



Parc éolien de Saint-Ambroix (18)

## Suivi environnemental post-implantation en 2022

Suivi de l'activité des chauves-souris

Suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris



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

Octobre 2023

## Parc éolien de Saint-Ambroix (18)

Suivi environnemental post-implantation en 2022

### Suivi de l'activité des chauves-souris

### Suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris

- **Recherches de mortalité sur site** : A. Auguy, H. Bonnet, C. Bouldoyre, L. Brunneau, D. Cornet, S. Dervaux, E. Lasserre, T. Ledoux, C. Metge, C. Respaud.
- **Organisation, méthodes** : Y. Beucher, A. Langlois, J. Mougnot,
- **Analyse des données, interprétations** : E. André, T. Mouysset, S. Dervaux,
- **Rédaction, relecture version 1, juin 2023** : E. André, T. Mouysset, S. Dervaux, A. Langlois.
- **Modification version 2** : S. Dervaux

Octobre 2023 – Version 2

# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>3</b>	3.2 LIMITES DE LA METHODOLOGIE.....	23
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>6</b>	3.2.1 <i>Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle).....</i>	23
<b>1 OBJET.....</b>	<b>9</b>	3.2.2 <i>Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces.....</i>	23
<b>2 CONTEXTE.....</b>	<b>9</b>	3.2.3 <i>Une détection divergente selon les espèces.....</i>	24
2.1 CONTEXTE GENERAL DU PARC EOLIEN DE SAINT-AMBROIX.....	9	3.2.4 <i>Autres limites de détection acoustique.....</i>	24
2.2 RAPPEL DES RESULTATS DES SUIVIS ANTERIEURS.....	12	3.3 RESULTATS DU SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES.....	26
2.2.1 <i>Suivi post-implantation 2020 (EXEN, 2021).....</i>	12	3.3.1 <i>Cortège d'espèces.....</i>	26
2.2.1.1 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les chauves-souris.....	12	3.3.2 <i>Évolution saisonnière.....</i>	28
2.2.1.2 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les oiseaux.....	12	3.3.3 <i>Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle de l'éolienne E4.....</i>	30
2.2.1.3 Synthèse des résultats du suivi d'activité des chauves-souris, à hauteur de nacelle.....	12	3.3.4 <i>Influence de la vitesse du vent.....</i>	33
2.2.1.4 Mesures préconisées en 2020.....	13	3.3.5 <i>Influence de la direction du vent.....</i>	34
2.2.2 <i>Suivi post-implantation 2021 (EXEN, 2022).....</i>	14	3.3.6 <i>Influence de la température.....</i>	35
2.2.2.1 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les chauves-souris.....	14	3.3.7 <i>Rythme d'activité nocturne.....</i>	36
2.2.2.2 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les oiseaux.....	14	<b>4 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX.....</b>	<b>37</b>
2.2.2.3 Synthèse des résultats du suivi d'activité des chauves-souris, à hauteur de nacelle.....	14	4.1 OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE.....	37
2.2.2.4 Synthèse des résultats du suivi de l'activité du Busard Saint-Martin, en 2021.....	15	4.2 METHODOLOGIE.....	37
<b>3 SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHAUVES-SOURIS EN HAUTEUR.....</b>	<b>17</b>	4.2.1 <i>Choix d'une méthode standardisée.....</i>	37
3.1 METHODOLOGIE.....	17	4.2.2 <i>Choix des périodes de suivis et fréquence des visites.....</i>	37
3.1.1 <i>Suivi automatisé en continu (passif) : généralités et organisation.....</i>	17	4.2.3 <i>Choix des éoliennes suivies.....</i>	39
3.1.2 <i>Suivi passif depuis la nacelle des éoliennes.....</i>	17	4.2.4 <i>Organisation des parcours de prospection.....</i>	39
3.1.3 <i>Plage/pression de suivi en hauteur.....</i>	19	4.2.5 <i>Recueil des données et destination des cadavres.....</i>	41
3.1.4 <i>Évaluation de l'activité.....</i>	19	4.2.6 <i>Détermination des coefficients correcteurs.....</i>	42
3.1.5 <i>Référentiel de niveau d'activité.....</i>	20	4.2.6.1 Organisation générale.....	42
3.1.6 <i>Utilisation de l'espace par les chauves-souris et typologie des modes de vol.....</i>	20	4.2.6.2 Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »).....	42
		4.2.6.3 Tests de disparition (ou « test de persistance »).....	43

4.2.7	Calculs .....	44	4.4.4	Relation espèce / éolienne.....	63
4.2.7.1	Les formules utilisées .....	44	4.4.5	Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	64
4.2.7.2	EolApp (Besnard et Bernard, 2018).....	45	4.4.6	Interprétation par espèce .....	65
4.2.7.3	GenEst (Simonis et al, 2018).....	46	4.4.7	Taux de mortalité des oiseaux.....	66
4.2.8	Evaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix.....	46	4.4.7.1	Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2022 .....	66
4.3	BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS .....	47	4.4.7.2	Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules) .....	67
4.3.1	Bilan des mortalités par éolienne en 2022.....	47	4.4.7.2.1	Paramètre p (formule d'Erickson adaptée).....	68
4.3.2	Chronologies constatées et corrigées des mortalités des chauves-souris issues des relevés au sol.....	47	4.4.7.2.2	Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso) .....	68
4.3.3	Typologie des découvertes dans le cadre du suivi de la mortalité au sol.....	49	4.4.7.3	Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL .....	69
4.3.4	Relation espèce / éolienne .....	50	4.4.7.4	Estimation de la mortalité avec l'application EolApp.....	70
4.3.5	Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	51	4.4.7.5	Estimation de la mortalité avec l'application GenEst .....	70
4.3.6	Interprétation par espèce .....	52	4.4.7.6	Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2022 .....	70
4.3.7	Taux de mortalité des chauves-souris .....	54	<b>5</b>	<b>EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE SAINT-AMBROIX .....</b>	<b>71</b>
4.3.7.1	Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2022 .....	54	5.1	IMPACT SUR LES CHIROPTERES .....	71
4.3.7.2	Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	55	5.1.1	Analyses quantitatives et comparaisons avec d'autres parcs éoliens .....	71
4.3.7.2.1	Paramètre p (formule d'Erickson adaptée).....	56	5.1.2	Analyses qualitatives des impacts sur les chiroptères.....	72
4.3.7.2.2	Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso).....	56	5.2	IMPACT SUR L'AVIFAUNE .....	74
4.3.7.3	Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL .....	58	5.2.1	Analyses quantitatives et comparaisons avec d'autres parcs éoliens .....	74
4.3.7.4	Estimation de la mortalité avec l'application EolApp.....	59	5.2.2	Analyses qualitatives des impacts sur l'avifaune .....	75
4.3.7.5	Estimation de la mortalité avec l'application GenEst .....	59	<b>6</b>	<b>BILAN DE L'EFFICACITE DES MESURES CORRECTIVES EN 2022.....</b>	<b>76</b>
4.3.7.6	Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2022 .....	59	6.1	RAPPEL DU PATTERN DE REGULATION .....	76
4.4	BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX .....	60	6.2	CONFRONTATION ENTRE LES RESULTATS DU SUIVI DE MORTALITE ET DU SUIVI D'ACTIVITE AVEC LA PERIODE DE REGULATION DES MACHINES .....	76
4.4.1	Bilan des mortalités par éolienne en 2022.....	60	6.3	HYPOTHESES EXPLIQUANT LA DECOUVERTE DE 6 CADAVRES EN PERIODE DE REGULATION .....	79
4.4.2	Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux issues des relevés au sol .....	60	6.3.1	Variabilité inter-éolienne de l'activité à risque .....	79
4.4.3	Typologie des découvertes (cadavres et plumées d'oiseaux) dans le cadre du suivi de la mortalité au sol .....	62	6.3.2	Non-détection des individus passant dans ou à proximité du rotor .....	79

6.3.3	<i>Vérification du dimensionnement de la régulation.....</i>	79	<b>ANNEXE 3 : CHRONOLOGIE NOCTURNE DU FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION, SUR L'EOLIENNE E1.....</b>	95
6.3.4	<i>Vérification de l'implantation du pattern de régulation en machine .....</i>	81	<b>ANNEXE 4 : CHRONOLOGIE NOCTURNE DU FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION, SUR L'EOLIENNE E2.....</b>	96
6.3.5	<i>Analyse des conditions météorologiques et de fonctionnement des éoliennes pour les 6 cadavres retrouvés ....</i>	83	<b>ANNEXE 5 : CHRONOLOGIE NOCTURNE DU FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION, SUR L'EOLIENNE E3.....</b>	97
6.4	SYNTHESE .....	84		
<b>7</b>	<b>PROPOSITION DE MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS.....</b>	<b>86</b>		
7.1	MESURES CONCERNANT LES CHIROPTERES.....	86		
7.1.1	<i>Vérification en interne de la mise en œuvre du bridage, analyse des éventuels problèmes techniques et suivi ..</i>	86		
7.1.2	<i>Modification de la mesure de régulation des machines .....</i>	86		
7.1.3	<i>Veiller à ne pas encourager l'installation des chiroptères au niveau des aménagements .....</i>	86		
7.2	MESURE CONCERNANT L'AVIFAUNE.....	87		
7.2.1	<i>Veiller à maintenir les grillages placés au niveau des caissons de ventilation.....</i>	87		
7.3	MESURES CONCERNANT LES CHIROPTERES ET LES OISEAUX.....	87		
7.3.1	<i>Veiller à l'absence d'éclairage du parc .....</i>	87		
7.3.2	<i>Limiter la fréquentation des chauves-souris et des oiseaux autour des éoliennes .....</i>	87		
<b>8</b>	<b>MESURES REGLEMENTAIRES.....</b>	<b>88</b>		
8.1	SUIVI DE LA MORTALITE .....	88		
8.2	SUIVI DE L'ACTIVITE EN NACELLE .....	88		
<b>9</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>89</b>		
9.1	SUIVI DE LA MORTALITE DES CHIROPTERES ET DES OISEAUX.....	89		
9.1.1	<i>Concernant les chiroptères .....</i>	89		
9.1.2	<i>Concernant les oiseaux .....</i>	89		
9.2	MESURES CORRECTIVES ET PERSPECTIVES .....	89		
	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>90</b>		
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>91</b>		
	<b>ANNEXE 1 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN .....</b>	<b>92</b>		
	<b>ANNEXE 2 : DONNEES BRUTES DES RELEVES DE MORTALITE EXEN.....</b>	<b>94</b>		

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien de Saint-Ambroix sur fond de carte IGN .....	10	Figure 17 : 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) 25	
Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien de Saint-Ambroix sur fond d'image satellite .....	11	Figure 18 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine) .....	27
Figure 3 : Influence de la vitesse de vent sur l'activité des chiroptères, en 2020. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2020 (EXEN, 2021) .....	13	Figure 19 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevée au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E4 (En haut détail par espèces, en bas par groupes de vol) .....	27
Figure 4 : Influence de la Température sur l'activité des chiroptères, en 2020. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2020 (EXEN, 2021) .....	13	Figure 20 : Tableau de continuité de présence de chaque espèce (ou groupe d'espèces) au cours du suivi en continu en 2022, basée sur les données enregistrées en nacelle de l'éolienne E4 (en seconde d'activité par quinzaine) .....	29
Figure 5 : Influence de la vitesse de vent sur l'activité des chiroptères, en 2021. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2021 (EXEN, 2022) .....	15	Figure 21 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit, en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience d'EXEN) .....	30
Figure 6 : Influence de la température sur l'activité des chiroptères, en 2021. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2021 (EXEN, 2022) .....	15	Figure 22 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de plus forte activité relevée en période printanière, en 2022 .....	30
Figure 7 : Données d'observation de Busard Saint-Martin récoltées lors du suivi, en 2021. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2021 (EXEN, 2022) .....	16	Figure 23 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de plus forte activité relevée en période automnale, en 2022 .....	31
Figure 8 : Exemple d'installation de Batcorder en nacelle avec micro à travers la paroi de la nacelle .....	17	Figure 24 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce ou groupe d'espèces relevés en nacelle d'éolienne E4 .....	32
Figure 9 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes (modèle Enercon E72 en haut, modèle Vestas en bas) .....	18	Figure 25 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E4 (sur la base des données relevées en 2022 en nacelle d'éolienne) .....	33
Figure 10 : Distances de détection (minimum et maximum) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences) .....	18	Figure 26 : Graphique présentant l'activité chiroptérologique (en haut à gauche), l'occurrence de chaque direction du vent (en haut à droite), l'activité régulière (en bas à gauche) et l'activité des pics (en bas à droite) relevés en nacelle d'éolienne E4 .....	34
Figure 11 : Synthèse des plages de fonctionnement du module Batcorder autonome en continu et nombre d'enregistrements relevés .....	19	Figure 27 : Vitesse de vent moyenne relevée la nuit (en m/s) sur la période de suivi en fonction des directions du vent .....	34
Figure 12 : Schéma caractérisant le paramètre « posttrigger » (ici configuré sur 400 ms) .....	19	Figure 28 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur, au niveau de l'éolienne E4, en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité .....	35
Figure 13 : Référentiel EXEN de niveau d'activité pour une nuit mesurée par un Batcorder en éolienne (en secondes d'activité cumulée/ nuit) .....	20	Figure 29 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de la nacelle de l'éolienne E4 .....	36
Figure 14 : Schéma théorique de l'activité des chiroptères selon le type de vol, et problématiques liées aux différents types d'implantation d'éolienne (forêt, lisière ou milieu ouvert) .....	22	Figure 30 : Décomposition de l'activité moyenne (en seconde d'activité par nuit) des chauves-souris, au niveau de la nacelle de l'éolienne E4, en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil .....	36
Figure 15 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanies >30kHz, en bas, le groupe des « Sérotules ») .....	23	Figure 31 : Calendrier prévisionnel du suivi de la mortalité et pression de suivi en 2022 .....	38
Figure 16 : 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) .....	24		

Figure 32 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique.....	39	Figure 51 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de chauves-souris retrouvées).....	54
Figure 33 : Carte des périmètres de prospection sous les éoliennes lors du suivi de 2022 (en fonction du pourcentage de prospection sur toute la période de suivi).....	40	Figure 52 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d.....	55
Figure 34 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris.....	41	Figure 53 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance.....	56
Figure 35 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii) par un couple de Nécrophore chasseur (Nicrophorus investigator), sous un autre parc.....	42	Figure 54 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours) .....	56
Figure 36 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection (sur un autre site) ...	43	Figure 55 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après 1 jours ».....	56
Figure 37 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées (sur un autre site).....	43	Figure 56 : Schéma des différents cercles concentriques utilisés pour le calcul du coefficient surfacique.....	57
Figure 38 : Grille de calcul pour la définition du risque d'occurrence de la mortalité (Sensibilité*Nombre de mortalité brutes).....	46	Figure 57 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a.....	57
Figure 39 : Grille de calcul pour la définition du niveau d'impact théorique (Patrimonialité*Risque d'occurrence).....	46	Figure 58 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations .....	58
Figure 40 : Bilan des découvertes issues des relevés au sol dans le cadre du suivi EXEN 2022 et répartition par éolienne.....	47	Figure 59 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2022 .....	58
Figure 41 : Chronologie des découvertes des chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne, issues des relevés au sol du suivi mortalité d'EXEN en 2022 .....	48	Figure 60 : Paramètres à renseigner dans l'application EolApp.....	59
Figure 42 : Chronologie des mortalités des chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2022 .....	49	Figure 61 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance).....	59
Figure 43 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité .....	49	Figure 62 : Bilan des découvertes issues des relevés au sol dans le cadre du suivi EXEN 2022 et répartition par éolienne .....	60
Figure 44 : Répartition des découvertes par espèce de chauves-souris (effectifs constatés dans le cadre du suivi au sol) à l'occasion du suivi 2022 .....	50	Figure 63 : Chronologie des découvertes d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne, issues des relevés au sol du suivi mortalité d'EXEN en 2022 .....	61
Figure 45 : Histogramme de la répartition des espèces découvertes dans le cadre du suivi de la mortalité par éolienne en 2022.....	50	Figure 64 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2022 .....	62
Figure 46 : Répartition des découvertes de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) à l'occasion du suivi mortalité au sol de 2022 .....	51	Figure 65 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité.....	62
Figure 47 : Clichés de la Noctule commune retrouvée le 1 <sup>er</sup> août sous l'éolienne E2 .....	52	Figure 66 : Répartition des découvertes par espèce d'oiseaux (effectifs constatés dans le cadre du suivi au sol – cadavres et plumées) à l'occasion du suivi 2022.....	63
Figure 48 : Cliché du cadavre de la Pipistrelle commune retrouvé le 12 août 2022 sous l'éolienne E2.....	52	Figure 67 : Histogramme de la répartition des espèces découvertes (cadavres et plumées) dans le cadre du suivi de la mortalité par éolienne en 2022 .....	63
Figure 49 : Cliché du cadavre de la Noctule de Leisler retrouvée le 16 septembre sous l'éolienne E1 .....	52	Figure 68 : Répartition des découvertes (cadavres et plumées) d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) à l'occasion du suivi mortalité au sol de 2022.....	64
Figure 50 : Cliché du cadavre de la Pipistrelle de Nathusius découverte le 4 octobre sous l'éolienne E2 .	53	Figure 69 : Cliché du cadavre de Circaète jean-le-Blanc retrouvé le 1 <sup>er</sup> août 2022 sous l'éolienne E3.....	65

Figure 70 : Cliché du cadavre de Rougegorge familier découvert le 19 octobre sous l'éolienne E1 ..... 65	Figure 89 : Répartition de l'activité des pipistrelles en fonction des vitesses du vent (sur la base des données de 2022) .....80
Figure 71 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de cadavres retrouvés sous les éoliennes) ..... 66	Figure 90 : Fonctionnement de la régulation sur le parc de Saint-Ambroix, entre le 15 mars et le 15 novembre 2022.....81
Figure 72 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d ..... 67	Figure 91 : Chronologie nocturne du fonctionnement de la régulation, sur l'éolienne E4 (extrait du rapport issu de Probat inspector (@ OekoFor GbR ; <a href="https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/">https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/</a> ) .....82
Figure 73 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance..... 67	Figure 92 : Hypothèses prises une à une pour chacun des cas de mortalité retrouvés au sol en 2022 (V : hypothèse possible ; X : hypothèse rejetée).....85
Figure 74 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours) ..... 68	Figure 93 : Planning prévisionnel des suivis environnementaux pour l'année 2023.....88
Figure 75 : Schéma des différents cercles concentriques pour le calcul du coefficient surfacique ..... 68	
Figure 76 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a..... 69	
Figure 77 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations ..... 69	
Figure 78 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2022..... 70	
Figure 79 : Paramètres à renseigner dans l'application EolApp ..... 70	
Figure 80 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance) ..... 70	
Figure 81 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)..... 71	
Figure 82 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE). 72	
Figure 83 : Niveau d'intensité des risques de mortalité (en vert, les espèces identifiées certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol) ..... 73	
Figure 84 : Évaluation des impacts du parc éolien de Cruas sur les chauves-souris (en vert les espèces identifiées avec certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol) ..... 73	
Figure 85 : Évaluation des niveaux d'impacts théoriques sur l'avifaune en 2022 ..... 75	
Figure 86 : Graphique de la chronologie de l'activité chiroptérologique réellement à risque, en nacelle d'éolienne E4 pour des tours rotor $\geq 1$ et de la mortalité constatée en 2022..... 78	
Figure 87 : Simulation de l'activité totale qui devait être à risque en nacelle d'éolienne E4, compte tenu des paramètres de régulation, en fonction des groupes de vol ..... 80	
Figure 88 : Répartition de l'activité des noctules en fonction des vitesses du vent (sur la base des données de 2022)..... 80	

# 1 OBJET

La société Conquest est propriétaire du parc éolien de Saint-Ambroix, mis en service en juin 2019 et situé à cheval entre les départements de l'Indre (36) et du Cher (18). Pour apprécier objectivement les niveaux d'atteintes du parc éolien sur la biodiversité, VSB Energies Nouvelles a mandaté le bureau d'étude EXEN pour réaliser un suivi naturaliste multithématique en 2022, notamment destiné à estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères au niveau des éoliennes du parc étant donné que les oiseaux et les chauves-souris sont les deux principaux groupes d'espèces animales les plus sensibles aux effets des parcs éoliens.

Ce suivi post-implantation de 2022 fait suite à deux suivis post-implantations réalisés en 2020 et 2021 par EXEN et consistant en un suivi de la mortalité de la faune volante et en un suivi de l'activité des chiroptères à hauteur de nacelle. Ces trois années de suivi sont conformes à la mise à jour du « protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » validé par le Ministère de l'environnement en 2018.

L'objet du présent rapport est de faire la synthèse des suivis environnementaux post-implantation menés en 2022. Il s'agit d'évaluer l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix sur la faune volante et l'efficacité des mesures de réduction des risques mise en œuvre. De plus, l'analyse du suivi d'activité des chiroptères permettra de préciser les conditions de risques d'impacts (typologie des mortalités, saisonnalités, facteurs météorologiques...), et d'apporter des éléments supplémentaires pour affiner les mesures de réduction, si besoin, pour faire en sorte que les modalités d'exploitation du parc éolien limitent les risques de façon significative.

Le présent document propose un bilan décomposé :

- des résultats du suivi de l'activité des chiroptères pour la campagne 2022 (entre juillet et novembre 2022),
- des résultats du suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris sous les éoliennes pour la campagne de 2022 (entre août et novembre 2022),
- d'une vérification du bon dimensionnement et du respect des mesures déjà en place.

# 2 CONTEXTE

## 2.1 Contexte général du parc éolien de Saint-Ambroix

Le parc éolien de Saint-Ambroix est composé de 4 éoliennes et se situe sur la commune de Saint-Ambroix, dans la partie ouest du département du Cher (18).

Ce parc éolien est composé de 4 machines implantées sous la forme de 2 lignes parallèles orientées dans un axe Sud-Ouest – Nord-Est. Le parc se situe dans un contexte entièrement agricole consacré aux grandes cultures (céréales, colza, maïs, tournesol...). Le parc de Saint-Ambroix est ainsi situé sur un plateau à proximité de deux autres parcs éoliens, celui de Forge et de Bois-Ballay. Il est localisé à proximité des villages de Saint-Ambroix-sur-Arnon et Saint-Ambroix. Aucune habitation, ni ferme ne sont présentes dans le périmètre immédiat des éoliennes du parc.

Les éoliennes sont de type Nordex N131 (diamètre du rotor 131 m, nacelle à 99 mètres de hauteur). La mise en service a eu lieu en juin 2019.

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien de Saint-Ambroix sur fond de carte IGN

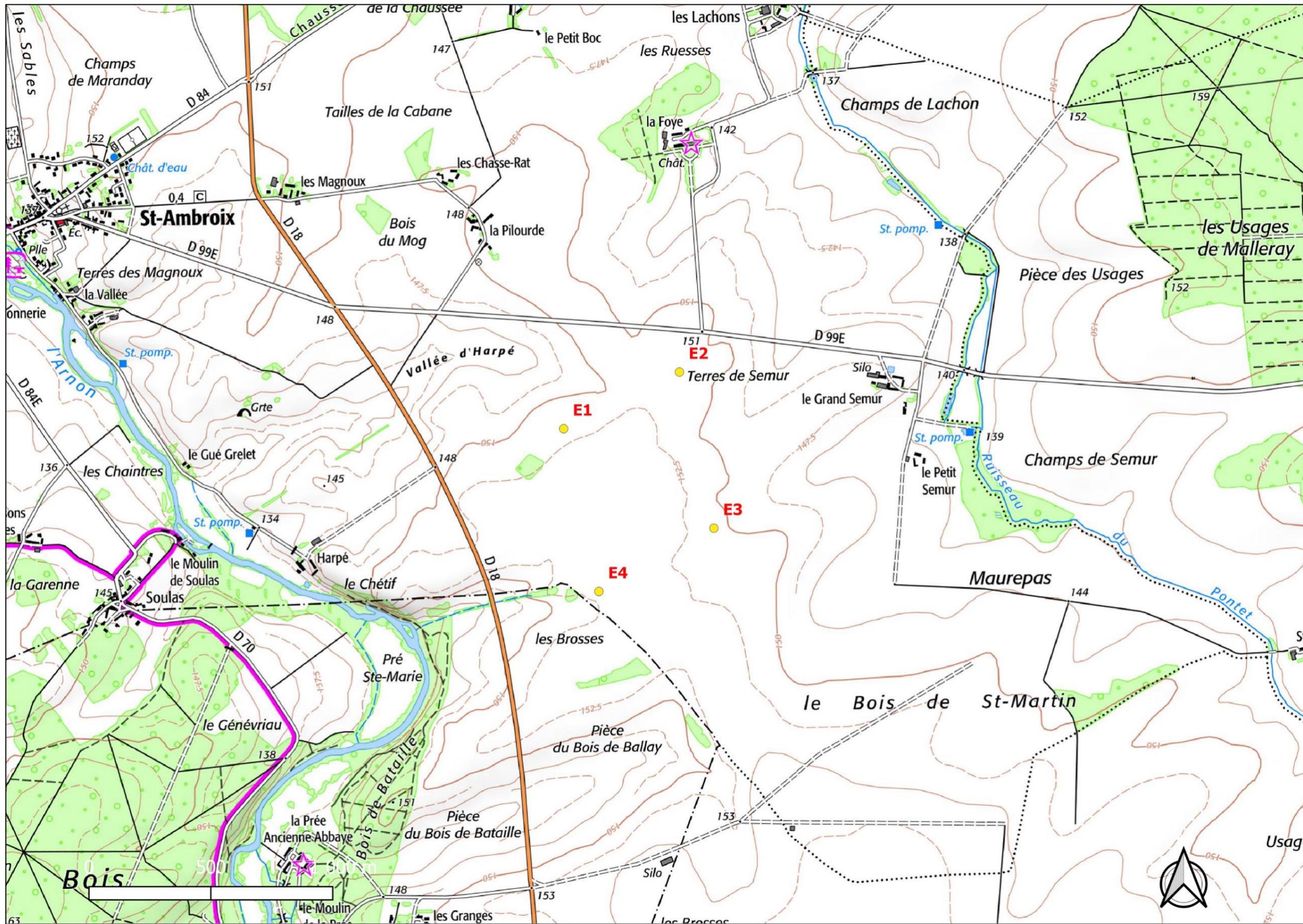


Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien de Saint-Ambroix sur fond d'image satellite



## 2.2 Rappel des résultats des suivis antérieurs

Deux campagnes de suivis environnementaux ont été effectuées sur la parc éolien de Saint-Ambroix. Une synthèse des résultats de ces suivis menés, en 2020 et 2021, par le bureau d'étude EXEN sont présentés ci-après.

### 2.2.1 Suivi post-implantation 2020 (EXEN, 2021)

Cette campagne de suivi s'est composée d'un suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux et d'un suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle.

Le suivi de recherche de mortalité s'est effectué entre le **12 mai et le 19 octobre 2020**. Il est composé de 25 visites réparties en 1 passage par semaine.

Un test de persistance (afin de tester la pression de prédation sur le site) et de détection (afin de tester l'observateur lors de la recherche) a été effectué le 02 juin et le 1<sup>er</sup> août 2020.

#### 2.2.1.1 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les chauves-souris

Au cours du suivi, 13 cas de mortalités de chauves-souris ont été trouvés :

- Le 26 mai, sous E4, deux cadavres de **Pipistrelle commune** ;
- Le 09 juin, sous E2 et sous E4, un cadavre de **Pipistrelle commune** ;
- Le 04 août, sous E2, deux cadavres de **Pipistrelle commune** ;
- Le 13 août, sous E2, un cadavre de **Pipistrelle de Kuhl** et un cadavre de **Noctule commune** ;
- Le 03 septembre, sous E2, un cadavre de **Noctule commune** et, sous E4, un cadavre de **Pipistrelle commune** ;
- Le 10 septembre, sous E4, un cadavre de **Pipistrelle commune** ;
- Le 18 septembre, sous E2, un cadavre de **Pipistrelle de commune** et de chiroptère sp.

En 2020, le taux de détection (d) a été estimé à 0,65 et le taux de persistance (Tm) a été estimé à 3,76 (disparition des cadavres entre 3 et 4 jours).

Le taux de mortalité des chiroptères, en 2020, a été évalué entre 27 et 36 cas de mortalités de chauves-souris par éolienne et par an. Le niveau d'impact quantitatif du parc éolien de Saint-Ambroix a été qualifié d'élevé. Le niveau d'impact qualitatif a été qualifié de « modéré à fort » pour une espèce, la Pipistrelle commune, et de modéré pour deux espèces, la Noctule commune et la Noctule de Leisler.

#### 2.2.1.2 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les oiseaux

Au cours du suivi, cinq cas de mortalité d'oiseaux ont été trouvés :

- Le 02 juin, sous E3, une plumée **d'Alouette des champs** et sous E1, un cadavre de **Perdrix grise** ;
- Le 23 juillet, sous E2, un cadavre de **Bruant jaune**, et sous E3, un cadavre d'Alouette indéterminée ;
- Le 30 juillet, sous E2, 1 cadavre de **Busard Saint-Martin** ;

En 2020, le taux de détection (d), pour l'avifaune, a été estimé à 0,92 et le taux de persistance (Tm) a été estimé à 3,7 jours (disparition des cadavres entre 3 et 4 jours).

Le taux de mortalité des oiseaux, en 2020, a été évalué entre 12 et 14 cas de mortalités d'oiseau par éolienne et par an. Le niveau d'impact quantitatif du parc éolien de Saint-Ambroix a été qualifié de faible à modéré. Le niveau d'impact qualitatif a été qualifié de « faible à modéré » au maximum, pour une espèce, le Bruant jaune.

#### 2.2.1.3 Synthèse des résultats du suivi d'activité des chauves-souris, à hauteur de nacelle

Le suivi automatisé de l'activité des chauves-souris a été effectué au niveau de la nacelle de l'éolienne E4, entre le 12 mai et le 24 novembre 2020. Le matériel utilisé était un Batcorder.

Cinq espèces ont pu être discriminées lors de ce suivi, il s'agit de la **Noctule commune**, la **Noctule de Leisler**, la **Pipistrelle commune**, la **Pipistrelle de Kuhl** et la **Sérotine commune**. La Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine bicolore sont considérées comme potentiellement présentes.

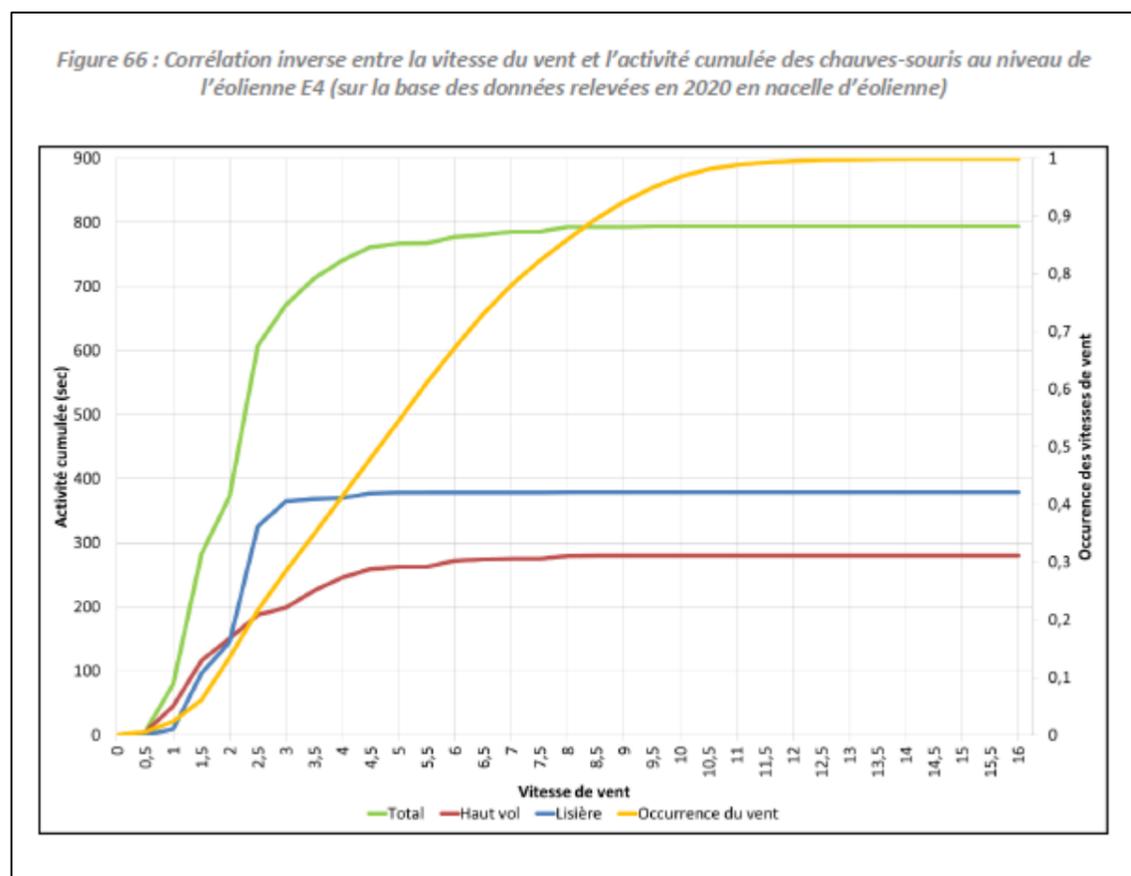
**Le suivi témoigne d'une proportion quasi-équivalente d'activité des espèces de lisières et des espèces de vol haut.**

**Trois pics d'activité** principaux sont apparus : le **1<sup>er</sup> juin**, le **03 septembre** et le **08 novembre**, tous présentant un niveau d'activité modéré à fort.

Ces pics d'activité ont été générés par une activité importante **Pipistrelle de Kuhl** (pics du 1<sup>er</sup> juin et du 08 novembre) et de **Noctule commune** (pic du 03 septembre). Ces pics ont eu lieu par de faibles vitesses de vent (< 2,5 m/s) et des températures >17°C.

97 % de l'activité des espèces de lisières a eu lieu par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. En ce qui concerne les espèces de haut vol, 87 % de l'activité des espèces de haut vol a lieu aussi par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. Ainsi par des vitesses de vent supérieures à 4 m/s, il ne reste au total que 53 secondes d'activité cumulée, toutes espèces confondues.

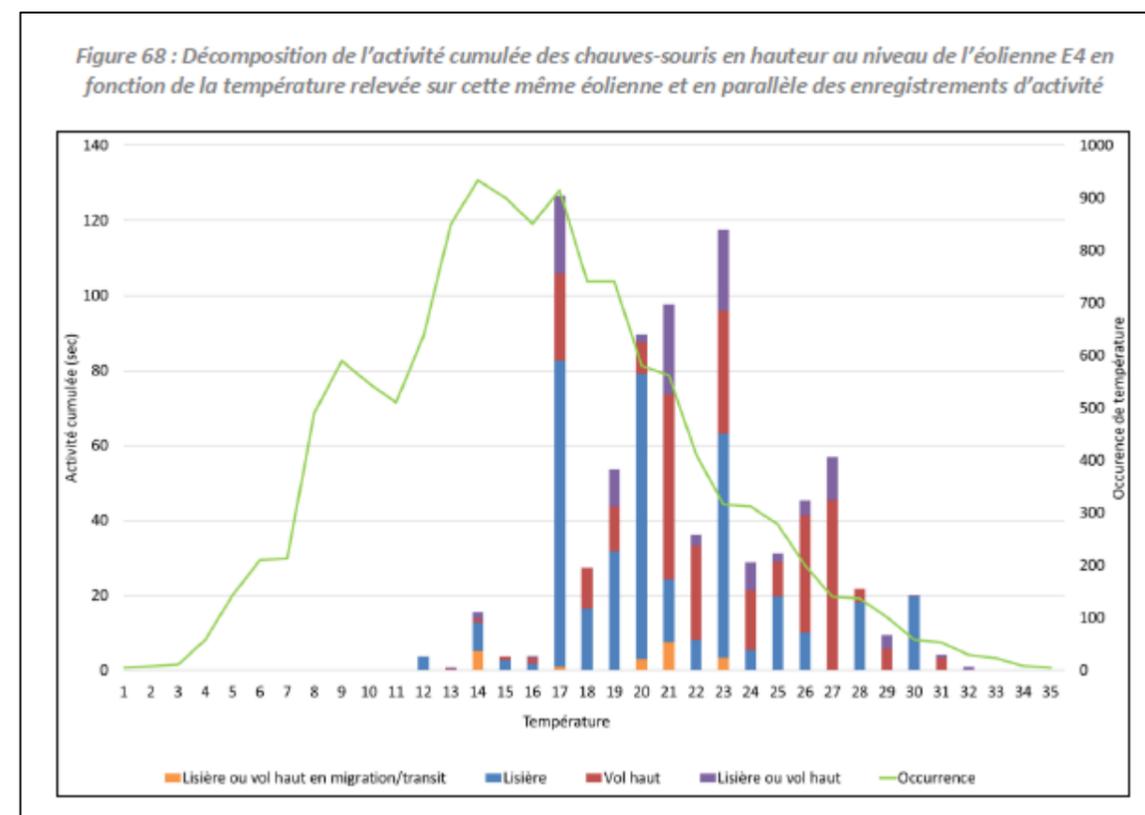
Figure 3 : Influence de la vitesse de vent sur l'activité des chiroptères, en 2020. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2020 (EXEN, 2021)



Le rapport relève une influence positive possible des vents orientés sud-est sur l'activité des chiroptères. Tous les pics d'activité relevés, en 2020, ont eu lieu par cette direction de vent.

Concernant l'influence de la température, le rapport conclue que « 70% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 20°C et plus de 97% pour des températures supérieures à 15°C. » (EXEN, 2021). Les températures les plus relevées, au niveau du parc éolien de Saint-Ambroix sont celles comprises entre 13 et 17°C.

Figure 4 : Influence de la Température sur l'activité des chiroptères, en 2020. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2020 (EXEN, 2021)



Concernant le rythme nocturne, l'activité a principalement été concentrée sur le milieu de la nuit : « 99 m de hauteur, 91% de l'activité est relevé entre 45 minutes après le coucher du soleil et 3h avant le lever du soleil et 94% entre 1h après le coucher du soleil et 1h avant le lever du soleil. »

Une activité de début nuit a été relevée ponctuellement : « Des contacts de Pipistrelle de Kuhl ont également été enregistrés entre 15 et 30 minutes après le coucher du soleil au mois de novembre. ».

#### 2.2.1.4 Mesures préconisées en 2020

L'application d'un pattern de régulation a été préconisé, sur les quatre éoliennes du parc éolien de Saint-Ambroix.

Dans le rapport de suivi post-implantation (EXEN, 2021), il est défini comme tel :

##### Du 15 mars au 15 novembre :

- Vitesse de vent inférieure au seuil de production (3 m/s) et,
- Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

ET

**Du 15 mars au 15 novembre :**

- Vitesse de vent inférieure ou égale à 4 m/s (à hauteur de moyeu) et,
- Pour des températures supérieures ou égales à 12°C (à hauteur de moyeu) et,
- De 15 min après le coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil (en tenant compte de l'éphéméride) et,
- En l'absence de précipitation notable (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

Concernant les oiseaux, un suivi comportemental du Busard Saint-Martin a été préconisé afin d'étudier les comportements à risque possibles vis-à-vis des éoliennes de Saint-Ambroix.

La reconduction d'un suivi de mortalité a été préconisé de mai 2021 à novembre 2021 afin d'étudier l'efficacité et la mise en place de la régulation. Le suivi préconisé se compose de 35 visites réparties sur 28 semaines avec 1 passage par semaine entre mai et fin juillet, 2 passages par semaine entre début août et mi-septembre et 1 passage par semaine entre fin septembre et mi-novembre.

## 2.2.2 Suivi post-implantation 2021 (EXEN, 2022)

Cette campagne de suivi s'est composée d'un suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux, d'un suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle et d'un suivi de l'activité du Busard Saint-Martin.

Le suivi de recherche de mortalité s'est effectué entre **début mai et mi-novembre 2021**. Il est composé de 35 visites réparties avec une pression de visite d'un passage par semaine de début mai à fin juillet puis de deux passages par semaine de début août à mi-septembre, et d'un passage par semaine de fin septembre à mi-novembre.

Un test de persistance (afin de tester la pression de prédation sur le site) et de détection (afin de tester l'observateur lors de la recherche) a été effectué le 08 juin et le 23 août 2021.

### 2.2.2.1 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les chauves-souris

Au cours de suivi, 7 cas de mortalités de chauves-souris ont été trouvés :

- Le 23 août, sous E4, un cadavre de **Pipistrelle commune** et de **Noctule commune** ;
- Le 06 septembre, sous E1, un cadavre de **Noctule de Leisler** et, sous E3, un cadavre de **Pipistrelle commune** ;
- Le 09 septembre, sous E4, un cadavre de **Pipistrelle commune** ;
- Le 16 septembre, sous E2, un cadavre de **Noctule commune** ;
- Le 13 octobre, sous E1, un cadavre de **Pipistrelle de Kuhl**.

En 2021, le taux de détection (d) a été estimé à 0,57 et le taux de persistance (Tm) a été estimé entre 3,40 et 3,69 jours (disparition des cadavres entre 3 et 4 jours).

Le taux de mortalité des chiroptères, en 2021, a été évalué entre 13 et 18 cas de mortalités de chauves-souris par éolienne et par an. Le niveau d'impact quantitatif du parc éolien de Saint-Ambroix a été qualifié d'un niveau modéré. Le niveau d'impact qualitatif a été qualifié de « modéré à fort » pour trois espèces : la Pipistrelle commune, la Noctule de Leisler et la Noctule commune.

### 2.2.2.2 Synthèse des résultats du suivi de la mortalité pour les oiseaux

Au cours du suivi, sept cas de mortalité d'oiseaux ont été trouvés :

- Le 29 avril, sous E2, un cadavre de **Bergeronnette grise** dans le caisson de ventilation ;
- Le 03 juin, sous E4, un cadavre de **Bergeronnette printanière** ;
- Le 09 août, sous E1, un cadavre de **Bergeronnette printanière** ;
- Le 19 août, sous E1, un cadavre de **Gobemouche noir** ;
- Le 05 octobre, sous E4, une plumée de **Pigeon ramier** ;
- Le 18 octobre, sous E1, une plumée d'**Alouette des champs** ;
- Le 02 novembre, sous E4, un cadavre d'**Alouette des champs**.

En 2021, le taux de détection (d), pour l'avifaune, a été estimé à 0,87 et le taux de persistance (Tm) a été estimé à 3,17 jours (disparition des cadavres entre 3 et 4 jours).

Le taux de mortalité des oiseaux, en 2021, a été évalué entre 13 et 18 cas de mortalités d'oiseau par éolienne et par an. Le niveau d'impact quantitatif du parc éolien de Saint-Ambroix a été qualifié de modéré. Le niveau d'impact qualitatif a été qualifié de faible.

### 2.2.2.3 Synthèse des résultats du suivi d'activité des chauves-souris, à hauteur de nacelle

Un suivi automatisé en continu a été menée, en 2021, sur le parc éolien de Saint-Ambroix. Il a été effectué au niveau de la nacelle de l'éolienne E4, entre le 17 mars et le 24 novembre 2021. Le matériel utilisé est un Batcorder 1.0.

Cinq espèces ont pu être discriminées lors de ce suivi, il s'agit de la **Noctule commune**, la **Noctule de Leisler**, la **Pipistrelle commune**, la **Pipistrelle de Kuhl** et la **Pipistrelle de Nathusius**. Le groupe d'espèce des myotis a également été contacté. La Sérotine bicolore, Sérotine de Nilsson et la Sérotine commune sont considérées comme potentiellement présentes.

**Le suivi témoigne d'une proportion d'activité majoritaire des espèces de lisière et d'une proportion plus faible des espèces de vol haut.**

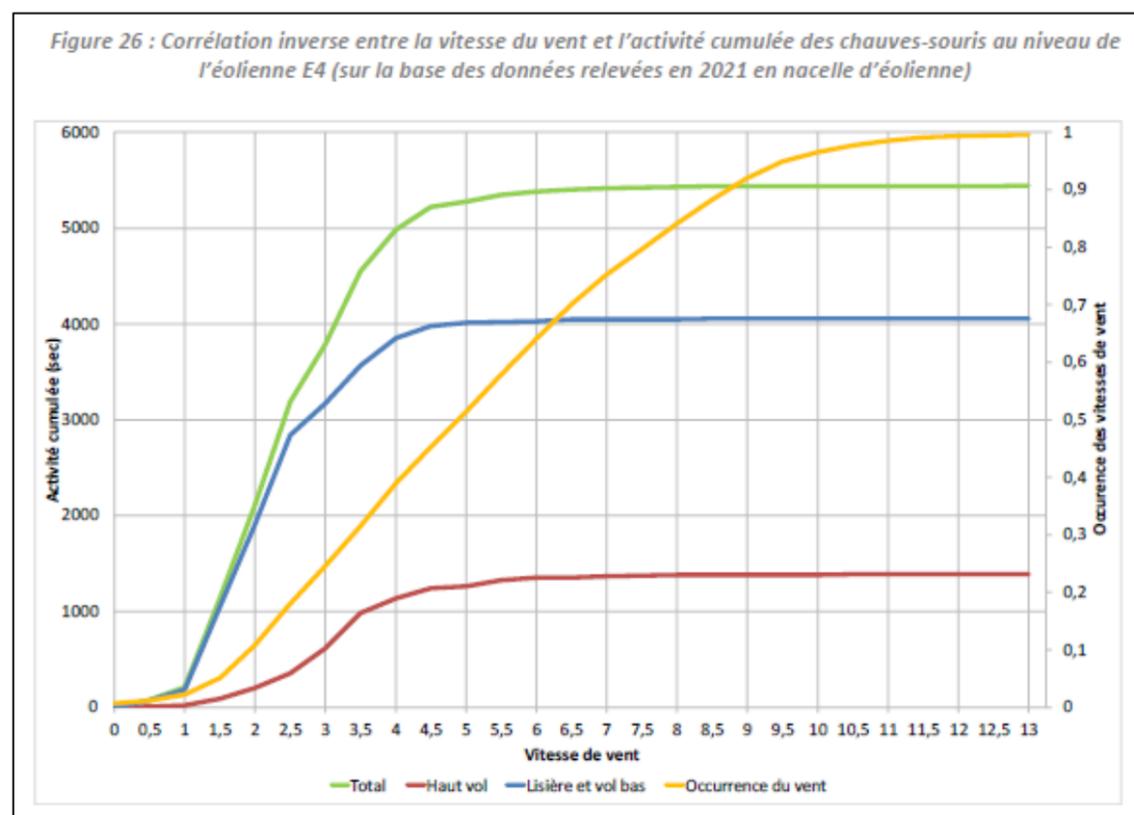
**Plusieurs pics d'activité d'un niveau très fort ont été relevés pendant la période estivale (10, 12 et 13 août) et automnale (03, 11, 15 et 24 septembre).** La majorité des pics est dominée par une activité d'espèces de lisière ou/et de Noctule commune.

Ces pics ont eu lieu par des vitesses de vent variables, comprises entre 1 et 6,5 m/s et des températures plutôt élevées (>19°C).

« La quasi-totalité de l'activité des **espèces de lisières et de vol bas** (4052 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 8,5 m/s (7,8 s d'activité n'ont pu être affiliées à des données météorologiques). La majorité de l'activité (95% soit 3849 s environ) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 4 m/s.

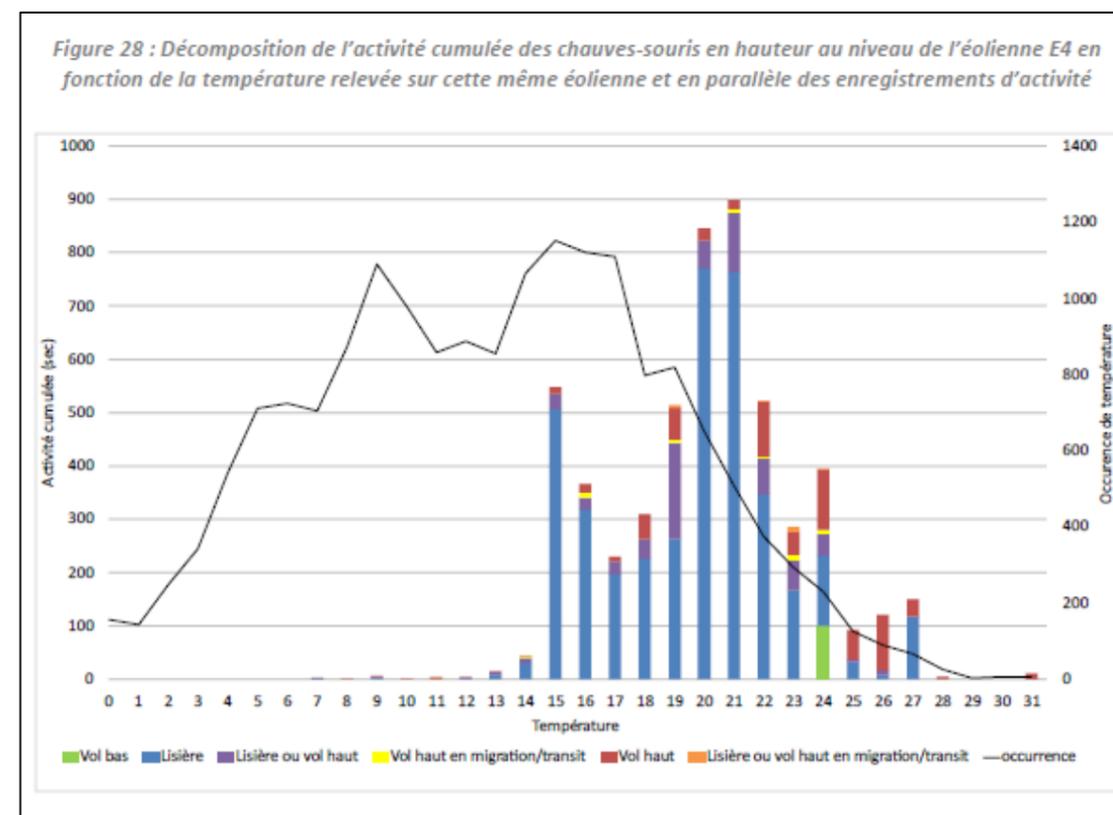
Pour les **espèces de haut vol**, la quasi-totalité de l'activité (1387 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 13 m/s (30 s d'activité n'ont pu être affiliées à des données météorologiques). La majorité de l'activité (95% soit 1325 s) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 5,5 m/s. »

Figure 5 : Influence de la vitesse de vent sur l'activité des chiroptères, en 2021. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2021 (EXEN, 2022)



Concernant l'influence de la température, le rapport conclue que « 98% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 15°C et plus de 80% pour des températures supérieures à 17°C. » (EXEN, 2022). Les températures les plus relevées, au niveau du parc éolien de Saint-Ambroix sont celles comprises entre 9 et 17°C.

Figure 6 : Influence de la température sur l'activité des chiroptères, en 2021. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2021 (EXEN, 2022)



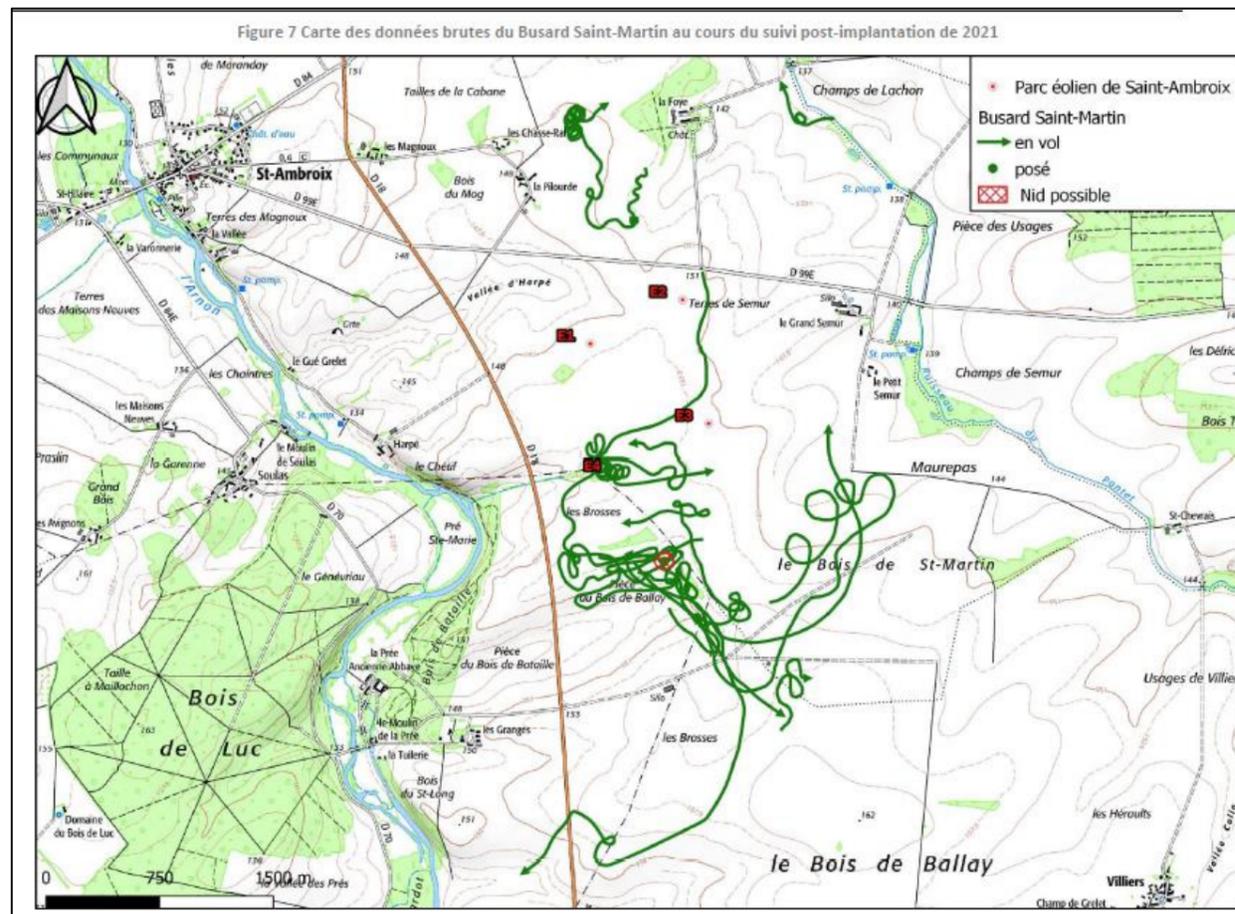
Concernant le rythme nocturne, l'activité a principalement été concentrée sur le milieu de la nuit : « 98% de l'activité des chiroptères a été enregistrée entre 30-45 min après le coucher du soleil et 45min-1h avant le lever du soleil. 40% a été enregistrée sur des heures de pleines nuits. »

Une activité de début nuit a été relevée ponctuellement : « Elle est due à une seule espèce, la *Noctule commune*, enregistrée le 15 septembre (2s d'activité à 20h06), le 17 et 18 octobre (respectivement 2 s d'activité enregistrées entre 18h19 et 18h25 et 2,6 s d'activité enregistrée entre 18h09 et 18h35). Cette activité laisse supposer la présence de gîtes dans le secteur, certainement des gîtes de transit, cette période étant une phase de migration. ».

#### 2.2.2.4 Synthèse des résultats du suivi de l'activité du Busard Saint-Martin, en 2021

Six visites ont été réalisées, au cours de la période de nidification, entre fin avril et fin juillet.

Figure 7 : Données d'observation de Busard Saint-Martin récoltées lors du suivi, en 2021. Extrait du rapport de suivi post-implantation de 2021 (EXEN, 2022)



Cette espèce qui niche au sol change de nid tous les ans, et sa localisation est dépendante de l'assolement. Les habitats sont donc favorables, mais les zones d'activité de l'espèce peuvent varier d'une année à l'autre. En revanche, il semblerait que les éoliennes ne dérangent pas cette espèce localement (perte d'habitat ou effet barrière).

Concernant les autres espèces recensées, l'enjeu le plus marqué est la possible reproduction du Faucon hobereau au niveau du bosquet au sud de l'éolienne E4. Cette espèce est bien représentée localement, en revanche, elle prend peu de risque au niveau des éoliennes avec des vols bas. C'est également le cas de l'OEdicnème criard, qui se reproduit dans les alentours du parc éolien, mais qui ne vole généralement pas à hauteur de rotor.

A l'inverse, le Milan noir est présent que ponctuellement, mais les vols de transit peuvent le rapprocher des éoliennes à hauteur de rotor (E3).

Les autres espèces ont une activité plus faible et ponctuelle, soit à l'écart du parc éolien, soit avec des vols bas. »

Les conclusions du rapport, sur ce suivi sont les suivantes :

« L'état initial de 2013 précise que le Busard Saint-Martin est présent au sein du parc éolien, mais avec une activité sporadique. Cette espèce peut venir chasser voire s'y reproduire certaines années.

Le suivi comportemental de 2021, a permis de confirmer que l'espèce est toujours présente, avec une activité assez marquée, notamment au sud du parc éolien. Un couple semble s'y reproduire, avec des individus qui fréquentent les alentours des éoliennes pour des comportements de chasse. Des indices de reproduction, avec la présence d'un couple dans ce secteur d'activité au sud laissent supposer une reproduction. En revanche, le succès de cette nidification n'a pu se confirmer lors des visites suivantes.

Concernant les hauteurs de vol, cette espèce est relativement peu sensible à la collision avec des vols bas. En revanche, quelques vols de transit sont possibles, avec des prises d'ascendances et donc d'altitude à proximité des éoliennes, comme ça a été le cas proche de E4. Ce type de comportement peut donc expliquer le cas de mortalité sur l'éolienne E2 en 2020.

# 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 périodes, par mois ou par nuits. Seul un suivi en continu sur le long terme (au moins sur la même période retenue pour le suivi de la mortalité) peut permettre d'apprécier une évolution fine de cette activité. C'est d'autant plus important que l'expérience montre (BEUCHER & KELM 2012) que certains pics d'activité parfois très importants et très ponctuels correspondent à certains pics de mortalités.

L'activité des chauves-souris est également très différente sur un gradient altitudinal (selon les types d'espèces, leurs comportements de chasse, la structure de végétation, les conditions météorologiques, les effets d'aérologie...). Afin de percevoir un rapport de cause à effet entre activité et mortalité, il s'agira 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, il reste la question de l'échantillonnage géographique. L'activité des chauves-souris s'organise aussi en fonction de la configuration du site, des types de milieux, des corridors de lisières, du contexte topographique et des phénomènes d'aérologie... et donc plus largement des fonctionnalités des différents secteurs pour les chiroptères. Il n'était toutefois pas envisagé d'installer un enregistreur automatique d'ultrasons sur chacune des éoliennes du parc éolien.

**L'éolienne choisie, en 2022, pour l'installation du Batcorder fut l'éolienne E4. L'enregistreur fut installé du 28 juillet au 16 novembre 2022.**

Le suivi en continu a, donc, permis de couvrir la période la période automnale au sein du parc éolien de Saint-Ambroix.

Lors du suivi post-implantation de 2020 (cf. EXEN, 2021) et de 2021 (cf. EXEN, 2022), l'éolienne équipée était également l'éolienne E4. Le matériel installé était aussi un module Batcorder. Ainsi, les résultats de ces deux années de suivi pourront être mis en parallèle avec les résultats du suivi acoustique de 2022.

### 3.1.2 Suivi passif depuis la nacelle des éoliennes

Pour suivre l'activité des chauves-souris en parallèle de la mortalité, un détecteur/enregistreur d'ultrasons de type *Batcorder* (1.0) a été utilisé. Au-delà de la qualité du matériel et des enregistrements acoustiques, ce type de matériel présente en effet différents modules et paramétrages possibles selon la destination du boîtier, et bénéficie dans tous les cas, de capacités d'autonomie pour des suivis en continu et de contrôles à distance très avantageuse par rapport aux autres systèmes aujourd'hui sur le marché.

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

- Quality : 20
- Threshold : 27 dB
- Posttrigger : 800 ms
- Critical frequency : 14 kHz
- Heure de déclenchement et de veille : 18h-8h (en heure locale)

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

- une alimentation en 220 V 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'accroche interne et d'antivibrations,
- un paramétrage particulier limitant la détection de bruits parasites machines de basse fréquence.

Figure 8 : Exemple d'installation de Batcorder en nacelle avec micro à travers la paroi de la nacelle

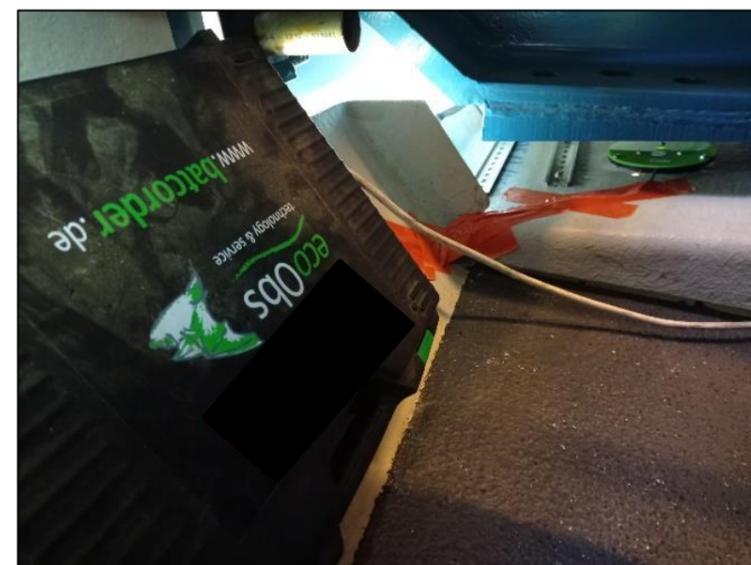


Figure 9 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes (modèle Enercon E72 en haut, modèle Vestas en bas)

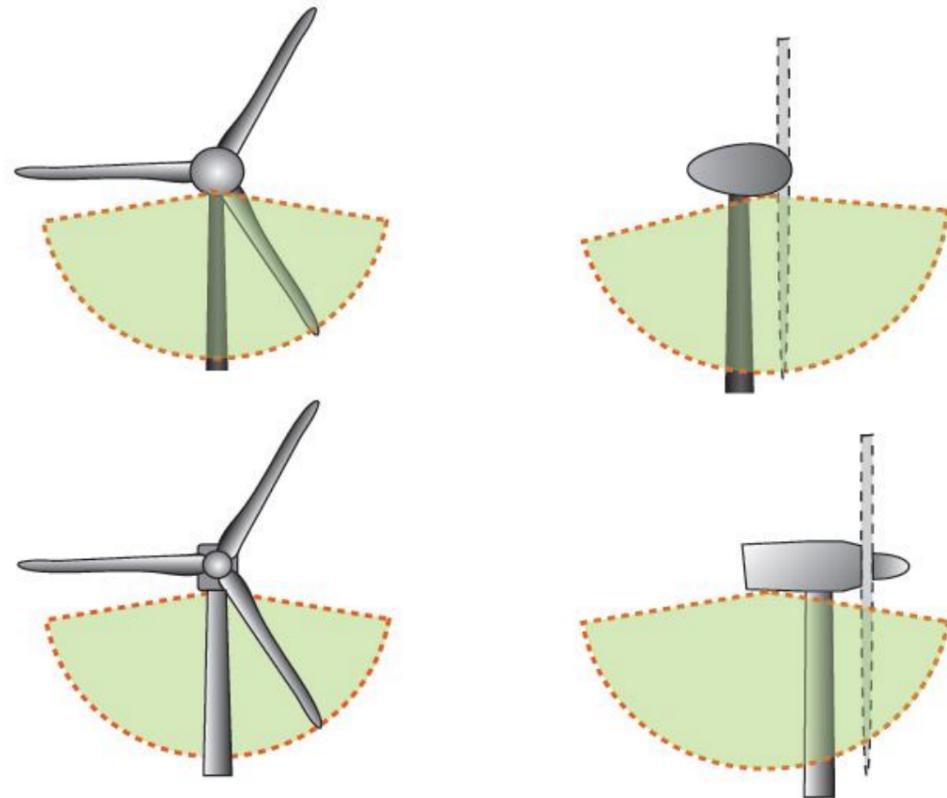
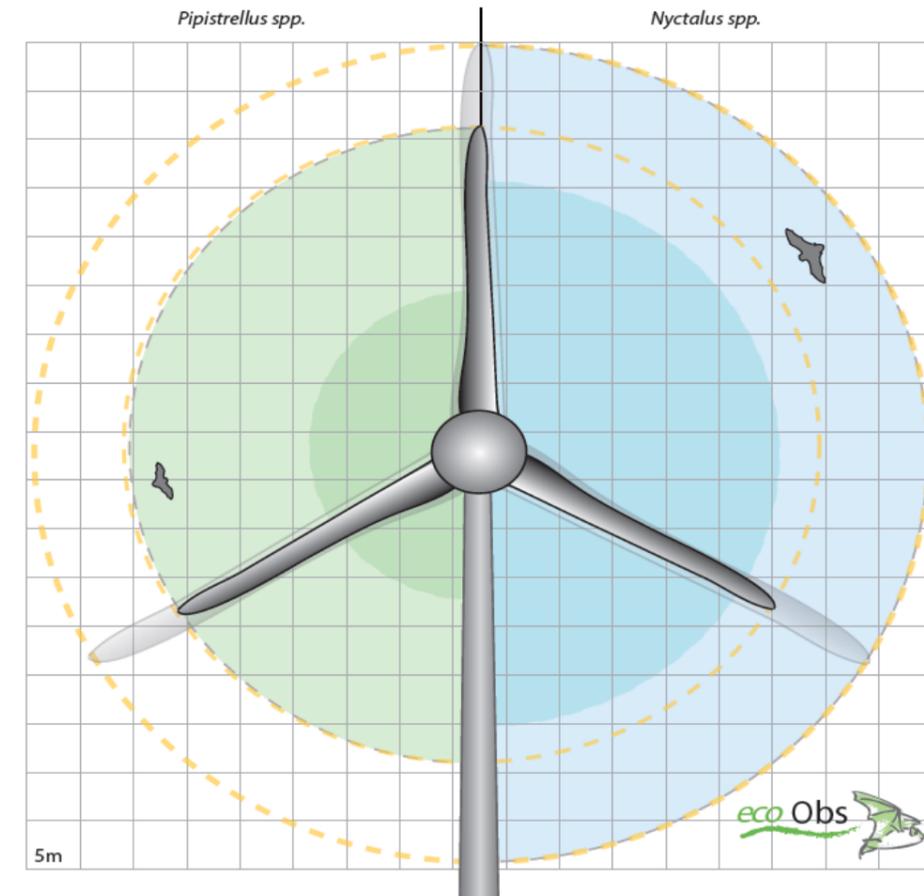


Figure 10 : Distances de détection (minimum et maximum) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)



L'efficacité des Batcorders placés sur nacelles d'éolienne a pu être testée au cours des 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 (Batacorders). 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 meurtrière du rotor (concernant à la fois des espèces de vol haut et des espèces de lisières ou de vols moins haut 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.

Un autre intérêt du système Batacorder 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 *batdent*. Les espèces sont déterminées par la comparaison statistique des ultrasons enregistrés avec les références d'une large sonothèque d'espèces du Paléarctique Occidental. Le logiciel libre « R » est l'outil d'interface statistique utilisé à cet égard. Dans un premier temps, si l'analyse automatique ne permet pas de déterminer l'espèce pour tous les contacts, un classement des enregistrements est proposé par groupes d'espèces en fonction de la typologie des signaux. L'analyse manuelle ultérieure de sons isolés est réalisée par la suite également très facilement grâce aux nombreuses fonctions du logiciel *bcAnalyze 3*. L'ensemble des outils proposés par EcoObs prennent régulièrement en compte l'évolution de la connaissance sur l'écologie acoustique des chiroptères en Europe et notamment en France. Dans ce cas précis, il sera abordé par la suite qu'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.

### 3.1.3 Plage/pression de suivi en hauteur

La nacelle de l'éolienne E4 a été équipée d'un enregistreur automatique (Batcorder). Le suivi de l'activité des chauves-souris en hauteur s'est étalé du 17 juillet au 16 novembre 2022. Le suivi en continu a, donc, permis de couvrir la période automnale.

Ainsi, 111 nuits efficaces ont été suivies. Ce qui représente 1 554 heures d'enregistrement en tout.

Cela représente un volume de 2533 données ultrasonores à analyser dont 2272 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).

Figure 11 : Synthèse des plages de fonctionnement du module Batcorder autonome en continu et nombre d'enregistrements relevés

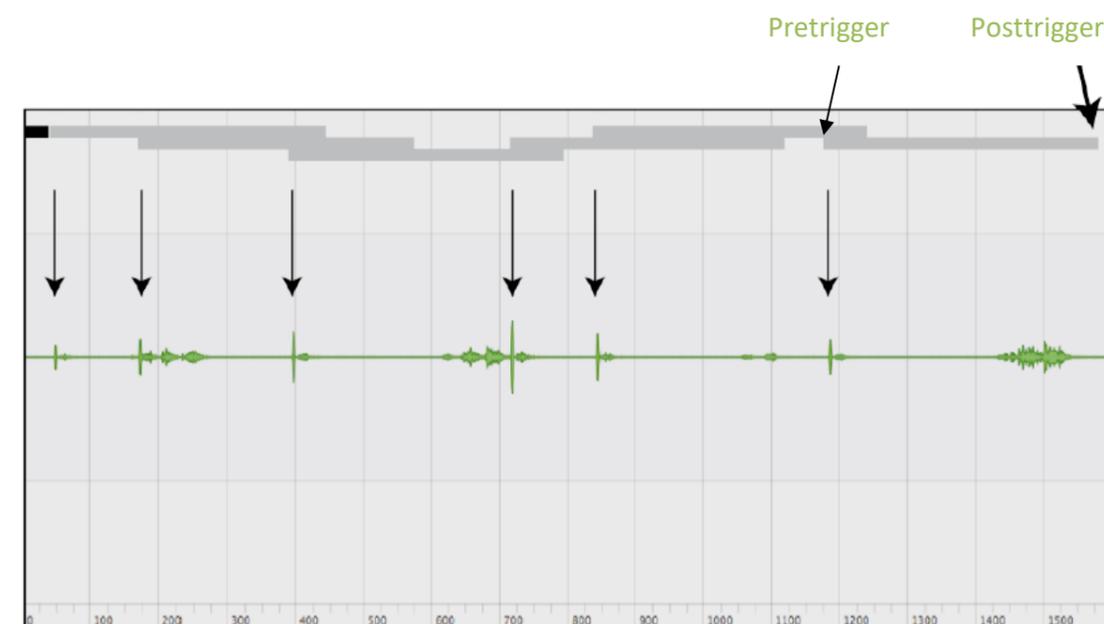
Emplacement du module Batcorder autonome	Date d'intervention	Type d'intervention	Nombre total de séquences enregistrées	Nombre de séquences enregistrées correspondant à des chiroptères
Eolienne E4 Module Batcorder modèle 1.0 n°685	28/07/2022	Installation	2533	2272
	16/11/2022	Désinstallation		

### 3.1.4 Évaluation de l'activité

L'évaluation de l'activité pour un Batcorder se fait par enregistrement des séquences pour chaque contact de chiroptère. Mais comme tout enregistreur automatique, selon la récurrence des signaux, le Batcorder peut être amené à décomposer le passage d'un individu sur plusieurs séquences, notamment

lorsque la récurrence est faible (l'intervalle de temps entre chaque signal émis est important). Il s'agit alors de veiller à ne pas considérer ces différentes séquences comme plusieurs passages distincts, mais bien comme celui d'un individu émettant des signaux espacés dans le temps. C'est notamment important à prendre en compte pour valoriser des notions de rythme (régularité des intervalles entre signaux successifs), ou d'alternance (alternance de la structure des signaux entre Quasi-Fréquence Constante (QFC) / Fréquence modulée aplanie (Fmap))<sup>1</sup>, notions souvent essentielles pour faciliter la distinction de certaines espèces. La configuration du matériel peut donc permettre de limiter ce biais. Il s'agit notamment de faire le choix d'une valeur importante du paramètre « posttrigger », qui se définit comme le temps maximal suivant un signal ultrason à partir duquel l'enregistreur stoppe l'enregistrement si aucun autre nouvel ultrason n'est perçu. Le schéma suivant caractérise ce paramètre, configuré ici pour une valeur de 400ms.

Figure 12 : Schéma caractérisant le paramètre « posttrigger » (ici configuré sur 400 ms)



<sup>1</sup> QFC : Fréquence quasi constante. Structure de sons généralement utilisée par les chiroptères évoluant en milieux ouverts, dont l'intérêt est une portée d'émission importante au détriment de la précision de l'écho.

FMap : Fréquence modulée abrupte. Structure de sons qui exploite une large bande de fréquence, généralement utilisée par les chiroptères évoluant en milieux fermés, cherchant à privilégier la précision de l'information plutôt que la perception d'objets lointains.

FMapl : Fréquence modulée aplanie. Structure de sons intermédiaires entre les deux précédente, pour un compromis entre perception d'objets assez éloignés et précision de détails.

### 3.1.5 Référentiel de niveau d'activité

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

Pour ce référentiel, à hauteur de nacelle, le seuil de 50 secondes d'activité cumulée par nuit représente une valeur moyenne.

Figure 13 : Référentiel EXEN de niveau d'activité pour une nuit mesurée par un Batcorder en éolienne (en secondes d'activité cumulée/ nuit)

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

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

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

De façon générale, il est distingué (Figure 14 page 22) :

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

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

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

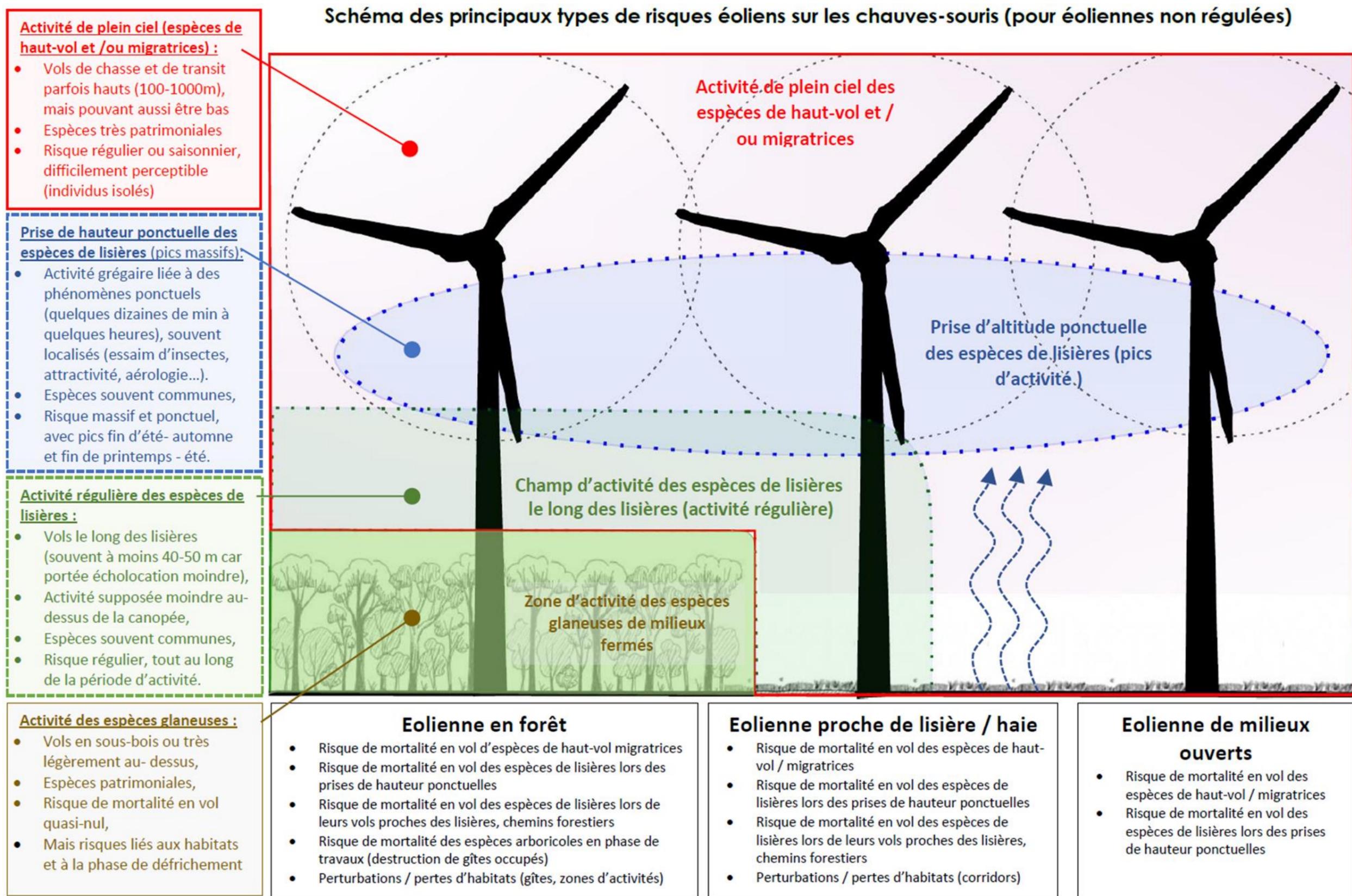
---

de lisière, mais dont les caractéristiques de vol ne les entraînent que très rarement à des hauteurs importantes.

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

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

Figure 14 : Schéma théorique de l'activité des chiroptères selon le type de vol, et problématiques liées aux différents types d'implantation d'éolienne (forêt, lisière ou milieu ouvert)



## 3.2 Limites de la méthodologie

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

### 3.2.1 Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle)

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

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

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 EcoObs pour un test et un recalibrage.

### 3.2.2 Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces

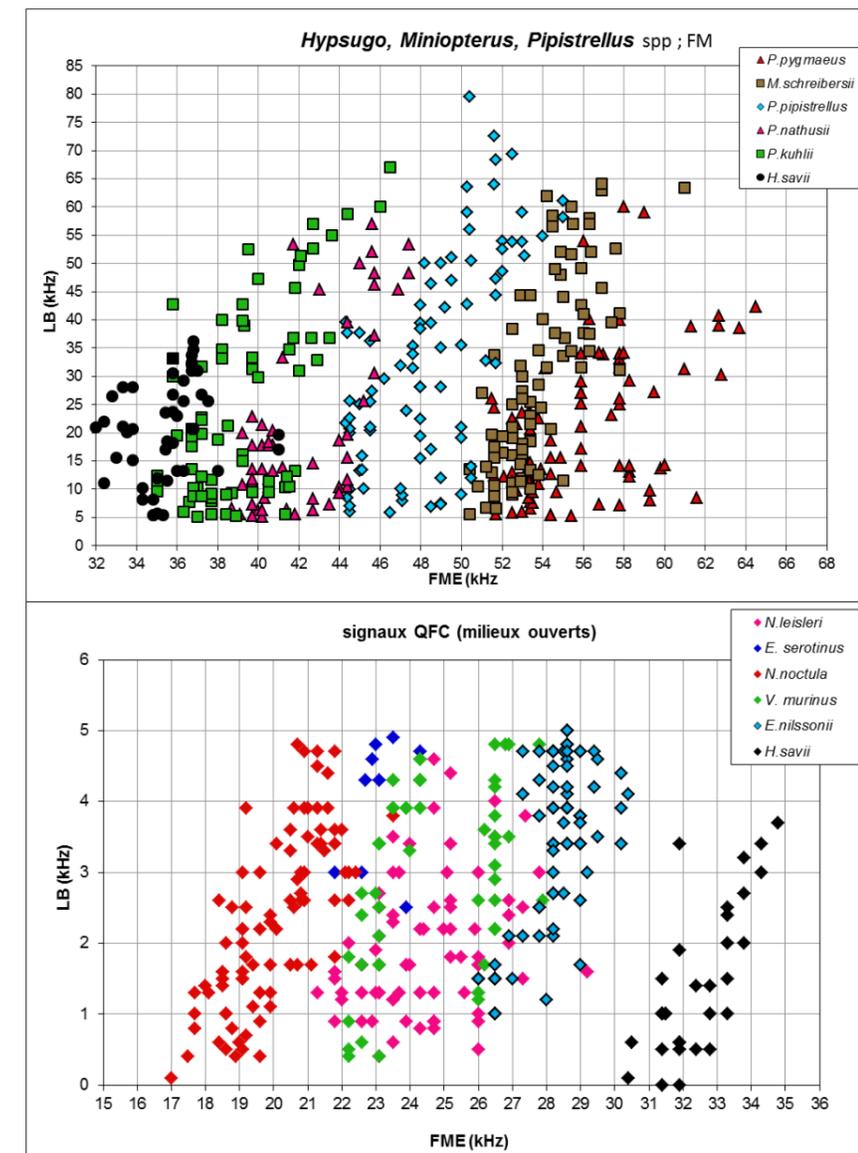
L'identification acoustique des chiroptères est une science encore en évolution et qui bénéficie d'avancées récurrentes ces dernières années. La plupart des espèces peuvent être déterminées précisément.

Toutefois, il faut reconnaître que certaines d'entre elles émettent des ultrasons à des fréquences très proches, et aux caractéristiques acoustiques comparables dans certaines conditions. C'est par exemple le cas des difficultés de différenciation entre *Myotis* 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 concernent des petites espèces à faible hauteur de vol et donc assez peu concernées par les risques de mortalité au niveau des rotors. Aussi, lorsque des données de ce type d'espèces apparaissent dans les bases enregistrées sur le long terme, leur relative rareté permet d'y porter une attention particulière. Certaines séquences, notamment les myotis, ne sont pas toujours déterminées jusqu'au niveau de l'espèce.

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

Figure 15 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplantes >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, le coefficient de détectabilité, présenté au niveau de la figure suivante, est appliqué. Mais ce coefficient ne peut s'appliquer que si l'espèce a été contactée au moins une fois. Ce coefficient permet de corriger une partie de ce biais, mais ne l'élimine pas complètement. Par conséquent, comme évoqué 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 16 : 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 alcaethoe</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 alcaethoe</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
Moyenne	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,67	Moyenne	<i>Myotis bechsteinii</i>	10	2,50
	<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
Forte	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00	Forte	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83		<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,63		<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
Très forte	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,63	Très forte	<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
	<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, 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 météorologiques** 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, par exemple :

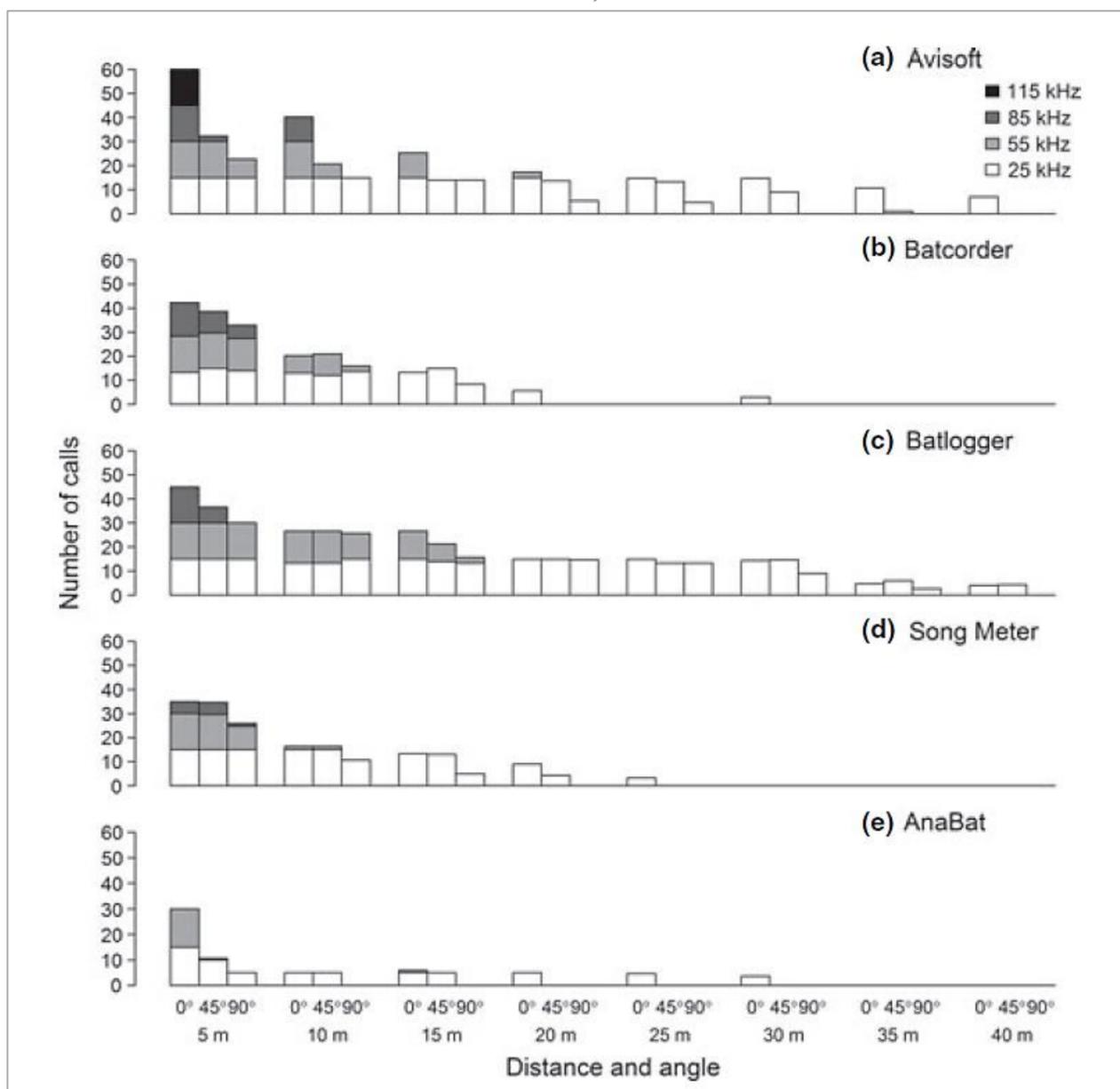
- Les limites liées à la qualité et à la fréquence de recalibrage des micros,
- Leur volume de détection (cône de détection) et à leur caractère directionnel ou multidirectionnel,
- Les paramétrages retenus (filtres des basses ou hautes fréquences, durée d'enregistrement depuis le déclenchement),
- Les 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 entourage. 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 17 : 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 liées 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, il existe 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, ce seuil de réglage-usine est descendu manuellement 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 faut en général considérer ce biais comme potentiellement important. Cependant, dans ce cas précis, ce biais est potentiellement nul, car cette espèce est considérée comme absente dans les départements de l'Indre et du Cher.

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), il est considéré que le Batcorder échouera à la détection d'une petite portion des signaux émis par l'espèce et en particulier ceux liés à des passages de transits très ponctuels d'un individu en milieu ouvert (vol haut), écarté 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 la découverte des premiers gîtes de mise-bas de l'espèce en France en 2012 a été faite 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

Le suivi passif de l'activité ultrasonore des chiroptères est basé sur le fonctionnement d'un enregistreur automatique à ultrasons positionné en nacelle de l'éolienne E4.

La position de l'enregistreur permet de mieux percevoir l'activité des chiroptères qui concerne directement le rotor de l'éolienne équipée. **La plage de suivi s'est étendue sur environ 3,5 mois (28 juillet au 16 novembre 2022).**

Le tableau page suivante synthétise le cortège d'espèces détectées à partir du module Batcorder automatique en continu placé au niveau de la nacelle de l'éolienne E4. **Six espèces de chauves-souris** sont ainsi déterminées avec certitude et trois autres font l'objet de détermination non discriminante.

Pour une meilleure lisibilité, un regroupement des espèces selon leur comportement de vol est réalisé.

Trois groupes peuvent être dissociés, il s'agit :

- **Du groupe des espèces de lisières** qui comprend la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Sérotine commune et la Sérotine de Nilsson (potentiellement présente sur le site). Ce groupe d'espèces correspond aux espèces évoluant à des hauteurs de vols modérées (moins de 50 m) 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'essaimage 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 la Grande noctule, Noctule de Leisler, la Noctule commune et la Sérotine bicolore (potentiellement présente sur le site). Ce groupe d'espèces comprend, donc, des espèces qui utilisent les secteurs plus ouverts et ont en conséquence des hauteurs de vol plus importantes, même lors de vols de chasse.
- **Du groupe des espèces de vol haut en migration/transit**, qui comprend la Pipistrelle de Nathusius. Cette espèce semble avoir un comportement similaire aux autres pipistrelles lors de ses vols réguliers de chasse (espèce de lisière), mais lors de ses transits ou en période migratoire (printemps et automne), elle utilise volontiers le plein ciel.

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 lisière ou de vol haut**, qui comprend le groupe des Nycmi qui peut correspondre soit à la Sérotine commune ou de Nilsson (espèces de lisière) soit à des noctules ou à la Sérotine bicolore (espèces de vol haut).

- **Du groupe des espèces de lisière ou vol haut en migration/transit**, qui comprend le groupe des Pmid correspondant soit à la Pipistrelle de Nathusius (espèce de vol haut en migration/transit) soit à la Pipistrelle de Kuhl (espèce de lisière), soit au groupe de Pipistrelle de Nathusius/Pipistrelle commune.

Les graphiques Figure 19, page 27, témoignent de la proportion de chacun des 5 grands groupes d'espèces dans l'activité totale relevée au niveau du Batcorder, sur l'éolienne E4.

Le groupe des espèces de lisière (la Pipistrelle de Kuhl) est le plus contacté en hauteur, suivi par le groupe de vol haut avec une proportion majeure de Noctule commune.

Il faut rappeler qu'il s'agit, ici, d'une approche des proportions d'activité spécifique par rapport à l'activité totale.

Pour rappel, les résultats des suivis précédents sont les suivants :

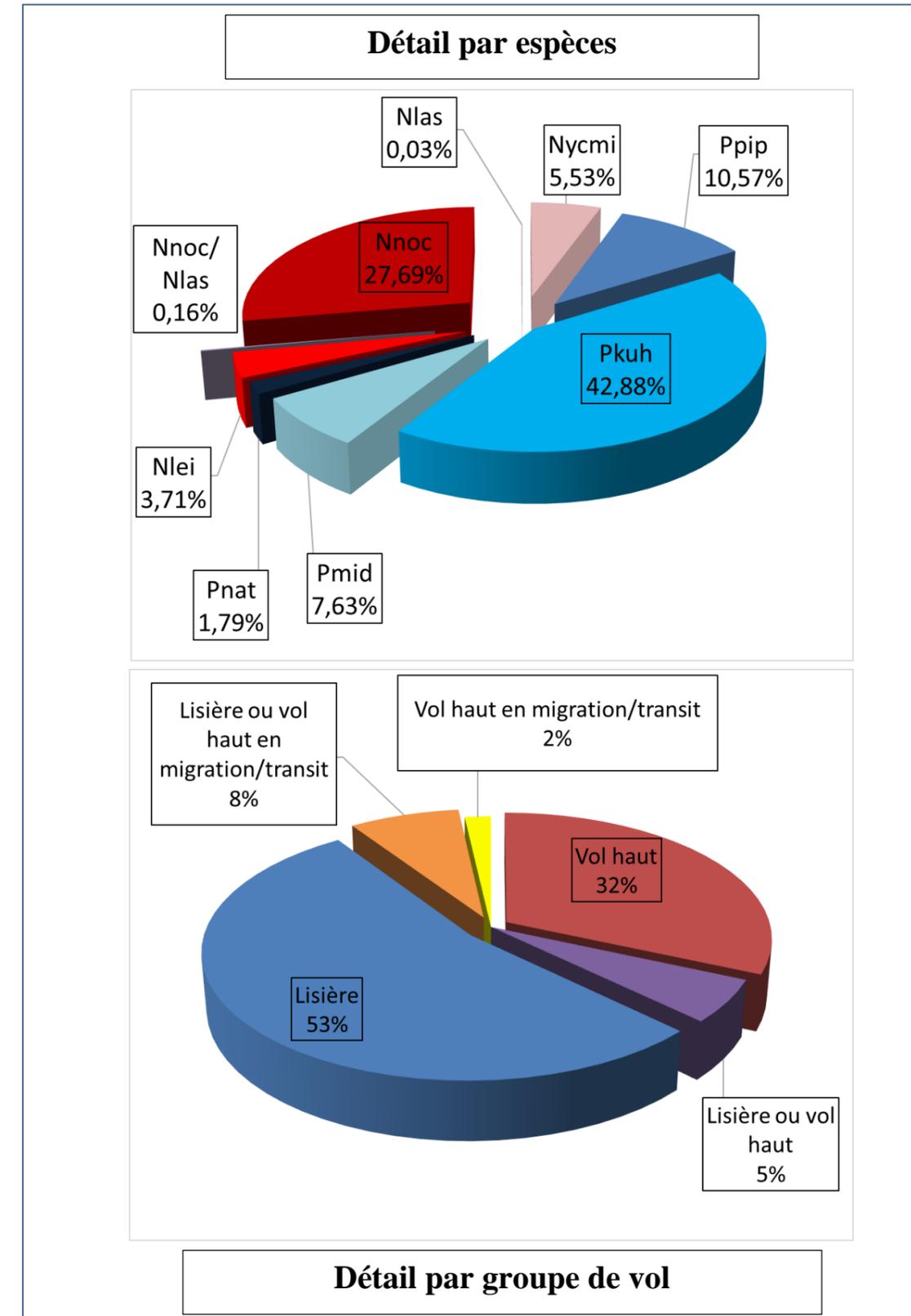
- Lors du suivi acoustique des chauves-souris mené en nacelle de l'éolienne E4, en 2020, cinq espèces ont été contactées : la **Noctule commune**, la **Noctule de Leisler**, la **Pipistrelle commune**, la **Pipistrelle de Kuhl** et la **Sérotine commune**. La Pipistrelle de Nathusius était considérée comme potentielle sur le site.
- Lors du suivi acoustique des chauves-souris mené en nacelle de l'éolienne E4, en 2021, cinq espèces ont été contactées : la **Noctule commune**, la **Noctule de Leisler**, la **Pipistrelle commune**, la **Pipistrelle de Kuhl** et la **Pipistrelle de Nathusius**. La Sérotine commune était considérée comme potentielle sur le site.

Le cortège d'espèce contacté, lors du suivi mené en 2022, est très similaire aux années précédentes. Il faut, tout de même, noter la présence de la Grande noctule, qui n'avait jamais été considéré comme potentielle, sur le site car hors de son aire de répartition classique.

Figure 18 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine)

Espèce	Nom scientifique	Abv	Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv. Berne	Espèces prioritaire du PNA chiroptère (2015-2025)	Espèces PNA à forte pression liées à l'éolien (PNA 2016-2025)	Tendance évolutive (PNA 2016-2025)	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Liste rouge Centre-val de Loire (2013)	Valeur patrimoniale
Grande noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Nlas	P	H4	2	Oui	Oui	?	Vulnérable	Données insuffisantes	Vulnérable		Fort
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Nnoc	P	H4	2	Oui	Oui	?	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé	Modéré à fort
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nlei	P	H4	2	Oui	Oui	-	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré à fort
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ppip	P	H4	2	Oui	Oui	-	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Quasi menacé	Préc. Mineure	Modéré
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pkuh	P	H4	2			+	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Très faible
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pnat	P	H4	2	Oui	Oui	?	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Vmur	P	H4	2			?	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Données insuffisantes		Faible à modéré
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Eser	P	H4	2	Oui	Oui	-	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Quasi menacé	Préc. Mineure	Modéré
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Enil	P	H4	2	Oui	Oui	?	Préc. Mineure	Préc. Mineure	Données insuffisantes		Faible à modéré

Figure 19 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevée au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E4 (En haut détail par espèces, en bas par groupes de vol)



### 3.3.2 Évolution saisonnière

---

La continuité représente la régularité de présence de l'espèce (ou du groupe d'espèces) sur le site tout au long de la période de suivi. Cette perception repose sur l'analyse de données recueillies sur les enregistreurs continus.

Le tableau de la page suivante (Figure 20 page 29) synthétise cette notion sur l'ensemble du suivi en continu en hauteur (en nacelle de l'éolienne E4). Les notions de niveaux d'activité sont aussi représentées au niveau du tableau, mais elles ne sont pas l'objet principal de ce type d'analyse. Ainsi, une espèce pourra par exemple fréquenter le site d'étude très régulièrement (continuité importante), mais présenter une faible activité.

Ce tableau montre que plusieurs espèces sont contactées très régulièrement tout au long de la période d'activité. Il s'agit de la **Pipistrelle de Kuhl**, de la **Noctule commune** et de la **Noctule de Leisler**.

**En ce qui concerne les espèces de lisière**, la **Pipistrelle commune** et la **Pipistrelle de Kuhl** sont présentes tout au long de la période automnale (phase de regroupements sociaux et de transit). Leur présence paraît plus élevée en fin juillet, période de transition entre la fin de phase de mise et d'élevage des jeunes et le début de la phase de transit et de regroupements sociaux.

**En ce qui concerne les espèces de vol haut**, la **Noctule commune** et la **Noctule de Leisler** semblent présentes de manière très régulière sur le site, tout au long de la période de suivi. Cette période est une phase de migration pour ces deux espèces.

La **Grande noctule**, semble très ponctuelle sur le site. Elle n'a été contactée qu'en deuxième quinzaine d'août.

**En ce qui concerne les espèces de vol haut en migration/transit**, la **Pipistrelle de Nathusius** a pu être mise en évidence seulement au mois d'octobre. Les contacts identifiés en Pmid (Pipistrelle de Kuhl ou Pipistrelle de Nathusius) peuvent aussi correspondre à de l'activité de Pipistrelle de Nathusius. Ces derniers ont été enregistrés en octobre également. Cette période de contacts pourrait indiquer une activité migratoire de cette espèce, sur le parc éolien de Saint-Ambroix.

Figure 20 : Tableau de continuité de présence de chaque espèce (ou groupe d'espèces) au cours du suivi en continu en 2022, basée sur les données enregistrées en nacelle de l'éolienne E4 (en seconde d'activité par quinzaine)

(Août-2 : deuxième quinzaine du mois d'août ; les couleurs sont arbitraires mais les couleurs foncées représentent un niveau d'activité plus important)

Espèce ou groupe d'espèce	Période de mise-bas et d'élevage des jeunes			Période de transit/migration et de swarming					
	Juil-2 (28-31 juillet)	Aout-1	Aout-2	Sept-1	Sept-2	Oct-1	Oct-2	Nov-1	Nov-2 (15-16 novembre)
<b>Pipistrelle commune</b> (Ppip)	4,8	0,4	0,2			16,4	0,6		
<b>Pipistrelle de Kuhl</b> (Pkuh)	27,3	0,3	0,6	3,9	0,4	64,4		0,1	
Noctule de Leisler / Noctule commune / Sérotine commune / Sérotine bicolore / Sérotine de Nilsson (Nycmi)		2,4	3,9	1,1	0,1	2,1	0,03	0,03	
Pipistrelle de Kuhl / Pipistrelle de Nathusius (Pmid)						13,7			
<b>Noctule de Leisler</b> (Nlei)	1,3	1,3	1,3	0,1	0,2	3,0	0,2		
Grande noctule / Noctule commune (Nyctief)			0,3						
<b>Noctule commune</b> (Nnoc)	2,2	7,9	34,3	2,9	0,1	1,7	0,03		
<b>Grande noctule</b> (Nlas)			0,1						
<b>Pipistrelle de Nathusius</b> (Pnat)						3,2			
Total général	35,7	12,3	40,7	8,0	0,8	104,5	0,9	0,1	

Groupe d'espèce de lisière	Groupe d'espèce de vol haut	Groupe d'espèce de lisières ou de vol haut	Groupe d'espèce de vol haut en migration/transit	Groupe d'espèces de lisière ou vol haut en migration/transit
----------------------------	-----------------------------	--	--	--

Légende (en sec d'activité/nuit sur 15 jours) :					
0 à 2,5	2,5 à 10	10 à 20	20 à 30	30 à 50	> 50

### 3.3.3 Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle de l'éolienne E4

Les graphiques de la Figure 24 page 32, synthétisent la chronologie de l'activité relevée par le module Batcorder à hauteur de la nacelle de l'éolienne E4, au cours de la période de suivi allant du 28 juillet au 16 novembre 2022. Les résultats sont décomposés par espèce ou groupe d'espèces.

L'analyse synthétique de ce type d'histogramme est délicate dans la mesure où elle peut se faire selon diverses approches complémentaires :

- par une approche large des principales périodes d'activités (par semaine ou mois) ou bien au contraire par une approche plus fine des pics ponctuels d'activité (nocturnes ou horaires) ;
- 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 météorologiques et de la phénologie des espèces pour faire évoluer cette activité. Cela justifie le suivi en continu de l'activité des chauves-souris sur plusieurs mois vis-à-vis de ce cumul de facteurs d'influence. Il est possible d'observer des périodes où l'activité est très faible et la nuit suivante un 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 E4, peut être qualifiée de modérée globalement.

Figure 21 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit, en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience d'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

Parmi les 111 nuits suivies, en 2022, il a été observé :

Niveau d'activité	Nacelle E4
Nul	47 nuits
Très faible	20 nuits
Faible	6 nuits
Faible à modéré	8 nuits
Modéré	23 nuits
Modéré à fort	3 nuits
Fort	2 nuits
Très fort	2 nuits

- **Fin de la période estivale (du début du suivi à mi-août)**

L'activité chiroptérologique relevée en hauteur, à cette période, est très hétérogène et quotidienne. Elle varie de très faible (9 nuits) à forte (1 nuit).

Sur cette période, quatre espèces et un groupe d'espèces ont été contactés. Il s'agit de la **Pipistrelle commune** dont l'activité est située essentiellement pendant fin du mois de juillet et varie d'un niveau très faible à modéré (29 juillet) ; de la **Pipistrelle de Kuhl** dont l'activité est erratique. Elle n'est présente que pendant la nuit du 29 juillet (niveau d'activité fort) et celle du 15 août (niveau d'activité faible à modéré) ; de la **Noctule de Leisler** dont l'activité est éparse sur cette période et variant d'un niveau très faible à modéré (03 août) ; de la Noctule commune dont l'activité est quasi-quotidienne, avec un niveau variant de très faible à modéré selon la nuit ; et pour finir, du groupe d'espèces de vol ou de lisière « Nycmi » (espèce indéterminée) avec une activité éparse et d'un niveau très faible à modéré (12 août) sur les deux éoliennes.

Le tableau, Figure 22 page 30, permet de détailler l'ensemble des informations disponibles (espèces enregistrées, conditions météorologiques, horaire) concernant les nuits où les niveaux d'activité relevés sont les plus hauts.

Figure 22 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de plus forte activité relevée en période printanière, en 2022

Date	Niveau d'activité (seconde d'activité cumulée)	Espèces contactées	Vitesse du vent (en m/s)	Direction du vent	Température	Horaire
29/07/2022	<b>Fort (124,75 s)</b>	<b>Pipistrelle de Kuhl</b> en majorité ; Pipistrelle commune, Noctule commune et Noctule de Leisler	Moyenne de 0,87 (de 0,28 à 4,78)	N ; NE ; SO	Moyenne de 25,77°C (de 23,12 à 26,76°C)	Ponctuellement entre 23h et 00h et entre 02h et 03h. En majorité entre 00h et 01h
01/08/2022	<b>Modéré (48,5 s)</b>	<b>Noctule commune</b> en majorité ; Pipistrelle commune, groupe Nycmi	Moyenne de 4,44 (de 2,73 à 4,84)	N ; S ; E ; SE	Moyenne de 24,01°C (de 22,21 à 26,23°C)	Entre 22h et 23h ; En majorité entre 00h et 01h ; Entre 03h et 05h

- **Période automnale (de mi-mai à mi-août)**

L'activité chiroptérologique relevée en hauteur, à cette période, est toujours très hétérogène. Elle est quotidienne de mi-août et mi-septembre. L'activité relevée est moins régulière sur les mois d'octobre et de novembre. Globalement, l'activité chiroptérologique varie entre un niveau nul (48 nuits) à très fort (le 04 et le 10 octobre).

Le tableau, Figure 23 page 31, permet de détailler l'ensemble des informations disponibles (espèces enregistrées, conditions météorologiques, horaire) concernant les nuits où les niveaux d'activité relevés sont les plus élevés.

**Figure 23 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de plus forte activité relevée en période automnale, en 2022**

Date	Niveau d'activité (seconde d'activité cumulée)	Espèces contactées	Vitesse du vent (en m/s)	Direction du vent	Température	Horaire
17/08/2022	<b>Fort (199,78 s)</b>	<b>Noctule commune</b> en majorité ; Grande noctule, Pipistrelle de Kuhl, Groupe Nycmi	Moyenne de 2,68 (de 1,26 à 4,73)	S ; NO ; O ;SO	Moyenne de 20,14°C (de 17,43 à 22,06°C)	De 22h à 05h
04/10/2022	<b>Très fort (548,98 s)</b>	<b>Pipistrelle de Kuhl</b> en majorité ; Pipistrelle commune, Noctule commune, Groupe Nycmi et Pmid,	Moyenne de 1,81 (de 0,72 à 2,31)	S ; SO ; O	Moyenne de 17,48°C (de 16,98 à 18,25°C)	Entre 20h et 23h
10/10/2022	<b>Très fort (909,57 s)</b>	<b>Pipistrelle de Kuhl et Pipistrelle commune</b> en majorité ; Noctule de Leisler, Noctule commune, Pipistrelle de Nathusius, Groupe Nycmi et Pmid ;	Moyenne de 2 (de 0,99 à 5,12)	N ; NE ; E ;SE	Moyenne de 16,92°C (de 13,67 à 19,07°C)	Entre 23h et 03h

L'espèce la plus contactée, sur cette période, est la **Pipistrelle de Kuhl**, sur l'éolienne E4 (1045 s d'activité).

Elle présente une activité ponctuelle mais qui peut être très élevée, en particulier sur les nuits du mois d'octobre. Elle est majoritaire sur les deux pics d'activité relevés le 04 et le 10 octobre 2022 (respectivement 249 s et 687 s d'activité).

Sur cette période, la **Noctule commune** présente une activité quotidienne de mi-août jusqu'à début septembre. L'activité est d'un niveau assez élevé, régulièrement. C'est la deuxième espèce la plus

contactée, sur cette période, avec 638 s d'activité. Elle est majoritaire lors du pic d'activité du 17 août 2022, avec 169 s d'activité.

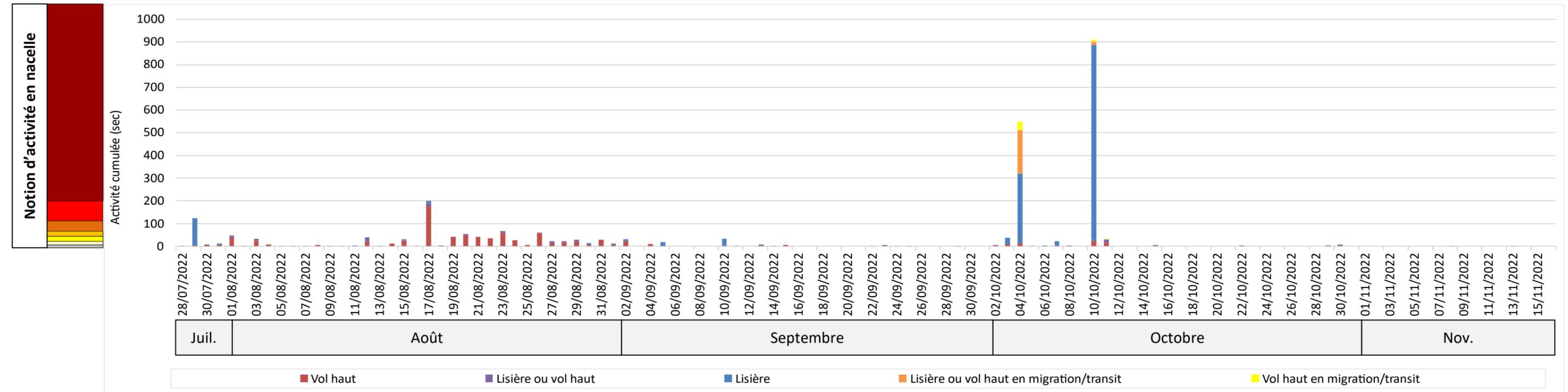
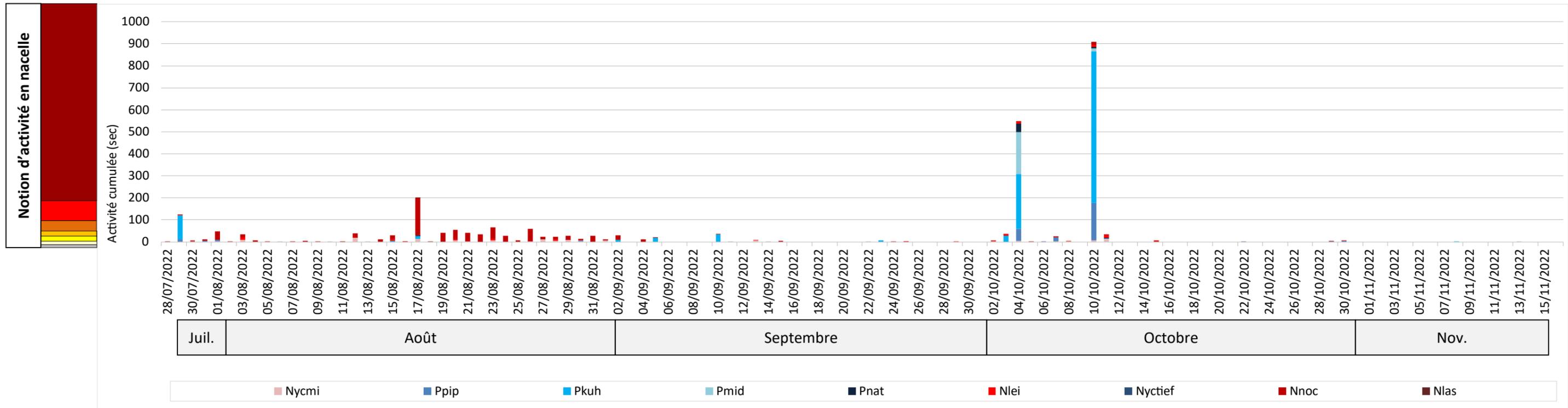
Sur la période automnale, la **Noctule de Leisler** est fréquente sur la deuxième quinzaine du mois d'août (niveau d'activité très faible à faible à modéré) et la première quinzaine du mois d'octobre (niveau d'activité très faible à modéré). Sur le reste de la période, sa présence est ponctuelle, avec un niveau très faible. La **Pipistrelle commune** est, très ponctuelle, sur cette période, mais l'activité peut être élevée. Elle est présente avec une activité d'un niveau modéré à fort lors du pic d'activité du 04 octobre et d'un niveau fort lors du pic d'activité du 10 octobre 2022.

Sur cette période, la présence de la **Pipistrelle de Nathusius** a été détectée ponctuellement. Elle a été enregistrée lors de 3 nuits du mois d'octobre (le 04, 10 et 11 octobre) avec un niveau d'activité variant entre faible à modéré. La **Grande noctule** a, également, été détectée, sur une nuit, très ponctuellement. Elle a présenté une activité de moins de 1 s, le 17 août 2022. Certains contacts (4 s) présentent un recouvrement acoustique avec la Noctule commune.

Les nuits de plus forte activité (ou pics d'activité) relevées, à cette période, sont diversifiées en nombre d'espèces, avec, lors de 2 nuits, la présence d'espèces de lisière en majorité. Cette activité peut être révélatrice d'une manne alimentaire intéressante, en hauteur.

La dernière activité chiroptérologique est relevée, le 13 novembre, en nacelle de l'éolienne E4. Il s'agit d'une activité d'un niveau très faible du groupe d'espèces indéterminées « Nycmi ».

Figure 24 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce ou groupe d'espèces relevés en nacelle d'éolienne E4



### 3.3.4 Influence de la vitesse du vent

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

Les graphiques, ci-contre, témoignent des corrélations entre l'activité cumulée des chauves-souris en ordonnée (en secondes d'activité cumulées) et les notions de vitesse de vent (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 vol haut lorsque la vitesse de vent augmente.

Dans le cas du parc éolien de Saint-Ambroix, le graphique ci-contre révèle que la totalité de l'activité des **espèces de lisières** (1693 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à **5,5 m/s** en nacelle de **l'éolienne E4**. La majorité de l'activité (94% soit 1602 s) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 3 m/s en nacelle de l'éolienne E4.

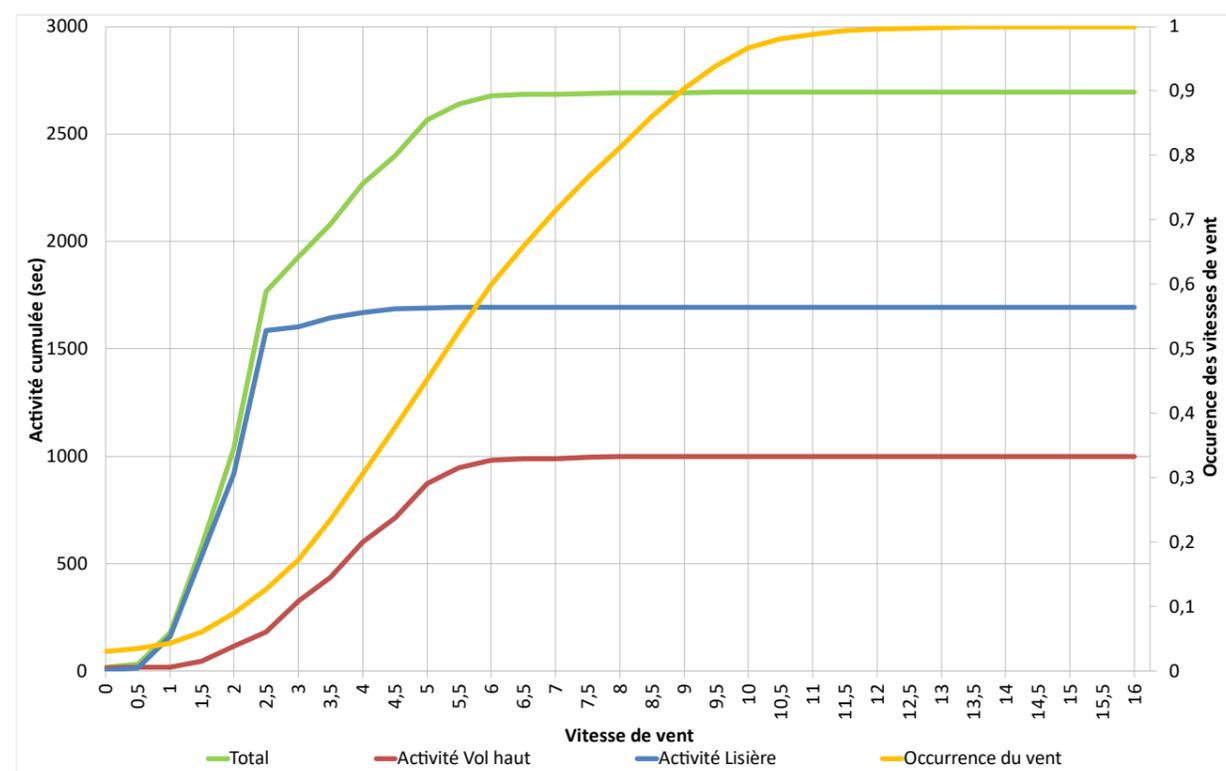
Pour les **espèces de vol haut**, la totalité de l'activité (999 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à **10 m/s** en nacelle de **l'éolienne E4**. La majorité de l'activité (94,5% soit 945 s) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 5,5 m/s en nacelle de l'éolienne E4.

Concernant les pics d'activité, les vitesses de vent relevées, au moment de l'enregistrement de l'activité, varient entre 0,8 m/s et 5 m/s.

Ces résultats sont similaires à ceux des suivis menés lors des deux années précédentes :

- En 2020, le rapport de suivi post-implantation mentionnait que « 97 % de l'activité des espèces de lisières a eu lieu par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. En ce qui concerne les espèces de haut vol, 87 % de l'activité des espèces de haut vol a eu lieu aussi par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. Ainsi par des vitesses de vent supérieures à 4 m/s, il ne reste au total que 53 secondes d'activité cumulée, toutes espèces confondues. » (EXEN, 2021). Les pics d'activité ont eu lieu par des vitesses de vent inférieures à 2,5 m/s.
- En 2021, le rapport de suivi post-implantation mentionnait que « La quasi-totalité de l'activité des espèces de lisières et de vol bas (4052 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 8,5 m/s (7,8 s d'activité n'ont pu être affiliées à des données météorologiques). La majorité de l'activité (95% soit 3849 s environ) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 4 m/s. Pour les espèces de haut vol, la quasi-totalité de l'activité (1387 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 13 m/s (30 s d'activité n'ont pu être affiliées à des données météorologiques). La majorité de l'activité (95% soit 1325 s) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 5,5 m/s. » (EXEN, 2022). Les pics d'activité ont lieu par des vitesses de vent comprises entre 1 et 6,5 m/s.

Figure 25 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E4 (sur la base des données relevées en 2022 en nacelle d'éolienne)



### 3.3.5 Influence de la direction du vent

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

- L'orientation générale des vents sur le site au cours de la période suivie (occurrence),
- L'orientation du vent liée à l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur,
- L'orientation des vents correspondant exclusivement aux principaux pics d'activité relevés,
- L'orientation des vents correspondant à l'activité des chauves-souris en excluant celle liée aux pics d'activité.

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

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

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

D'après les graphiques suivants, l'activité totale est généralement plus importante par vent de nord-est et de sud-ouest, tandis que l'activité régulière (hors pic d'activité) est plus importante par vent d'ouest, d'est et de nord. Les vents dominants relevés sur site proviennent de multiples directions notamment le nord, le nord-est, le sud-est, le sud-ouest et l'ouest (occurrence).

Les deux représentations ne sont donc pas tout à fait similaires, par conséquent l'activité totale relevée en hauteur n'est alors pas entièrement corrélée aux vents dominants relevés sur site.

Par exemple, l'activité chiroptérologique régulière a été moins importante par vent dominant de sud-ouest (très fréquemment relevé sur site). Il semblerait donc que cette direction exerce une influence négative sur l'activité chiroptérologique. Généralement, les vents dominants pour lesquels l'activité relevée est faible se caractérisent par une vitesse de vent moyenne plus importante, réduisant l'activité de chasse/transit des chauves-souris. L'analyse de la vitesse de vent moyenne relevée pour cette direction de vent, illustrée dans le tableau ci-contre, permet de mettre en évidence ce lien entre l'activité chiroptérologique plus faible par vent de sud-ouest et une vitesse de vent moyenne plus élevée du site.

Ce constat était similaire en 2020 et en 2021. Pour rappel, En 2020, l'activité régulière s'est exprimée principalement par des vents de nord et nord-est et celle liée aux pics d'activité s'est exprimée par des vents de sud-est. Tandis qu'en 2021, l'activité régulière s'est exprimée majoritairement par des vents de nord et d'est et celle liée aux pics d'activité s'est exprimée par des directions de vents multiples (nord, nord-ouest, ouest, et sud).

Figure 26 : Graphique présentant l'activité chiroptérologique (en haut à gauche), l'occurrence de chaque direction du vent (en haut à droite), l'activité régulière (en bas à gauche) et l'activité des pics (en bas à droite) relevés en nacelle d'éolienne E4

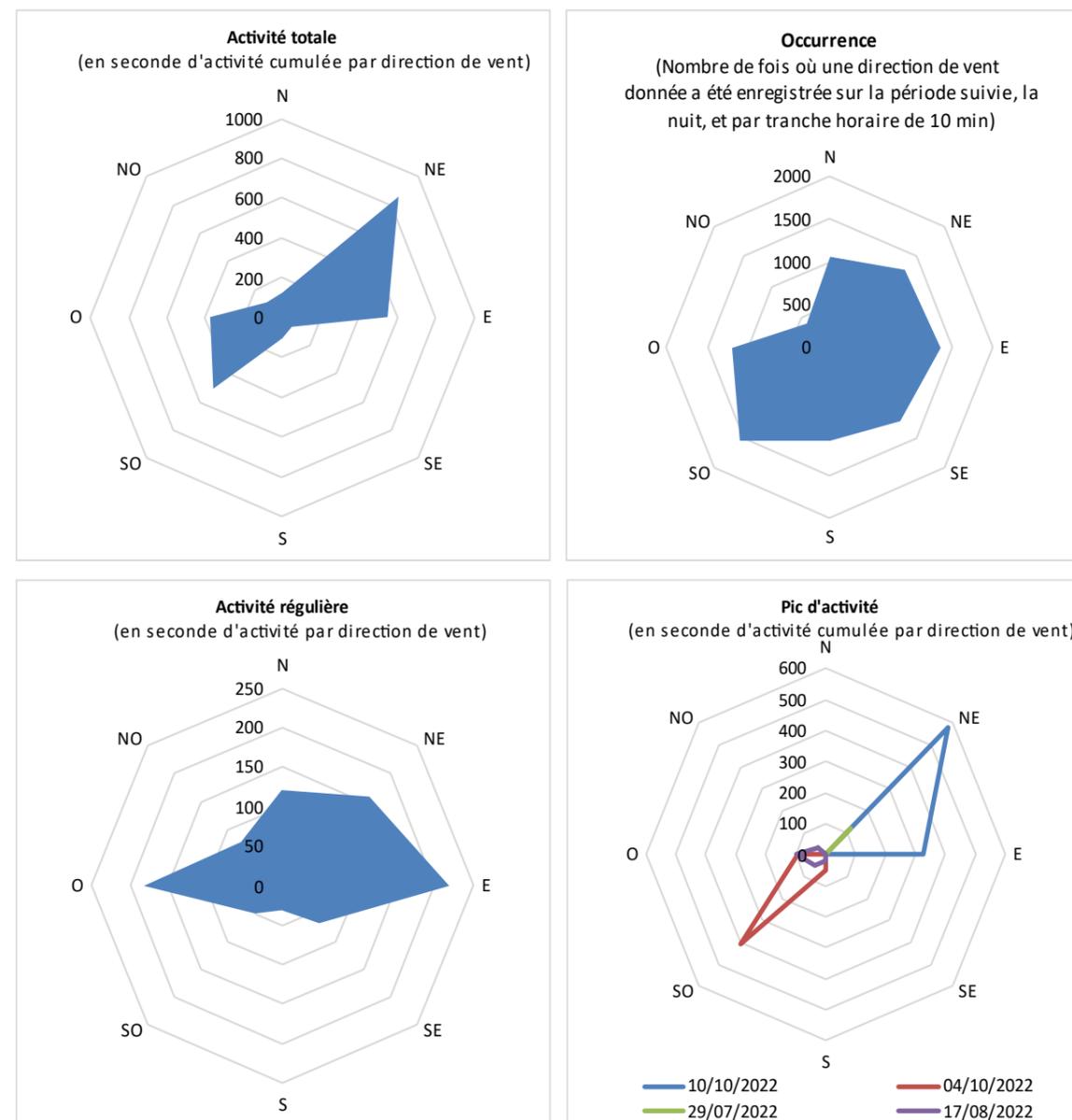


Figure 27 : Vitesse de vent moyenne relevée la nuit (en m/s) sur la période de suivi en fonction des directions du vent

Direction du vent	Vitesse de vent moyenne (en m/s)
SO	6,47
O	5,69
S	5,54
NE	4,89
SE	4,54
E	4,44
NO	4,11
N	3,62

### 3.3.6 Influence de la température

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

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

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

Le graphique, Figure 28 page 35, montre que l'activité chiroptérologique est relevée entre 12°C et 32°C en nacelle de l'éolienne E4, sur la période du 28 juillet au 16 novembre 2022.

En pourcentage d'activité, 97% (soit 2591 s) de l'activité des chauves-souris relevée s'effectuent par des températures supérieures à 25°C, en nacelle de l'éolienne E4, sur la période du 28 juillet au 16 novembre.

Au niveau du site, les températures comprises entre 14°C et 22°C sont celles qui sont les plus relevées. Ces températures sont « classiques » pour la saison et sont favorables à l'activité des chauves-souris.

Les pics d'activité ou nuit de plus forte activité ont été relevés par des températures comprises entre 13°C et 27°C.

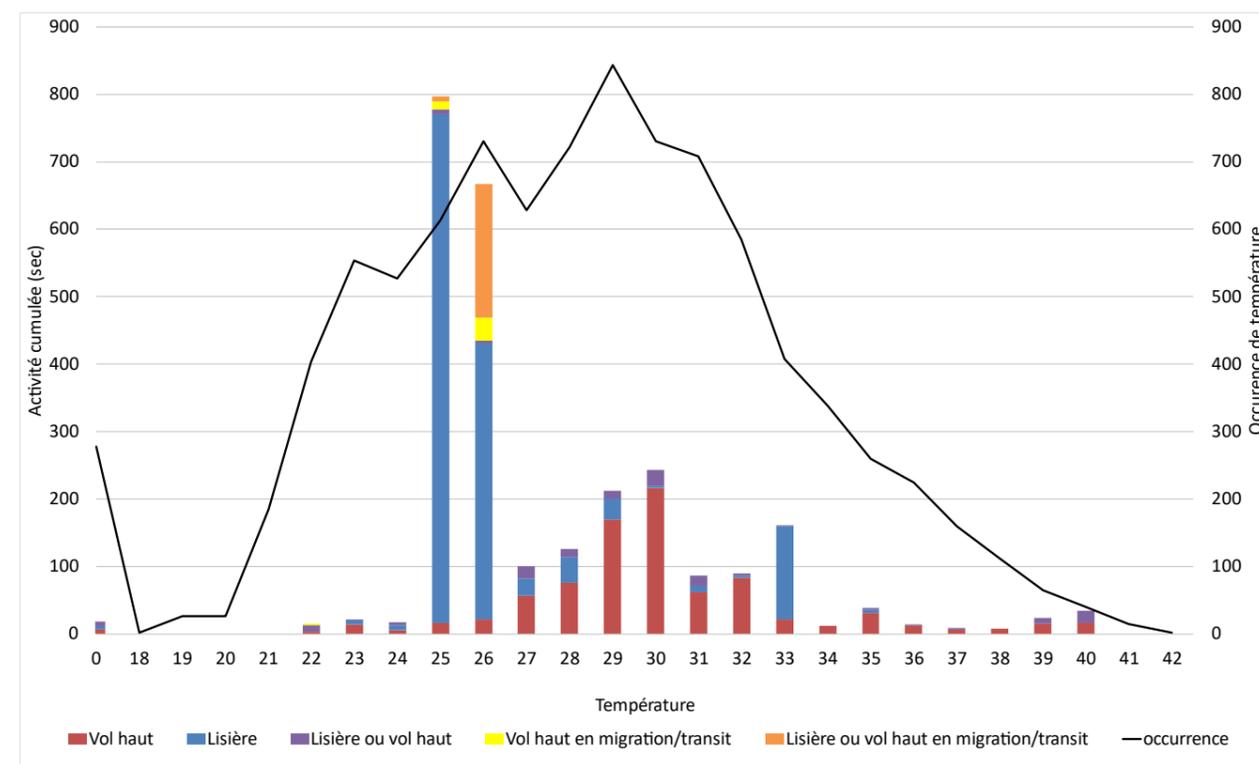
Pour rappel, les résultats des années précédentes de suivi sont les suivants :

- En 2020, le rapport de suivi post-implantation mentionnait que, sur la période du 12 mai au 24 novembre 2020, « 70% de l'activité des chauves-souris s'effectuent pour des températures supérieures à 20°C et plus de 97% pour des températures supérieures à 15°C. » (EXEN, 2021). Les températures nocturnes les plus enregistrées, sur le site, sont comprises entre 13 et

17°C, lors du suivi de 2020. La température nocturne maximale, cette année-là, a été de 35°C (aucune activité de chiroptère n'avait été relevée pour cette température).

- En 2021, le rapport de suivi post-implantation mentionnait que, sur la période du 17 mars au 24 novembre 2021, « 98% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 15°C et plus de 80% pour des températures supérieures à 17°C. » (EXEN, 2022). Les pics d'activité ont lieu par des vitesses de vent comprises entre 1 et 6,5 m/s. Les températures nocturnes les plus enregistrées, sur le site, sont comprises entre 9 et 17°C, lors du suivi de 2021. La température nocturne maximale, cette année-là, a été de 31°C (une activité de chiroptère avait été relevée pour cette température).

Figure 28 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur, au niveau de l'éolienne E4, en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité



### 3.3.7 Rythme d'activité nocturne

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

D'après les graphiques présents aux figures ci-contre, sur l'ensemble de la période de suivi, la plupart des données ultrasonores sont enregistrées tout au long de la nuit. Moins d'1% de l'activité relevée en nacelle de l'éolienne E4 a été enregistrée en tout début ou en toute fin de nuit.

Sur l'ensemble de la période de suivi, 94% de l'activité des chauves-souris a été enregistrée entre 1 h après le coucher du soleil et 1 h avant le lever du soleil, en nacelle de l'éolienne E4.

Une activité de début de nuit (**avant le coucher du soleil** jusqu'à 15 min après le coucher du soleil) a été enregistrée, lors de plusieurs nuits en période automnale (le 02, 05, 11 et 15 octobre). Cette activité appartient à la **Noctule commune** et à la **Noctule de Leisler**. Cela laisse supposer la présence de gîte dans le secteur du parc éolien de Saint-Ambroix, certainement des gîtes de transit ou de migration, au vu de la période.

Concernant les nuits de pics d'activité et les nuits de plus forte activité, l'amplitude horaire est très variable. Globalement, l'activité est concentrée sur les premières heures de la nuit.

Les résultats sont similaires à ceux des suivis menés les années précédentes. Il faut noter que la Noctule commune présentait également une activité de début de nuit, à la même période, lors du suivi 2021. Pour rappel, les résultats des années précédentes de suivi sont les suivants :

- En 2020, le rapport de suivi post-implantation mentionnait que, sur la période du 12 mai au 24 novembre 2020, « 91% de l'activité est relevé entre 45 minutes après le coucher du soleil et 3h avant le lever du soleil et 94% entre 1h après le coucher du soleil et 1h avant le lever du soleil. » (EXEN, 2021). Une activité de début nuit a été relevée ponctuellement : « Des contacts de Pipistrelle de Kuhl ont également été enregistrés entre 15 et 30 minutes après le coucher du soleil au mois de novembre. » (EXEN, 2021).
- En 2021, le rapport de suivi post-implantation mentionnait que, sur la période du 17 mars au 24 novembre 2021, « 98% de l'activité des chiroptères a été enregistrée entre 30-45 min après le coucher du soleil et 45min-1h avant le lever du soleil. 40% a été enregistrée sur des heures de pleines nuits.» (EXEN, 2022). Une activité de début nuit a été relevée ponctuellement : « Elle est due à une seule espèce, la Noctule commune, enregistrée le 15 septembre (2s d'activité à 20h06), le 17 et 18 octobre (respectivement 2 s d'activité enregistrées entre 18h19 et 18h25 et 2,6 s d'activité enregistrée entre 18h09 et 18h35). Cette activité laisse supposer la présence de gîtes dans le secteur, certainement des gîtes de transit, cette période étant une phase de migration. » (EXEN, 2022).

Figure 29 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de la nacelle de l'éolienne E4

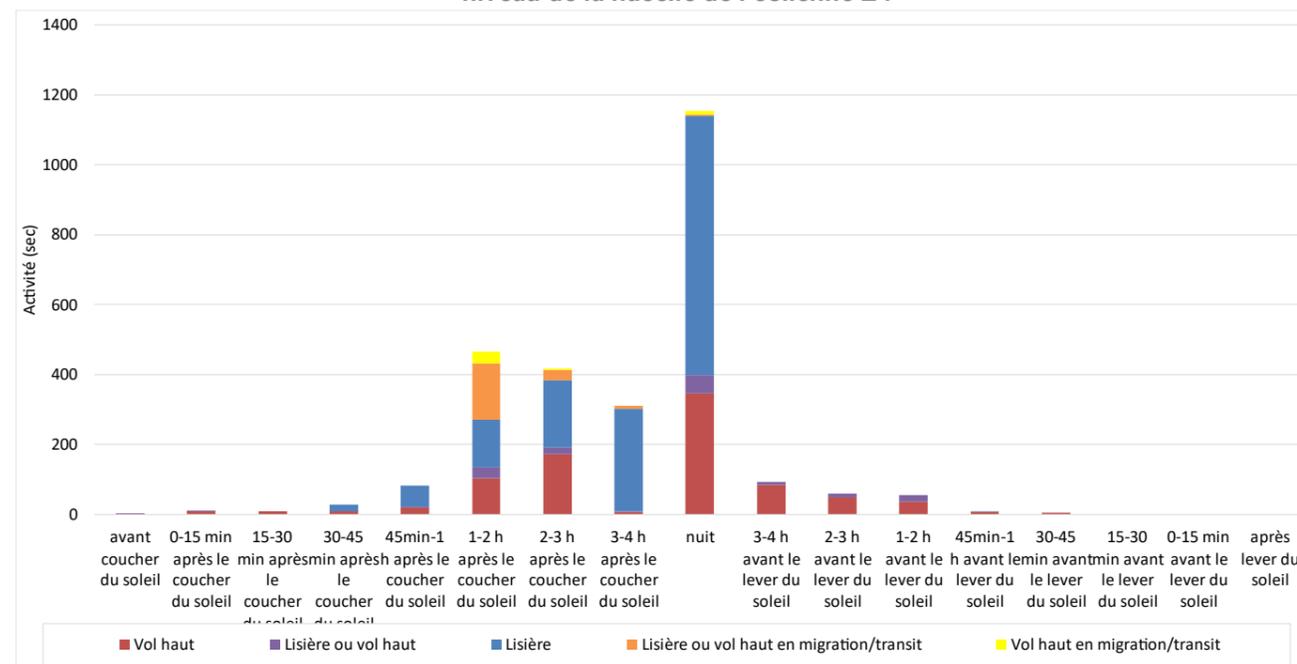
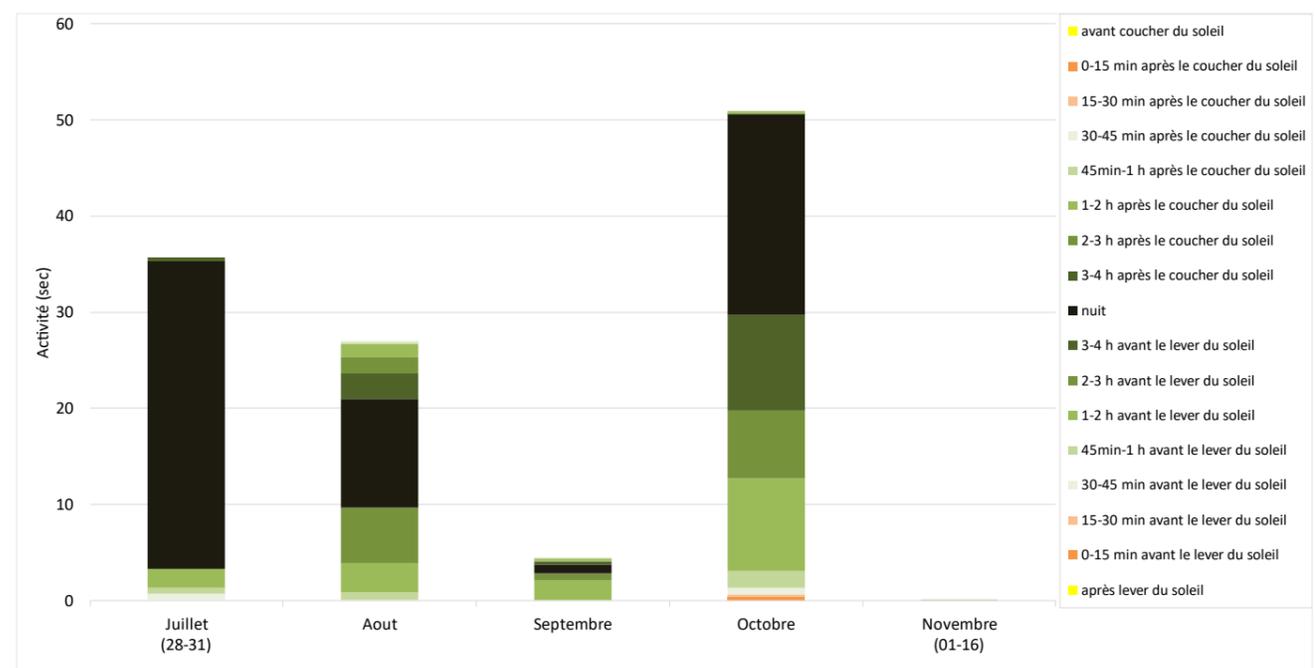


Figure 30 : Décomposition de l'activité moyenne (en seconde d'activité par nuit) des chauves-souris, au niveau de la nacelle de l'éolienne E4, en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil



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

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

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

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

### 4.2 Méthodologie

#### 4.2.1 Choix d'une méthode standardisée

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

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

La méthode standardisée développée par WINKELMAN (1989) est adaptée au suivi de la mortalité des chauves-souris et oiseaux. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis

(ERICKSON et al. 2002, ERICKSON 2003, KERNS et KERLINGER 2004, COSSON et DULAC 2004, ARNETT 2005, BEUCHER et KELM 2010...) et représente notre cadre de travail. À partir de cette base méthodologique, la configuration du site éolien, l'assolement et notre recul vis-à-vis de ce protocole nous permettent de cibler et d'ajuster plus spécifiquement le suivi du parc (choix des périodes de suivi, choix des cadavres test, délimitation des transects de recherche...).

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

#### 4.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites

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

Ce suivi représente ici 24 passages au total (cf. figure suivante) à raison de 2 visites par semaine en août et septembre et d'1 visite par semaine de début octobre à mi-novembre. Cette pression de suivi est fidèle vis-à-vis des standards nationaux précisés dans le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres d'avril 2018, que ce soit sur la période couverte (ici sur une période s'étalant de mi-mai à fin octobre dans le cadre du protocole ministériel) ou sur le nombre de passages (24 passages prévus en 2022 contre 20 à minima dans le cadre du protocole ministériel).

Figure 31 : Calendrier prévisionnel du suivi de la mortalité et pression de suivi en 2022

	janv-22	févr-22	mars-22	avr-22	mai-22	juin-22	juil-22	août-22	sept-22	oct-22	nov-22	déc-22																										
Suivi de la mortalité : nombre de visites ciblées sur le suivi de la mortalité oiseaux et chauves souris								2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1														

#### 4.2.3 Choix des éoliennes suivies

Par expérience, 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, cependant, quelques particularités à prendre en compte selon les éoliennes et les différentes contraintes qui peuvent y être liées (présence de milieux défavorables à la recherche...).

#### 4.2.4 Organisation des parcours de prospection

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

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

Ces carrés de prospections sont présentés en Annexe 1 pour chaque éolienne.

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

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

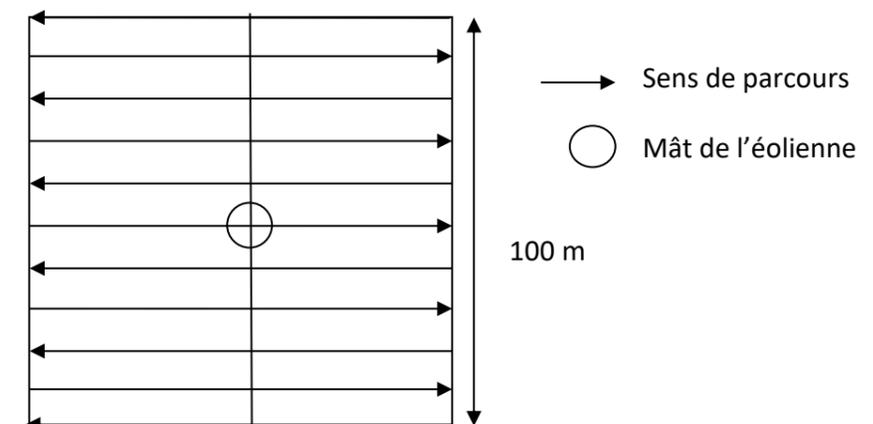
Pour une surface de prospection standard de 1 ha sous chaque éolienne (carrés de 100 m de côtés), il faut compter 30 minutes pour prospecter le carré dans son intégralité. Pour une zone de prospection correspondant à 50 % du carré, la durée de prospection sera proportionnelle, soit d'environ 15 min. 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 32 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique



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

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

Les surfaces prospectées au cours des suivis par rapport aux surfaces totales à prospecter sont aussi pris en compte dans le calcul du coefficient surfacique. La figure suivante propose de visualiser les surfaces prospectées et celles non prospectées.

Figure 33 : Carte des périmètres de prospection sous les éoliennes lors du suivi de 2022 (en fonction du pourcentage de prospection sur toute la période de suivi)



Figure 34 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris

#### 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 météorologiques, la direction du vent, l'activité des éoliennes, l'état de la végétation, les conditions de visibilité. En fin de campagne de suivi, toutes les fiches de terrain sont saisies sur 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 à posteriori et la précision du découvreur. Il est alors généralement prélevé pour procéder aux analyses à posteriori.

Tous les cadavres prélevés sont conservés dans un congélateur. En fin de campagne annuelle, l'ensemble des cadavres est rassemblé. Chacun d'entre eux fait alors l'objet d'une deuxième analyse à l'aide de clés 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 clés de détermination des chauves-souris (Clef de détermination des chauves-souris de Midi Pyrénées (DEJEAN 2007), Clé de détermination illustrée des chauves-souris d'Europe (DIETZ C. & HELVERSEN O. 2004), Cahier technique d'identification des chiroptères (MARMET J. 2015...)).

Pour les oiseaux, la phase de détermination se fait par différents ornithologues, sur la base de diverses clés 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 1. Le tableau de synthèse général des données brutes de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux retrouvés lors du suivi 2022 est présenté en Annexe 2.



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

Comme le protocole d'étude était basé en 2022, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier :

- entre 0 (cas d'un animal tombé la nuit précédant la visite) et 3-4 jours (2 visite par semaine),
- entre 0 (cas d'un animal tombé la nuit précédant la visite) et 7 jours (1 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 fouisseurs tels que le Bouclier sinué (*Thanatophilus sinuatus*) intervenant au stade de putréfaction (digestion extra orale des cadavres) ou du Nécrophore chasseur (*Nicrophorus investigator*) qui creuse des galeries sous les cadavres et les enterre progressivement. L'état d'avancement de l'enfouissement précise aussi un délai de plusieurs heures (ou jours).
- et l'analyse comparative que nous pouvons faire du processus de décomposition des cadavres tests dispersés sur le site et suivis au cours des sessions de test de la campagne de suivi.

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

*Figure 35 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) par un couple de Nécrophore chasseur (*Nicrophorus investigator*), sous un autre parc*



## 4.2.6 Détermination des coefficients correcteurs

### 4.2.6.1 Organisation générale

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

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

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

**Trois sessions de détermination de ces coefficients correcteurs ont été réalisées durant la campagne de suivi (les 8 et 9 août et le 26 septembre 2022).**

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

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

Le suivi a bénéficié de 2 sessions de test de détection. 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 36). Autrement dit, les coefficients correcteurs utilisés pour calculer le taux de mortalité des chiroptères se baseront sur les résultats de test liés aux souris. Pour les oiseaux, ils se baseront sur les résultats de test liés aux petites peluches d'oiseaux (type passereaux) et ceux liés aux plus grands oiseaux (type rapace). Au total et pour chaque test de détection, 10 peluches souris, 7 peluches oiseaux et 3 gros gabarits de peluches oiseaux sont dispersés (soit un total de 10 peluches pour mimer les chauves-souris et 10 peluches pour mimer les oiseaux). Les résultats de ces différents tests seront développés plus bas.

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

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

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

Figure 36 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection (sur un autre site)



Figure 37 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées (sur un autre site)



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

sur carte de terrain la position de chaque peluche en précisant le code affecté à celle-ci (« G1 » pour première peluche de grande taille, « P2 » pour seconde peluche de petite taille ...).

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

#### 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.

Pour un parc de cette taille (9 éoliennes), 3 tests sont effectués au cours de la période de suivi. Ces derniers avaient pour objectif d'évaluer la vitesse de disparition des cadavres, régulièrement, afin d'adapter la fréquence de prospection au sol en conséquence.

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

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

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

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

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 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 3-4 jours après la dispersion (Retour test 2), puis au bout de 7-9 jours après la dispersion (Retour test 3). Les retours-tests suivant sont espacés entre eux de 6-7 jours, en fonction de la fréquence des visites de mortalité au sol (1 visite par semaine). Ces retours-tests sont réalisés jusqu'à l'ensemble des cadavres-test ont disparu. Les retours-tests 1 à 3 sont rapprochés car souvent les poussins disparaissent dans la semaine. Il est donc important de revenir sur site régulièrement pour avoir une idée précise de la vitesse de disparition des cadavres-tests.

#### 4.2.7 Calculs

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

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

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

##### 4.2.7.1 Les formules utilisées

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

- le taux de persistance d'un cadavre (c'est-à-dire la probabilité que l'observateur trouve le cadavre après un laps de temps donné),

- l'efficacité de l'observateur (c'est-à-dire la probabilité qu'un cadavre tombé sur le sol sans être prédaté soit découvert par l'observateur).

- Erickson (2000)

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

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

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,

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

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

a : Coefficient de correction surfacique.

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

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

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

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,

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

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

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

a : Coefficient de correction surfacique.

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

- Jones (2009)

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

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

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

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

D’où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés,

a : Coefficient de correction surfacique,

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

$\hat{I}$  : Intervalle effectif,

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

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

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

- Huso (2010)

Comme Jones, Huso considère une mortalité constante sur l’intervalle et que la probabilité de disparition au point moyen de l’intervalle, n’est pas égale à la probabilité moyenne de persistance d’un cadavre. Le

coefficient proposé est plus élevé :  $p = \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I}$

D’où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts,

a : Coefficient de correction surfacique,

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

$\hat{I}$  : Intervalle effectif,

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

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

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

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

#### 4.2.7.2 EolApp (Besnard et Bernard, 2018)

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

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

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

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

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

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

#### 4.2.7.3 GenEst (Simonis et al, 2018)

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

Tout comme EolApp, cette application permet d'obtenir une médiane et un intervalle de confiance à 90 % pour les estimations de mortalité ainsi obtenues.

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

#### 4.2.8 Evaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix

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

Pour l'impact qualitatif défini par espèce, celui-ci se base sur le croisement entre le risque d'occurrence de la mortalité et le niveau de patrimonialité de l'espèce considérée (cf. Figure 39).

Le risque d'occurrence de la mortalité est défini sur la base du croisement entre la sensibilité de l'espèce à l'éolien (définie elle-même sur la liste de T. DÜRR 2022 et sur les habitudes des espèces) et le nombre de mortalités retrouvées au cours du suivi (cf. Figure 38).

Figure 38 : Grille de calcul pour la définition du risque d'occurrence de la mortalité (Sensibilité\*Nombre de mortalité brutes)

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

Figure 39 : Grille de calcul pour la définition du niveau d'impact théorique (Patrimonialité\*Risque d'occurrence)

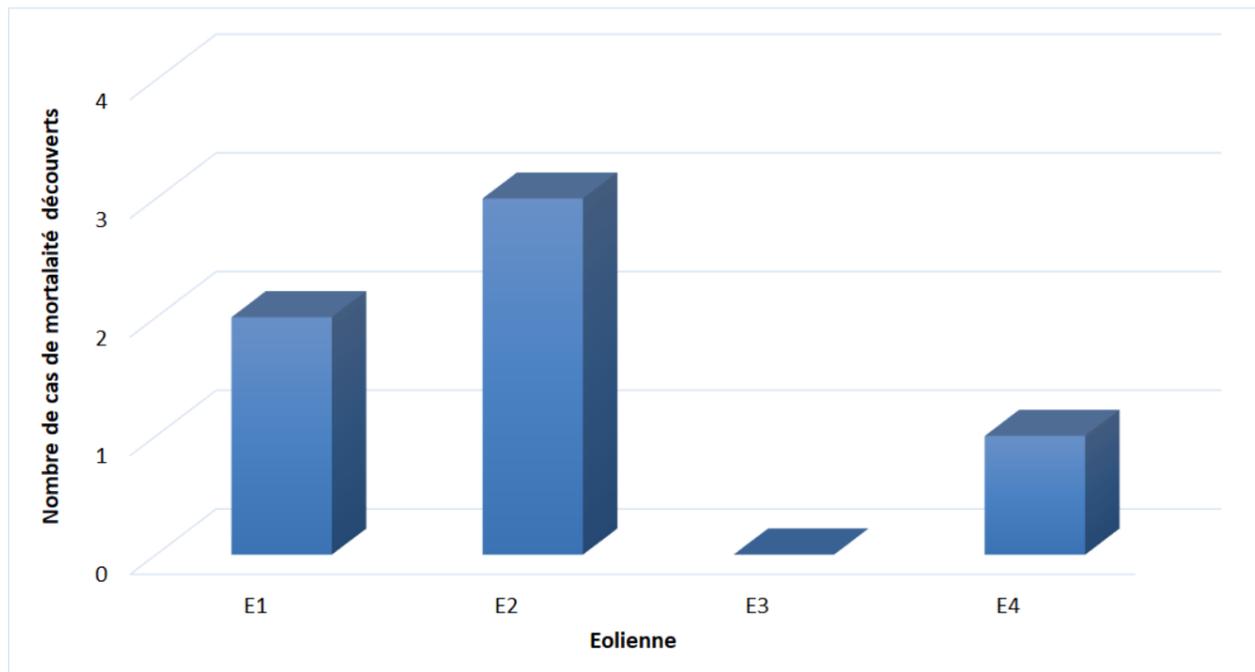
		Patrimonialité								
		Très faible	Faible	Faible à modéré	Modéré	Modéré à fort	Fort	Très fort		
Occurrence du risque de mortalité	Très faible	Très faible	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à modéré	Modéré	Modéré	Modéré à fort
	Faible	Très faible	Faible	Faible	Faible à modéré	Faible à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

## 4.3 Bilan de la mortalité des chauves-souris

### 4.3.1 Bilan des mortalités par éolienne en 2022

Au cours de la campagne de suivi menée entre le 1<sup>er</sup> août et le 9 novembre 2022, **6 cadavres de chauves-souris** furent retrouvés sous les éoliennes.

Figure 40 : Bilan des découvertes issues des relevés au sol dans le cadre du suivi EXEN 2022 et répartition par éolienne



3 des 4 éoliennes du parc ont été à l'origine d'un cas de mortalité en 2022. L'éolienne E2 a été la plus accidentogène, avec 3 cas de mortalité, suivies par l'éolienne E1 (2 cas de mortalité) et l'éolienne E4 (1 cas de mortalité). Aucun chiroptère n'a été retrouvé sous l'éolienne E3.

Pour 24 visites de recherches réalisées au cours de cette période de 3 mois, cela représente une moyenne de 2 chauves-souris découvertes par mois pour l'ensemble du parc éolien (soit 4 éoliennes).

### 4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités des chauves-souris issues des relevés au sol

Le premier graphique de la Figure 41 représente la chronologie des découvertes sur l'ensemble du parc éolien en 2022.

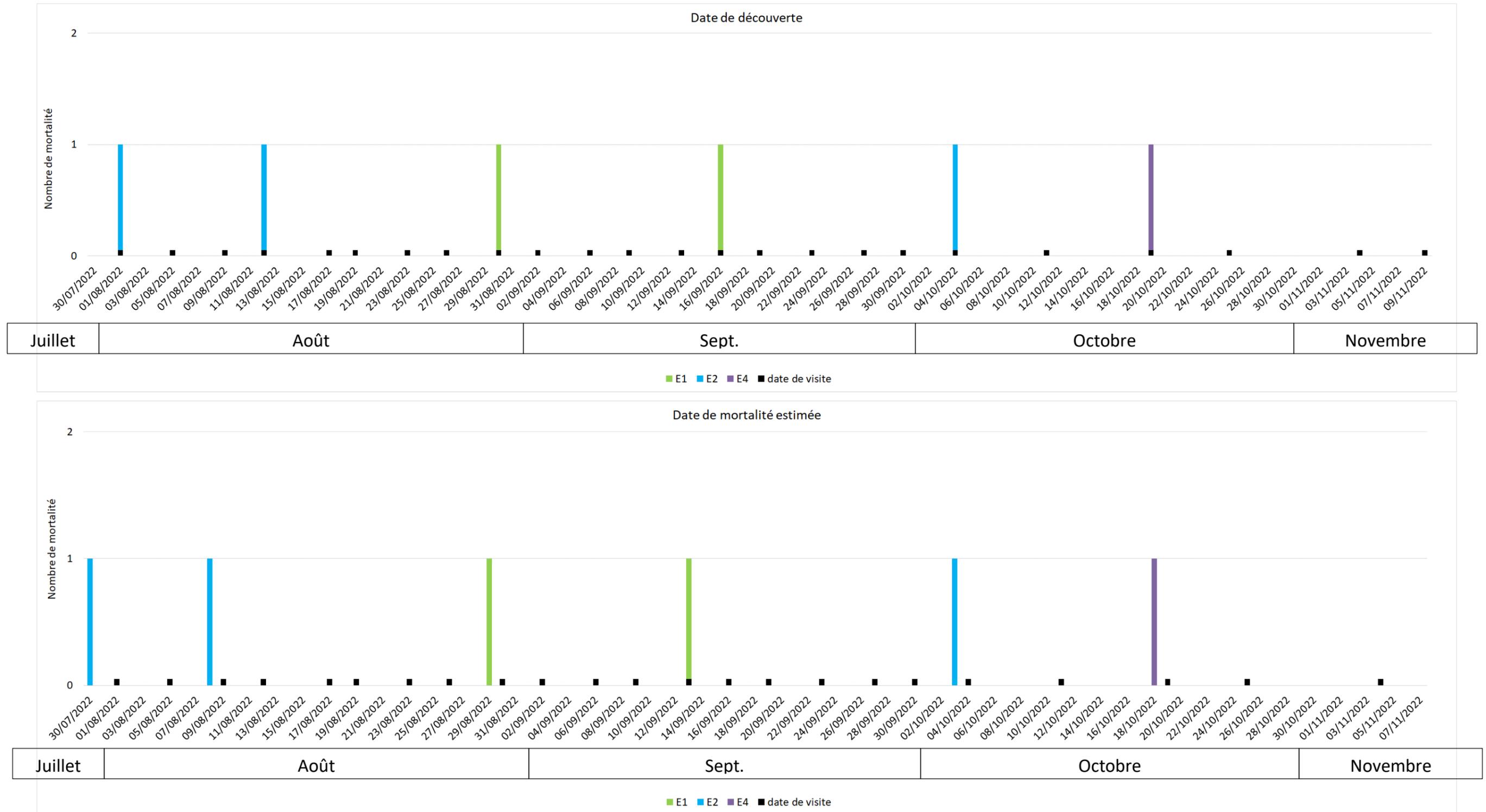
Le délai qui s'écoule entre la mort des chiroptères et la date des découvertes dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur (cf. Recueil des données et destination des cadavres page 41).

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 une estimation approximative de la date de la mort.

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 page suivante synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités (avérées ou supposées). La différence est peu significative sur une si large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations à postériori entre ces découvertes et les conditions météorologiques par exemple.

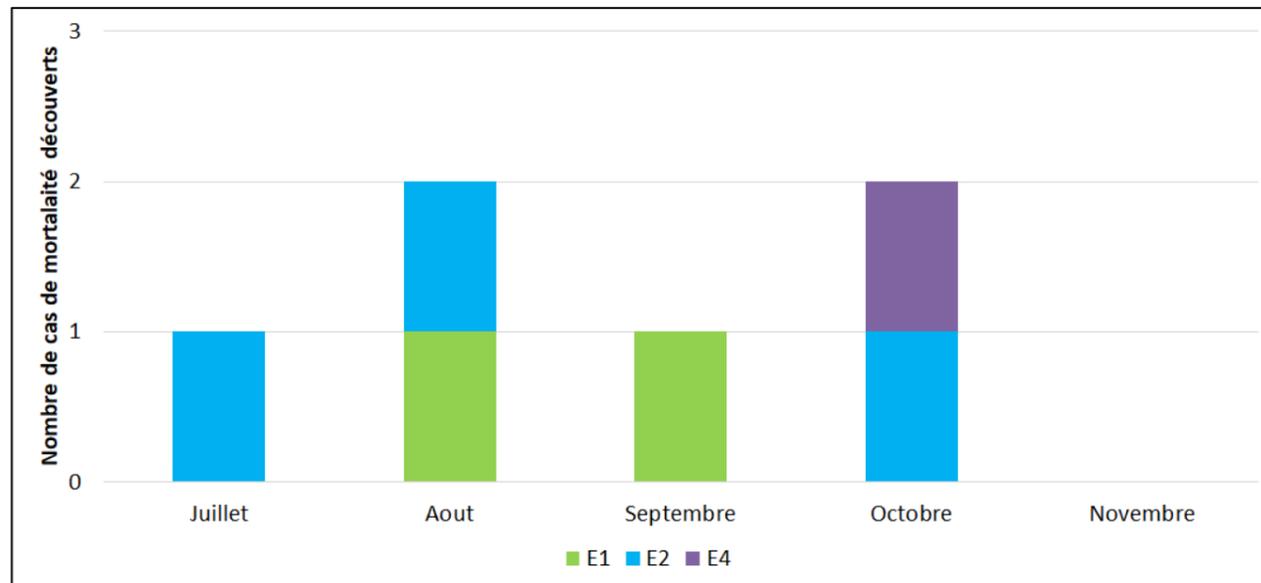
Figure 41 : Chronologie des découvertes des chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne, issues des relevés au sol du suivi mortalité d'EXEN en 2022



Des cas de mortalité sont notés tout au long de la période de suivi, entre juillet et novembre, soit sur la période identifiée comme la plus sensible du cycle biologique des chiroptères et plus particulièrement de différentes espèces de Noctules. Les mortalités sont régulièrement réparties tout au long du suivi. A noter qu'aucun cas de mortalité n'a été relevé après le 20 octobre (fin de la période automnale).

Nous analyserons par la suite à quelle phénologie du cycle biologique des espèces correspondent ces périodes de mortalités.

Figure 42 : Chronologie des mortalités des chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2022



### 4.3.3 Typologie des découvertes dans le cadre du suivi de la mortalité au sol

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. Ce ne fut pas le cas en 2022 pour la totalité des cadavres, qui ont pu être identifiés à l'espèce.

Le **cortège d'espèces potentiellement impactées en 2022 est assez diversifié** puisque parmi les 6 découvertes effectuées dans le cadre des visites mortalité, 4 espèces différentes sont représentées.

Ces découvertes correspondent à des espèces de lisière, de vol haut ou de vols hauts en migration. Ces espèces peuvent être présentes localement tout au long de l'année ou lors de leurs transits migratoires.

Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes.

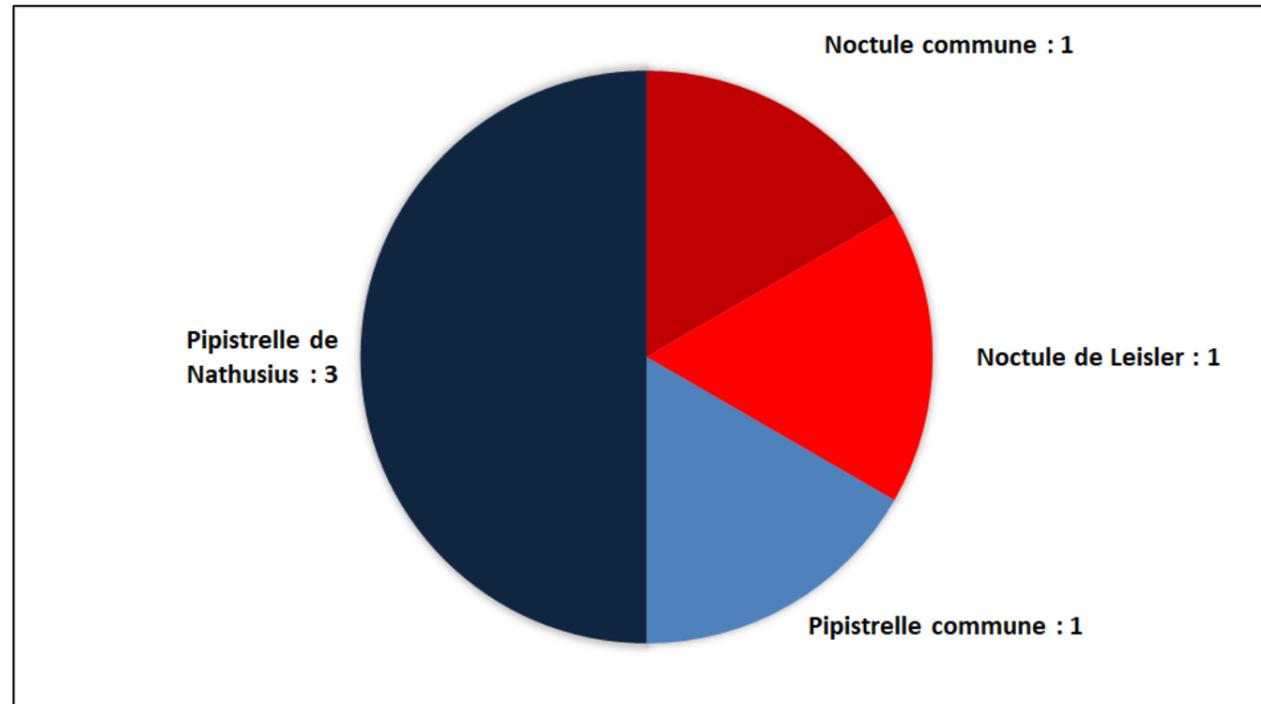
Figure 43 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité

Espèce	Nom scientifique	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-Val de Loire (2013)	
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	P	H4	2	oui	oui	?	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé	Modéré à fort
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré à fort
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure	Modéré
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	P	H4	2	oui	oui	?	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré

La Noctule commune est l'espèce dont les statuts de conservation sont les moins favorables à l'échelle nationale et régionale (patrimonialité modérée à forte). Celui-ci est suivi par la Noctule de Leisler (patrimonialité modérée à forte) la Pipistrelle de Nathusius (patrimonialité modéré) et enfin par la Pipistrelle commune (patrimonialité modérée).

Le graphique suivant synthétise la proportion des effectifs retrouvés par espèce. La Pipistrelle de Nathusius est l'espèce la plus impactée en 2022, avec 3 découvertes. Les autres espèces ont été retrouvées une seule fois dans l'environnement des éoliennes.

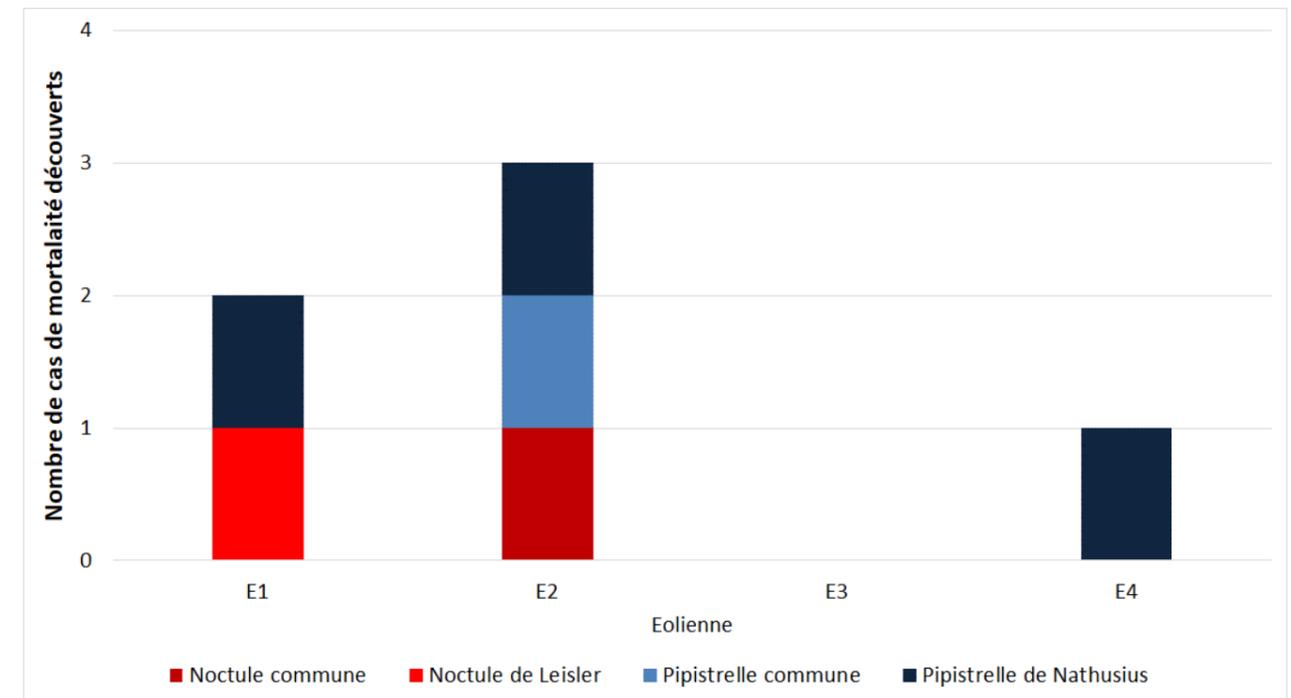
Figure 44 : Répartition des découvertes par espèce de chauves-souris (effectifs constatés dans le cadre du suivi au sol) à l'occasion du suivi 2022



#### 4.3.4 Relation espèce / éolienne

Le graphique suivant précise la répartition des découvertes (cadavres et plumées) par éolienne et en fonction des espèces identifiées.

Figure 45 : Histogramme de la répartition des espèces découvertes dans le cadre du suivi de la mortalité par éolienne en 2022



La Pipistrelle de Nathusius a été impactée sous 3 éoliennes différentes. Pour elle mais également pour les autres espèces ayant été impactées à une seule reprise, il n'est pas possible de définir une tendance et une corrélation espèce/éolienne.

### 4.3.5 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

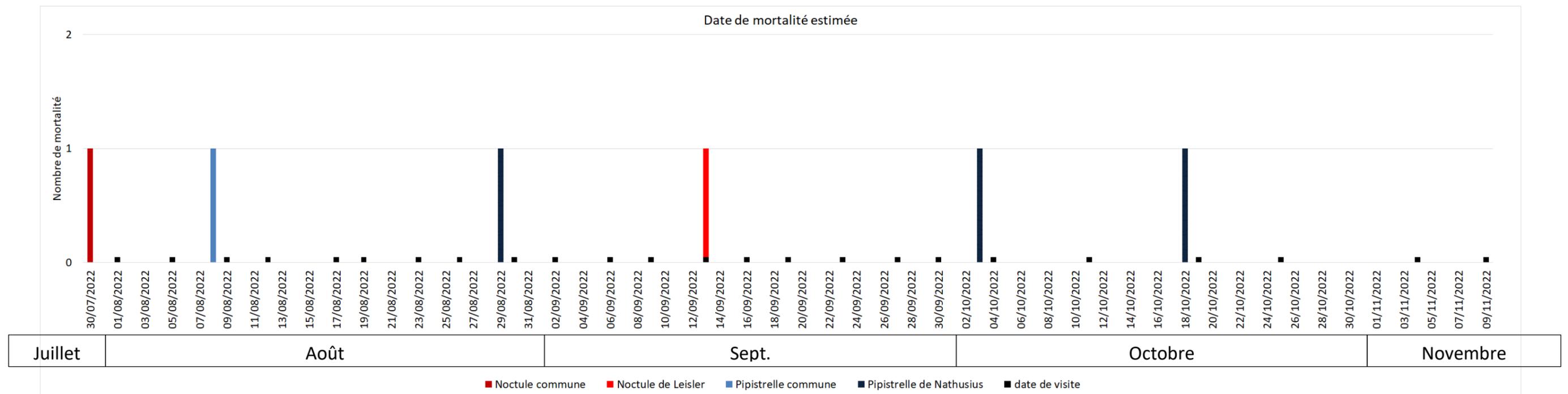
La figure suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2022. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

On s'aperçoit que les mortalités sont retrouvées sur toute la période de suivi, correspondant à la période migratrice.

Les différents cas de mortalité ont été retrouvés de manière régulière au cours du suivi (entre juillet et octobre). Mis à part la Pipistrelle commune, les 3 autres espèces retrouvées sous les éoliennes sont considérées comme des espèces migratrices. A cette période de l'année, il se peut que les individus ont

été impactés lors de leurs déplacements saisonniers, même si on ne peut pas écarter que des mortalités soient intervenues lors de comportements de chasse (manne d'insectes à la belle saison) ou lors de comportements sociaux de type pariade.

Figure 46 : Répartition des découvertes de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) à l'occasion du suivi mortalité au sol de 2022



#### 4.3.6 Interprétation par espèce

##### ➤ Noctule commune

Une Noctule commune (*Nyctalus noctula*) a été retrouvée le 1<sup>er</sup> août au niveau de l'éolienne E2.

À cette période de l'année, la mortalité constatée peut être liée à une activité de chasse en fin de période d'élevage des jeunes ou en période de transit. Les secteurs de chasse de cette espèce ne sont pas forcément très définis, elle est plutôt vagabonde et recherche des essaims d'insectes qu'elle gobe par filtrage. Elle est capable d'évoluer à des hauteurs importantes pouvant atteindre voire dépasser la hauteur de rotor d'une éolienne. Dans notre cas précis, l'individu impacté pouvait soit être en transit, s'exposant alors aux mortalités liées à l'éolien par ses comportements de vol haut, soit être en chasse au niveau du rotor avec une présence potentielle d'essaims d'insectes en hauteur. Les comportements sociaux à cette période de l'année ne sont pas non plus écartés (pariade).

Figure 47 : Clichés de la Noctule commune retrouvée le 1<sup>er</sup> août sous l'éolienne E2



##### ➤ Pipistrelle commune

Une Pipistrelle commune (*Pipistrellus pipistrellus*) a été découverte le 12 août sous l'éolienne E2.

Il est très probable que cet individu ait été impacté lors de comportements de chasse, car la Pipistrelle commune étant une espèce plutôt sédentaire. Cependant, l'individu concerné peut également être un individu en période de swarming (grands regroupements liés à la reproduction avant l'hiver). Enfin, il est aussi possible que l'individu impacté l'ait été lors des déplacements entre le gîte et la zone de chasse, voire lors de déplacements entre différents gîtes.

Figure 48 : Cliché du cadavre de la Pipistrelle commune retrouvé le 12 août 2022 sous l'éolienne E2



##### ➤ Noctule de Leisler

Une Noctule de Leisler (*Nyctalus leisleri*) a été retrouvée le 16 septembre au niveau de l'éolienne E1.

À cette période de l'année, la mortalité relevée peut concerner des individus en phase de transit automnal et en période de reproduction, de la même manière que pour la Noctule commune. L'écologie et le type de vol de ces espèces les exposent à des risques prépondérants de mortalités lors de leurs vols en hauteur, à la fois lors des phases de transit migratoire, mais aussi lors de comportements de chasse pour suivre les essaimages d'insectes.

Figure 49 : Cliché du cadavre de la Noctule de Leisler retrouvée le 16 septembre sous l'éolienne E1



➤ **Pipistrelle de Nathusius**

Trois cadavres de Pipistrelle de Nathusius (*Pipistrellus nathusii*) ont été découverts le 30 août sous l'éolienne E1, le 4 octobre sous l'éolienne E2 ainsi que le 19 octobre sous l'éolienne E4.

L'espèce est connue pour être une grande migratrice. À cette période de l'année, les individus de Pipistrelle de Nathusius se regroupent pour le swarming et pour entamer la migration automnale, ce qui peut induire des vols en hauteur proches du rotor.

*Figure 50 : Cliché du cadavre de la Pipistrelle de Nathusius découverte le 4 octobre sous l'éolienne E2*



#### 4.3.7 Taux de mortalité des chauves-souris

##### 4.3.7.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2022

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

Cette proportion est calculée au prorata de la **surface prospectée (et n'intègre donc pas les zones non prospectables)**. Par exemple, si sur une surface de 1 hectare, nous prospectons 0,5 hectare (0,5 hectare correspond à du boisement et n'est donc pas prospecté) et que sur ce 0,5 hectare, 0,3 hectare correspond à du type 1, 0,1 hectare correspond à du type 2 et 0,1 hectare correspond à du type 3, nous aurons alors prospecté 60% en type 1, 20% en type 2 et 20% en type 3 (soit un total de 100% de 0,5 hectare prospectable).

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

Figure 51 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de chauves-souris retrouvées)

Date des visites	Végétation			Mortalité chauves-souris
	Type 1	Type 2	Type 3	
1-août	15,04	53,83	31,13	1
5-août	15,04	79,42	5,54	
9-août	15,41	77,78	6,81	
12-août	15,04	47,23	37,73	1
17-août	0,00	27,20	72,80	
19-août	20,21	74,47	5,32	
23-août	15,04	62,27	22,69	
26-août	21,84	38,70	39,46	
30-août	20,21	76,24	3,55	1
02-sept	45,60	34,40	20,00	
06-sept	35,63	0,00	64,38	
09-sept	29,38	46,91	23,71	
13-sept	23,55	48,35	28,10	
16-sept	23,55	69,42	7,02	1
19-sept	56,74	36,52	6,74	
23-sept	18,27	75,64	6,09	
27-sept	14,25	85,75	0,00	
30-sept	20,36	70,71	8,93	
04-oct	18,27	69,55	12,18	1
11-oct	15,83	77,78	6,39	
19-oct	16,19	81,25	2,56	1
25-oct	17,48	74,85	7,67	
04-nov	60,51	36,94	2,55	
09-nov	41,01	57,55	1,44	
<b>Moyenne</b>	<b>23,94</b>	<b>58,45</b>	<b>17,62</b>	<b>6,00</b>

#### 4.3.7.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2022, trois tests ont été menés les 8 et 9 août et le 26 septembre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

▪ **Taux de détection**

Figure 52 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	19	6	0,32
Type 1	Moyenne	Moyenne	7	4	0,57
Type 2	Moyenne	Moyenne	6	0	0,00
Type 3	Moyenne	Moyenne	6	2	0,33
Moyen	E1	09/08/2022	9	1	
Type 1	E1	09/08/2022	3	1	
Type 2	E1	09/08/2022	3	0	
Type 3	E1	09/08/2022	3	0	
Moyen	E4	26/09/2022	10	5	
Type 1	E4	26/09/2022	4	3	
Type 2	E4	26/09/2022	3	0	
Type 3	E4	26/09/2022	3	2	

Pourcentage de prospection				
	d	Type 1	Type 2	Type 3
<b>Moyenne</b>	0,20	23,94	58,45	17,62

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

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

Le taux de détection étant logiquement lié à la hauteur de végétation, et de façon plus générale à la difficulté de prospection, nous avons pondéré les calculs en fonction de ces 3 niveaux de difficulté vus précédemment.

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

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

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

$$d = 0,57 * (23,94/100) + 0 * (58,45/100) + 0,33 * (17,62/100) = 0,20$$

**Autrement dit, 20% des peluches dispersées ont été retrouvées.**

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

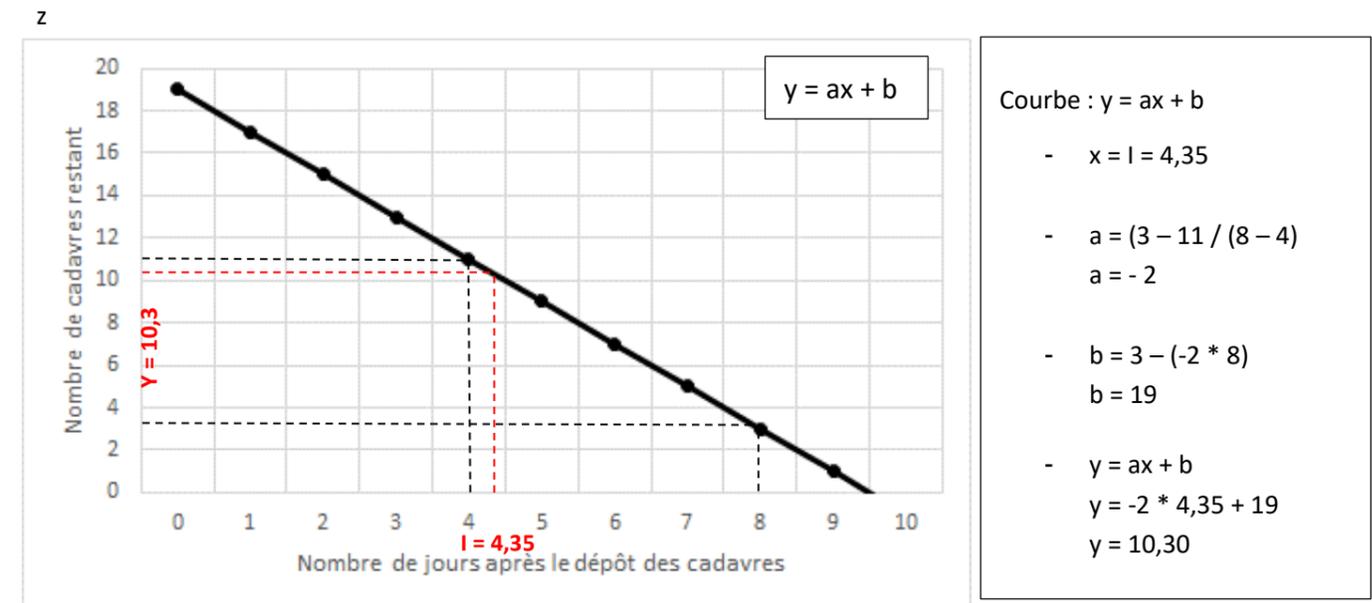
▪ **Taux de persistance**

Figure 53 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Nombre de jours après dépôt						Tm	p_moy en
				1	3	4	8	9	15		
Moyen		Moyenne	26	19	12	11	3	3	0	2,65	0,40
Type 1		Moyenne	10	6	4	4	2	2	0	2,80	0,38
Type 2		Moyenne	9	6	2	2	1	1	0	1,89	0,21
Type 3		Moyenne	7	7	6	5	0	0	0	3,43	0,65
Moyen	Toutes	08/08/2022	11	8	5	4	0	0	0		
Type 1	Toutes	08/08/2022	4	2	1	1	0	0	0		
Type 2	Toutes	08/08/2022	4	3	1	1	0	0	0		
Type 3	Toutes	08/08/2022	3	3	3	2	0	0	0		
Moyen	Toutes	26/09/2022	15	11	7	7	3	3	0		
Type 1	Toutes	26/09/2022	6	4	3	3	2	2	0		
Type 2	Toutes	26/09/2022	5	3	1	1	1	1	0		
Type 3	Toutes	26/09/2022	4	4	3	3	0	0	0		

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 15 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Le schéma suivant montre les étapes de calcul du « nombre de cadavres encore présents après I jours ».

Figure 55 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après I jours »



4.3.7.2.1 Paramètre p (formule d'Erickson adaptée)

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

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2022 (cf. Figure 51 page 54). On obtient un intervalle moyen de l'ordre de I = 4,35.

De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après } I \text{ jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{10,30}{26} = 0,40$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,40**.

Figure 54 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours)

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	1	2
3	7	21
4	9	36
5	2	10
6	1	6
7	1	7
8	1	8
9	0	0
10	1	10
Total	23	100
Intervalle pondéré (tot)		4,35

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

Le paramètre Tm traduit la durée moyenne de persistance d'un cadavre. Tm se calcule sur la durée au bout de laquelle tous les cadavres test ont disparus. Dans notre cas précis, **Tm = 2,65**.

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

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

Autrement dit, la vitesse de disparition des cadavres est d'environ 2-3 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, de sorte de la surface considérée soit proche des 1 ha de prospection réalisée. La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

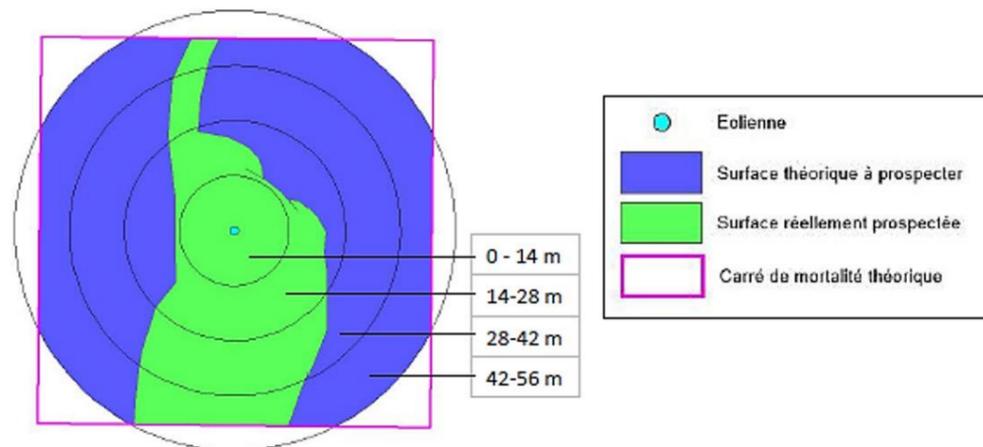
$$A = \frac{\sum_k C_k / S_k}{\sum_k C_k}$$

Avec

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

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

Figure 56 : Schéma des différents cercles concentriques utilisés pour le calcul du coefficient surfacique



Dans le cas du suivi du parc éolien de Saint-Ambroix, dans la mesure où la végétation est globalement assez uniforme mais seulement accessible sur le site par moment en raison des cultures, les zones difficiles à prospecter peuvent être nombreuses. Le coefficient de correction surfacique se situe entre 1 et 2 (1 signifiant pas de correction surfacique).

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2022 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

Figure 57 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a

	Surface à prospecter par éolienne	Nombre d'éolienne suivie	Surface à prospecter totale	Surface réellement prospectée (toute éolienne confondues, en ha)	Pourcentage prospecté	Nombre de cadavre de chauve-souris
42m - 56m	0,4308	4	1,7232	0,94	54,61	2
28m - 42m	0,3077	4	1,2308	0,86	70,03	1
14m - 28m	0,1846	4	0,7384	0,56	76,21	1
0m - 14m	0,0615	4	0,246	0,24	96,86	2
					<b>a (CS)</b>	<b>1,41</b>

### 4.3.7.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL

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

Figure 58 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations

Paramètres	Valeurs	Explications
C	6,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,20	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,40	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,65	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	4,35	Pas de temps du suivi
$\hat{I}$	5,31	$\hat{I} = -\log(0,01) * tm$
$\hat{e}$	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(I/\hat{I}) / I$
a	1,41	Coefficient de correction surfacique

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

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{4,35 \times (6 - 6 \times 0,40)}{2,65 \times 0,20} \times 1,41 = \mathbf{70,68}$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{4,35 \times 6}{2,65 \times 0,20} \times 1,41 = \mathbf{70,96}$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0,5 \times I/tm)}} \times a = \frac{6}{0,20 \times 1 \times e^{(-0,5 \times 4,35/2,65)}} \times 1,41 = \mathbf{98,26}$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I}} \times \hat{e} \times a = \frac{6}{0,20 \times \frac{2,65 \times (1 - e^{-4,35/2,65})}{4,35}} \times 1,84 = \mathbf{88,07}$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 1<sup>er</sup> août au 9 novembre 2022, et pour les 4 éoliennes du parc suivi. Ces résultats sont basés sur l'intégralité du parc éolien et sur 3 mois, soit la totalité de la période d'activité du cycle biologique des chiroptères jugée à risque. Même si ce comportement dépend bien sûr des espèces, on considère que la phase d'activité des chiroptères s'étale en moyenne sur 8 mois / an (4 mois d'hibernation) sur le parc de Saint-Ambroix.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 4 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- On divise par 3 (3 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 4 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an**.

Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 54,66 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 47,12 et 65,51 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 59 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2022

	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
	adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	70,68	70,96	98,26	88,07	81,99
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	17,67	17,74	24,56	22,02	20,50
Mortalité par éolienne et par mois	5,89	5,91	8,19	7,34	6,83
Mortalité par éolienne et pour une année	47,12	47,31	65,51	58,72	54,66
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	188,48	189,23	262,02	234,86	218,65

#### 4.3.7.4 Estimation de la mortalité avec l'application EolApp

Le tableau suivant détaille les paramètres à renseigner dans l'application web.

Figure 60 : Paramètres à renseigner dans l'application EolApp

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	4,35
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	19
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	6
Pourcentage de la surface prospectée	0,66

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

Figure 61 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	47,88	14,23	160,20	22,93	101,75
Huso	59,62	18,37	188,82	29,52	120,75
Jones	66,95	20,19	225,32	32,67	141,28
Moyenne par éolienne	14,54	4,40	47,86	7,09	30,32

En considérant les 3 modèles, il y a 95% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 4,40 et 47,86 cas de mortalité par éolienne (sur la période suivie). De même, il y a 80% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 7,09 et 30,32 cas de mortalité par éolienne (sur la période suivie). La médiane quant à elle est de 14,54 mortalités par éolienne (sur la période suivie).

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- on divise par 3 (3 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 chauves-souris).

On aboutit à un résultat à un intervalle de confiance de **95%** de l'ordre de **11,73 à 127,63 mortalités par éolienne et par an**. A un intervalle de confiance de **80%**, le résultat est de l'ordre de **18,92 à 80,84 mortalités par éolienne et par an**. La médiane quant à elle est de **38,77 mortalités par éolienne et par an**.

#### 4.3.7.5 Estimation de la mortalité avec l'application GenEst

L'application GenEst aboutit sur un résultat médian de **23,8 cas par éolienne et par an**, soit 95,2 cas pour le parc entier par an. A un intervalle à 90%, **la mortalité est estimée à entre 7,01 et 56,56 cas par éolienne et par an**, soit entre 28,04 et 226,24 cas pour le parc entier et par an.

#### 4.3.7.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2022

Avec nos tableurs EXCEL, la mortalité réelle des chauves-souris est estimée à **54,66 cas par éolienne et par an** en 2022, sur le parc de Saint-Ambroix. Avec l'application EolApp, le taux de mortalité est estimé à **38,77 cas par éolienne et par an**. Avec l'application GenEst, celui-ci est estimé à **23,8 cas par éolienne et par an**.

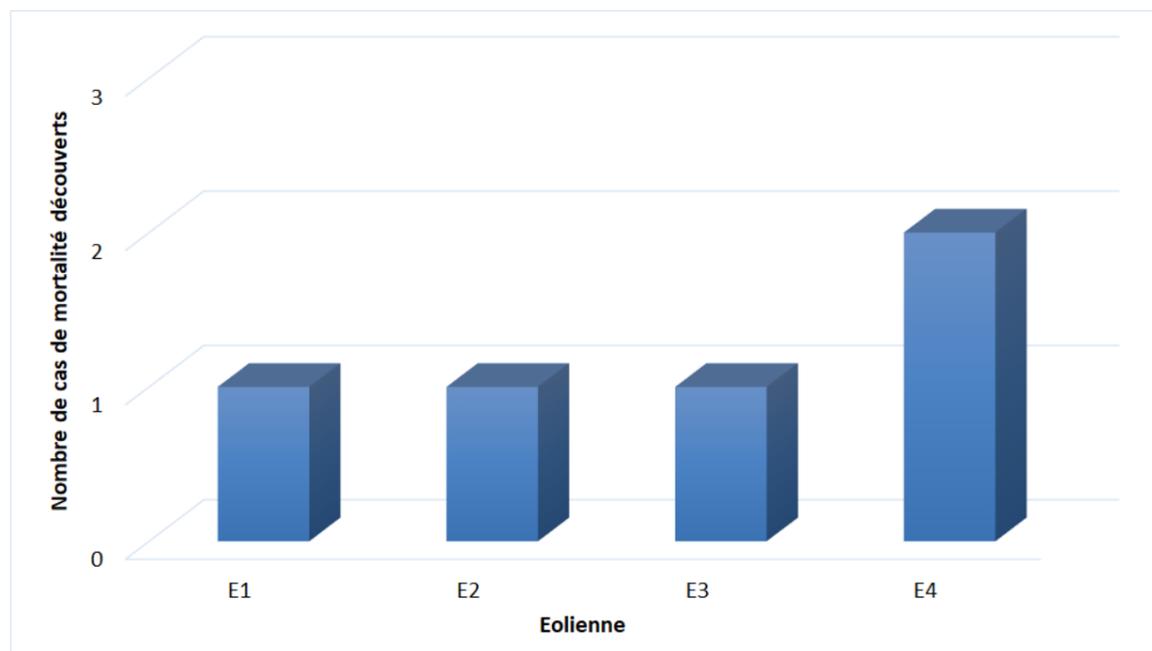
**Nos tableurs EXCEL semblent surestimer les résultats**, même si les ordres de grandeur restent comparables. Nous retiendrons que le **taux de mortalité est estimé entre 23 et 55 cas par éolienne et par an**, soit entre 92 et 220 cas pour le parc entier et par an.

## 4.4 Bilan de la mortalité des oiseaux

### 4.4.1 Bilan des mortalités par éolienne en 2022

Au cours de la campagne de suivi menée entre le 1<sup>er</sup> août et le 9 novembre 2022, **5 cadavres d'oiseaux** furent retrouvés sous les éoliennes.

Figure 62 : Bilan des découvertes issues des relevés au sol dans le cadre du suivi EXEN 2022 et répartition par éolienne



Toutes les éoliennes du parc ont été à l'origine d'un cas de mortalité en 2022. L'éolienne la plus accidentogène a été la plus accidentogène avec 2 cas de mortalité. Les éoliennes E1, E2 et E3 ont impacté un oiseau chacune.

Pour 24 visites de recherches réalisées au cours de cette période de 3 mois, cela représente une moyenne de 1,66 oiseaux découverts par mois pour l'ensemble du parc éolien (soit 4 éoliennes).

### 4.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux issues des relevés au sol

Le premier graphique de la Figure 63 représente la chronologie des découvertes (cadavres et plumés d'oiseaux) sur l'ensemble du parc éolien en 2022.

Le délai qui s'écoule entre la mort des oiseaux et la date des découvertes dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur (cf. Recueil des données et destination des cadavres page 41).

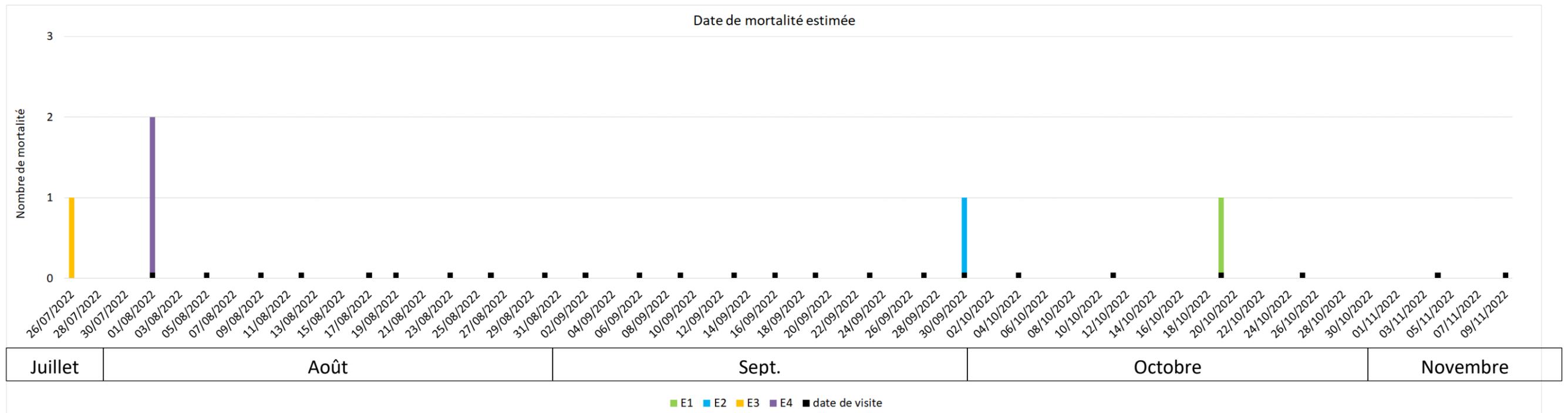
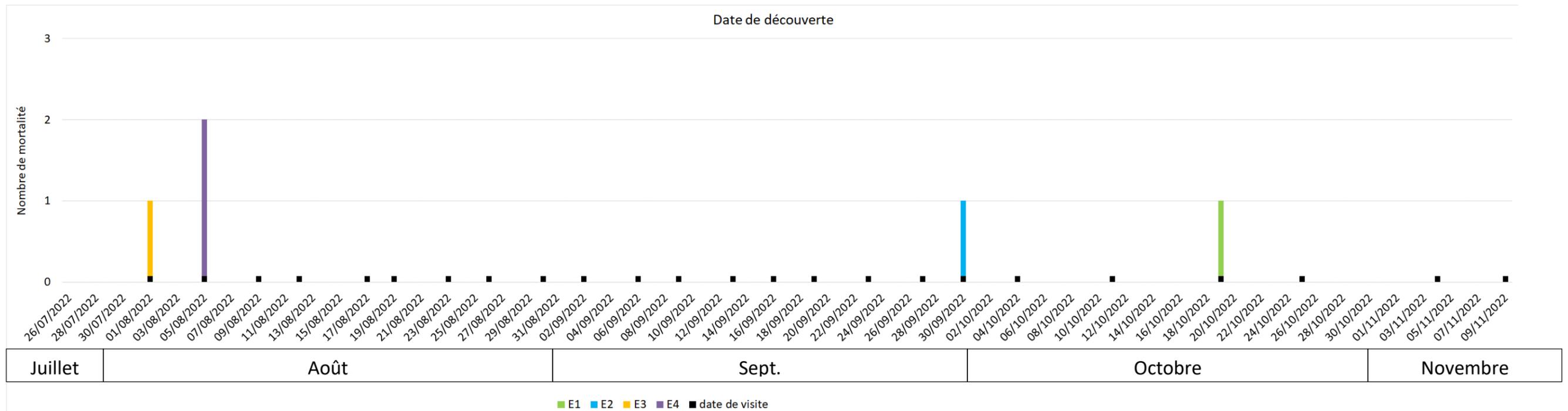
Si on veut tenter d'analyser même grossièrement cette chronologie des mortalités avec différents facteurs d'influence, nous cherchons à estimer la date de la mortalité de chaque cadavre en fonction de son état au moment de la découverte. Quand il est trouvé, chaque cadavre fait en effet l'objet d'une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

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 page suivante synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités (avérées ou supposées). La différence est peu significative sur une si large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations à postériori entre ces découvertes et les conditions météorologiques par exemple.

Il n'est pas non plus à exclure que tout ou une partie des cadavres et plumés découverts peuvent correspondre à des cadavres concernés par des effets plus marqués de l'entomofaune nécrophage.

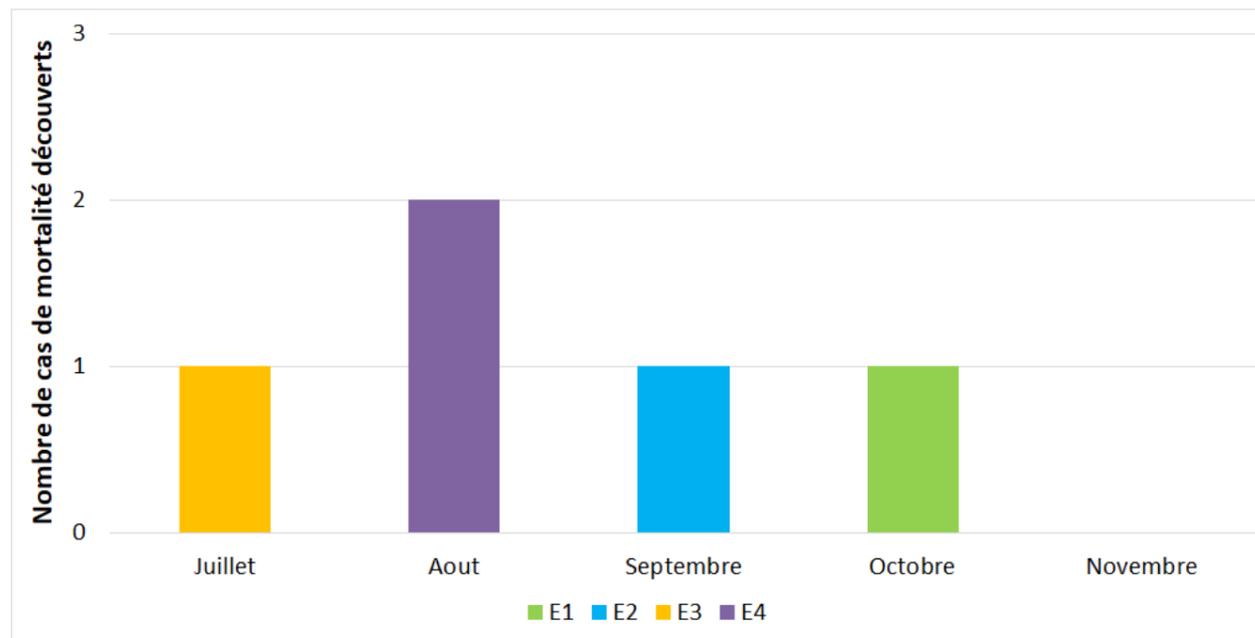
Figure 63 : Chronologie des découvertes d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne, issues des relevés au sol du suivi mortalité d'EXEN en 2022



Des cas de mortalité sont notés en début de suivi la période de suivi, entre fin-juillet et début août, mais aussi à la fin du mois de septembre et mi-octobre. Certains cas de mortalité sont assez rapprochés entre eux (notamment fin juillet/début août). A noter qu'aucun cas de mortalité n'a été relevé en novembre (période hivernale).

Nous analyserons par la suite à quelle phénologie du cycle biologique des espèces correspondent ces périodes de mortalités.

Figure 64 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2022



#### 4.4.3 Typologie des découvertes (cadavres et plumées d'oiseaux) dans le cadre du suivi de la mortalité au sol

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres ou plumées au moment de leur découverte. Ce ne fut pas le cas en 2022 pour la totalité des cadavres et plumées, qui ont pu être identifiés à l'espèce.

Le **cortège d'espèces potentiellement impactées en 2022 est assez diversifié** puisque parmi les 5 découvertes effectuées dans le cadre des visites mortalité, 4 espèces différentes sont représentées.

Ces découvertes correspondent à des passereaux et une espèce de rapaces. Ces espèces peuvent être présentes localement tout au long de l'année ou lors de leurs migrations.

Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes.

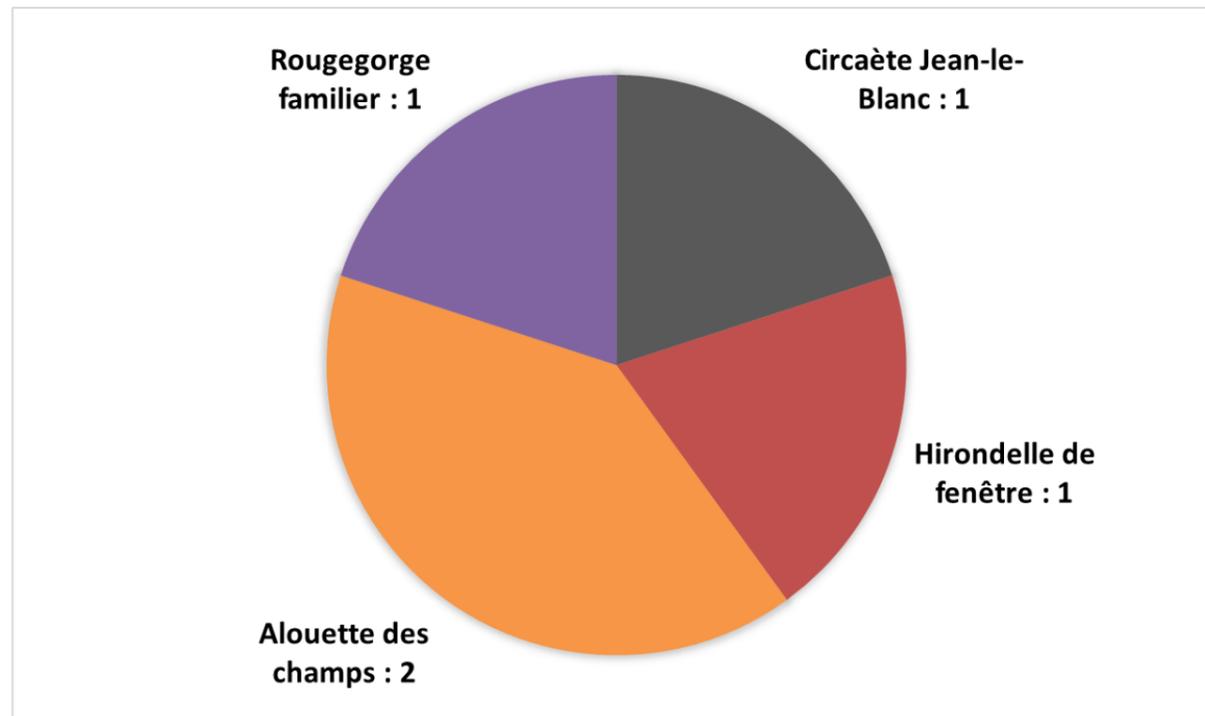
Figure 65 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité

Espèce	Nom scientifique	Type	Statut de protection			Liste rouge nationale (Nov 2017)	Liste Rouge Régionale Centre (oiseaux nicheurs 2013)	Niveau de patrimonialité
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne			
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	GC	O.2.2	3	Quasi menacée	Quasi menacée	Faible à modéré
Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	Grand rapace	P	O.1	2	Préoc. mineure	Vulnérable	Modéré à fort
Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	Passereau	P	-	2	Quasi menacée	Préoc. mineure	Faible à modéré
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Passereau	P	-	2	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Faible

3 de ces espèces sont protégées, 1 est classée en chassable. Le Circaète Jean-le-Blanc est l'espèce dont les statuts de conservation sont les moins favorables (patrimonialité modérée à forte). Celui-ci est suivi par l'Alouette des champs et l'Hirondelle de fenêtre (patrimonialité faible à modérée). Le Rougegorge familier a une patrimonialité faible.

Le graphique suivant synthétise la proportion des effectifs retrouvés par espèce. L'Alouette des champs est l'espèce la plus impactée en 2022, avec 2 découvertes. Les autres espèces ont été retrouvées une seule fois dans l'environnement des éoliennes.

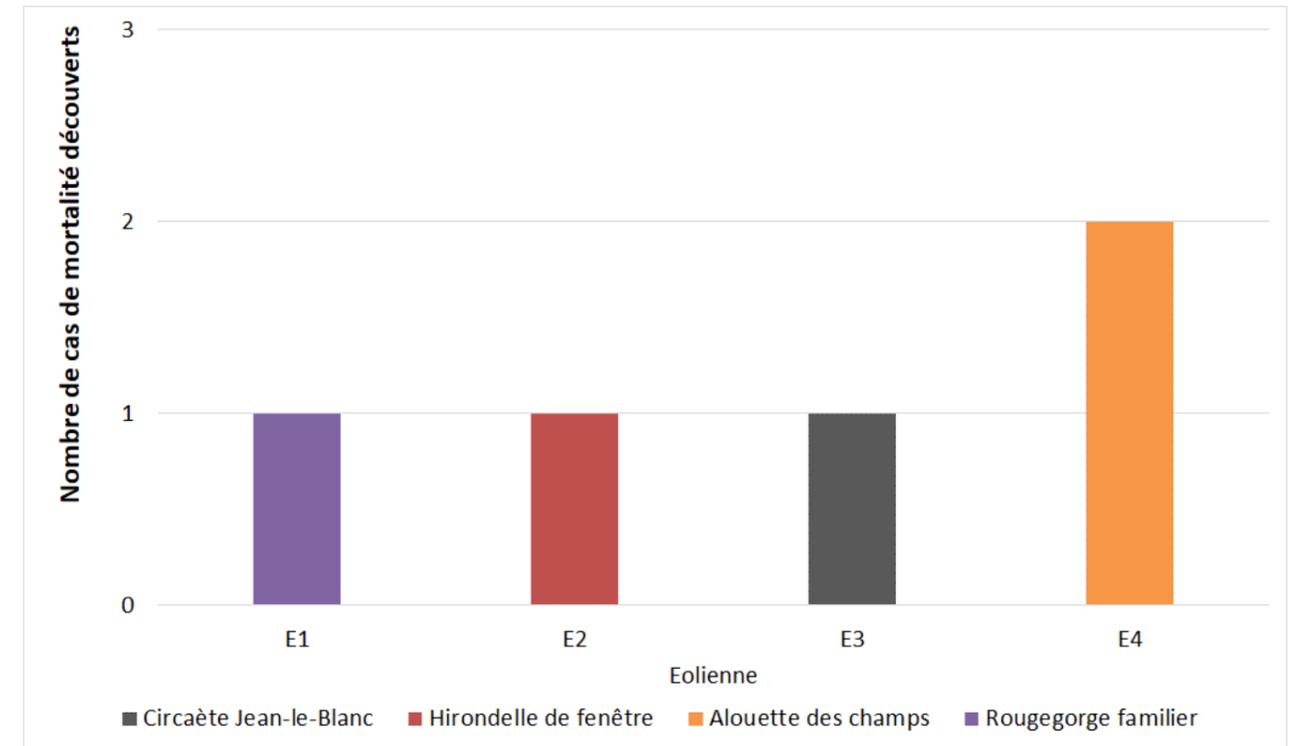
Figure 66 : Répartition des découvertes par espèce d'oiseaux (effectifs constatés dans le cadre du suivi au sol – cadavres et plumées) à l'occasion du suivi 2022



#### 4.4.4 Relation espèce / éolienne

Le graphique suivant précise la répartition des découvertes (cadavres et plumées) par éolienne et en fonction des espèces identifiées.

Figure 67 : Histogramme de la répartition des espèces découvertes (cadavres et plumées) dans le cadre du suivi de la mortalité par éolienne en 2022



L'éolienne E4 a impacté à deux reprises une Alouette des champs. Les autres espèces ayant été impactées à une seule reprise, il n'est pas possible de définir une tendance et une corrélation espèce/éolienne.

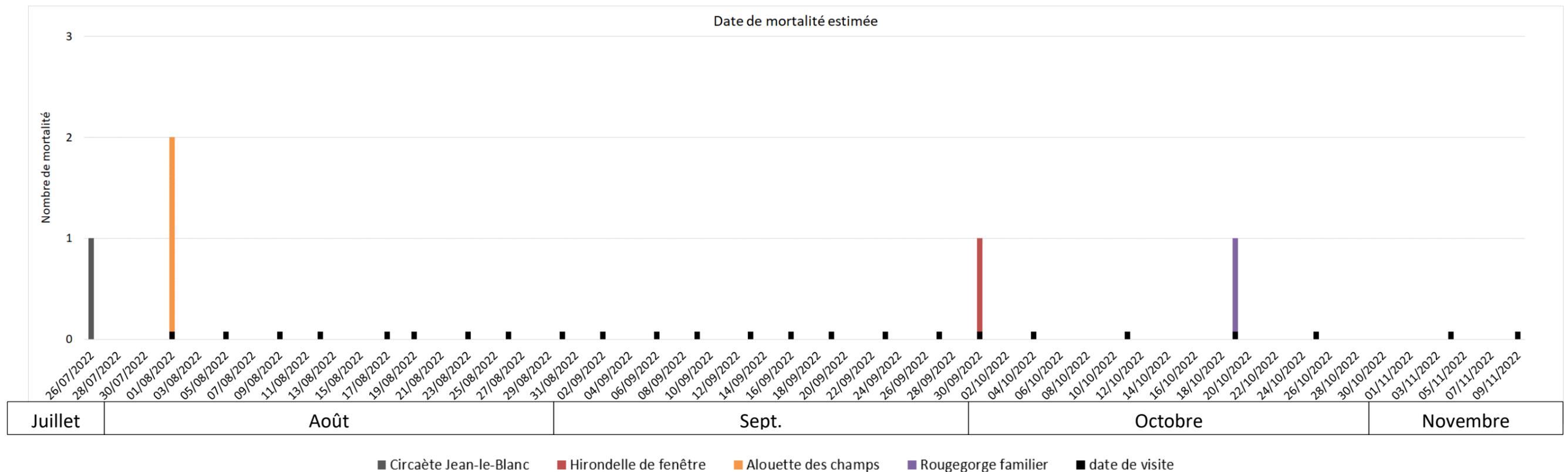
#### 4.4.5 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

La figure suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2022. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

On s'aperçoit que les mortalités sont retrouvées sur toute la période de suivi, correspondant autant à la période nuptiale ou migratrice.

Plusieurs cas de mortalité sont concentrés fin juillet et début août, ce qui correspond selon les espèces à la fin de la période de reproduction mais aussi entre fin septembre et mi-octobre, ce qui correspond à la période de migration automnale.

Figure 68 : Répartition des découvertes (cadavres et plumées) d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) à l'occasion du suivi mortalité au sol de 2022



#### 4.4.6 Interprétation par espèce

##### ➤ Alouette des champs

Deux cadavres d'Alouette des champs (*Alauda arvensis*) ont été retrouvés le 5 août au niveau de l'éolienne E4.

A cette période de l'année, il est très probable qu'il s'agisse d'individus nicheurs. En effet, leur période de reproduction s'étale de mars jusqu'à la fin de l'été. Le mâle chante le plus souvent en vol territorial, augmentant sa hauteur de vol puis se laissant tomber au sol. C'est à ce moment-là que les alouettes peuvent se trouver dans le rotor des éoliennes.

##### ➤ Circaète Jean-le-Blanc

Un cadavre de Circaète Jean-le-Blanc (*Circaetus gallicus*) a été découvert le 1 août sous l'éolienne E3.

L'espèce est considérée comme migratrice stricte, les oiseaux retournent en Afrique à partir de début août pour passer l'hiver. A cette période de l'année, il est probable qu'il s'agisse d'un individu migrateur ou bien d'un individu en fin de période de reproduction. Pouvant transiter à haute-altitude lors des migrations, mais aussi pratiquant un vol stationnaire lors de ses sessions de chasse, le Circaète Jean-le-Blanc s'expose de plusieurs manières aux risques de collision avec les éoliennes.



Figure 69 : Cliché du cadavre de Circaète Jean-le-Blanc retrouvé le 1<sup>er</sup> août 2022 sous l'éolienne E3

##### ➤ Hirondelle de fenêtre

Une Hirondelle de fenêtre (*Delichon urbicum*) a été découverte encore vivante le 30 septembre sous l'éolienne E2. Une fois réchauffé dans les mains du technicien, l'oiseau est reparti. Sans intervention humaine, cet individu serait très probablement mort au pied de la machine.

A cette période de l'année, il s'agit d'un individu migrateur. En effet, la période de migration post-nuptiale de l'Hirondelle de fenêtre s'étend de début août à mi-octobre, avec un pic de migration fin-septembre.

##### ➤ Rougegorge familier

Un cadavre de Rougegorge familier (*Erithacus rubecula*) a été découvert le 19 octobre sous l'éolienne E1.

A cette période de l'année, il est très probable qu'il s'agisse d'un individu migrateur. La migration post-nuptiale du Rougegorge s'étend de fin août à mi-novembre avec un pic de migration mi-septembre. Les Rougegorges familiers effectuent des migrations nocturnes durant lesquelles ils s'élèvent afin de transiter sur de grandes distances. Ces comportements exposent les Rougegorges familiers aux risques de collision avec les pales des éoliennes.

Figure 70 : Cliché du cadavre de Rougegorge familier découvert le 19 octobre sous l'éolienne E1



#### 4.4.7 Taux de mortalité des oiseaux

##### 4.4.7.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2022

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, ...).

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

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

Figure 71 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de cadavres retrouvés sous les éoliennes)

Date des visites	Végétation			Mortalité Totale oiseaux
	Type 1	Type 2	Type 3	
1-août	15,04	53,83	31,13	1
5-août	15,04	79,42	5,54	2
9-août	15,41	77,78	6,81	
12-août	15,04	47,23	37,73	
17-août	0,00	27,20	72,80	
19-août	20,21	74,47	5,32	
23-août	15,04	62,27	22,69	
26-août	21,84	38,70	39,46	
30-août	20,21	76,24	3,55	
02-sept	45,60	34,40	20,00	
06-sept	35,63	0,00	64,38	
09-sept	29,38	46,91	23,71	
13-sept	23,55	48,35	28,10	
16-sept	23,55	69,42	7,02	
19-sept	56,74	36,52	6,74	
23-sept	18,27	75,64	6,09	
27-sept	14,25	85,75	0,00	
30-sept	20,36	70,71	8,93	1
04-oct	18,27	69,55	12,18	
11-oct	15,83	77,78	6,39	
19-oct	16,19	81,25	2,56	1
25-oct	17,48	74,85	7,67	
04-nov	60,51	36,94	2,55	
09-nov	41,01	57,55	1,44	
<b>Moyenne</b>	<b>23,94</b>	<b>58,45</b>	<b>17,62</b>	<b>5,00</b>

#### 4.4.7.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2022, trois tests ont été menés les 8 et 9 août et le 26 septembre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

- **Taux de détection**

Figure 72 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	20	13	0,65
Type 1	Moyenne	Moyenne	6	6	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	8	5	0,63
Type 3	Moyenne	Moyenne	6	2	0,33
Total	E1	09/08/2022	10	6	
Type 1	E1	09/08/2022	2	2	
Type 2	E1	09/08/2022	5	3	
Type 3	E1	09/08/2022	3	1	
Total	E4	26/09/2022	10	7	
Type 1	E4	26/09/2022	4	4	
Type 2	E4	26/09/2022	3	2	
Type 3	E4	26/09/2022	3	1	

Pourcentage de prospection				
	d	Type 1	Type 2	Type 3
<b>Moyenne</b>	<b>0,66</b>	<b>23,94</b>	<b>58,45</b>	<b>17,62</b>

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

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

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

Rappelons qu'au niveau de ces calculs relatifs aux oiseaux, sont utilisés les résultats obtenus à partir des peluches-test de tailles différentes de façon à représenter l'éventail de tailles des espèces d'oiseaux (rapace de grande taille aux passereaux de taille plus petite).

Les zones boisées n'ont pas été prospectées car elles ne peuvent être prospectées de façon rigoureuse (cadavres retenus dans les branchages).

Le taux de détection est de 0,66. **Autrement dit, 66% des peluches dispersées ont été retrouvées.**

- **Taux de persistance**

Figure 73 : 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_moy en
				1	3	4	8	9	15		
Moyen		Moyenne	34	27	15	12	3	3	0	2,47	0,33
Type 1		Moyenne	13	9	4	4	2	2	0	2,38	0,29
Type 2		Moyenne	11	8	3	2	1	1	0	1,91	0,17
Type 3		Moyenne	10	10	8	6	0	0	0	3,20	0,55
Moyen	Toutes	08/08/2022	14	11	7	4	0	0	0		
Type 1	Toutes	08/08/2022	5	3	1	1	0	0	0		
Type 2	Toutes	08/08/2022	5	4	2	1	0	0	0		
Type 3	Toutes	08/08/2022	4	4	4	2	0	0	0		
Moyen	Toutes	26/09/2022	20	16	8	8	3	3	0		
Type 1	Toutes	26/09/2022	8	6	3	3	2	2	0		
Type 2	Toutes	26/09/2022	6	4	1	1	1	1	0		
Type 3	Toutes	26/09/2022	6	6	4	4	0	0	0		

Pourcentage de persistance					
	Tm	p	Type 1	Type 2	Type 3
<b>Moyenne</b>	<b>2,47</b>	<b>0,33</b>			

#### 4.4.7.2.1 Paramètre $p$ (formule d'Erickson adaptée)

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

Dans notre cas précis, cet intervalle  $I$  moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2022. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de  $I = 4,35$ .

Figure 74 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours)

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	1	2
3	7	21
4	9	36
5	2	10
6	1	6
7	1	7
8	1	8
9	0	0
10	1	10
Total	23	100
Intervalle pondéré (tot)		4,35

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 et 15 jours, on estime le nombre de cadavres restant à  $I$  jours. Ainsi, on obtient une valeur de  $p = 0,33$ .

#### 4.4.7.2.2 Paramètre $T_m$ (formules de Erickson + Jones + Huso)

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

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

$$tm = \frac{Nb\ cadavres\ persistant\ 1\ jour_{j+1} + Nb\ cadavres_{j+2} \times 2 + Nb\ cadavres_{j+4} \times 4 + \dots}{Nb\ cadavres\ présent_{Départ}}$$

Dans notre cas précis,  $T_m$  est égal à **2,47**. Autrement dit, il faut environ **2-3 jours** pour que les cadavres disparaissent.

#### ▪ 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 1 ha de prospection réalisée. La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

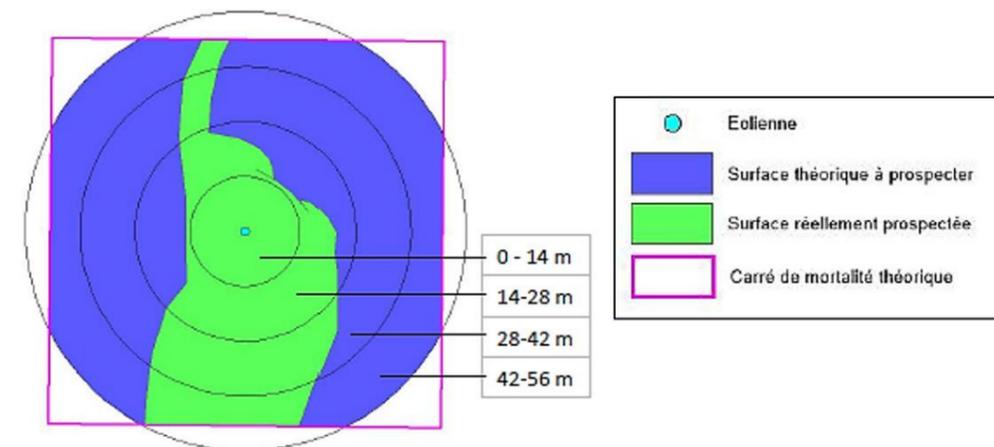
$$A = \frac{\sum_k C_k / S_k}{\sum_k C_k}$$

Avec

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

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

Figure 75 : Schéma des différents cercles concentriques pour le calcul du coefficient surfacique



Dans le cas du suivi du parc éolien de Saint-Ambroix, dans la mesure où la végétation est globalement assez uniforme mais seulement accessible sur le site par moment en raison des cultures, les zones difficiles à prospecter peuvent être nombreuses. Le coefficient de correction surfacique se situe entre 1 et 2 (1 signifiant pas de correction surfacique).

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2022 en fonction des surfaces prospectées (en hectare) pour les oiseaux.

Figure 76 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a

	Surface à prospecter par éolienne	Nombre d'éolienne suivie	Surface à prospecter totale	Surface réellement prospectée (toute éolienne confondues, en ha)	Pourcentage prospecté	Nombre de cadavre d'oiseaux
42m - 56m	0,4308	4	1,72	0,94	54,61	1
28m - 42m	0,3077	4	1,23	0,86	70,03	2
14m - 28m	0,1846	4	0,74	0,56	76,21	1
0m - 14m	0,0615	4	0,25	0,24	96,86	1
<b>a (cadavre OIS)</b>						<b>1,41</b>

#### 4.4.7.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL

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

Figure 77 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations

Paramètres	Valeurs	Explications
C	5,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,66	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,33	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,47	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	4,35	Pas de temps du suivi
$\hat{l}$	4,94	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
$\hat{e}$	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
a	1,41	Coefficient de correction surfacique

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux morts sur la période allant du 1<sup>er</sup> août au 9 novembre 2022 et pour les 4 éoliennes du parc suivies. Ces résultats sont basés sur l'intégralité du parc éolien et sur 12 mois.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 4 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- On divise par 3 (3 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, c'est-à-dire tout au long de l'année).
- On multiplie par 4 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an**.

Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 21,33 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 18,59 et 25,55 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 78 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2022

	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
	adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	18,59	18,65	25,55	22,53	21,33
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	4,65	4,66	6,39	5,63	5,33
Mortalité par éolienne et par mois	1,55	1,55	2,13	1,88	1,78
Mortalité par éolienne et pour une année	18,59	18,65	25,55	22,53	21,33
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	74,37	74,62	102,22	90,13	85,33

#### 4.4.7.4 Estimation de la mortalité avec l'application EolApp

Le tableau suivant détaille les paramètres à renseigner dans l'application web.

Figure 79 : Paramètres à renseigner dans l'application EolApp

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	4,35
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	20
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	13
Pourcentage de la surface prospectée	0,66

Figure 80 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	20,19	3,64	50,93	8,03	37,53
Huso	24,53	4,50	58,83	9,83	44,33
Jones	28,05	5,06	70,22	11,18	51,69
Moyenne par éolienne	6,06	1,10	15,00	2,42	11,13

En considérant les 3 modèles, il y a 95% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 1,10 et 15,00 cas de mortalité. De même, il y a 80% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 2,42 et 11,13 cas de mortalité. La médiane quant à elle est de 6,06 mortalités par éolienne et sur la période suivie.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- On divise par 3 (3 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 **4,40 à 59,99 mortalités par éolienne et par an**. A un intervalle de confiance de **80%**, le résultat est de l'ordre de **9,68 à 44,52 mortalités par éolienne et par an**. La **médiane** est quant à elle de **24,26 mortalités par éolienne et par an**.

#### 4.4.7.5 Estimation de la mortalité avec l'application GenEst

L'application GenEst aboutit sur un résultat médian de **16,14 cas par éolienne et par an**, soit 64,56 cas pour le parc entier par an. A un intervalle à **90%**, la mortalité est estimée à entre **5,4 et 31,31 cas par éolienne et par an**, soit entre 21,6 et 125,24 cas pour le parc entier et par an.

#### 4.4.7.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2022

Avec nos tableurs EXCEL, la mortalité réelle d'oiseaux est estimée à **21,33 cas par éolienne et par an** en 2022, sur le parc de Saint-Ambroix. Avec l'application EolApp, le taux de mortalité est estimé à **24,26 cas par éolienne et par an**. Avec l'application GenEst, celui-ci est estimé à **16,14 cas par éolienne et par an**.

**Les résultats** obtenus concordent entre eux, même s'ils présentent des écarts pouvant être perçus comme importants, les ordres de grandeur sont **comparables**. Nous retiendrons que le **taux de mortalité est compris entre 16 et 25 cas par éolienne et par an, soit entre 64 et 100 cas pour le parc entier et par an**.

# 5 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE SAINT-AMBROIX

## 5.1 Impact sur les chiroptères

### 5.1.1 Analyses quantitatives et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

Pour la campagne de suivi en 2022, le taux de mortalité est estimé à **environ 23 à 55 cas de mortalité par éolienne et par an, soit environ 92 à 220 cas de mortalité pour le parc entier et par an.**

Ce taux de mortalité est calculé à partir de la mortalité relevée lors de la période de suivi allant du 1<sup>er</sup> août au 9 novembre, c'est-à-dire sur une partie de la période d'activité des chauves-souris sur ce site (la période la plus à risque sur ce parc). Ce taux de mortalité caractérise donc ce qui se passe sur le site, au cours de la période de migration et de transit automnal, en termes de risque et niveau d'impact.

D'après les données disponibles actuellement en France mais aussi en Europe, cette estimation de la mortalité témoignerait **d'une valeur de mortalité par éolienne et par an modérée à forte voire forte vis-à-vis des chauves-souris**. Cette analyse comparative reste délicate et soumise à de nombreux facteurs locaux (contraintes techniques de recherche, pression de suivi...); toutefois, l'estimation de la mortalité semble révéler ici **la présence d'un niveau de mortalité significatif comparativement à d'autres parcs**, dont le niveau de mortalité est exceptionnellement haut. Mais à titre de comparaison, sous les parcs éoliens qui font aujourd'hui référence parmi les plus meurtriers, les taux de mortalité peuvent dépasser les 70 chauves-souris/éolienne/an, correspondant à plusieurs centaines de cadavres sur chaque parc selon leur taille. Ces parcs sont situés dans des contextes biogéographiques particuliers (Bouin en littoral atlantique (Dulac, 2006), Castelnau Pégayrols en contexte forestier et ligne de crête (Beucher & Kelm, 2009-2010), Leuze en plaine camarguaise de la Crau (GCP, 2010), parcs Drômois en forêt ou bordure de canal (Cornu et Vincent, 2010)).

**Cependant, il est important de noter que ces résultats sont calculés sur la base d'un suivi de 3 mois focalisé sur la période la plus sensible de l'année pour les chiroptères.** Ramener à l'ensemble du cycle biologique des chauves-souris, **ces résultats sont donc surestimés sur l'année entière.** A noter également que 6 chauves-souris ont été retrouvées sous les 4 éoliennes du parc au cours du suivi. La faible détection estimée pour les petits cadavres et la forte prédation sur site conduisent donc à une estimation de la mortalité réelle plus importante que la mortalité brute.

**Finalement, du point de vue quantitatif, l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix sur les chiroptères peut être qualifié de modéré à fort par rapport à d'autres parcs suivis en France.**

Figure 81 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)

Site	Département	Contexte de milieux	Année de suivi	Mortalité de chiroptère / éolienne / an	Référence
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2010	0	ALEPE (2010)
Rézentières	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2013	0-3	Beucher, Albespy, Mougnot (2014)
Castelnau 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)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2016	1,4-1,5	EXEN (2017)
Castelnau 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)
Sauveterre	81	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2013	3,64	EXEN (2014)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2011	3,7 - 3,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2014)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2010	4,2-4,9	Albespy, Beucher (2015)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2012	4,4 - 5,5	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2015)
Cuq Servies	81	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2013	5,5 - 6,9	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE (2014)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2012	6,1-6,6	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2014	7,5-7,9	Beucher, Albespy (2015)
Talizat	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2010	7,4-8,7	Beucher, Albespy (2011)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2006	6,0 - 9,3	Dulac (2008)
Cuxac Grand-bois, Lacombe	11	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2015	8,4-10,7	Exen (2016)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2008	9,78	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2009	10	ALEPE (2009)
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2009	13,5	Albespy, Beucher (2015)
Cuxac Grand-bois, Lacombe	11	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2016	13-17	Exen (2017)
Sambres	11	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2016	15-14	Exen (2017)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2007	20,3 - 21,6	Dulac (2008)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2005	21,5 - 26,7	Dulac (2008)
Castelnau 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)

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

Figure 82 : 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 - Seladolino (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., 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	Traxler et al., 2004 in Brinkmann et al., 2006
Cantons de bern 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 Firbourg (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)	03/200 - 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 Analyses qualitatives des impacts sur les chiroptères

L'appréciation des impacts qualitatifs des parcs éoliens sur les chiroptères se concentre sur les résultats des suivis d'activité en nacelle et ceux du suivi de la mortalité au sol. Les espèces très actives en nacelle d'éolienne mais non retrouvées à l'état de cadavres au sol sont effectivement considérées dans l'analyse puisqu'elles ont pu être impactées sans être découvertes au sol (biais liée à la détection et la prédation).

- Niveau des risques d'occurrence de la mortalité

#### La sensibilité théorique vis-à-vis de l'éolien

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

Pour chaque espèce impactée par les éoliennes, il est possible d'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 en lien avec le fonctionnement des éoliennes ;
- Des résultats du suivi de la mortalité.

Trois principaux niveaux 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 vol haut 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.

#### Le niveau de fréquentation

- **Quatre niveaux d'activité à risque** sont définis sur la base des résultats de suivi d'activité en hauteur croisés aux données de fonctionnement des éoliennes équipées d'enregistreur : Très faible : espèce non identifiée précisément sur le site ou non présente dans l'activité à risque ;
- Faible : quelques contacts ponctuels d'intensité faible relevés lorsque les pales tournent ;
- Faible à modérée : quelques contacts réguliers sur une période d'intensité faible, relevés lorsque les pales tournent ;
- Modéré : plusieurs contacts, d'intensité modéré au maximum, relevés lorsque les pales tournent.

#### Mortalité brute

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

### Risque d'occurrence de mortalité sur le site

L'évaluation du risque d'occurrence de mortalité sur le site se base le croisement du niveau de sensibilité théorique à l'éolien avec le niveau de fréquentation (lorsque les pales tournent). En cas de mortalité découverte sur le site, le résultat est augmenté d'un niveau.

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

- **Modérée à forte** pour la Noctule commune, la Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Nathusius ;
- **Faible à modérée** pour la Grande Noctule, la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl, la Sérotine bicolore ;
- **Faible** pour la Sérotine commune et la Sérotine de Nilsson.

Figure 83 : Niveau d'intensité des risques de mortalité (en vert, les espèces identifiées certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol)

Espèce	Nom scientifique	Sensibilité théorique vis-à-vis de l'éolien	Niveau de fréquentation tour rotor ≥ 1	Mortalité brute recueillie lors du suivi 2022	Risque d'occurrence de mortalité sur le site
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Forte	Modéré	1	Modéré à fort
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Forte	Faible à modéré	1	Modéré à fort
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Forte	Faible	3	Modéré à fort
Grande Noctule	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	Forte	Très faible		Faible à modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Forte	Très faible	1	Faible à modéré
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Modérée à forte	Très faible		Faible à modéré
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Modérée à forte	Très faible		Faible à modéré
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Modérée	Très faible		Faible
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Modérée	Très faible		Faible

➤ Évaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix

#### Niveau de patrimonialité

Les niveaux de patrimonialité sont évalués en prenant en compte pour chaque espèce leurs :

- Priorité dans le Plan National d'Action chiroptères (2016-2025)
- Tendance évolutive (PNA 2016-2025)
- Statut de la liste rouge UICN (Mondiale)
- Statut de la liste rouge UICN (Europe)
- Statut de la liste rouge nationale (2017)
- Statut de la liste rouge régionale (2013)

### Risque d'occurrence

Correspondant aux risques d'occurrence de mortalité sur le site exposé précédemment

#### Niveau d'impact théorique

Les niveaux d'impact théorique attendus sont évalués comme indiqué dans le tableau précédent de la Figure 39 en croisant le niveau de patrimonialité avec le niveau du risque d'occurrence.

Quatre niveaux d'impact (modéré à fort, modéré, faible à modéré, faible) ont donc été définis et sont présentés dans le tableau suivant.

Figure 84 : Évaluation des impacts du parc éolien de Cruas sur les chauves-souris (en vert les espèces identifiées avec certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol)

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

Finalement, les espèces ayant d'impact théorique le plus important (modéré à fort) correspondent à des espèces très patrimoniales et sensibles à l'éolien, c'est-à-dire la **Noctule commune** et la **Noctule de Leisler**. Elles sont suivies de la **Grande Noctule** et de la **Pipistrelle de Nathusius** qui présentent un niveau d'impact théorique modéré. Les autres espèces ont des niveaux d'impact plus faibles.

Quatre espèces ont été retrouvées sous les éoliennes du parc éolien de Saint-Ambroix : la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune (1 mortalité brute chacune) et la Pipistrelle de Nathusius (3 mortalités brutes). Compte tenu des biais qu'il existe (détection, prédation notamment), il se peut que d'autres individus aient été impactés sans être retrouvés au sol. Les niveaux d'impacts théoriques ont été définis compte tenu des éléments disponibles actuellement, à savoir la connaissance des populations locales et leur état de conservation, la sensibilité à l'éolien et les cadavres retrouvés sous les machines.

**De ce fait, le niveau d'impact théorique, d'un point de vue qualitatif, du parc éolien de Saint-Ambroix est qualifié de modéré à fort au maximum.**

## 5.2 Impact sur l'avifaune

### 5.2.1 Analyses quantitatives et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

Pour la campagne de suivi en 2022, le taux de mortalité est estimé **entre 16 et 25 cas par éolienne et par an, soit entre 64 et 100 cas pour le parc entier et par an.**

Même si un suivi de la mortalité est toujours soumis à diverses limites d'échantillonnage, et que les mortalités brutes ne représentent qu'une partie de la mortalité réelle, on peut considérer que la concordance entre les différents modèles utilisés pour estimer le taux de mortalité permettent d'être confiants sur la représentativité de ces résultats.

**Ces taux sont jugés « hauts » par rapport à ce qui a été observé sur d'autres parcs français** et européens suivis dans les mêmes conditions à des valeurs plus importantes. Si les résultats restent encore peu nombreux à l'échelle régionale, les évaluations à l'échelle nationale ou européenne montrent généralement un taux de mortalité variant de 0 à 10 oiseaux/éolienne/an. Dans son rapport de juin 2017 "Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune", la LPO estime un taux de mortalité moyen de 7 cas par WT/an.

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.

**Enfin, du point de vue quantitatif, l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix peut être qualifié de modéré à fort par rapport à d'autres parcs suivis en France.**

## 5.2.2 Analyses qualitatives des impacts sur l'avifaune

Au total, 4 espèces d'oiseaux ont fait l'objet de découvertes à l'occasion du suivi 2022, il s'agit de l'Alouette des champs, du Circaète Jean-le-Blanc, de l'Hirondelle de fenêtre et du Rougegorge familier.

Nous proposons de mener ici une évaluation de l'impact théorique du parc éolien sur ces espèces au regard des mortalités constatées, mais aussi en prenant en compte leur valeur patrimoniale.

**L'Alouette des champs** fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Elle correspond à la 10<sup>ème</sup> espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 395 cas de mortalité recensés). Deux cadavres ont été découverts le 5 août sous l'éolienne E4. A cette période de l'année, il s'agit d'un individu nicheur. Cette espèce chassable ne possède pas de statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale et à l'échelle régionale (classée en quasi-menacé). **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible à modéré du parc éolien sur cette espèce.**

**Le Circaète Jean-le-Blanc** fait partie des espèces modérément sensibles à l'éolien. Il correspond à la 47<sup>ème</sup> espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 72 cas de mortalité). Un cadavre avait été découvert le 1<sup>er</sup> août sous l'éolienne E3. A cette période de l'année, il est probable qu'il s'agisse d'un individu nicheur ou d'un individu migrateur. Cette espèce protégée ne possède pas de statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale mais il est cependant menacé à l'échelle régionale (classée vulnérable). **Ainsi, nous estimons un impact théorique modéré du parc éolien sur cette espèce.**

**L'Hirondelle de fenêtre** fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Il correspond à la 12<sup>ème</sup> espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 315 cas de mortalité). Un cadavre a été découvert sous l'éolienne E2 le 30 septembre. A cette période de l'année, il est très probable qu'il s'agisse d'un individu. Cette espèce protégée ne possède pas de statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale et à l'échelle régionale (classée quasi-menacée en France et en préoccupation mineure au niveau régional). **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible du parc éolien sur cette espèce.**

**Le Rougegorge familier** fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Il correspond à la 25<sup>ème</sup> espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 165 cas de mortalité). Un cadavre a été découvert sous l'éolienne E1 le 19 octobre. A cette période de l'année, il est très probable qu'il s'agisse d'un individu migrateur. Cette espèce protégée ne possède pas de statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale et à l'échelle régionale (classée en préoccupation mineure). **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible du parc éolien sur cette espèce.**

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

Figure 85 : Évaluation des niveaux d'impacts théoriques sur l'avifaune en 2022

Nom de l'espèce	Sensibilité	Nombre de mortalités	Risque d'occurrence (sensibilité * nb de mortalités)	Patrimonialité	Niveau d'impact théorique (risque d'occurrence * patrimonialité)
Alouette des champs	Faible à modéré	2	Faible à modéré	Faible à modéré	Faible à modéré
Circaète Jean-le-Blanc	Modéré	1	Faible à modéré	Modéré à fort	Modéré
Hirondelle de fenêtre	Faible à Modéré	1	Faible	Faible à modéré	Faible
Rougegorge familier	Faible	1	Faible	Faible	Faible

# 6 BILAN DE L'EFFICACITE DES MESURES CORRECTIVES EN 2022

## 6.1 Rappel du pattern de régulation

En 2022, le pattern de régulation devait se traduire par un arrêt automatique des éoliennes lorsque les conditions suivantes étaient réunies :

Celui-ci est défini selon les conditions suivantes :

- **Du 15 mars au 15 novembre :**
  - o Vitesse de vent inférieure au seuil de production (3 m/s) et,
  - o Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

ET

- **Du 15 mars au 31 juillet :**
  - o Vitesse de vent inférieure ou égale à 4 m/s (à hauteur de moyeu) et,
  - o Pour des températures supérieures ou égales à 12 °C (à hauteur de moyeu) et,
  - o De 15 min après le coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil (en tenant compte de l'éphéméride) et,
  - o En l'absence de précipitation notable (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).
- **Sur la période du 1<sup>er</sup> août au 30 septembre :**
  - o Pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 6 m/s,
  - o Pour des températures supérieures ou égales à 12 °C,
  - o Du coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil (en tenant compte de l'éphéméride) et,
  - o En l'absence de précipitation notable (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).
- **Sur la période 1<sup>er</sup> octobre au 15 novembre :**
  - o Pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 5 m/s,
  - o Pour des températures supérieures ou égales à 12 °C,
  - o Du coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil (en tenant compte de l'éphéméride) et,
  - o En l'absence de précipitation notable (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

## 6.2 Confrontation entre les résultats du suivi de mortalité et du suivi d'activité avec la période de régulation des machines

Le graphique de la page suivante ( Figure 86, page 78) permet une analyse comparée de la date de découverte des mortalités des chauves-souris retrouvées en 2022 et de la chronologie d'activité à risque, enregistrée au niveau du module Batcorder autonome positionné sur l'éolienne E4, lorsque les pales tournent (tour rotor  $\geq 1$ ). En effet, **seule l'activité des chiroptères enregistrée lorsque les pales tournent est prise en compte dans ces figures.**

Cette comparaison repose sur la date de découverte des cadavres. Il s'agit donc plutôt de comparer grossièrement le cas de mortalité relevé au sol avec de l'activité à risque relevée en nacelle, sur une période (quelques jours) et non sur une date très précise.

Lors des visites entre le 1<sup>er</sup> août et le 9 novembre 2022, **6 cadavres de chauves-souris** furent retrouvés sous les éoliennes. Il s'agit d'un individu de :

- Noctule commune retrouvée sous E2, le 1<sup>er</sup> août ;
- Pipistrelle commune retrouvée sous E2 le 12 août ;
- Pipistrelle de Nathusius retrouvée sous E1, le 30 août ;
- Noctule de Leisler retrouvée sous E1 le 16 septembre ;
- Pipistrelle de Nathusius retrouvée sous E2, le 4 octobre ;
- Pipistrelle de Nathusius retrouvée sous E4, le 19 octobre.

De ce fait, un cadavre a été retrouvé sous l'éolienne équipée d'un enregistreur lors de la période du suivi en hauteur, le 19 octobre, cependant aucune activité à risque n'a pu être enregistrée les jours précédant cette découverte. Les autres cas de mortalité ont été retrouvés sous les éoliennes E1 et E2, toutes non équipées d'un enregistreur. Effectuer une comparaison avec l'activité chiroptérologique relevée en nacelle de l'éolienne E4 est donc complexe, car l'activité peut se révéler différente sur les autres éoliennes.

En extrapolant les résultats de suivi acoustique effectué en nacelle de E4, aucune activité à risque ne semble être associée à ces mortalités à l'exception d'une activité à risque très faible (0,89 seconde) d'individus non identifiés appartenant au groupe Nycmi (pouvant correspondre à de la Noctule de Leisler) a été enregistrée le 14 septembre. Ces contacts ont été enregistrés par des vitesses de vent supérieures à 8,5 m/s.

Aucun cadavre ne semble lié aux pics d'activité relevée le 29 juillet, le 1<sup>er</sup> août, le 17 août, le 4 octobre et le 10 octobre. La quasi-intégralité de l'activité chiroptérologique relevée au cours de ces nuits particulières a été protégée par la régulation en vigueur sur le parc à l'exception de 1,35 seconde d'activité de Noctule de Leisler le 29 juillet. Ces contacts ont été enregistrés à des vitesses de vent supérieures à 4 m/s.

Une nuit d'activité à risque se caractérise par un niveau d'activité faible à modéré, le 4 septembre. Aucune mortalité n'a été découverte à la suite de cette nuit. Compte tenu des différents biais liés au suivi de mortalité, il est possible que des individus aient été impactés sans qu'ils aient été découverts lors des

prospections. En effet, la prédation est particulièrement importante sur le site, avec une disparition des cadavres en moins de trois jours en moyenne ( $T_m = 2,65$ ). Cette prédation suppose qu'un cadavre peut disparaître avant que le prospecteur vienne sur le site (intervalle moyen entre 2 visites de mortalité de près de plus de 4 jours ;  $I = 4,35$ ).

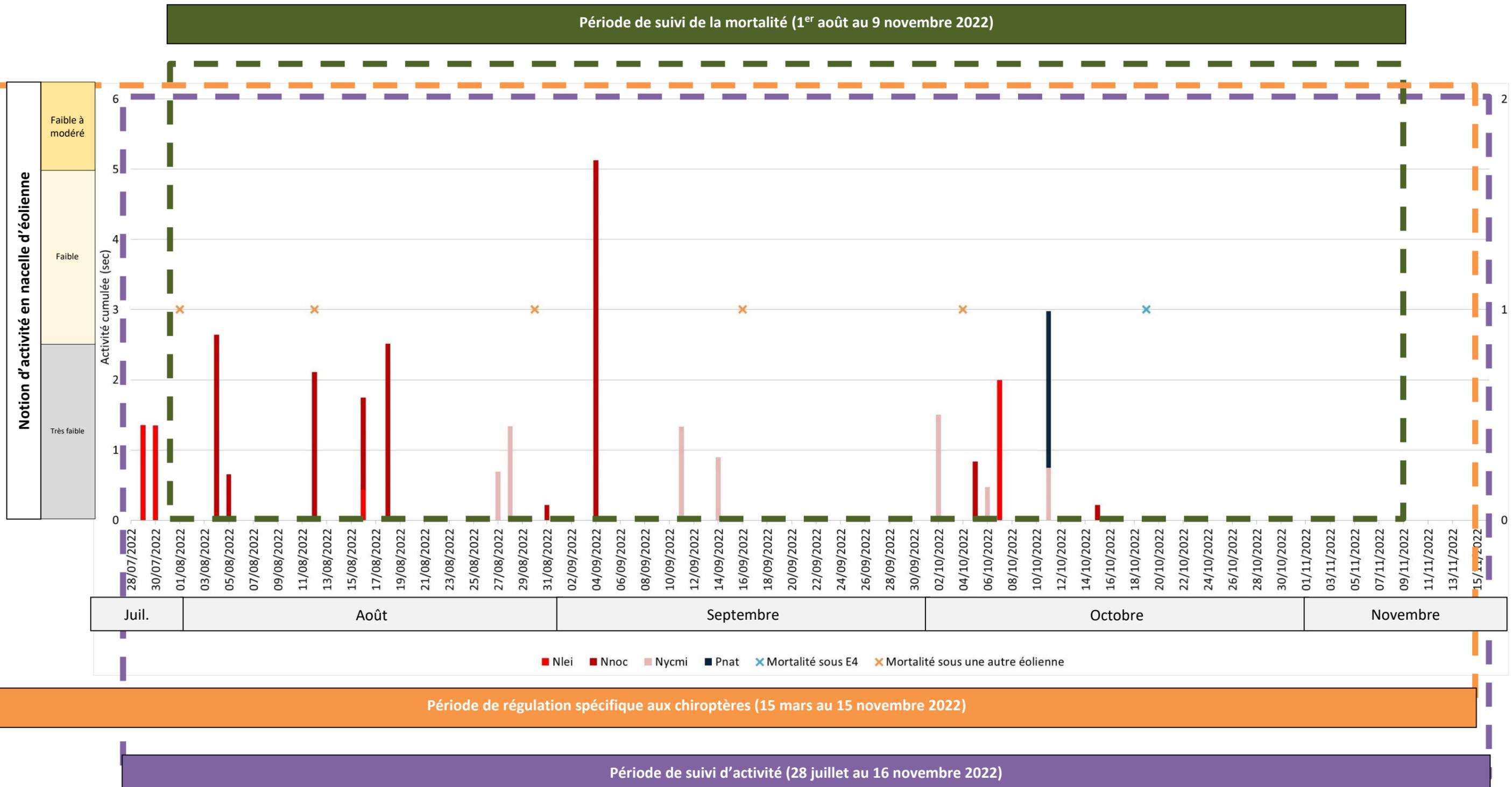
Dans le cas présent, soit cette nuit d'activité à risque plus important n'a pas entraîné de mortalités de chiroptères, soit elle a entraîné de la mortalité sans qu'elle soit retrouvée au sol (biais de détection et de prédation).

Globalement, le graphique suivant permet de constater que très peu d'activité a présenté un risque de mortalité, en 2022 (niveau d'activité à risque globalement très faible).

**Finalement, les cas de mortalité retrouvés, en 2022, sous les éoliennes, ne semblent pas corrélés à une activité à risque. Peu d'activité à risque est notée, il semble que les conditions de régulation mises en place soient bien adaptées au site et aux problématiques du parc éolien de Saint-Ambroix.**

Pourtant, en tenant compte de l'ensemble de l'activité relevée (indépendamment du tour-rotor des pales), pour la moitié des cas de mortalité relevés au sol, une activité chiroptérologique de l'espèce impactée était relevée en hauteur (cas de Noctule commune le 01/08, cas de Pipistrelle de Nathusius le 30/08, cas de Pipistrelle de Nathusius le 04/10).

Figure 86 : Graphique de la chronologie de l'activité chiroptérologique réellement à risque, en nacelle d'éolienne E4 pour des tours rotor  $\geq 1$  et de la mortalité constatée en 2022



## 6.3 Hypothèses expliquant la découverte de 6 cadavres en période de régulation

Plusieurs hypothèses peuvent permettre d'expliquer pourquoi des cas de mortalité ont été retrouvés au sol alors que la régulation était en place en 2022. Ce constat peut être lié entre autres à :

- Une certaine variabilité de l'activité à risque entre les éoliennes ;
- Une non-détection des individus passant dans, ou à proximité du rotor ;
- Un dimensionnement de la régulation insuffisant ;
- Une implantation du pattern de régulation erronée.

### 6.3.1 Variabilité inter-éolienne de l'activité à risque

L'analyse croisée de l'activité à risque (sur la base des données de E4) et les cas de mortalité retrouvés au sol n'a pas permis d'établir un lien entre les 2 variables. Mais sur les 6 cadavres retrouvés, 5 ont été retrouvés sous des éoliennes non équipées d'enregistreur. Il n'est pas possible d'écarter l'hypothèse que l'activité à risque (activité relevée lorsque les pales tournent) soit légèrement différente entre les éoliennes du parc.

### 6.3.2 Non-détection des individus passant dans ou à proximité du rotor

Les espèces impactées en 2022 sont essentiellement des espèces de vol haut et/ou migratrices, pratiquant le vol en plein ciel. Il est donc important de s'intéresser à leurs comportements de vol, leurs capacités acoustiques (portée d'écholocation), au dimensionnement du parc et aux aspects techniques de l'enregistreur acoustique utilisé.

Le diamètre de rotor des éoliennes du parc est de 131 m, soit un rayon de 65,5 m. La Figure 17 montre que les Batcorders ont une portée d'enregistrement d'environ 20 m au maximum. En sachant que la distance de détection en milieu ouvert (plein ciel) est de 25 m pour la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Nathusius, cela suppose que ces espèces peuvent être actives dans le rotor (sur le pourtour), sans être captées par l'enregistreur. Cela pourrait expliquer que certains cas de mortalité ne soient pas corrélés avec l'activité relevée en hauteur.

En revanche, ça n'est pas le cas pour les noctules dont la portée de détection varie entre 80 m (pour la Noctule de Leisler) et 100 m (pour la Noctule commune). Elles seront forcément captées par l'enregistreur. La non-corrélation entre le cas de mortalité de Noctule de Leisler et l'absence d'activité relevée en nacelle ne s'explique donc pas par cette particularité technique.

Pour l'ensemble de ces 6 cadavres, aucune trace de barotraumatisme n'a été décelée (absence de traces de sang au niveau des orifices) ; mais il ne peut être écarté de façon certaine l'hypothèse que les individus aient été impactés sous l'effet des changements de pression, en approche des pales, sans passer dans le rotor et sans être captés par l'enregistreur acoustique. Le barotraumatisme conduisant à l'implosion des organes, il peut aussi se manifester « discrètement » au moment de l'analyse des cadavres.

### 6.3.3 Vérification du dimensionnement de la régulation

Il s'agit de s'intéresser à chaque paramètre de régulation à proprement parler, afin d'évaluer l'efficacité du pattern de régulation mis en place en 2022.

#### ➤ Concernant la plage de fonctionnement des mesures de régulation

D'après les profils d'activité relevée en hauteur en 2022 au paragraphe de la Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle de l'éolienne E4, page 30, les chauves-souris ont été actives dès le début du suivi (premiers contacts le 28 juillet) et jusqu'au mois de novembre (derniers contacts le 13 novembre). Cependant, l'activité commence à être plus faible et irrégulière à partir de mi-octobre.

**La plage de fonctionnement des mesures de régulation est jugée pertinente, sur la base des données d'activité de 2022.**

#### ➤ Concernant le seuil de vitesse du vent

L'analyse menée au paragraphe de l'Influence de la vitesse du vent, page 33, a pu mettre en évidence que l'activité des espèces de lisières a été relevée jusqu'à des vitesses de vent de 5,5 m/s et jusqu'à 10 m/s pour les espèces de vol haut. Mais, la majeure partie de **l'activité des chiroptères a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures à 5,5 m/s.**

De plus, les **pics d'activité** les plus importants du suivi ont été enregistrés par des vitesses de vent variant entre 0,8 m/s et 5 m/s.

**En conclusion, le seuil de vitesse de vent du bridage semble suffisant d'après l'activité relevée en nacelle d'éoliennes E4 en 2022.**

#### ➤ Concernant le seuil de température

À propos de la température, l'analyse menée au paragraphe de l'Influence de la température page 35, a pu mettre en évidence que l'intégralité de l'activité chiroptérologique a été relevée entre 12 °C et 32 °C.

**En conclusion, le critère de température est donc jugé pertinent.**

#### ➤ Concernant les horaires de fonctionnement au cours de la nuit

D'après l'analyse menée au paragraphe du Rythme d'activité nocturne, page 36, l'intégralité de l'activité des chiroptères relevés sur site a été enregistrée entre juste avant le coucher du soleil et 30 minutes avant le lever du soleil. De plus, l'activité observée en tout début de nuit et toute fin de nuit était relativement faible. Enfin, lors des pics, le rythme nocturne était variable d'un pic à l'autre, mais restait globalement centré en milieu de nuit.

**En conclusion, Les horaires de fonctionnement sont donc jugés pertinents.**

#### ➤ Analyse de l'activité théoriquement à risque

Sur la base des données d'activité des chauves-souris et des données météorologiques relevées en nacelles d'éoliennes en 2022, il est possible de simuler l'activité qui devait être à risque sur la base des paramètres de régulation. Cette simulation est présentée dans le tableau ci-dessous.

En nacelle d'éolienne E4, 46,83 secondes d'activité cumulée devaient être théoriquement à risque sur les 2 693,39 secondes d'activité totale. Autrement dit, 1,74% de l'activité chiroptérologique a été relevée en hauteur lorsque les conditions n'entraînaient pas de régulation des machines (vents importants,

températures faibles, etc). Ce pourcentage très faible indique donc que 98,26% de l'activité enregistrée en nacelle en 2022 devait être théoriquement protégé.

Enfin, l'analyse des paramètres de régulation pris un à un et la simulation de l'activité non protégée par le pattern, lorsque les conditions n'entraînaient pas de régulation des machines, démontrent que le dimensionnement de la régulation apparaît adapté aux conditions de risque de mortalité mises en évidence au cours de l'année 2022 sur le parc de Saint-Ambroix.

Figure 87 : Simulation de l'activité totale qui devait être à risque en nacelle d'éolienne E4, compte tenu des paramètres de régulation, en fonction des groupes de vol

Activité	Groupe de vol					Total général
	Vol haut	Lisière ou vol haut	Lisière	Lisière ou vol haut en migration/transit	Vol haut en migration/transit	
Activité cumulée restante à risque	20,02	17,29	7,29	0,00	2,23	46,84
Activité cumulée protégée	830,89	131,64	1432,50	205,57	45,95	2646,55
Total	850,91	148,94	1439,79	205,57	48,18	2693,39
Pourcentage d'activité protégée	97,65%	88,39%	99,49%	100,00%	95,37%	98,26%

Les tableaux suivants permettent d'apprécier la répartition de l'activité des pipistrelles (espèces de lisières et/ou vol haut en migration-transit) et celle des noctules (espèces de vol haut) en fonction des vitesses de vent arrondies à 0.5, relevées en parallèle. Il s'agit de voir si les seuils de vent retenus permettent de protéger un maximum leur activité en fonction des périodes. La même démarche a été faite pour la température, mais l'analyse n'était pas pertinente puisque l'activité totale était relevée par des températures conformes au seuil retenu.

Cette analyse montre à nouveau que le pattern en place permet d'assurer une bonne protection de l'activité des chauves-souris. Une activité de noctules est relevée pour des vents supérieurs au seuil de vent retenu pour chacune des 3 périodes, mais elle est bien plus faible que l'ensemble de l'activité protégée par le bridage.

Figure 88 : Répartition de l'activité des noctules en fonction des vitesses du vent (sur la base des données de 2022)

Vitesse de vent arrondie (m/s)	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Total
0	5,34		7,76			13,10
0,5	2,22			1,07		3,30
1				13,70		13,70
1,5		31,16		6,75		37,92
2		52,63	14,97	23,13		90,72
2,5		31,43	6,87	1,33		39,63
3		139,84	1,60	6,89		148,34
3,5	3,48	148,39	10,60	5,97		168,43
4	0,51	128,30	1,60	13,31		143,72
4,5		135,35	5,13	27,65		168,13
5	1,35	78,94	3,33	3,05		86,67
5,5		30,04	10,62	1,51		42,16
6		28,11	2,70	1,05		31,86
6,5		0,91		0,47		1,38
7		1,44				1,44
7,5	1,35	3,85				5,20
8		0,87				0,87
8,5			0,89			0,89
9			0,89			0,89
9,5		0,59				0,59
10			0,44			0,44
Indéterminé					0,45	0,45
<b>Total</b>	<b>14,26</b>	<b>811,86</b>	<b>67,40</b>	<b>105,88</b>	<b>0,45</b>	<b>999,85</b>

  Activité relevée pour des vents inférieurs au seuil de régulation  
  Activité relevée pour des vents supérieurs au seuil de régulation  
  Indéterminé (pas de données de vent)

Figure 89 : Répartition de l'activité des pipistrelles en fonction des vitesses du vent (sur la base des données de 2022)

Vitesse de vent arrondie (m/s)	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Total
0	5,61					5,61
0,5	8,89			15,42		24,31
1	112,29		2,72	319,00		434,00
1,5				234,05		234,05
2			24,26	302,58		326,85
2,5			14,32	545,01		559,32
3		14,05	5,90	23,07		43,02
3,5		3,99		15,69		19,68
4	1,68		17,25	10,40		29,33
4,5		5,94		3,87	1,74	11,55
5				5,83		5,83
<b>Total</b>	<b>128,46</b>	<b>23,98</b>	<b>64,44</b>	<b>1474,92</b>	<b>1,74</b>	<b>1693,54</b>

  Activité relevée pour des vents inférieurs au seuil de régulation  
  Activité relevée pour des vents supérieurs au seuil de régulation

### 6.3.4 Vérification de l'implantation du pattern de régulation en machine

Afin de porter une analyse plus fine et mathématique, il existe une application web capable de vérifier la bonne implantation d'une régulation sur une éolienne sur la base des données météorologiques (température, vitesse de vent et horaire de fonctionnement) et de fonctionnement de la machine (tour rotor).

Cette application se nomme Probat Inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofofor.shinyapps.io/probat-inspector/>). Les sorties obtenues, disponibles à la Figure 91, page 82 pour l'éolienne E4 et en Annexes 3, 4 et 5, de la page 92 à la page 94, pour les éoliennes E1, E2 et E3, indiquent qu'en moyenne, pour les 4 éoliennes étudiées, dans 83,33 % du temps le bridage demandé a fonctionné correctement ; que dans 3,73 % des cas les éoliennes étaient en fonctionnement alors que les conditions de bridages étaient réunies ; et que dans 5,15 % des cas les conditions étaient réunies pour le lancement du bridage (ce type de cas est représenté par des carrés orange et doit être suivi de carrés verts logiquement qui démontre la bonne mise en place de la régulation).

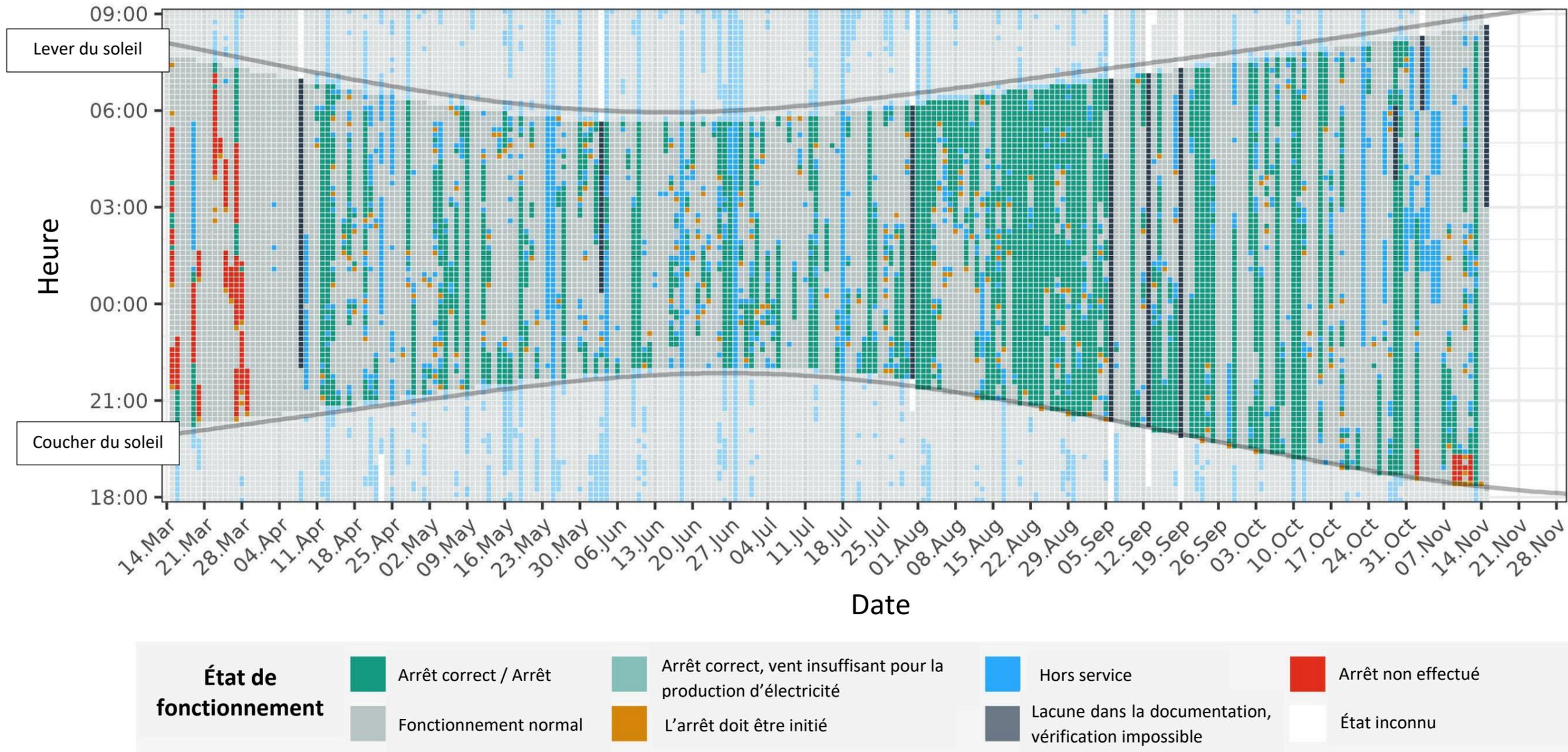
Enfin, les données manquantes, ne permettant pas la vérification de la bonne régulation, représentent en moyenne 7,78 %.

Finalement, peu de périodes de dysfonctionnement apparaissent. La régulation ne semble pas correctement effective durant le mois de mars ainsi qu'en début de nuit en novembre, mais globalement il est observé une mise en place correcte du bridage. Rappelons tout de même que la bonne mise en place de ce dernier, durant toute la période préconisée, est indispensable à sa bonne efficacité.

Figure 90 : Fonctionnement de la régulation sur le parc de Saint-Ambroix, entre le 15 mars et le 15 novembre 2022

Éolienne	Manque de données, vérification impossible	Mise en place correcte	Mauvaise mise en place	Conditions favorables au lancement du bridage
E1	7,5%	82,8%	4,4%	5,3%
E2	8,7%	82,9%	3,2%	5,1%
E3	6,9%	84,7%	3,4%	5,0%
E4	8,0%	82,9%	3,9%	5,2%
<b>Moyenne</b>	<b>7,78%</b>	<b>83,33%</b>	<b>3,73%</b>	<b>5,15%</b>

Figure 91 : Chronologie nocturne du fonctionnement de la régulation, sur l'éolienne E4 (extrait du rapport issu de Probat inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>))



Graphique de vérification de l'arrêt de l'éolienne E4, en 2022.

Sur les 5 0002 intervalles de 10 minutes au cours desquels l'éolienne a dû être éteinte, elle a été **correctement éteinte ou s'est arrêtée dans 82,9 %**.

Dans **3,9 %** des cas, **l'arrêt n'a pas été exécuté**.

Dans **8,0 %** des intervalles de 10 minutes pendant la période d'arrêt, il n'a pas été possible de vérifier s'il y avait un arrêt obligatoire ou si le système fonctionnait en raison d'un **manque de documentation**.

### 6.3.5 Analyse des conditions météorologiques et de fonctionnement des éoliennes pour les 6 cadavres retrouvés

L'analyse croisée entre les cas de mortalité relevés au sol et l'activité de ces espèces relevée lorsque les pales tournent (activité à risque) n'a pas montré de lien évident entre ces 2 variables. En tenant compte de la totalité de l'activité relevée en nacelle, indépendamment des tours-rotor de E4, la moitié des cas de mortalité relevés est liée à une activité enregistrée en hauteur.

Il s'agit dans cette partie de rentrer plus en détail dans le fonctionnement des éoliennes (E1-E4) sur les quelques jours précédant la découverte des cadavres. Plusieurs cas sont étudiés :

- Si la rotation des pales est importante alors que la régulation devait être active, alors la mise en œuvre du bridage est à revoir, cela explique la découverte de cadavre ;

- Si la rotation des pales est nulle ou très faible alors que la régulation devait être active, alors la mise en œuvre du bridage est correcte, cela n'explique pas la découverte de cadavres.

Sont aussi regardées les conditions de vent et de température enregistrées lorsque les tours-rotors sont importants les quelques nuits précédant ces découvertes. Cela pourrait révéler un léger sous-dimensionnement ponctuel du bridage.

L'analyse se basant sur une compilation des données météo et de fonctionnement sur 10 minutes, il se peut que la situation diffère au sein de ce pas de temps.

- **Cas de mortalité de Noctule comme retrouvé le 1<sup>er</sup> août sous E2**

Les données météo et de fonctionnement ne sont pas disponibles sur la période allant du 31 juillet au 1<sup>er</sup> août. Se pose alors la question d'un problème technique momentané (perte de connexion avec le SCADA ?), qui aurait pu conduire à cette mortalité. Sur les nuits précédentes, la régulation a bien été mise en œuvre. Des vitesses de vent supérieures à 4 m/s ont également été relevées très régulièrement la nuit, avec des tours-rotor importants ; la piste d'un sous-dimensionnement ponctuel n'est pas écartée.

- **Cas de mortalité de Pipistrelle commune retrouvé le 12 août sous E2**

Sur les quelques nuits précédant la découverte du cadavre, la vitesse de vent moyenne était supérieure à 6 m/s avec des tours-rotors de 10 trs/min. Se pose la question d'un sous-dimensionnement ponctuel du pattern de régulation pour ce cas de mortalité. A propos de la mise en œuvre du pattern, la rotation des pales est nulle lorsque les conditions doivent déclencher la régulation ; elle est donc correcte.

- **Cas de mortalité de Pipistrelle de Nathusius retrouvé le 30 août sous E1**

Sur les quelques nuits précédant la découverte du cadavre, la vitesse de vent moyenne était supérieure à 6 m/s avec des tours-rotors de 10 trs/min. Se pose la question d'un sous-dimensionnement ponctuel

du pattern de régulation pour ce cas de mortalité. A propos de la mise en œuvre du pattern, la rotation des pales est nulle lorsque les conditions doivent déclencher la régulation ; elle est donc correcte.

- **Cas de mortalité de Noctule de Leisler retrouvé le 16 septembre sous E1**

Les données météo et de fonctionnement ne sont pas disponibles sur la période allant du 13 septembre au 14 septembre. Se pose alors la question d'un problème technique momentané (perte de connexion avec le SCADA ?), qui aurait pu conduire à cette mortalité. Sur les nuits précédentes, la régulation a bien été mise en œuvre. Des vitesses de vent supérieures à 6 m/s ont également été relevées très régulièrement la nuit, avec des tours-rotor importants ; la piste d'un sous-dimensionnement ponctuel n'est pas écartée.

- **Cas de mortalité de Pipistrelle de Nathusius retrouvé le 4 octobre sous E2**

Les données météo et de fonctionnement ne sont pas disponibles sur la période allant du 4 octobre au 5 octobre. Se pose alors la question d'un problème technique momentané (perte de connexion avec le SCADA ?), qui aurait pu conduire à cette mortalité. Sur les nuits précédentes, la régulation a bien été mise en œuvre en majorité. Mais quelques problèmes sont relevés avec des tours-rotors importants lorsque les conditions devaient déclencher la régulation. Cela peut être lié à l'inertie (temps de latence avant arrêt des machines) ou bien à des effets de rafale qui déclenchent momentanément les pales. Des vitesses de vent supérieures à 5 m/s ont également été relevées très régulièrement la nuit, avec des tours-rotor importants ; la piste d'un sous-dimensionnement ponctuel n'est pas écartée.

- **Cas de mortalité de Pipistrelle de Nathusius retrouvé le 19 octobre sous E4**

Sur les quelques nuits précédant la découverte du cadavre, la vitesse de vent moyenne était en limite du seuil de vent retenu (au dixième près) avec une grande variation du tour-rotor. La piste d'un très léger sous-dimensionnement ou d'un phénomène d'inertie est privilégiée.

## 6.4 Synthèse

- Suivi de la mortalité

La mortalité brute des chauves-souris a diminué entre 2020 et 2022, avec une diminution significative des mortalités de pipistrelles (espèces de lisière). En revanche, la situation est inchangée pour les noctules (espèces de haut vol) et la Pipistrelle de Nathusius (espèce de vol haut en migration transit) (cf. 3.1.6 Utilisation de l'espace par les chauves-souris et typologie des modes de vol page 20). La régulation mis en œuvre a donc très certainement permis de maîtriser les risques pour les espèces de lisière, mais elle n'est pas suffisante pour maîtriser les risques sur les espèces de vol haut et/ou migratrices.

A noter également que les cas de mortalité en 2022 sont étalés sur toute la période de suivi, tandis qu'ils étaient concentrés sur août-septembre en 2021.

- Suivi d'activité en nacelle

Les résultats de suivi d'activité sont assez similaires entre les 3 campagnes de suivi, tout comme les niveaux d'activité observés.

Le tableau page suivante permet de faire la synthèse des hypothèses qui pourraient expliquer la découverte de cas de mortalité en 2022, en période de régulation des machines.

Sur les 6 cadavres retrouvés, l'analyse des conditions météo et du fonctionnement des éoliennes n'est pas possible (données non disponibles). Cela concerne le cas de Noctule commune du 1<sup>er</sup> août, celui de la Noctule de Leisler le 16 septembre, et celui de la Pipistrelle de Nathusius le 4 octobre. Sur les 6 cadavres retrouvés, la majorité a été retrouvée sous E2 (dont les données sont indisponibles sur au moins 2 périodes). 2 autres cas sont aussi relevés sous E1, aussi concernée par ce problème technique. **La piste d'un problème technique momentané conduisant à la non-régulation ponctuelle des machines est fortement privilégiée.** Il s'agira de faire un point avec le turbinier pour étudier plus précisément cette hypothèse.

Ces analyses montrent également que **les seuils de vent retenus dans le bridage peuvent être légèrement insuffisants ponctuellement** (régulation précise à 5 m/s par exemple, mais pas de régulation à 5,1 m/s), entraînant dans certains cas, un sous-dimensionnement du pattern. Sans compter l'inertie des pales ou les effets de rafales qui peuvent affecter l'arrêt des pales.

Ces analyses ont pour objectif de lister les hypothèses possibles ou à rejeter pour comprendre pourquoi des cas de mortalité ont été relevés en période de régulation des machines. Cette analyse se basant sur des données compilées sur 10 min, il s'agit d'une analyse « grossière ».

Figure 92 : Hypothèses prises une à une pour chacun des cas de mortalité retrouvés au sol en 2022 (V : hypothèse possible ; X : hypothèse rejetée)

Cas de mortalité retrouvé	Variabilité de l'activité à risque inter-éolienne	Non-détection (collision)	Non-détection (barotraumatisme)	Sous-dimensionnement général du bridage <sup>2</sup>	Sous-dimensionnement ponctuel <sup>3</sup>	Implantation du pattern en machine erronée
Noctule commune le 01/08 sous E2	✓	X	✓	X Protection de 98% sur toute la période de suivi	✓ Vent moyen > 4 m/s Pas de données disponibles le 01/08	X Pas de données disponibles le 01/08
Pipistrelle commune le 12/08 sous E2	✓	✓	✓	X Protection de 99% sur toute la période de suivi	✓ Vent moyen > 6 m/s	X
Pipistrelle de Nathusius le 30/08 sous E1	✓	✓	✓	X Protection de 95% sur toute la période de suivi	✓ Vent moyen > 6 m/s	X
Noctule de Leisler le 16/09 sous E1	✓	X	✓	X Protection de 98% sur toute la période de suivi	✓ Vent moyen > 6 m/s	X Pas de données disponibles entre le 13-14/09
Pipistrelle de Nathusius le 04/10 sous E2	✓	✓	✓	X Protection de 95% sur toute la période de suivi	✓ Vent moyen > 5 m/s	✓ Pas de données disponibles entre le 04-05/10
Pipistrelle de Nathusius le 19/10 sous E4	X	✓	✓	X Protection de 95% sur toute la période de suivi	✓ Vent moyen > 5 m/s	✓

<sup>2</sup> croisement entre l'activité chiroptérologique relevée et les conditions qui auraient dû induire une régulation des machines

<sup>3</sup> conditions météo relevées sur quelques nuits précédant la découverte des cadavres avec un tour-rotor important, indépendamment de l'activité chiroptérologique

# 7 PROPOSITION DE MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS

## 7.1 Mesures concernant les chiroptères

Il apparaît que la régulation mise en place en 2022 semble suffisante pour limiter de façon importante l'activité à risque et est bien mise en place la grande majorité du temps.

Cependant, 6 mortalités ont été retrouvées en période de régulation des machines. Et les impacts quantitatifs et qualitatifs relevés nécessitent de revoir les mesures correctrices en place.

### 7.1.1 Vérification en interne de la mise en œuvre du bridage, analyse des éventuels problèmes techniques et suivi

L'analyse des données météo avec les données de fonctionnement des éoliennes a montré que les données n'étaient pas disponibles sur au moins 2 périodes en éolienne E2 et sur une période en éolienne E1. Il est possible que ces pertes de connexion momentanée aient conduit aux découvertes de cadavres les jours suivants. Mais il s'agit d'une hypothèse à vérifier en interne. L'exploitant fera donc un point avec le turbinier pour valider ou non cette hypothèse.

Selon les résultats, il s'agira de comprendre ce qu'il s'est passé d'un point de vue technique et d'assurer un suivi de la bonne mise en œuvre du bridage régulièrement, sur toute la période de régulation.

### 7.1.2 Modification de la mesure de régulation des machines

Plusieurs cas de mortalité pourraient être liés à un léger sous-dimensionnement du pattern (vitesse de vent au dixième supérieure ne déclenchant pas la régulation à minima) ou bien à un phénomène d'inertie (temps de latence avant arrêt des machines lorsque les conditions doivent déclencher la régulation). Si la définition de la régulation est trop fine vis-à-vis des risques de mortalité, cela pourrait conduire à des situations à risque ponctuelles.

Après discussions avec l'exploitant, il a été choisi d'augmenter le seuil de bridage de la vitesse du vent de 0,5 m/s sur les périodes à risques afin de ne pas trop affecter la production d'électricité tout en augmentant la protection de l'activité des chiroptères pour réduire la mortalité.

En 2024, le pattern de régulation pourrait donc se traduire par un arrêt automatique des éoliennes lorsque les conditions suivantes seront réunies :

- **Du 15 mars au 15 novembre :**
  - o Vitesse de vent inférieure au seuil de production (3 m/s) et,

- o Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notoire (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

ET

- **Du 15 mars au 31 juillet :**
  - o Vitesse de **vent inférieure ou égale à 4 m/s** (à hauteur de moyeu) et,
  - o Pour des **températures supérieures ou égales à 12 °C** (à hauteur de moyeu) et,
  - o De **15 min après le coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride) et,
  - o En l'absence de précipitation notoire (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).
- **Sur la période du 1<sup>er</sup> août au 30 septembre :**
  - o Pour des vitesses de **vent inférieures ou égales à 6,5 m/s**,
  - o Pour des **températures supérieures ou égales à 12 °C**,
  - o Du **coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride) et,
  - o En l'absence de précipitation notoire (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).
- **Sur la période 1<sup>er</sup> octobre au 15 novembre :**
  - o Pour des vitesses de **vent inférieures ou égales à 5,5 m/s**,
  - o Pour des **températures supérieures ou égales à 12 °C**,
  - o Du **coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil** (en tenant compte de l'éphéméride) et,
  - o En l'absence de précipitation notoire (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

Seules les périodes du 1<sup>er</sup> août au 30 septembre et du 1<sup>er</sup> octobre au 15 novembre sont modifiées, la mortalité ayant été relevée entre le 1<sup>er</sup> août et le 19 octobre.

### 7.1.3 Veiller à ne pas encourager l'installation des chiroptères au niveau des aménagements

Concernant les éoliennes, et en particulier les nacelles, sont entretenues de manière à ne pas encourager les chauves-souris à s'y installer. Tous les vides et interstices sont rendus inaccessibles aux chiroptères dans la limite des contraintes techniques. Les éoliennes sont gérées et entretenues de façon à ne pas attirer les insectes.

Concernant les postes de livraison, il conviendra de veiller à ce qu'il soit bien hermétique (non ajouré) et ne permette pas une colonisation par les chiroptères.

## 7.2 Mesure concernant l'avifaune

Du fait que la mortalité du Circaète Jean-le-Blanc soit intervenue dans un contexte de migration, hors de la zone de répartition habituelle de l'espèce, le caractère fortuit de cette mortalité ne justifie pas la mise en place d'une mesure correctrice.

### 7.2.1 Veiller à maintenir les grillages placés au niveau des caissons de ventilation

En 2021, plusieurs oiseaux avaient été retrouvés dans les caissons de ventilation des machines (cf Rapport 2021, EXEN). Pour réduire ces impacts sur l'avifaune, l'exploitant du parc éolien a fait installer des grillages au niveau des différentes ouvertures de ces caissons pour empêcher l'entrée de la faune à l'intérieur. Depuis la pose de ces grillages, nous n'avons pas retrouvé d'autres individus à l'intérieur de ces caissons.

Il s'agira de maintenir la présence de ces grillages sur toute la durée de vie du parc.

## 7.3 Mesures concernant les chiroptères et les oiseaux

### 7.3.1 Veiller à l'absence d'éclairage du parc

Parmi les mesures de réduction d'impact classiques, nous insistons sur l'importance de veiller à ce qu'aucune source lumineuse n'attire les insectes et donc la faune volante au sein du parc (au-delà du balisage aéronautique obligatoire et de l'éclairage très ponctuel destiné à la sécurité des techniciens pour les interventions au pied des éoliennes). Ce point est d'autant plus important à respecter que beaucoup des espèces contactées sur site et retrouvées sous les éoliennes ont l'habitude de venir chasser autour de lampadaires (pipistrelles, noctules...). Sur un parc éolien Aveyronnais, le taux de mortalité a chuté de façon drastique une fois l'éclairage des portes d'entrée éteintes (Beucher et Kelm 2009).

Dans le cas présent, il s'agirait de veiller à ce que la temporisation du spot lumineux soit limitée à 1 minute après chaque déclenchement. Il s'agirait aussi de veiller à ce que le champ du capteur soit ciblé sur la porte d'entrée de façon fine.

### 7.3.2 Limiter la fréquentation des chauves-souris et des oiseaux autour des éoliennes

Il s'agira d'éviter autant que possible de recréer des conditions favorables au développement d'insectes et de micromammifère dans l'entourage des éoliennes, ce qui pourrait créer de nouvelles zones de chasse et donc des niches écologiques pour les chauves-souris et les oiseaux insectivores et carnivores, notamment le Rougegorge familier et l'Hirondelle de fenêtre.

Il s'agit donc :

- De limiter la création de talus enherbés sous les éoliennes, au niveau des chemins et plateformes de levage (c'est-à-dire sous le champ de rotation des pales) ;
- De favoriser des aménagements les plus artificialisés sous les éoliennes, avec des revêtements inertes (gravillons) ne favorisant pas la repousse d'un couvert végétal ;
- D'entretenir ces aménagements par des coupes mécaniques au moins 2 fois par an dont un passage mi-mai et un autre fin juin (excluant l'utilisation de pesticides) ;
- De ne pas entreposer de tas de fumier ou de graines sous les éoliennes ;
- De ne pas créer des fosses ou autres zones où l'eau stagne sous les éoliennes.



## 9 CONCLUSION

Un suivi de la mortalité ainsi qu'un suivi acoustique en hauteur a été réalisé entre août et début novembre 2022 sur le parc éolien de Saint-Ambroix par le bureau d'étude EXEN.

### 9.1 Suivi de la mortalité des chiroptères et des oiseaux

#### 9.1.1 Concernant les chiroptères

En ce qui concerne l'activité des chiroptères, elle a été mesurée du 28 juillet au 16 novembre 2022 sur l'éolienne E4. Lors de ce suivi, les points suivants ont été observés :

- Une activité d'espèces de vol haut qui augmente et devient très régulière en fin d'été et début d'automne,
- Une présence des espèces de lisière (la Pipistrelle commune et de la Pipistrelle de Kuhl) ponctuelle, mais sous forme de pics d'activité notamment en octobre ;
- Un cortège d'espèces dominé par la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule commune ;
- Des pics d'activité très importants en fin de période automnale, notamment due à la Pipistrelle de Kuhl ;
- Une activité plus marquée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 5,5 m/s, par des températures supérieures à 12 °C et au rythme nocturne variable au cours du suivi et entre les éoliennes.

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

- 6 cas de mortalité découverts en 2022,
- 4 espèces différentes sont représentées,
- L'espèce la plus impactée est la Pipistrelle de Nathusius (3 cas),
- Le taux de mortalité est estimé à 23-55 cas par éolienne et par an.

Le niveau d'impact quantitatif est qualifié de modéré à fort et le niveau d'impact qualitatif du parc est qualifié de modéré à fort pour la Noctule commune et la Noctule de Leisler, de modéré pour la Pipistrelle de Nathusius et de faible à modéré pour la Pipistrelle commune.

#### 9.1.2 Concernant les oiseaux

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

- 5 cadavres d'oiseaux retrouvés sous les éoliennes,
- 4 espèces différentes sont représentées,
- Des mortalités en fin de période de reproduction, et en période de migration,
- Le taux de mortalité est estimé entre 16 et 25 cas par éolienne et par an.

Le niveau d'impact quantitatif est qualifié de modéré à fort ; Le niveau d'impact qualitatif du parc est variable selon les espèces : Modéré pour le Circaète Jean-le-blanc, Faible à modéré pour l'Alouette des champs, puis faible pour les autres espèces d'oiseaux.

### 9.2 Mesures correctives et perspectives

Les mesures correctives mises en place sur le parc de Saint-Ambroix semblent légèrement sous-dimensionnées pour pallier efficacement la mortalité observée sur le site. Ainsi un changement de pattern de régulation, pour la période allant du 1<sup>er</sup> août au 15 novembre a été préconisé. Il s'agira d'en apprécier l'efficacité via la reconduite d'un suivi de la mortalité couplé à un suivi d'activité en hauteur.

Il est essentiel de veiller à la bonne mise en œuvre du pattern et d'en assurer un suivi tout au long de la période de régulation.

Il conviendra également de poursuivre les mesures de réduction déjà engagées comme veiller à l'absence d'éclairage sur le parc ou limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes.

## 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.
- **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.** 2015. — *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition.* Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- **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
- **BARATAUD M.** 2015. – Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportement de chasse. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et Biodiversité), 344 p.
- **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
- **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.
- **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.
- **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*, SFPEM.
- **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.
- **DÜRR, T.** (2014). Relevé des cadavres de chiroptères. Statistique du bureau de l'environnement du Land de Brandebourg. Bilan de mars 2014.
- **EXEN** (2018). Parc éolien de Champagne Berrichonne (03) Suivi environnemental post-implantation 2017 ciblé sur les chauves-souris et sur les oiseaux. 90 p.
- **HORN, J., ARNETT, E., KUNZ, T.:** (2008) : Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. *Journal of Wildlife Management* 72(1):123-132. 2008
- **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.
- **MARMET J.** (2014) Cahier technique d'identification des chiroptères (2014)...
- **MEEDDAT** (2010) - Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. Actualisation 2010. 188p + annexes techniques.
- **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.
- **NORE T.** 1999. Vingt ans de marquage des nichées de buses variables *Buteo buteo* dans le centre de la France, *Alauda* 67, p307-318
- **ROCAMORA G., & YEATMAN-BERTHELOD D.,** (coord), 1999, Oiseaux menacés et à surveiller en France, SEOF, LPO.
- **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 J.M. ET BRETAGNOLLE V.** (2004). Rapaces nicheurs de France, Distribution, effectifs et conservation. Delachaux et Niestlé, Paris, 176 p.
- **ULDRY V.** (2013) – Comparaison entre deux détecteurs d'ultrasons automatiques (Batcorder et Batlogger) dans le domaine de l'éolien. 36 p.

## **ANNEXES**

## ANNEXE 1 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN

### FICHE DE TERRAIN MORTALITÉ

#### Suivi mortalité du parc éolien de Mareuil (Parc éolien de Saint Ambroix) (2022)

<b>Chercheur :</b>		<b>Heure début suivi :</b>		<b>Heure d'embauche :</b>		<b>Temps de pause :</b>					
<b>Date :</b>		<b>Heure fin suivi :</b>		<b>Heure de débauche :</b>		Orages depuis dernière visites ?					
<b>Durée de prospection</b>		<b>Surface prospectée (%)</b>		<b>Type 1 (%) Très facile</b>	<b>Type 2 (%) Facile</b>	<b>Type 3 (%) Moyen</b>	<b>Type 4 (%) Non prospectable</b>	<b>Assolement : culture, prairie, lande ...</b>		<b>Rq par éolienne (traces prédat, maintenance...)</b>	
<b>CONTEXTE</b>	<b>E1 (NX 86194)</b>										
	<b>E2 (NX 86195)</b>										
	<b>E3 (NX 86196)</b>										
	<b>E4 (NX 86197)</b>										
<b>DECOUVERTES IN PROTOCOLE</b>	<b>Oiseau ou Chauve-souris (OIS ou CS)</b>										
	<b>Numéro éolienne</b>										
	<b>Distance au mât</b>										
	<b>Direction au mât</b>										
	<b>Coordonnées X, Y (en Lambert 93)</b>	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :	X: Y :
	<b>Type dans lequel le cadavre a été trouvé (type 1, type 2...)</b>										
	<b>Etat (vivant, frais, avancé, sec)</b>										
	<b>Mort depuis (nb j)</b>										
	<b>Blessure (non/oui et quoi)</b>										
	<b>Espèce (ou genre...)</b>										
	<b>Taille Avant bras (mm)</b>										
	<b>Age (ad, jeune)</b>										
	<b>Sexe (male, fem) ?</b>										
	<b>Si fem allaitante? (mamelles pelées)</b>										
	<b>Si fem, gestante ?</b>										

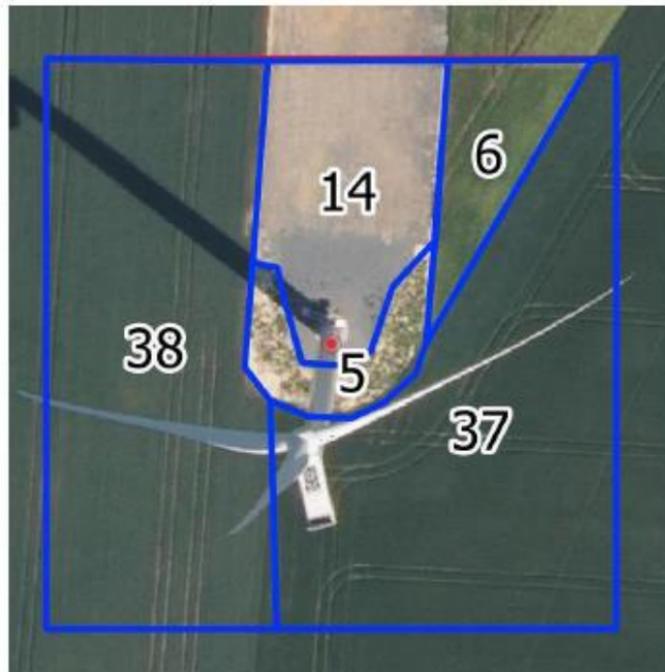
E1 NX 86194



E2 NX 86195



E3 NX 86196



E4 NX 86197



## ANNEXE 2 : DONNEES BRUTES DES RELEVES DE MORTALITE EXEN

### ▪ Chauves-souris

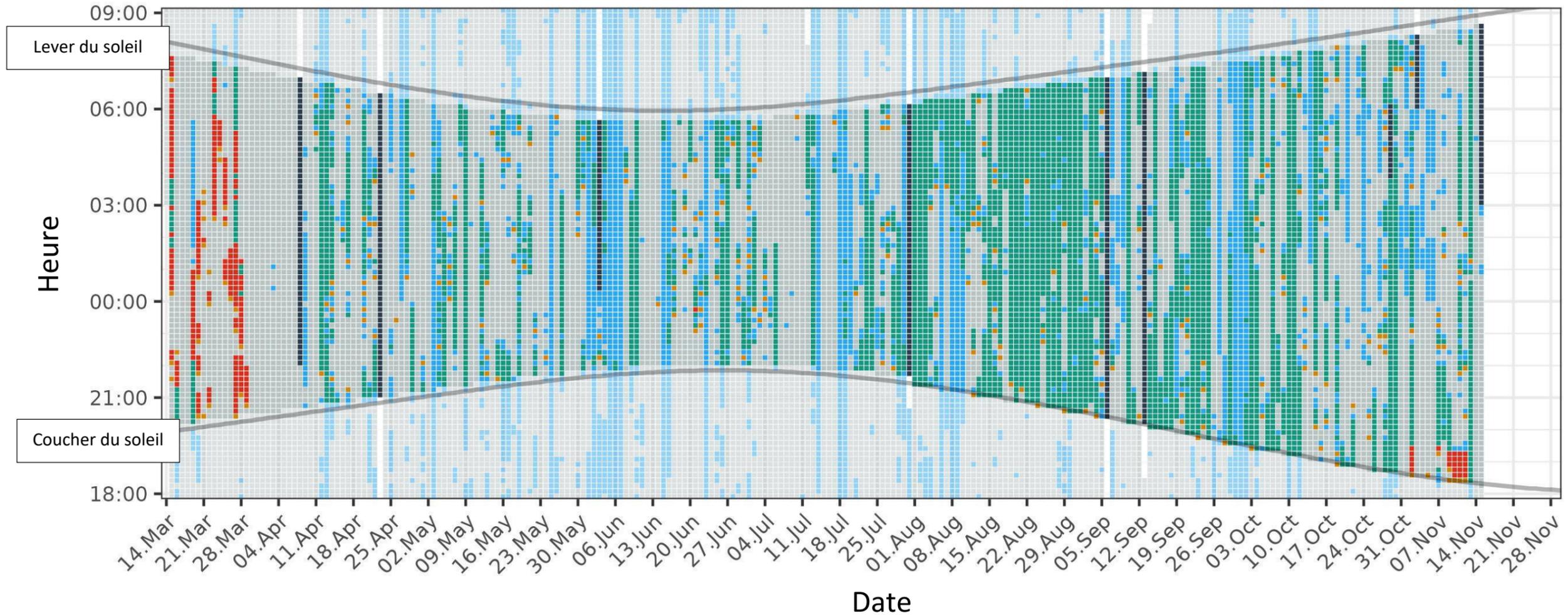
Date	Découvreur	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol	Sexe	Age	Mesure de l'avant-bras (mm)
01/08/2022	HB	cadavre	E2	12	SE	30/07/2022	Blessure bas ventre	Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Vol haut	indeterminé	Adulte	54
12/08/2022	CR	cadavre	E2	20	SO	08/08/2022		Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière			30,5
30/08/2022	EL	cadavre	E1	5	S	29/08/2022		Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Vol haut en migration/transit	femelle	Juv prob	34
16/09/2022	DC	cadavre	E1	60	SO	13/09/2022		Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Vol haut			42
04/10/2022	TL	cadavre	E2	33	S	03/10/2022		Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Vol haut en migration/transit	male		31
19/10/2022	TL	cadavre	E4	60	SO	18/10/2022		Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Vol haut en migration/transit	ind	Adulte	35

### ▪ Oiseaux

Date	Découvreur	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol
01/08/2022	HB	cadavre	E3	55	SE	26/07/2022	Fracture aile gauche et queue découpée	Circaète Jean-le-Blanc	<i>Circaetus gallicus</i>	Grand rapace
05/08/2022	CB	cadavre	E4	40	SO	01/08/2022	sectionné à l'aile	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau
05/08/2022	CB	cadavre	E4	25	S	01/08/2022	sectionné à l'aile	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau
30/09/2022	DC	cadavre	E2	1	N	30/09/2022		Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	Passereau
19/10/2022	TL	cadavre	E1	30	NO	19/10/2022		Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	Passereau

### ANNEXE 3 : CHRONOLOGIE NOCTURNE DU FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION, SUR L'ÉOLIENNE E1

(extrait du rapport issu de Probat inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>))



État de fonctionnement	Arrêt correct / Arrêt	Arrêt correct, vent insuffisant pour la production d'électricité	Hors service	Arrêt non effectué
Fonctionnement normal	L'arrêt doit être initié	Lacune dans la documentation, vérification impossible	État inconnu	

Graphique de vérification de l'arrêt de l'éolienne E1, en 2022.

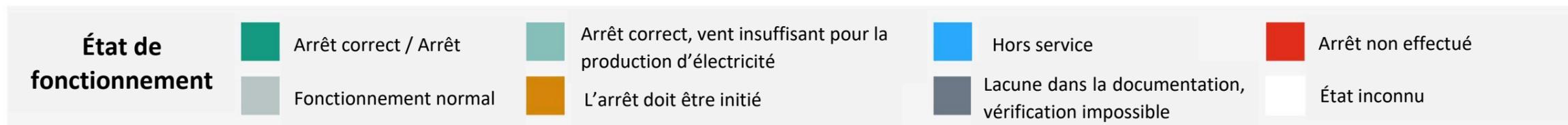
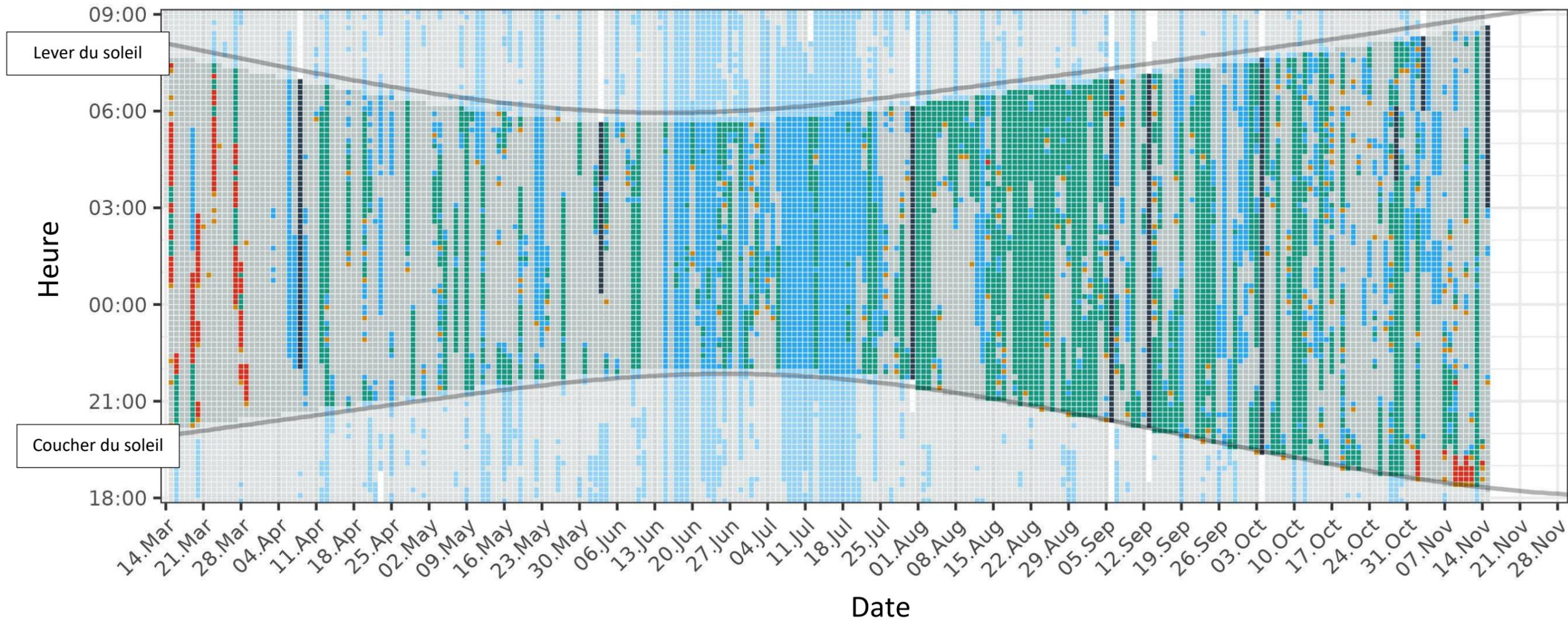
Sur les 5 120 intervalles de 10 minutes au cours desquels l'éolienne a dû être éteinte, elle a été **correctement éteinte ou s'est arrêtée dans 82,8 %**.

Dans **4,4 %** des cas, **l'arrêt n'a pas été exécuté**.

Dans **7,5 %** des intervalles de 10 minutes pendant la période d'arrêt, il n'a pas été possible de vérifier s'il y avait un arrêt obligatoire ou si le système fonctionnait en raison d'un **manque de documentation**.

## ANNEXE 4 : CHRONOLOGIE NOCTURNE DU FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION, SUR L'ÉOLIENNE E2

(extrait du rapport issu de Probat inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>))



Graphique de vérification de l'arrêt de l'éolienne E2, en 2022.

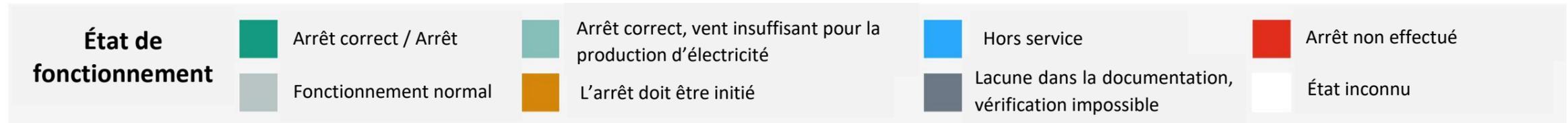
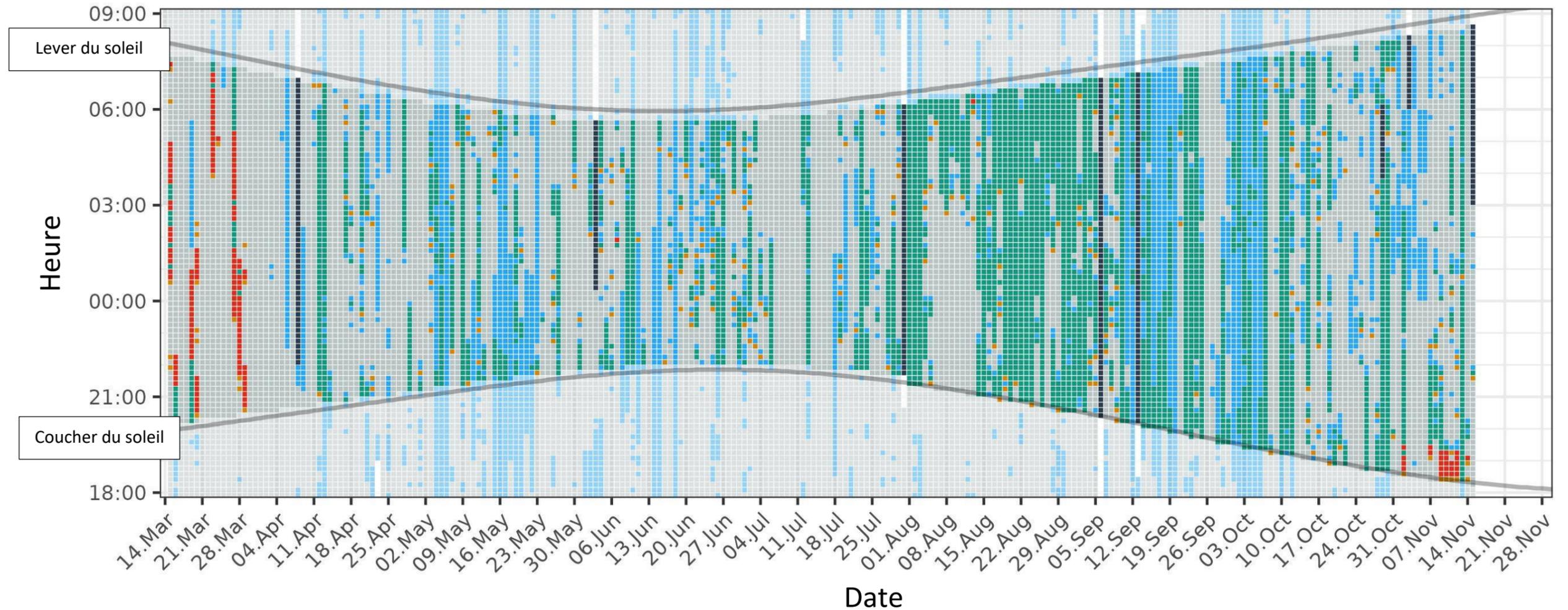
Sur les 4 624 intervalles de 10 minutes au cours desquels l'éolienne a dû être éteinte, elle a été **correctement éteinte ou s'est arrêtée dans 82,9 %**.

Dans **3,2 %** des cas, **l'arrêt n'a pas été exécuté**.

Dans **8,7 %** des intervalles de 10 minutes pendant la période d'arrêt, il n'a pas été possible de vérifier s'il y avait un arrêt obligatoire ou si le système fonctionnait en raison d'un **manque de documentation**.

## ANNEXE 5 : CHRONOLOGIE NOCTURNE DU FONCTIONNEMENT DE LA REGULATION, SUR L'ÉOLIENNE E3

(extrait du rapport issu de Probat inspector (© OekoFor GbR ; <https://oekofor.shinyapps.io/probat-inspector/>))



Graphique de vérification de l'arrêt de l'éolienne E3, en 2022.

Sur les 4 741 intervalles de 10 minutes au cours desquels l'éolienne a dû être éteinte, elle a été **correctement éteinte ou s'est arrêtée dans 84,7 %**.

Dans **3,4 %** des cas, **l'arrêt n'a pas été exécuté**.

Dans **6,9 %** des intervalles de 10 minutes pendant la période d'arrêt, il n'a pas été possible de vérifier s'il y avait un arrêt obligatoire ou si le système fonctionnait en raison d'un **manque de documentation**.