent pas en compte ces nombres arrondis mais bien dans leur intégralité, ce qui peut induire des petites différences dans les résultats de calculs des taux de mortalité notamment.

■ Taux de détection

Figure 53 : Tableau des résultats du test 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	20	18	0,90
Type 1	Moyenne	Moyenne	5	5	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	13	11	0,85
Type 3	Moyenne	Moyenne	2	2	1,00
Total	E2 Nord	18/08/2020	10	8	
Type 1	E2 Nord	18/08/2020	2	2	
Type 2	E2 Nord	18/08/2020	8	6	
Type 3	E2 Nord	18/08/2020	0	0	
Total	E1 Sud	28/09/2020	10	10	
Type 1	E1 Sud	28/09/2020	3	3	
Type 2	E1 Sud	28/09/2020	5	5	
Type 3	E1 Sud	28/09/2020	2	2	

	d	Pourcentage de prospection		
		Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,91	33,89	61,30	4,81
Méthode pondérée	0,91	33,89	61,30	4,81

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavres découverts 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.

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

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

$$d = 1 * (33,89/100) + 0,85 * (61,30/100) + 1 * (4,81/100) = 0,91$$

En 2018, le coefficient de détection était de 0,77. Le taux de détection a donc été meilleur cette année. 91% des peluches dispersées ont été retrouvées par le chercheur.

■ Taux de persistance

Figure 54 : 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_moye n	p_pério de 1
				1	3	8	9	18	23			
Moyen		Moyenne	40	37	26	13	13	10	0	6,43	0,38	0,38
Type 1		Moyenne	13	13	6	2	2	2	0	4,23	0,21	0,21
Type 2		Moyenne	16	14	11	7	7	5	0	7,69	0,48	0,48
Type 3		Moyenne	11	10	9	4	4	3	0	7,18	0,45	0,45
Moyen	Toutes	17/08/2020	20	17	11	0	0	0	0			
Type 1	Toutes	17/08/2020	7	7	4	0	0	0	0			
Type 2	Toutes	17/08/2020	7	5	3	0	0	0	0			
Type 3	Toutes	17/08/2020	6	5	4	0	0	0	0			
Moyen	Toutes	28/09/2020	20	20	15	13	13	10	0			
Type 1	Toutes	28/09/2020	6	6	2	2	2	2	0			
Type 2	Toutes	28/09/2020	9	9	8	7	7	5	0			
Type 3	Toutes	28/09/2020	5	5	5	4	4	3	0			

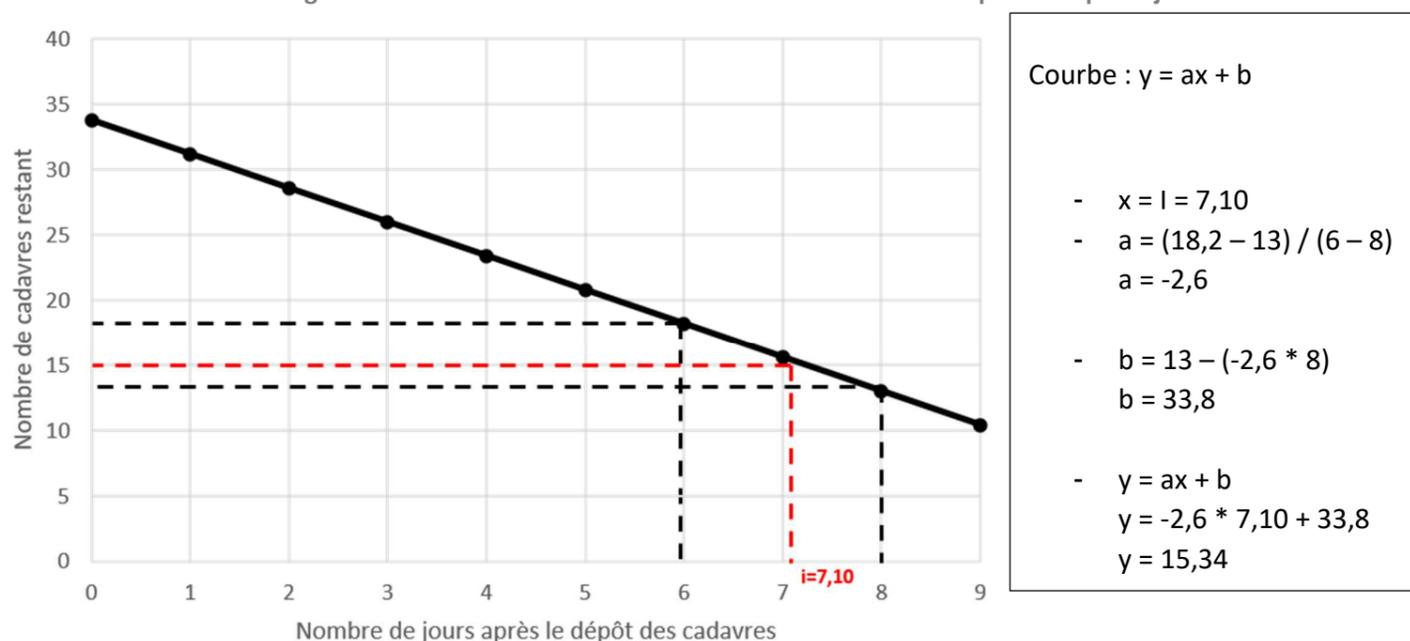
	Tm	p	Pourcentage de prospection		
			Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	6,43	0,38			
Méthode pondérée	6,49	0,39	33,89	61,30	4,81

- Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

Comme évoqué pour les chauves-souris, dans notre cas précis, l'intervalle I moyen entre deux visites est de l'ordre de **I = 7,10 jours**.

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 23 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours (Figure 55).

Figure 55 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours »



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après I jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{15,34}{40} = 0,38$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,38**.

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **p similaire au p moyen de 0,38**.

En 2018, la valeur p variait entre 0,38 et 0,40 (avec la prise en compte de l'évolution de la végétation). Le taux de prédation est similaire en 2020.

- Paramètre Tm (formules d'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 disparu. Dans notre cas précis, **Tm est égal à 6,43**.

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

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **Tm de 6,49**.

En 2018, la vitesse de disparition des cadavres était d'environ 4 jours. En 2020, les cadavres disparaissent plus lentement ce qui dénote potentiellement d'une prédation moins importante. Les cadavres disparaissent entre 6 et 7 jours en moyenne en 2020.

■ **Coefficient de correction surfacique**

Le coefficient de correction surfacique a été défini de la même façon que pour les chiroptères. Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2020 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

	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 d'oiseaux
42m - 56m	0,4308	8	3,45	1,19	34,42	0
28m - 42m	0,3077	8	2,46	1,09	44,40	0
14m - 28m	0,1846	8	1,48	0,77	52,23	1
0m - 14m	0,0615	8	0,49	0,46	92,68	1

a = 1,50

En 2018, le coefficient surfacique était de 1,45. Le coefficient de correction surfacique est donc similaire en 2020, avec les deux cadavres retrouvés dans le premier et deuxième disque de prospection, et un pourcentage de surface prospectée de moins en moins importante lorsqu'on s'éloigne du mât.

4.4.5.4 Calcul de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »)

Le tableau suivant (Figure 56) synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 56 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	2,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,91	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,38	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	6,43	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	7,10	Pas de temps du suivi
î	12,85	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
ê	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
a	1,50	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 (sachant que les valeurs de chaque paramètre est arrondi au centième).

Winkelmann :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{2}{0.38 \times 0.91} \times 1.50 = 8.62$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{l \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{7.10 \times (2 - 2 \times 0.38)}{6.43 \times 0.91} \times 1.50 = 3.64$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{l \times C}{tm \times d} \times a = \frac{12.85 \times 2}{6.43 \times 0.91} \times 1.50 = 3.65$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times l / tm)}} \times a = \frac{2}{0.91 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 7.10 / 6.43)}} \times 1.50 = 5.74$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-l / tm})}{l} \times \hat{e}} \times a = \frac{2}{0.91 \times \frac{6.43 \times (1 - e^{-7.10 / 6.43})}{7.10} \times 1} \times 1.50 = 5.46$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux morts sur la période allant du 18 août au 28 octobre et pour les 8 éoliennes des deux parcs éoliens. Ces résultats sont basés sur 2,5 mois, soit une partie de la période d'activité du cycle biologique des oiseaux.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- On divise par 2,5 (2,5 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, soit toute l'année)
- On multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an**.

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau page suivante synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 2,77 mortalités par éolienne et par an** (Figure 57), avec une fourchette qui oscille entre 2,18 et 3,45 (5,17 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 57 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	8,62	3,64	3,65	5,74	5,46	5,42	4,62
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	1,08	0,45	0,46	0,72	0,68	0,68	0,58
Mortalité par éolienne et par mois	0,43	0,18	0,18	0,29	0,27	0,27	0,23
Mortalité par éolienne et pour une année	5,17	2,18	2,19	3,45	3,28	3,25	2,77
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	41,37	17,47	17,53	27,57	26,21	26,03	22,20

4.4.5.5 Calcul de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »)

Ici on tient compte de la hauteur des types de végétation. Ci-dessous sont ainsi présentées les valeurs des paramètres nécessaires aux différentes équations (Figure 58).

Figure 58 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	2,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,91	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,39	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	6,49	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	7,10	Pas de temps du suivi
\hat{l}	12,98	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
\hat{e}	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
a	1,50	Coefficient de correction surfacique

Les résultats pour cette seconde méthode de calcul sont présentés dans le tableau suivant. Les résultats sont présentés selon les mêmes formats que pour la première méthode de calcul, c'est-à-dire ramenés par éolienne, puis par éolienne et par mois, puis par éolienne et sur l'ensemble de la période d'activité théorique des oiseaux et enfin pour le parc éolien entier.

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. **Le tableau aboutit à un résultat moyen de l'ordre de 2,75 mortalités par éolienne et par an** (Figure 59), avec une fourchette qui oscille entre 2,16 et 3,43 (5,11 pour la formule de Winkelmann) mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 59 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	8,52	3,60	3,62	5,71	5,44	5,38	4,59
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	1,06	0,45	0,45	0,71	0,68	0,67	0,57
Mortalité par éolienne et par mois	0,43	0,18	0,18	0,29	0,27	0,27	0,23
Mortalité par éolienne et pour une année	5,11	2,16	2,17	3,43	3,26	3,23	2,75
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	40,88	17,29	17,35	27,41	26,09	25,80	22,04

4.4.5.6 Calcul de la mortalité avec l'application Shiny « EolApp »

Comme pour les chauves-souris, nous avons utilisé l'application Shiny « EolApp » (créée par Aurélien Besnard et Cyril Bernard) pour permettre d'obtenir les intervalles de confiance à 95% des estimations de mortalité obtenues dans le cadre des suivis sous les éoliennes, pour les oiseaux.

Le tableau page suivante détaille l'ensemble de ces paramètres utilisés.

Figure 60 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »

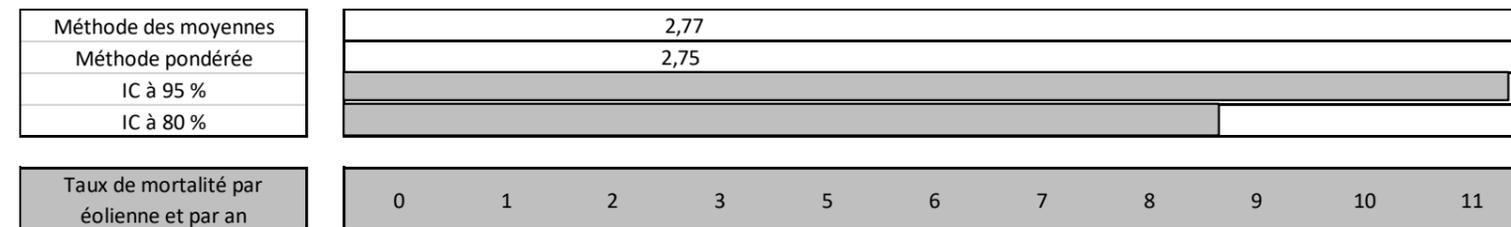
Paramètre	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	7,10
Nombre de cadavre déposé pour l'étude de détection	20
Nombre de cadavre découvert pour l'étude de détection	18
Pourcentage de la surface prospectée	0,45

Figure 61 : Sortie de l'application Shiny 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	5,27	0,00	14,48	0,00	10,73
Huso	8,01	0,00	20,53	0,00	15,63
Winkelmann	14,81	0,00	43,90	0,00	31,19
Jones	8,42	0,00	21,89	0,00	16,58
Moyenne par éolienne	1,14	0,00	3,15	0,00	2,32
Moyenne par éolienne (sans Winkelmann)	0,90	0,00	2,37	0,00	1,79

4.4.5.8 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2020

La fourchette de résultats fournie par l'application Shiny « Eol App » concorde avec nos calculs. Aussi, nous retiendrons que **théoriquement nous aboutissons à environ 3 à 4 cas de mortalité par éolienne et par an, soit environ 24 à 32 mortalités par an pour les deux parcs (constitués de 8 éoliennes).**



Pour rappel, le taux de mortalité était estimé entre 15,05 et 15,30 oiseaux par éolienne et par an en 2018 (selon la méthode des moyennes et la méthode pondérée). Il s'agit de taux de mortalité estimés, soumis à de nombreux biais. Néanmoins, le taux de mortalité semble avoir fortement diminué entre 2018 et 2020.

En considérant les 4 modèles, il y a 80% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0 et 2,32 cas de mortalité (entre 0 et 1,79 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann). De même, il y a 95% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0 et 3,15 cas de mortalité (entre 0 et 2,37 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann).

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- on divise par 2,5 (2,5 mois) -> 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 11,4 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

A un intervalle de confiance de 80%, le résultat est de l'ordre de 0 à 8,6 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

Enfin, si on s'intéresse à la médiane moyennée (sans Winkelmann) de 0,9 mortalités par éolienne sur la période de suivi, on aboutit à un résultat de **4,34 mortalités/éolienne/an**.

5 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE CHAUSSEE CESAR SUD ET NORD

5.1 Impacts sur les chiroptères

5.1.1 Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

Le taux de mortalité est estimé à environ 2 à 3 cas de mortalité par éolienne et par an, soit entre 16 et 24 mortalités par an pour les deux parcs de Chaussée César Nord et Sud (4 éoliennes chacun).

Pour rappel, le taux de mortalité était estimé à entre 3 et 4 chauves-souris par éolienne et par an en 2018 (selon la méthode des moyennes et la méthode pondérée). Ces taux de mortalités de 2018 sont donc plus élevés que ceux calculés par les mêmes méthodes en 2020. Les résultats de mortalité des chiroptères de 2018 avaient d'ailleurs abouti à une régulation de l'activité des éoliennes sur les deux parcs.

D'après les données disponibles actuellement en France mais aussi et surtout à l'étranger (Europe, voir tableaux suivant), cette estimation de la mortalité témoignerait **d'une valeur de mortalité par éolienne et par an faible vis-à-vis des chauves-souris**. La fourchette de taux de mortalité correspondrait effectivement à des résultats obtenus sous des parcs éoliens dont l'impact peut être qualifié de faible (lignes en vert pâle sur la Fig. 62). Même si cette analyse comparative reste délicate et soumise à de nombreux facteurs locaux (contraintes techniques de recherche, pression de suivi...), cette estimation semble révéler **l'absence d'un niveau de mortalité jugé hors norme (à l'échelle de l'éolienne)**, et d'un niveau moindre que ce qui a pu être récemment observé sur d'autres parcs éoliens français dont le niveau de mortalité est exceptionnellement haut. Ces parcs sont situés dans des contextes biogéographiques particuliers (Bouin en littoral atlantique (Dulac 2008), Castelnaud Pégayrols en contexte forestier et ligne de crête (Beucher et al. 2010), Leuze en plaine camarguaise de la Crau (GCP, 2010), parcs Drômois en forêt ou bordure de canal (Cornut et al. 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.

Finalement, du point de vue quantitatif, l'impact des parcs éoliens de Chaussée César Nord et Sud peut être qualifié de faible en 2020 par rapport à d'autres parcs suivis en France ou en Europe (à l'échelle de l'éolienne).

Figure 62 : 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	Nombre de victimes / 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, Mougnot 2014
Castelnaud Pégayrols	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)
Castelnaud Pégayrols	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
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
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)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2007	20,3 - 21,6	Dulac 2008
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2005	21,5 - 26,7	Dulac 2008
Castelnaud Pégayrols	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

Figure 63 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE)

Site	Période de l'année	Nombre de victimes / éolienne / an (*ou pour la période d'étude)	Référence
EUROPE			
Portugal (12 sites)	2005 à 2010	0	Plusieurs auteurs
Caravelas (Portugal)	2006	0,22	Strix, 2008 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Fumas (Portugal)	2006, 2007	0,8	Alves et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Seladolinho (Portugal)	2006	0,8	Alves et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Proença I e II (Portugal)	2006	1,8	Lopes et al., 2008, Alves et al., 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Grèce (Soros)	2010	2,2	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Mosqueiros I (Portugal)	2008	3,6	Barreiro et al., 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Gardunha	2007	4,2	Alves et al., 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Steinberg (Autriche)	09/2003 – 09/2004	5,3	Traxler et al. 2004 in Brinkmann et al. 2006
Grèce (Dydimos Lofos)	2010	5,5	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Grèce (Monastiri)	2010	6,5	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Candal Coelheira (Portugal)	2006, 2007	7,8	Alves et al., 2007, Amorim 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Prellenkirchen (Autriche)	09/2003 – 09/2004	8,00	Traxler et al. 2004 in Brinkmann et al. 2006
Cantons de Berne et de Lucerne (Suisse)	06 – 10/2007	8,2	Leuzinger, 2008
Grèce (Mati)	2010	10,8	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
District de Fribourg (Allemagne)	Début 04 – mi-05 et mi-07 – mi-10/2005	11,8*	Brinkmann et al. 2006
S. Pedro (Portugal)	2006	12	Alves et al., 2007 in Dubourg-Savage et al., 2011
Grèce (Sapka)	2010	13,2	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Navarre (Espagne)	03/2000 – 03/2001	13,3	Lekuona, 2001
Grèce (Kerveros)	2010	13,9	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Caramulo (Portugal)	2006, 2007	14,2	Hortencio et al., 2007, Silva et al., 2008
District de Fribourg (Allemagne)	fin 07 – fin 10/2004	20,9	Brinkmann et al. 2006
Outeiro (Portugal)	2006, 2008	26,3	in Dubourg-Savage et al., 2011

5.1.2 Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères

- Niveau des risques

L'appréciation des risques de l'exploitation du parc éolien se concentrent sur ceux liés au fonctionnement des machines, c'est-à-dire la mortalité dans le voisinage des pâles.

Pour chaque espèce impactée par les éoliennes, on peut évaluer l'intensité de son exposition au risque de mortalité sur le site à partir :

- Des données bibliographiques (base de données mortalité, éléments d'écologie liés aux comportements de vol) renseignant sur la sensibilité des espèces ;
- Des résultats du suivi d'activité en hauteur pour évaluer le niveau de fréquentation des espèces ;
- Des résultats du suivi de la mortalité.

Il s'agit ici de préciser la potentialité d'occurrence d'un risque de mortalité pour les espèces contactées en hauteur et retrouvées au sol.

Trois niveaux principaux de sensibilité à l'éolien sont définis sur la base des connaissances actuelles :

- Faible : pour les espèces pas ou très rarement impactées et pas ou très rarement contactées en altitude ;
- Modérée : pour les espèces impactées à un faible niveau, mais grégaires et effectuant des déplacements de type migratoire ;
- Forte : espèces de haut vol ou fréquemment retrouvées lors des suivis de mortalité.

Des niveaux intermédiaires sont créés pour les espèces ne correspondant pas tout à fait aux niveaux présentés ci-dessus.

Trois modalités ont été retenues pour renseigner le niveau de fréquentation (risque local) des espèces recensées lors du suivi automatisé en hauteur :

- Très faible : quelques contacts ponctuels durant l'année ;
- Faible : plusieurs contacts ponctuels mais irréguliers durant l'année ;
- Faible à modéré : plusieurs contacts et assez réguliers durant l'année.

La mortalité avérée sur le site est évaluée par le nombre de cadavres découverts sous les éoliennes.

L'exposition au risque de mortalité est finalement évaluée comme :

- Modérée pour la Noctule de Leisler ;
- Faible à modéré pour la Noctule commune ;

- Faible pour la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Pipistrelle de Nathusius, la Sérotine bicolore et le Vespère de Savi ;
- Très faible pour la Sérotine commune et la Sérotine de Nilsson.

Cette évaluation du risque d'occurrence de mortalité sur le site se base sur le nombre de cadavres découverts sous les éoliennes ; Etant donné, la prédation existant sur le site et la possibilité que des cadavres n'aient pas été retrouvés par le découvreur, le nombre d'individus réellement tués est supérieur. Par exemple, 1 cadavre de Noctule de Leisler a été retrouvé mais il est possible qu'en réalité un nombre plus important d'individus aient été impactés.

On ne peut exclure un risque de mortalité pour d'autres espèces non retrouvées au pied des éoliennes ou non contactées en nacelle d'éolienne. On peut supposer qu'elles n'utiliseraient le site que ponctuellement et le niveau de risque de mortalité devrait être très faible.

Figure 64 : Niveau d'intensité des risques de mortalité

Espèce	Nom scientifique	Niveau de fréquentation en nacelle d'éolienne E3	Sensibilité théorique vis-à-vis de l'éolien	Mortalité relevée sur le site éolien de Chaussée César (en 2020)	Risque d'occurrence de la mortalité
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Faible à modéré	Forte	1	Modéré
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Faible à modéré	Forte		Faible à modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Très faible	Forte		Faible
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Très faible	Modérée à forte		Faible
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Très faible	Forte		Faible
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Très faible	Modérée à forte		Faible
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savi</i>	Très faible	Forte		Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Très faible	Modérée		Très faible
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Très faible	Modérée		Très faible

▪ Evaluation des impacts des parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud

Les niveaux d'impact attendus sont évalués proportionnellement à leur intensité et aux niveaux d'enjeux. Au final, cinq niveaux d'impact (Très Fort, Fort, Moyen, Faible, Négligeable) ont été définis comme indiqué dans le tableau suivant en croisant le niveau d'intensité de l'impact avec le niveau d'enjeu écologique.

Figure 65 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010)

		Sensibilité						
		Très faible	Faible	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Très Fort
Enjeux	Très faible	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré
	Faible	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré
	Faible à modéré	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort
	Modéré	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort
	Modéré à fort	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort
	Fort	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Fort
	Très Fort	Modéré	Modéré	Modéré à fort	Modéré à fort	Fort	Fort	Très Fort

Figure 66 : Évaluation des impacts des parcs éoliens de la Chaussée de César sur les chauves-souris

Espèce	Nom scientifique	Niveau de patrimonialité	Risque d'occurrence de la mortalité	Niveau d'impact théorique
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Modéré	Modéré	Modéré
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Fort	Faible à modéré	Modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Modéré	Faible	Faible à modéré
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Modéré	Faible	Faible à modéré
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Fort	Très faible	Faible à modéré
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Faible	Faible	Faible
Vespère de Savi	<i>Hypsugo savi</i>	Faible	Faible	Faible
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Très faible	Faible	Très faible
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Faible	Très faible	Très faible

Les espèces avec le niveau d'impact théorique le plus important sont la Noctule de Leisler et la Noctule commune (niveau modéré). Ce constat s'explique en grande partie par la valeur patrimoniale de ces espèces et leur sensibilité à l'éolien, même si un cadavre correspondant à la Noctule de Leisler a été retrouvé au sol. Celles-ci sont suivies par la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine commune (niveau faible à modéré). La sensibilité importante de ces espèces à l'éolien et un niveau de patrimonialité modéré ou fort explique ce niveau d'impact, même si aucun cadavre correspondant à ces espèces n'a été retrouvé au sol. Puis la Sérotine bicolore et le Vespère de Savi ont un niveau d'impact jugé faible. Les autres espèces ont un niveau d'impact très faible pour la Pipistrelle de Kuhl et la Sérotine de Nilsson.

5.2 Impacts sur l'avifaune

5.2.1 Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

Au cours du suivi de mortalité 2020, deux cadavres d'oiseaux furent découverts aux mois de septembre et octobre. D'après les différentes méthodes de calcul employées dans ce rapport, le taux de mortalité des oiseaux sur les parcs de Chaussée César Nord et Sud est estimé entre 3 et 4 oiseaux/éolienne/an.

Durant l'année 2018, le suivi de mortalité avait estimé un taux de mortalité des oiseaux bien plus élevé, compris entre 14 et 15 oiseaux/éolienne/an.

Les évaluations à l'échelle nationale ou européenne montrent généralement un taux de mortalité variant de 0 à 10 oiseaux/éolienne/an. 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.

Les parcs que nous avons suivi dans les départements de l'Aveyron, du Tarn, de l'Hérault ou du Cantal montrent des niveaux de mortalité généralement plus faibles pour les oiseaux. Sur cette base, **le taux de mortalité peut être considéré comme « classique », par rapport à ce qui a été observé sur d'autres parcs éoliens. L'analyse quantitative de la mortalité des oiseaux sur le parc éolien de la Chaussée de César Nord et Sud permet de conduire à un impact plus faible que lors de l'année 2018.** Il est toutefois possible que le niveau d'impact soit sous-estimé du fait de la courte durée du suivi de terrain (2,5 mois), ne prenant pas en compte les périodes de migration pré-nuptiale, de nidification et d'élevage des jeunes.

Au-delà de l'évaluation quantitative du taux de mortalité soumis à de nombreux biais, il s'agit aussi d'analyser qualitativement les impacts sur les oiseaux. Le paragraphe suivant se concentrera plus en détail sur les espèces impactées et le niveau d'impact par espèce.

5.2.2 Analyse qualitative des impacts sur l'avifaune

Au moins deux espèces d'oiseaux ont été impactées en 2020. Il s'agit de l'Alouette lulu et de l'Etourneau sansonnet. Seule l'Alouette lulu est protégée à l'échelle nationale, et les statuts de conservation de ces deux espèces ne sont pas défavorables à l'échelle nationale et régionale.

L'Alouette lulu (*Lullula arborea*) est une espèce sensible à l'éolien. 122 cas de mortalité concernent cette espèce en Europe (T. Dürr 2020). Cette espèce est protégée en France et son statut de conservation n'est pas défavorable à l'échelle régionale et nationale. A cette période de l'année, il est possible que ce cas de mortalité corresponde à un individu en migration postnuptiale. La possibilité d'un oiseau sédentaire n'est pas non plus à exclure, cette espèce volant parfois à hauteur de rotor. Le niveau d'impact des parcs

éoliens de Chaussée César Nord et Sud pour cette espèce est donc qualifié de **faible à modéré** au vu de son statut à l'échelle française et européenne.

L'Etourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*) est une espèce sensible à l'éolien, avec 212 cas de mortalité concernant cette espèce en Europe (T. Dürr 2020). Cette espèce n'est pas protégée en France et son statut de conservation n'est pas défavorable à l'échelle régionale et nationale. A cette période de l'année, il est possible que ce cas de mortalité corresponde à un individu en migration postnuptiale. Le niveau d'impact des parcs éoliens de Chaussée César Nord et Sud pour cette espèce est donc qualifié de **très faible** au vu des statuts de conservation et de protection de cette espèce à différentes échelles.

Finalement, du point de vue qualitatif, l'impact des parcs éoliens de Chaussée César Nord et Sud en 2020 peut être qualifié de faible vis-à-vis de l'avifaune.

6 EVALUATION DE L'EFFICACITE DE LA MESURE DE REGULATION

6.1 Rappel de la mesure de régulation retenue sur les parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud

Au vu du rapport post-implantation édité en 2019 par le bureau d'étude EXEN concernant le suivi de mortalité réalisé en 2018 sur le parc éolien de la Chaussée de César Sud, et par arrêté préfectoral d'Avril 2020 de la préfecture du Cher, les exploitants de Chaussée de César Nord et Sud ont mis en place un bridage harmonisé tel que :

➤ du 1^{er} mai au 10 juin inclus :

- en cas de vitesse de vent inférieure à 3,5 m/s ;
- et en cas de précipitations inférieures à 0,2 mm/h ;
- et en cas de température supérieure à 10°C ;

Le fonctionnement de tous les aérogénérateurs du parc est arrêté dès le coucher du soleil et sur la nuit entière.

➤ du 11 juin au 17 août inclus :

- en cas de vitesse de vent inférieure à 4 m/s ;
- et en cas de précipitations inférieures à 0,2 mm/h ;
- et en cas de température supérieure à 10°C ;

Le fonctionnement de tous les aérogénérateurs du parc est arrêté dès le coucher du soleil et sur la nuit entière.

➤ du 18 août au 15 octobre inclus :

- en cas de vitesse de vent inférieure à 5 m/s ;
- et en cas de précipitations inférieures à 0,2 mm/h ;
- et en cas de température supérieure à 10°C ;

Le fonctionnement de tous les aérogénérateurs du parc est arrêté dès le coucher du soleil et sur la nuit entière.

6.2 Influence de la régulation sur la mortalité des chiroptères

Le pattern de régulation des éoliennes décrit précédemment et appliqué sur les parcs de la Chaussée de César Nord et Sud semble avoir été efficace pour réduire les risques de mortalité de chiroptères. La régulation a permis de réduire le niveau d'impact quantitatif des deux parcs éoliens de faible à modéré à faible (passant de 3-4 mortalités/éolienne/an à 2-3 mortalités/éoliennes/an). Cette diminution représente tout de même un maximum de 16 cas de mortalité de chiroptères en moins par an pour les 8 éoliennes comprises au sein des deux parcs.

En termes de données brutes, 2 chauves-souris furent retrouvées sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 8 mai et le 28 mai, puis entre 7 août et le 25 septembre 2018 sur le parc de la Chaussée de César Sud. Celles-ci ont été retrouvées début août et début septembre. Une seule chauve-souris fut retrouvée sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 18 août et le 28 octobre 2020, mais sous le parc de la Chaussée de César Nord. Aucun cadavre n'a été retrouvé sous le parc de la Chaussée de César Sud. Sur cette base, il semble que la mortalité brute a diminuée entre 2018 et 2020 (sur la même période de référence).

D'un point de vue des risques de mortalité liés à l'activité relevée en hauteur, l'activité relevée en 2020 est plus faible qu'en 2018, sur la même période donnée, notamment vis-à-vis des nuits de pics de pipistrelles du 27 septembre et du 5 octobre 2018.

Le pattern de régulation a été défini afin de couvrir de façon optimale l'activité des chiroptères de lisière et de vol haut, les pics d'activité en hauteur et les différents types de risques identifiés sur le site. Le pattern de régulation retenu par l'administration et l'exploitant a d'ailleurs défini des conditions plus strictes que celles préconisées dans le rapport EXEN de 2018 afin de réduire au mieux les risques de mortalité de chiroptères. Pour autant, malgré ce pattern de régulation, il subsiste des cas de mortalité pouvant difficilement être évités, la mortalité de la Noctule de Leisler retrouvée en 2020 en témoignant. Même si le pattern de régulation couvre plus de 80% de l'activité des espèces de haut vol, des mortalités fortuites lors de comportement de chasse dans des conditions de vents supérieurs à 6 m/s peuvent survenir. Pour rappel, 82.48 secondes d'activité d'espèces de haut vol a été relevé par des vitesses de vent inférieures à 6,5 m/s avec un maximum d'activité entre 1 et 4,5 m/s. La plupart de l'activité a donc été protégée par le pattern. A propos de la température et du rythme nocturne, les analyses des paragraphes 3.3.5 et 3.3.7 montrent aussi que le pattern de régulation est bien dimensionné pour protéger l'activité des chauves-souris.

Globalement, nous retiendrons que le pattern de régulation défini a permis de réduire les mortalités de chiroptères sur les parcs éoliens de Chaussée César Nord et Sud, même si de rares cas de mortalités peuvent encore avoir lieu lors de conditions particulières et dépendants de comportements difficiles à prévoir.

6.3 Influence de la régulation sur la mortalité de l'avifaune

Même si la mesure de régulation des éoliennes n'était pas orientée préférentiellement envers la réduction des risques de collision de l'avifaune, cette mesure semble avoir été efficace pour réduire le taux de mortalité de l'avifaune des parcs de Chaussée César Sud et Nord en 2020.

En effet, le taux de mortalité de l'avifaune a diminué de 70 à 80% entre 2018 et 2020, passant de 14 à 15 mortalités par éolienne et par an à 3 à 4 mortalités par éolienne et par an. Ces résultats sont à considérer avec précaution, notamment du fait d'un suivi de terrain de plus courte durée en 2020. Il est tout de même possible que les mesures de régulation des éoliennes la nuit lors de certaines conditions météorologiques aient pu limiter la mortalité d'oiseaux nocturnes. En particulier, la régulation plus stricte entre le 18 août et le 15 octobre englobe les périodes de migration postnuptiale de nombreux migrateurs nocturnes dont le Roitelet à triple bandeau pour lequel un cas de mortalité fut relevé en 2018 (et aucun cas en 2020).

6.4 Re conduite des mesures de régulation préconisées

Devant les impacts mesurés par les suivis réalisés en 2020, le bureau d'étude EXEN préconise la continuité de plusieurs mesures au niveau du parc éolien de la Chaussée de César Nord et Sud :

- L'entretien des abords des éoliennes afin de ne pas créer d'habitat qui pourrait attirer les chiroptères,
- La poursuite de l'extinction des spots lumineux aux entrées des éoliennes toujours dans le même objectif,
- Le maintien de la régulation des machines.

7 CONCLUSION

Un suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris a été réalisé sur les parcs éoliens de Chaussée César Nord et Chaussée César Sud par le bureau d'étude EXEN. Le suivi s'est déroulé du 18 août au 28 octobre 2020.

7.1 Suivi de mortalité des chiroptères

En ce qui concerne le suivi de mortalité des chiroptères en 2020, les points suivants peuvent être retenus :

- Un cas de mortalité de chauve-souris découvert en 2020 représenté par une Noctule de Leisler au niveau d'une éolienne du parc de Chaussée César Nord,
- Celui-ci a été retrouvé début septembre, correspondant soit à une activité de chasse, soit à un déplacement saisonnier,
- Un taux de mortalité qualifié de faible par rapport à ce qui est observé sur d'autres parcs éoliens en France ou en Europe.

7.2 Suivi de mortalité des oiseaux

En ce qui concerne le suivi de mortalité des oiseaux en 2020, nous pouvons retenir les points suivants :

- 2 cas de mortalité d'oiseau découverts en août et septembre 2020,
- Il s'agit de deux espèces retrouvées, toutes deux fortement affectées par l'éolien en Europe : l'Alouette lulu et l'Etourneau sansonnet,
- Ces 2 espèces impactées étaient soit en transit migratoire postnuptial, soit des oiseaux sédentaires,
- Un taux de mortalité faible en 2020 par rapport à d'autres parcs éoliens en France et en Europe, et par rapport aux résultats du suivi de mortalité de 2018 sur le site de Chaussée César Sud.

7.3 Niveau d'impact des parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud sur les chiroptères et sur les oiseaux

En ce qui concerne les chiroptères, l'impact quantitatif est faible du fait d'un taux de mortalité relativement bas. La fourchette de taux de mortalité correspondrait effectivement à des résultats obtenus sous des parcs éoliens dont l'impact peut être qualifié de très faible à faible.

Concernant l'impact d'un point de vue **qualitatif**, l'unique mortalité de 2020 concerne une espèce importante d'un point de vue patrimonial, à forts enjeux nationaux et locaux. **L'impact des parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud est donc qualifié de modéré pour la Noctule de Leisler (espèce impactée) et la Noctule commune**. Les autres espèces ont un niveau d'impact théorique plus faible.

En ce qui concerne l'avifaune, l'impact quantitatif est jugé faible. L'impact qualitatif est lui aussi jugé faible concernant l'Etourneau sansonnet et **faible à modéré** pour l'Alouette lulu.

En définitive, les parcs éoliens de la Chaussée de César Nord et Sud auraient un impact faible pour les chiroptères et pour les oiseaux au niveau quantitatif, mais plus important d'un point de vue qualitatif, pour les chiroptères. Cela s'explique en grande partie par la patrimonialité importante de ces espèces et leur sensibilité à l'éolien.

7.4 Efficacité des mesures de régulation et perspectives

Un objectif majeur de ce suivi était d'évaluer l'efficacité des mesures de régulation mises en place à la suite du suivi d'activité et de mortalité de 2018. Ces mesures étaient destinées à limiter la mortalité de chauves-souris en particulier durant la fin de saison de reproduction et la période de déplacements saisonniers automnaux.

Un seul cas de mortalité avéré de chiroptères a été comptabilisé durant la période de suivi s'étalant de mi-août à fin octobre, **et deux cas de mortalité aviaire**.

Le pattern de régulation mis en place semble avoir été efficace pour la réduction des risques de mortalité de chiroptères et d'oiseaux, même si le suivi s'est déroulé sur période réduite du cycle d'activité.

- Pour les chiroptères, la régulation concerne une grande partie de l'activité des espèces de lisière et de haut vol. De rares cas de mortalités peuvent encore avoir lieu lors de conditions particulières et dépendants de comportements difficiles à prévoir.
- Même si le pattern de régulation n'était pas orienté en priorité sur l'avifaune, il semble avoir été efficace, induisant une réduction de 70 à 80% des mortalités entre 2018 et 2020. Il est probable que la régulation ait eu un impact positif pour limiter les risques de collision d'espèces migratrices nocturnes.

8 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 Committee Bratislava, 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. HÜPPOP 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.

9 ANNEXES

Annexe 1 : Données brutes de mortalité découvertes en 2020

Date	Découvreur	Mortalité (Oui ou non)	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Oiseau (OIS) ou Chauve-souris (CS)	Date de mortalité estimée	Mois_intermédiaire	Mois	Classe de distance (par 10 mètres)	Classe de distance (coef surfacique)	Espèce
18/08/2020	CS+DC	Oui	Cadavre	E4 Sud	2	NO	GIBIER	14/08/2020	8	Aout	0-10 m	0-14 m	Faisan de Colchide
26/08/2020	SD	Oui	Plumée	E3 Nord	80	SO	GIBIER	?	?	?	Plus de 40m	Plus de 56m	Gibier chassable
02/09/2020	JM	Oui	Cadavre	E2 Nord	44	SO	CS	01/09/2020	9	Septembre	Plus de 40m	42-56 m	Noctule de Leisler
02/09/2020	JM	Oui	Plumée	E3 Nord	38	N	GIBIER	?	?	?	30-40 m	28-42 m	Gibier chassable
08/09/2020	CM	Non											
16/09/2020	TM	Non											
23/09/2020	CR	Oui	Cadavre	E1 Sud	3	N	OIS	17/09/2020	9	Septembre	0-10 m	0-14 m	Alouette lulu
07/10/2020	VP	Non											
14/10/2020	RD	Non											
21/10/2020	RD	Oui	cadavre (queue + os)	E3 Sud	23	N	OIS	15/10/2020	10	Octobre	20-30 m	14-28 m	Etourneau sansonnet
28/10/2020	RD	Non											

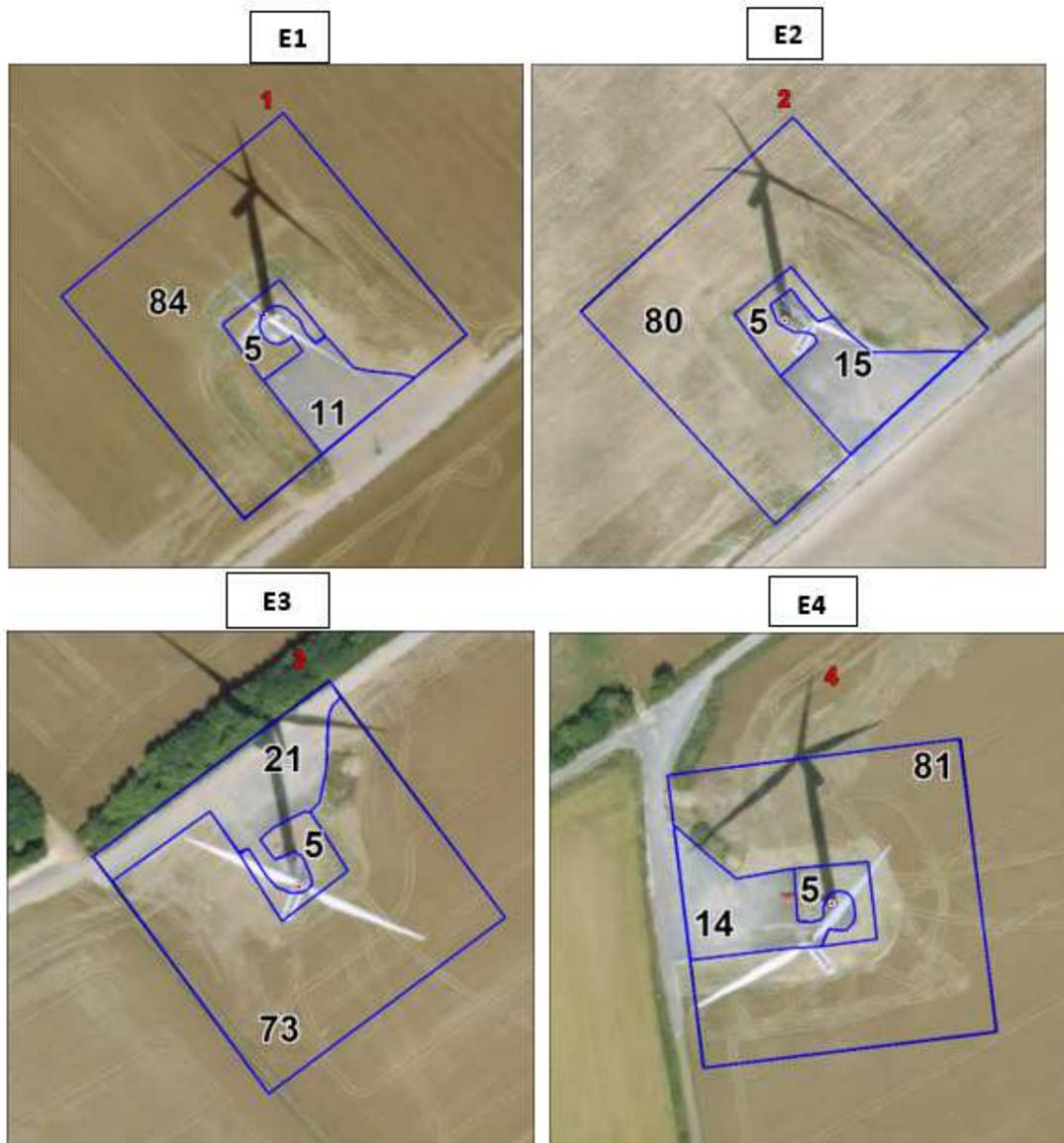
Annexe 2 : Fiche de relevé de terrain

FICHE DE TERRAIN MORTALITE
Suivi mortalité du parc éolien de CHAUSSEE DE CESAR Nord + Sud 2020

		Chercheur :	Heure début suivi :	Heure d'embauche :	Temps de pause :				
		Date :	Heure fin suivi :	Heure de débauche :	Orages depuis dernière visites ?				
		Durée de prospection	Surface prospectée (%)	Type 1 (%) Gravier	Type 2 (%) <30cm	Type 3 (%) >30cm	Type 4 (%) Non prospectable	Assolement Culture (Blé, Maïs...), prairie, paturage, Garrigue...	Rq par éolienne (traces prédat, maintenance...)
Chaussée César Nord	E1								
	E2								
	E3								
	E4								
Chaussée César Sud	E1								
	E2								
	E3								
	E4								
DECOUVERTES IN PROTOCOLE	Oiseau ou Chauve-souris (OIS ou CS)								
	Numéro éolienne								
	Distance au mât								
	Direction au mât								
	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)								
	Espèce (ou genre...)								
	Taille Avant bras (mm)								
	Age (ad, jeune)								
	Sexe (male, fem) ?								
	Si fem allaitante? (mamelles pelées)								
Si fem, gestante ?									



Chaussée César Sud



Chaussée César Nord

