

Parc éolien de Saint-Ambroix (18)

Suivi environnemental post-implantation en 2021 ciblé sur les chauves-souris et sur les oiseaux

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux en 2021

Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle en 2021

Suivi de l'activité du Busard Saint-Martin en 2021



Mars 2022

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

Parc éolien de Saint-Ambroix (18)

Suivi environnemental post-implantation en 2021 ciblé sur les chauves-souris et sur les oiseaux

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux en 2021

Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle en 2021

Suivi de l'activité du Busard Saint-Martin en 2021

- **Visites de mortalité sur site** : A. Auguy, J. Caylet, D. Cornet, A. Comby, R. Delalleau, D. Forestier, M. Fraikin, C. Metge, T. Mouysset, L. Nazon, C. Respaud, A. Thurow
- **Visites rapaces ciblé Busard Saint-martin** : J. Caylet, A. Comby, M. Faikin, T. Mouysset, L. Nazon
- **Organisation, méthodes** : F. Albespy, Y. Beucher, A. Langlois
- **Analyse des données, interprétations** : A. Comby, S. Dervaux, X. Nardou
- **Rédaction, relecture** : A. Comby, S. Dervaux, X. Nardou, A. Langlois, J. Mougnot

Mars 2022

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3	4.2. METHODOLOGIE	30
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	6	4.2.1 Choix d'une méthode standardisée	30
1. OBJET.....	9	4.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites.....	30
2. CONTEXTE.....	9	4.2.3 Choix des éoliennes suivies	32
3. SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHAUVES-SOURIS EN HAUTEUR	12	4.2.4 Organisation des parcours de prospection	32
3.1. METHODOLOGIE	12	4.2.5 Recueil des données et destination des cadavres	36
3.1.1 Suivi automatisé en continu (passif) : généralités et organisation.....	12	4.2.6 Détermination des coefficients correcteurs.....	36
3.1.2 Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E4.....	12	4.2.6.1 Organisation générale	36
3.2. LIMITES DE LA METHODOLOGIE	14	4.2.6.2 Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »).....	37
3.2.1 Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle).....	14	4.2.6.3 Tests de disparition (ou « test de persistance »).....	38
3.2.2 Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces	14	4.2.6.4 Coefficient surfacique.....	38
3.2.3 Une détection divergente selon les espèces.....	15	4.2.7 Calculs du taux de mortalité	39
3.2.4 Autres limites de détection acoustique	16	4.3. BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS.....	40
3.3. RESULTATS DU SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES.....	18	4.3.1 Bilan des mortalités par éolienne.....	40
3.3.1 Cortège d'espèces	18	4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris.....	40
3.3.2 Evolution saisonnière de l'activité par espèce (ou groupe d'espèces).....	20	4.3.3 Typologie des cadavres découverts.....	43
3.3.3 Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle E4	22	4.3.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce	43
3.3.4 Influence de la vitesse du vent.....	25	4.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne.....	44
3.3.5 Influence de la direction du vent	26	4.3.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	45
3.3.6 Influence de la température.....	27	4.3.3.4 Interprétation par espèce (phénologie, comportement de vol...)	47
3.3.7 Rythme d'activité nocturne.....	28	4.3.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes	49
3.3.8 Saisonnalité.....	29	4.3.5 Taux de mortalité des chauves-souris	50
4. SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX.....	30	4.3.5.1 Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2021.....	50
4.1. OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE.....	30	4.3.5.2 Les formules utilisées	51
		a) Winkelmann (2005)	51

b) Erickson (2000)	51	c) Coefficient de correction surfacique	69
c) Jones (2009).....	51	4.4.5.4 Méthodes de calcul employées	69
d) Huso (2010).....	52	4.4.5.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »).....	70
4.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	53	4.4.5.6 Calculs de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »).....	71
a) Taux de détection.....	53	4.4.5.7 Calcul de mortalité avec l'application Shiny « EolApp »	72
b) Taux de persistance	53	4.4.5.8 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2021	72
c) Coefficient de correction surfacique	55	5. EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE SAINT-AMBROIX	73
4.3.5.4 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »).....	56	5.1. CONCERNANT LES CHIROPTERES	73
4.3.5.5 Calculs de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »).....	57	5.1.1 Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens	73
4.3.5.6 Calcul de mortalité avec l'application Shiny « EolApp »	57	5.1.2 Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères.....	74
4.3.5.7 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2021	58	5.2. CONCERNANT LES OISEAUX	76
4.4. BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX	59	5.2.1 Analyse quantitative des impacts sur les oiseaux.....	76
4.4.1 Bilan des mortalités par éolienne.....	59	5.2.2 Analyse qualitative des impacts sur les oiseaux.....	76
4.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux.....	59	6. BILAN DE L'EFFICACITE DES MESURES DE MAITRISES DES RISQUES EN 2021	78
4.4.3 Typologie des cadavres découverts	61	6.1. CONFRONTATION ENTRE MORTALITES ET ACTIVITE DES CHIROPTERE EN NACELLE E4	78
4.4.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce.....	61	6.2. DONNEES BRUTES ET ESTIMATIONS DU TAUX DE MORTALITE	78
4.4.3.2 Relation espèce / éolienne.....	62	6.3. ANALYSE DES PARAMETRES DE REGULATION	81
4.4.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	63	➤ Concernant la plage de fonctionnement des mesures de régulation.....	81
4.4.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes	66	➤ Concernant le seuil de vitesse de vent	81
4.4.5 Taux de mortalité des oiseaux.....	67	➤ Concernant le seuil de température.....	81
4.4.5.1 Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2021	67	➤ Concernant les horaires de fonctionnement au cours de la nuit	81
4.4.5.2 Les formules utilisées	68	7. MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS.....	84
4.4.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	68	7.1. CONCERNANT LES CHIROPTERES	84
a) Taux de détection.....	68	7.1.1 Mesure de régulation de l'activité des éoliennes	84
b) Taux de persistance	68	7.2. CONCERNANT LES OISEAUX	87

7.2.1	Mesure d'accompagnement en faveur de la nidification des passereaux nicheurs de milieux ouverts.....	87
7.3.	CONCERNANT LES CHAUVES-SOURIS ET LES OISEAUX	88
7.3.1	Veiller à l'absence d'éclairage du parc	88
7.3.2	Autres mesures pour limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes.....	88
8.	MESURES REGLEMENTAIRES.....	89
8.1.	SUIVI DE LA MORTALITE	89
8.2.	SUIVI D'ACTIVITE EN NACELLE	89
	BIBLIOGRAPHIE.....	90
	ANNEXES	91
	ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES DE MORTALITE.....	92
	ANNEXE 2 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN	93

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien sur fond de carte IGN.....	10	Figure 16 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce relevée en nacelle d'éolienne E4, avec précision des heures de coucher et lever de soleil pour les pics d'activité relevés proches de ces derniers	24
Figure 2 : Carte de la localisation du parc sur fond de carte orthophotographique.....	11	Figure 17 : 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 2021 en nacelle d'éolienne)	25
Figure 3 : Clichés de positionnement du module Batcorder à l'intérieur de l'éolienne.....	12	Figure 18 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E4	26
Figure 4 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes	12	Figure 19 : 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	27
Figure 5 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)	13	Figure 20 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E4 (en 2021)	28
Figure 6 : Synthèse des plages de fonctionnement du module en continu en éolienne E4, et nombre d'enregistrements	14	Figure 21 : 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	28
Figure 7 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie >30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »).....	15	Figure 22 : Activité journalière moyenne (en seconde d'activité) relevée selon les espèces contactées et par demi-mois, corrigée selon le nombre de jours d'enregistrement (E4)	29
Figure 8 : Liste des espèces de chiroptères par ordre d'émission décroissante, avec distances de détection et coefficient de détectabilité selon qu'elles évoluent en milieu ouvert ou en sous-bois (Barataud, 2015)	15	Figure 23 : Calendrier de ciblage des périodes de suivi les plus judicieuses dans le contexte local	31
Figure 9 : Analyse comparative des capacités de détection des principaux enregistreurs à ultrasons, selon la distance, l'angle d'émission et les différentes plages de fréquences ultrasonores (Adams & al. 2012)	16	Figure 24 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique	32
Figure 10 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours des suivis en continu (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine).....	18	Figure 25 : Carte de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes.....	34
Figure 11 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevées au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E4 (En haut détail par espèce, en bas par groupe de vol)	19	Figure 26 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris	36
Figure 12 : Tableau de continuité de présence de chaque espèce (ou groupe d'espèces) au cours du suivi en continu en 2021, basée sur les données enregistrées en nacelle d'éolienne E4 (en secondes d'activité par quinzaine) (Mars-2 : Deuxième quinzaine du mois de mars ; les couleurs sont arbitraires mais les couleurs foncées représentent un niveau d'activité plus important)	21	Figure 27 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection	37
Figure 13 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience EXEN).....	22	Figure 28 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées	37
Figure 14 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de plus forte activité relevées en période estivale en 2021	23	Figure 29 : Détail du nombre de tests à effectuer et de poussins à utiliser pour les tests de disparition en fonction de la taille du parc éolien	38
Figure 15 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de pics d'activité relevées en période automnale en 2021	23	Figure 30 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2021 et répartition par éolienne.....	40
		Figure 31 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii) par un couple de Nécrophore chasseur (Necrophorus investigator), sous un autre parc	41
		Figure 32 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2021	42

<i>Figure 33 : Chronologie des mortalités de chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2021.....</i>	<i>43</i>	<i>Figure 53 : Bilan des mortalités d'oiseaux constatées en 2021 et répartition par éolienne</i>	<i>59</i>
<i>Figure 34 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces de chauves-souris retrouvées sous les éoliennes.....</i>	<i>43</i>	<i>Figure 54 : Chronologie des mortalités d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2021 (les dates de mortalité pour les plumées sont représentées par des périodes).....</i>	<i>60</i>
<i>Figure 35 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2021</i>	<i>44</i>	<i>Figure 55 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2021</i>	<i>61</i>
<i>Figure 36 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2021</i>	<i>44</i>	<i>Figure 56 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes</i>	<i>61</i>
<i>Figure 37 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (d'après les dates de mortalité estimée) en 2021</i>	<i>46</i>	<i>Figure 57 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2021.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 38 : Cliché de la Pipistrelle commune découverte le 23 août 2021 sous l'éolienne E4</i>	<i>47</i>	<i>Figure 58 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2021.....</i>	<i>62</i>
<i>Figure 39 : Cliché de la Noctule commune découverte le 23 août 2021 sous l'éolienne E4.....</i>	<i>47</i>	<i>Figure 59 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (d'après les dates de mortalité estimées) en 2021 (pour les plumées, les dates de mortalité sont matérialisées sous forme de période)</i>	<i>63</i>
<i>Figure 40 : Cliché de la Noctule de Leisler découverte le 06 septembre 2021 sous l'éolienne E1.....</i>	<i>48</i>	<i>Figure 60 : Cliché du cadavre d'Alouette des champs retrouvé sous l'éolienne E4 le 02 novembre 2021 .</i>	<i>64</i>
<i>Figure 41 : Graphique de répartition des cadavres de 2021 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne</i>	<i>49</i>	<i>Figure 61 : Cliché du cadavre de Bergeronnette printanière retrouvé sous l'éolienne E1 le 09 août 2021</i>	<i>64</i>
<i>Figure 42 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de prospection et nombre total de cadavres de chauves-souris découverts sous les éoliennes)</i>	<i>50</i>	<i>Figure 62 : Cliché du cadavre de Gobemouche noir retrouvé sous l'éolienne E1 le 19 août 2021</i>	<i>64</i>
<i>Figure 43 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d</i>	<i>53</i>	<i>Figure 63 : Cliché de la plumée de Pigeon ramier retrouvé sous l'éolienne E4 le 05 octobre 2021</i>	<i>65</i>
<i>Figure 44 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance (en orange, le nombre de poussins restant supposés).....</i>	<i>53</i>	<i>Figure 64 : Graphique de répartition des cadavres de 2021 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne.....</i>	<i>66</i>
<i>Figure 45 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après l jours »</i>	<i>54</i>	<i>Figure 65 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres d'oiseaux découverts sous les éoliennes).....</i>	<i>67</i>
<i>Figure 46 : Paramètres de calcul du coefficient surfacique</i>	<i>55</i>	<i>Figure 66 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d.....</i>	<i>68</i>
<i>Figure 47 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul</i>	<i>56</i>	<i>Figure 67 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance (en orange, le nombre de poussins restant supposés)</i>	<i>68</i>
<i>Figure 48 : Résultats des calculs de taux de mortalité des chauves-souris pour le suivi 2021 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....</i>	<i>57</i>	<i>Figure 68 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après l jours ».....</i>	<i>69</i>
<i>Figure 49 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul.....</i>	<i>57</i>	<i>Figure 69 : Tableau détaillant les valeurs permettant de calculer le coefficient de correction surfacique pour les oiseaux</i>	<i>69</i>
<i>Figure 50 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2021 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....</i>	<i>57</i>	<i>Figure 70 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul.....</i>	<i>70</i>
<i>Figure 51 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp ».....</i>	<i>58</i>	<i>Figure 71 : Résultats des calculs de taux de mortalité des oiseaux pour le suivi 2021 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....</i>	<i>71</i>
<i>Figure 52 : Sortie de l'application Shiny EolApp, Taux de mortalité pour le parc éolien de Saint-Ambroix en 2021 (IC : intervalle de confiance).....</i>	<i>58</i>	<i>Figure 72 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul</i>	<i>71</i>

<i>Figure 73 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2021 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....</i>	<i>71</i>	<i>Figure 90 : Cliché de la Bergeronnette grise retrouvée le 17 août 2021 au niveau de l'éolienne E2. Le deuxième cliché représente les passages de câbles au niveau de ces caissons ayant pu permettre le passage de l'oiseau.....</i>	<i>87</i>
<i>Figure 74 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp ».....</i>	<i>72</i>	<i>Figure 91 : Cliché d'un nid de Bergeronnette grise dans le caisson de ventilation de l'éolienne E2.....</i>	<i>87</i>
<i>Figure 75 : Sortie de l'application Shiny EolApp, Taux de mortalité pour le parc éolien de Saint-Ambroix en 2021 (IC : intervalle de confiance).....</i>	<i>72</i>	<i>Figure 92 : Exemple de nichoir semi-ouvert adapté à la nidification de la Bergeronnette grise (image : nichoir-detournerie.com).....</i>	<i>87</i>
<i>Figure 76 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE).....</i>	<i>73</i>	<i>Figure 93 : Planning prévisionnel du suivi de la mortalité pour 2022.....</i>	<i>89</i>
<i>Figure 77 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE). 74</i>			
<i>Figure 78 : Niveau d'intensité des risques de mortalité (en vert les espèces identifiées avec certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol).....</i>	<i>75</i>		
<i>Figure 79 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010).....</i>	<i>75</i>		
<i>Figure 80 : Évaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix 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) 75</i>			
<i>Figure 81 : Chronologie de l'activité chiroptérologique réellement à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (tour rotor > 0) et de la mortalité constatée en 2021.....</i>	<i>79</i>		
<i>Figure 82 : Chronologie de l'activité chiroptérologique réellement à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (tour rotor > 0) et de la mortalité constatée en 2021 (échelle adaptée pour une meilleure lisibilité du graphique).....</i>	<i>80</i>		
<i>Figure 83 : Activité réellement à risque (tour >0) constatée en 2021 (activité comparée à l'activité de l'éolienne seulement).....</i>	<i>83</i>		
<i>Figure 84 : Activité restante théoriquement à risque avec le pattern de régulation préconisé en 2021 (activité comparée aux conditions météorologiques sans tenir compte de l'activité de l'éolienne).....</i>	<i>83</i>		
<i>Figure 85 : Tableau qui résume l'activité protégée par le pattern préconisé.....</i>	<i>84</i>		
<i>Figure 86 : Tableau qui résume l'activité protégée par le pattern actuel.....</i>	<i>84</i>		
<i>Figure 87 : Représentation de l'activité cumulée à risque par groupe de vol et tous groupes de vol confondus (le graphique de gauche présente une échelle adaptée pour une meilleure lisibilité).....</i>	<i>85</i>		
<i>Figure 88 : Activité restante théoriquement à risque avec le pattern actuellement en place (sur la base de l'activité chiroptérologique 2021).....</i>	<i>86</i>		
<i>Figure 89 : Activité restante théoriquement à risque avec le pattern ayant subi des modification sur le seuil de vitesse de vent principalement.....</i>	<i>86</i>		

1.OBJET

La société VSB Energies Nouvelles exploite le 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 2021, 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 2021 fait suite à un premier suivi post-implantation réalisé en 2020 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 suivis de 2020 et 2021 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.

En 2020, le parc éolien de Saint-Ambroix avait affecté 13 chauves-souris de 3 espèces différentes, dont des espèces de lisières (Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl) et une espèce de haut-vol patrimoniale (Noctule commune). 5 cas de mortalité d'oiseaux avaient aussi été relevés sous les éoliennes du parc, concernant la Perdrix grise, le Busard Saint-Martin, le Bruant jaune, l'Alouette des champs et une alouette indéterminée. Les calculs des taux de mortalité des oiseaux et des chiroptères avaient indiqué des niveaux d'impacts non négligeables, et plusieurs mesures avaient été préconisées. Parmi ces mesures, la mise en place d'un plan de bridage visant à arrêter les éoliennes la nuit selon certaines conditions de vent pour couvrir une grande partie de l'activité en hauteur des chiroptères avait été préconisée. Ce plan de bridage est le suivant, et concerne **sur toutes les éoliennes** :

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).

Du fait du délai d'implémentation du plan de bridage au niveau des machines, ce bridage a effectivement été appliqué au cours de l'année 2021 mais seulement à partir du 29 juillet, permettant toutefois de couvrir la période identifiée comme la plus à risques pour les chiroptères sur ce site.

Au vu des impacts qualitatifs sur les oiseaux, et notamment sur le Busard Saint-Martin, un suivi spécifique de l'utilisation du site par le Busard Saint-Martin avait aussi été préconisé pour l'année 2021. En parallèle, un nouveau suivi de la mortalité et de l'activité des chiroptères en hauteur devait aussi être réalisé pour évaluer l'efficacité du plan de bridage et affiner les niveaux d'impacts du parc éolien.

Les mesures préconisées en 2020 ont toutes été appliquées en 2021. **L'objet du présent rapport est donc de faire la synthèse des différents suivis réalisés cette année** (suivi de la mortalité de la faune volante, de l'activité des chiroptères et de l'activité du Busard Saint-Martin), et de mettre en perspective ces résultats avec ceux obtenus lors du suivi de mortalité de 2020. Il s'agit en particulier **d'évaluer l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix sur la faune volante et l'efficacité des mesures de réduction des risques mises 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 climatiques...), 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**.

2.CONTEXTE

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 (Figure 1). Le parc se situe dans un contexte entièrement agricole consacré aux grandes cultures (céréales, colza, maïs, tournesol...) (Figure 2). 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 Mareuil-sur-Arnon et Saint-Ambroix. Aucune habitation ni ferme n'est présente 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 sur fond de carte IGN

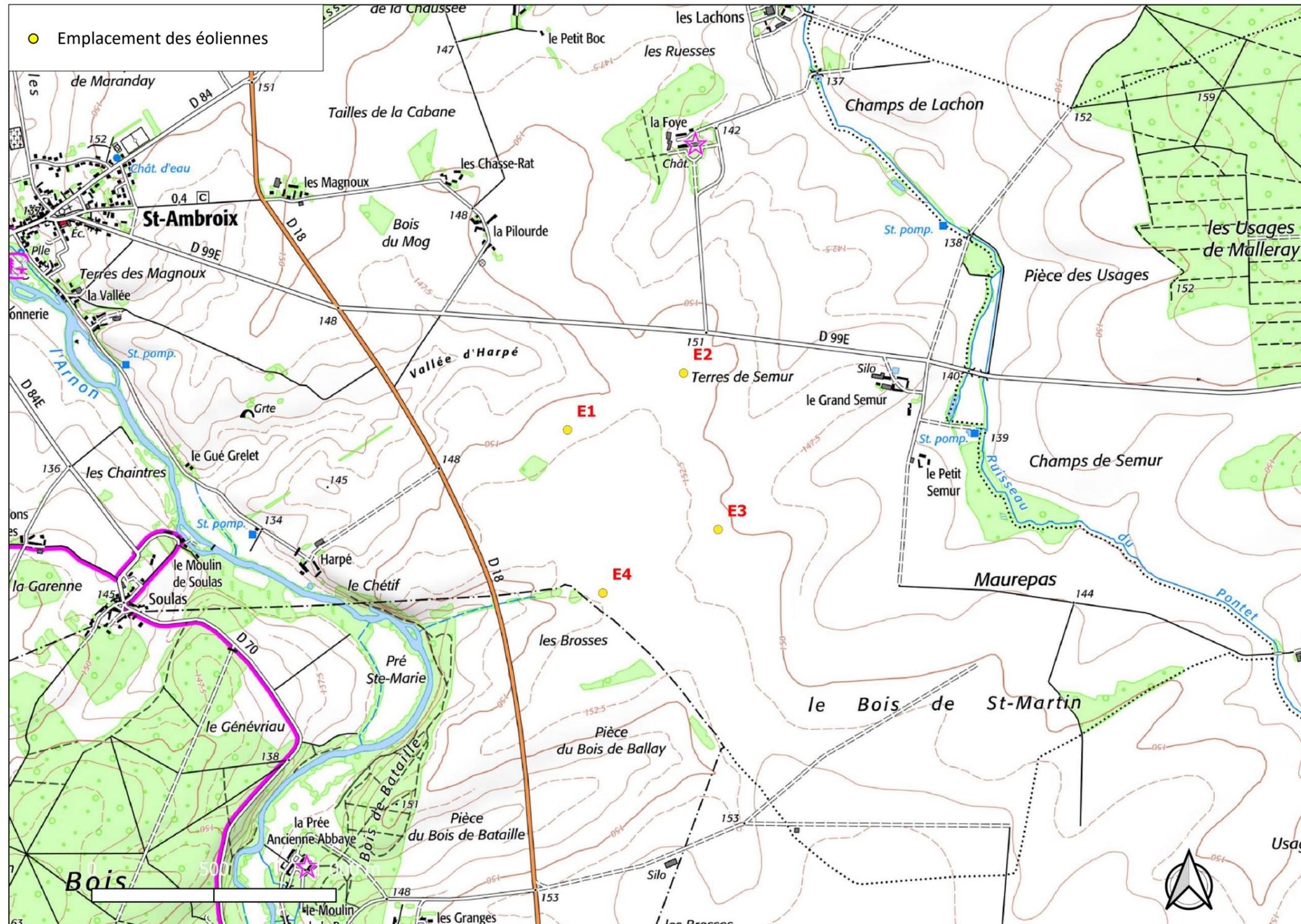


Figure 2 : Carte de la localisation du parc sur fond de carte orthophotographique



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

3.1. Méthodologie

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

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

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

Au-delà de la prise en compte des biais d'échantillonnage temporel ou altitudinal, reste la question de l'échantillonnage géographique. L'activité des chauves-souris s'organise aussi en fonction de la configuration du site, des types de milieux, des corridors de lisières, du contexte topographique et des phénomènes d'aérologie et donc plus largement des fonctionnalités des différents secteurs pour les chiroptères. Il n'était toutefois pas envisagé d'installer un enregistreur automatique d'ultrasons sur chacune des éoliennes du parc éolien.

L'éolienne choisie en 2021 pour l'installation du Batcorder fut l'éolienne E4. Le suivi de l'activité des chauves-souris en hauteur s'est étalé du 17 mars au 24 novembre 2021. Le suivi en continu a donc permis de couvrir la période printanière, estivale et automnale en 2021.

3.1.2 Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E4

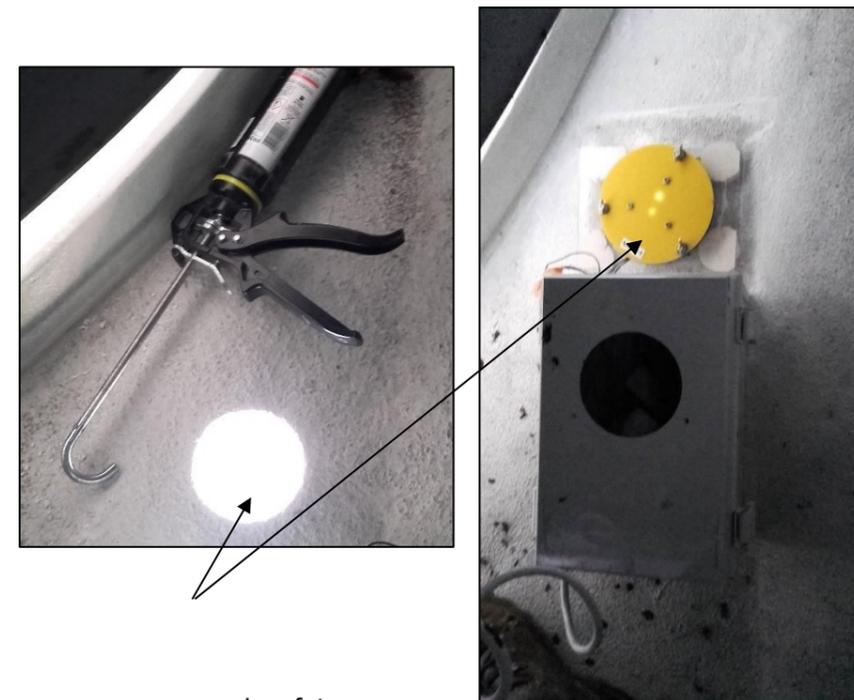
Pour suivre l'activité des chauves-souris en parallèle de la mortalité, un détecteur/enregistreur d'ultrasons de type *Batcorder* (1.0) a été utilisé au niveau de l'éolienne. Au-delà de la qualité du matériel et des

enregistrements acoustiques, ce type de matériel présente en effet différents modules et paramétrages possibles selon la destination du boîtier, et bénéficie dans tous les cas, de capacités d'autonomie pour des suivis en continu et de contrôles à distance très avantageuses par rapport aux autres systèmes aujourd'hui sur le marché.

Au niveau de l'éolienne E4, il s'agissait de caractériser l'activité des chauves-souris dans la zone de rotor de l'éolienne (principalement dans un demi-espace inférieur). Un module spécial éoliennes (WKA) est proposé par la société *Eco Obs* comprenant :

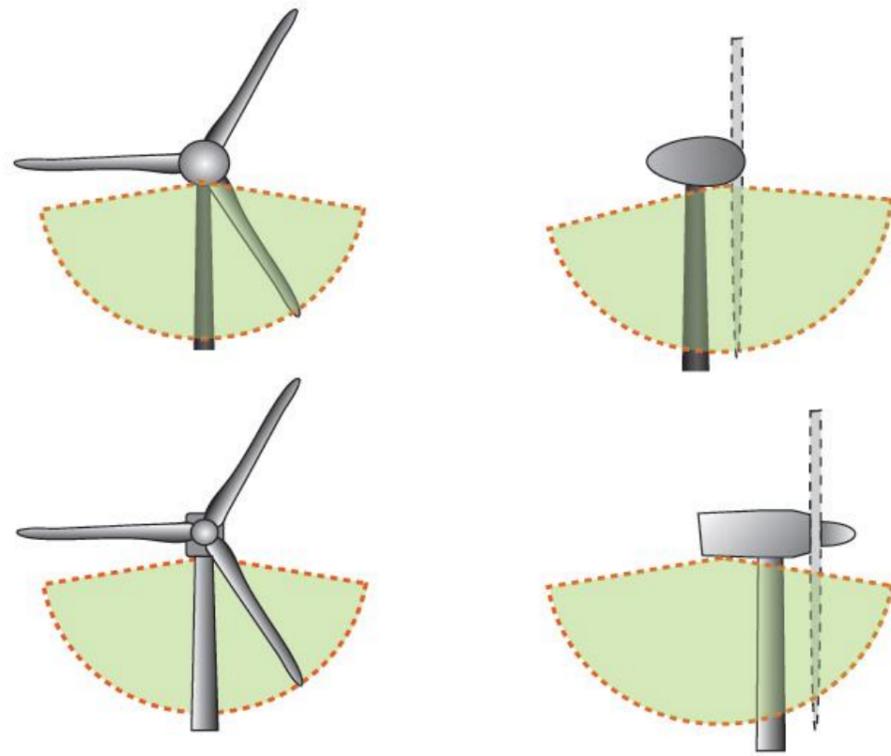
- une alimentation en 220V sur éolienne,
- une batterie de secours,
- un boîtier GSM permettant un contrôle à distance quotidiennement (envoi automatisé de SMS),
- un micro multidirectionnel adapté à la structure de nacelles en fibre de verre (micro disk qui traverse la paroi de la nacelle),
- un système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

Figure 3 : Clichés de positionnement du module Batcorder à l'intérieur de l'éolienne



Trou permettant de faire passer le micro du module Batcorder autonome

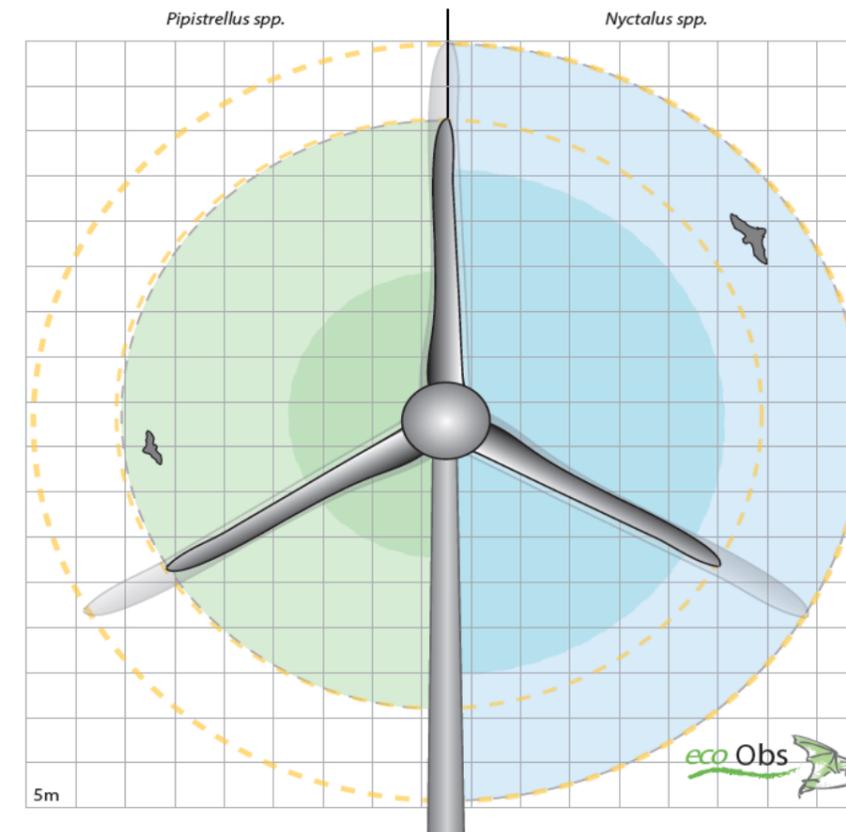
Figure 4 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes



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

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

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



Un autre intérêt du système Batcorder réside aussi dans la facilité d'analyse des données, ce qui est particulièrement appréciable pour des plages d'enregistrements de plusieurs dizaines de milliers de séquences lorsque c'est le cas. Les séquences sonores des chauves-souris ont été enregistrées et sauvegardées numériquement sur une carte SDHC. Ces enregistrements sont ensuite gérés et traités par les logiciels *bcAdmin* et *bcIdent*. Les espèces sont déterminées par comparaison statistique des ultrasons enregistrés avec les références d'une large sonotèque d'espèces du Paléarctique occidental. Le logiciel libre « R » est l'outil d'interface statistique utilisé à cet égard. Dans un premier temps, si l'analyse automatique ne permet pas de déterminer l'espèce pour tous les contacts, un classement des enregistrements est proposé par groupe d'espèces en fonction de la typologie des signaux. L'analyse manuelle ultérieure de sons isolés est réalisée par la suite également très facilement grâce aux nombreuses fonctions du logiciel *bcAnalyze 2*. L'ensemble des outils proposés par EcoObs prennent régulièrement en compte l'évolution de la connaissance sur l'écologie acoustique des chiroptères en Europe et notamment en France. De plus, au-delà des veilles et mises à jour régulières des paramètres d'analyse et des sons de références, plusieurs plugins proposent notamment une corrélation rapide des données d'activité des chiroptères avec les données climatiques enregistrées sur l'éolienne.

Figure 6 : Synthèse des plages de fonctionnement du module en continu en éolienne E4, et nombre d'enregistrements

Nom	Date d'intervention	Type d'intervention	Nombre total de séquence enregistrée	Nombre de séquences enregistrée correspondant à des chiroptères
BC modèle 1.0 N°773	17/03/2021	Installation	4959	3230
	23/03/2021	Changement de sensibilité (-24 ---> -36)		
	24/11/2021	Désinstallation		

Cela représente un total de 4959 données ultrasonores à analyser dont 3230 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).

Finalement, à propos de la mise en place du suivi au niveau de l'éolienne E4, le système a ainsi pu fonctionner chaque nuit de la **période allant du 17 mars au 24 novembre 2021. Finalement, le suivi d'activité en hauteur a permis de suivre 251 nuits.**

3.2. Limites de la méthodologie

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

3.2.1 Suivi passif (Batacorder depuis la nacelle)

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

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

Avec une position à hauteur de moyeu (99 m), on peut penser que cette hauteur permet globalement de s'affranchir des risques de contacts de pipistrelles évoluant proches du sol ou le long des lisières (portée d'écholocation de l'ordre de 30 à 40 m). Cela permet théoriquement de distinguer une activité de lisières sous les éoliennes d'une activité de plein ciel. Autrement dit, pour les pipistrelles, les contacts enregistrés

au niveau du Batcorder devraient plutôt témoigner d'une activité de prise d'altitude, comportement révélateur d'une situation particulière (conditions climatiques, phénomène d'aérodynamique, émergence d'insectes...) et qu'il est particulièrement important à prendre en compte pour quantifier les risques ponctuels vis-à-vis d'un projet éolien.

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

3.2.2 Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces

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

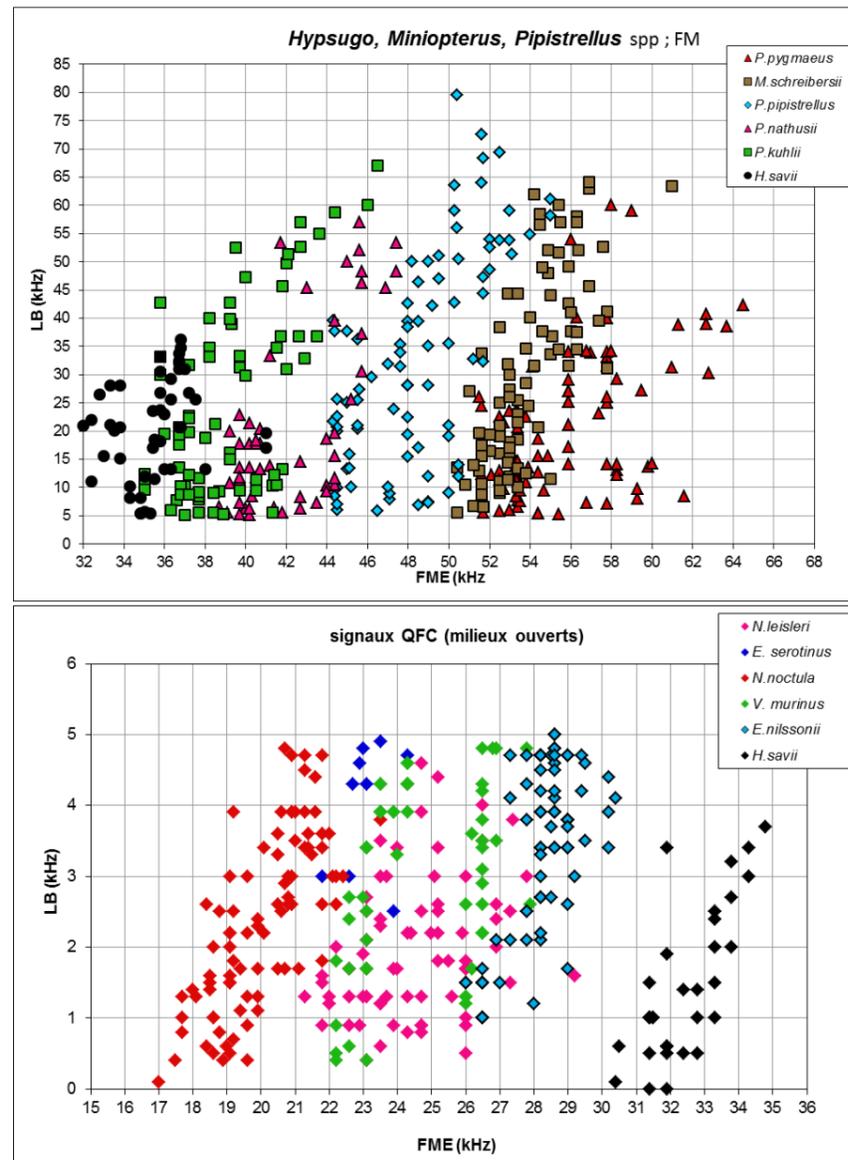
Toutefois, il faut reconnaître que certaines d'entre elles émettent des ultrasons à des fréquences très proches, et aux caractéristiques acoustiques comparables dans certaines conditions. C'est par exemple le cas des difficultés de différenciation entre *Myotis* et *Myotis blythii* (Barataud, 2015).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

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

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

3.2.3 Une détection divergente selon les espèces

Figure 7 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie >30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »)



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

Figure 8 : 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	Rhinolophus hipposideros	5	5,00	Très faible à faible	Rhinolophus hipposideros	5	5,00
	Rhinolophus ferr./eur./meh.	10	2,50		Plecotus spp.	5	5,00
	Myotis emarginatus	10	2,50		Myotis emarginatus	8	3,13
	Myotis alcathoe	10	2,50		Myotis nattereri	8	3,13
	Myotis mystacinus	10	2,50		Rhinolophus ferr./eur./meh.	10	2,50
	Myotis brandtii	10	2,50		Myotis alcathoe	10	2,50
	Myotis daubentonii	15	1,67		Myotis mystacinus	10	2,50
	Myotis nattereri	15	1,67		Myotis brandtii	10	2,50
	Myotis bechsteinii	15	1,67		Myotis daubentonii	10	2,50
	Barbastella barbastellus	15	1,67		Myotis bechsteinii	10	2,50
Moyenne	Myotis blythii	20	1,25	Barbastella barbastellus	15	1,67	
	Myotis myotis	20	1,25	Myotis blythii	15	1,67	
	Plecotus spp.	20	1,25	Myotis myotis	15	1,67	
	Pipistrellus pygmaeus	25	1,00	Pipistrellus pygmaeus	20	1,25	
	Pipistrellus pipistrellus	25	1,00	Miniopterus schreibersii	20	1,25	
	Pipistrellus kuhlii	25	1,00	Pipistrellus pipistrellus	25	1,00	
	Pipistrellus nathusii	25	1,00	Pipistrellus kuhlii	25	1,00	
Forte	Miniopterus schreibersii	30	0,83	Pipistrellus nathusii	25	1,00	
	Hypsugo savii	40	0,63	Hypsugo savii	30	0,83	
	Eptesicus serotinus	40	0,63	Eptesicus serotinus	30	0,83	
Très forte	Eptesicus nilssonii	50	0,50	Eptesicus nilssonii	50	0,50	
	Eptesicus isabellinus	50	0,50	Eptesicus isabellinus	50	0,50	
	Vespertilio murinus	50	0,50	Vespertilio murinus	50	0,50	
	Nyctalus leisleri	80	0,31	Nyctalus leisleri	80	0,31	
	Nyctalus noctula	100	0,25	Nyctalus noctula	100	0,25	
	Tadarida teniotis	150	0,17	Tadarida teniotis	150	0,17	
Nyctalus lasiopterus	150	0,17	Nyctalus lasiopterus	150	0,17		

3.2.4 Autres limites de détection acoustique

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

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

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

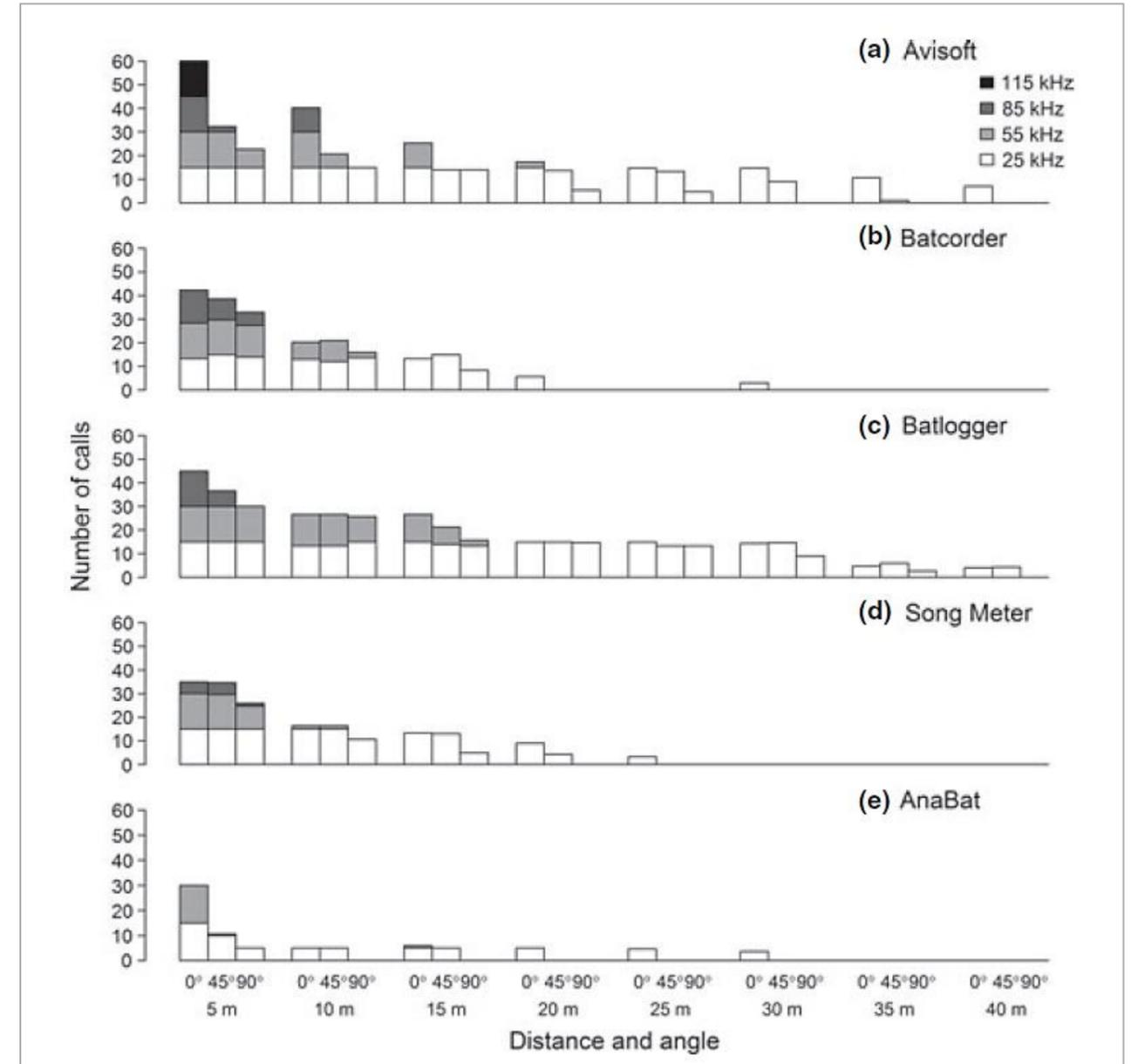
- les limites liées à la qualité et à la fréquence de recalibrage des micros,
- leur volume de détection (cône de détection) et à leur caractère directionnel ou multidirectionnel,
- les paramétrages retenus (filtres des basses ou hautes fréquences, durée d'enregistrement depuis le déclenchement),
- les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

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

En ce qui concerne plus particulièrement le Batcorder, **c'est en parfaite conscience de ses limites que nous avons décidé de choisir ce matériel**. Les diverses études comparatives qui ont testé l'efficacité de détection ultrasonore des différents enregistreurs automatiques disponibles sur le marché (Batacorder, SM2, SM3, Avisoft, Batlogger, Anabat, Petterson...) montrent que tous les produits ne restituent qu'une vision partielle plus ou moins importante de l'activité ultrasonore émise dans leur environnement. La figure suivante (ADAMS, 2012) montre que le Batcorder présente une capacité de détection à distance théoriquement globalement moins bonne que celle du Batlogger ou des systèmes Avisoft. Mais ces deux produits présentent des contraintes techniques très importantes pour des suivis sur le long terme (ULDRY

V., 2013), nécessitant des opérations de maintenance régulières et une difficulté majeure à la perception de problèmes à distance.

Figure 9 : Analyse comparative des capacités de détection des principaux enregistreurs à ultrasons, selon la distance, l'angle d'émission et les différentes plages de fréquences ultrasonores (Adams & al. 2012)



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

sur 8 mois d'affilée depuis un mât de mesure, le haut d'un arbre ou une nacelle d'éolienne presque sans aucune intervention humaine.

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

3.3. Résultats du suivi de l'activité des chiroptères

3.3.1 Cortège d'espèces

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

La position de l'enregistreur permet de mieux percevoir l'activité des chiroptères qui concerne directement le rotor de l'éolienne. La plage de suivi s'est étendue sur environ 8 mois en 2021 (17 mars au 23 novembre 2021).

Le tableau suivant synthétise et distingue les cortèges d'espèces détectés à partir de l'enregistreur automatique en continu placé au niveau de la nacelle d'éolienne E4 en 2021. Il précise les statuts de protection et de conservation de ces différentes espèces. Au total, 5 espèces et 1 groupe d'espèces ont pu être discriminés avec certitude.

Figure 10 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours des suivis en continu (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine)

Espèce	Nom scientifique	Abréviation	Protéc. Fr.	Protéc. U.E.	Conv. Berne	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre-Val de Loire (2013)
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	Myotis	P		2				
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Nnoc	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nlei	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus</i>	Ppip	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pkuh	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Preoc. Mineure
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Pnat	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Vmur	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Données insuffisantes	
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Eser	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Enil	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Données insuffisantes	

En 2020, le cortège d'espèces était assez similaire. Il faut noter la présence, en 2021, de la Pipistrelle de Nathusius et du groupe des murins qui n'ont pas été contactés pendant le suivi 2020. A noter également, l'absence de la Sérotine commune, en 2021, contrairement au suivi mené en 2020.

Pour une meilleure lisibilité, un regroupement des espèces selon leur comportement de vol est réalisé. 6 groupes peuvent être dissociés, il s'agit :

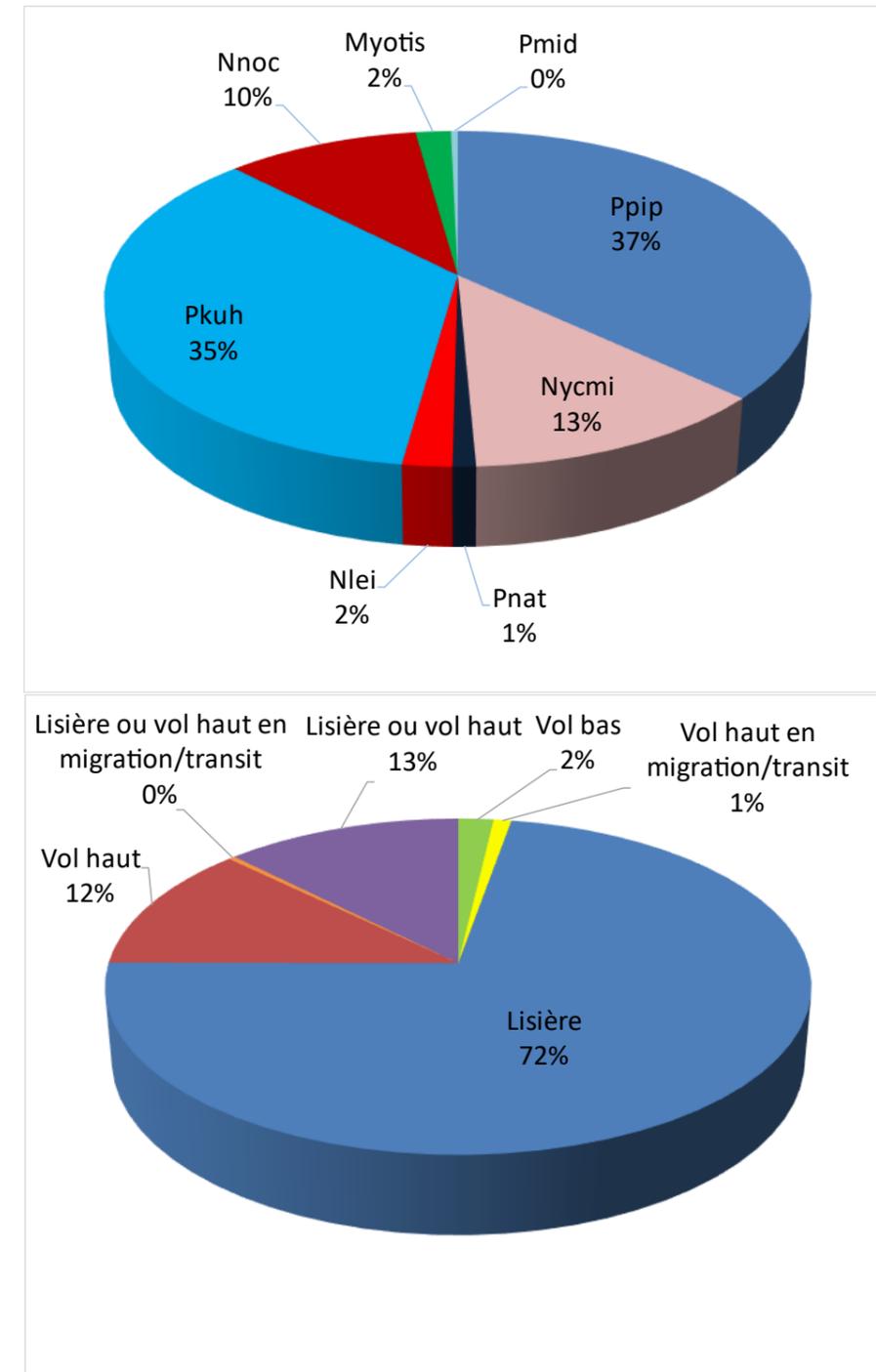
- **Du groupe des espèces de lisières** qui comprend l'ensemble la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl et la Sérotine commune (potentiellement présente sur le site). On notera que ce groupe d'espèces correspond aux espèces évoluant à des hauteurs de vols modérées (moins de 50 m) la plupart 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 en période de migration/transit**, qui comprend la Pipistrelle de Nathusius. En effet, la Pipistrelle de Nathusius semble avoir un comportement similaire aux autres pipistrelles lors de ses vols réguliers de chasse (espèce de lisières) mais lors de ses transits ou en période migratoire, elle utilise volontiers le plein ciel.
- **Du groupe des espèces de vol haut**, qui comprend la Noctule de Leisler et la Noctule commune et la Sérotine bicolore. Ce groupe d'espèce comprend donc des espèces qui utilisent les secteurs plus ouverts et donc régulièrement des hauteurs de vol plus importantes même lors de vol de chasse,
- **Du groupe des espèces de vol haut ou de lisières**, qui comprend le groupe des Nyctaloïd qui peut correspondre soit à la Sérotine commune (espèce de lisières), soit à des noctules ou à la Sérotine bicolore (espèces de vol haut), le groupe des Nycmi qui peut correspondre à la Sérotine commune (espèce de lisières) ou à la Noctule de Leisler ou à la Sérotine bicolore (espèces 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).
- **Du groupe des espèces de vol bas**, qui comprend notamment le groupe des murins. Ce groupe est très rarement contacté du fait d'habitude de chasse et de transit qui sont généralement proches du sol.

Les graphiques de la figure suivante témoignent de la proportion de chacun des 6 grands groupes d'espèces dans l'activité totale relevée au niveau du Batcorder sur l'éolienne E4. Le groupe des espèces de lisières est plus contacté que le groupe des espèces de vol haut et de lisières ou de vol haut ; les contacts identifiés en lisière ou vol haut correspondent très probablement pour la majeure partie des contacts à ceux d'espèces de haut vol.

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

Figure 11 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevées au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E4 (En haut détail par espèce, en bas par groupe de vol)

Abréviation	Espèce
Myotis	Murin sp.
Nlei	Noctule de Leisler
Nnoc	Noctule commune
Nycmi	Noctule de Leisler / Sérotine commune / Sérotine bicolore/Noctule commune/Sérotine de Nilsson
Pkuh	Pipistrelle de Kuhl
Pmid	Pipistrelle Nathusius / Pipistrelle de Kuhl
Pnat	Pipistrelle de Nathusius



3.3.2 Evolution saisonnière de l'activité par espèce (ou groupe d'espèces)

La continuité représente la régularité de présence de l'espèce (ou du groupe d'espèces) sur le site tout au long de la période de suivi. Cette perception repose sur l'analyse de données recueillies sur l'enregistreur en continu. Le tableau de la page suivante synthétise cette notion pour le suivi en continu en hauteur (en nacelle d'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 en nacelle d'éolienne E4. Il s'agit de la **Pipistrelle commune**, de la **Pipistrelle de Kuhl**, de la **Noctule de Leisler** et la **Noctule commune**.

En ce qui concerne les espèces de lisière, les pipistrelles (Pipistrelle de Kuhl et Pipistrelle commune) sont peu présentes au printemps (mars-mai), puis leur activité augmente en début de période estivale (juin). En période automnale, l'activité est très hétérogène avec une augmentation brusque en septembre.

La **Sérotine commune** n'a pas été enregistrée de façon certaine. Mais des contacts identifiés en Nycmi pourraient correspondre à cette espèce (entre mars et novembre).

En ce qui concerne les espèces de haut vol, la **Noctule de Leisler** et la **Noctule commune** sont présentes sur le site surtout en période automnale où leur activité est plus marquée.

La **Sérotine bicolore** et la **Sérotine de Nilsson** n'ont pas été enregistrées de façon certaine. Mais des contacts identifiés en Nycmi pourraient correspondre à cette espèce (entre mars et novembre).

Concernant les espèces de vol haut en migration/transit ou de lisière, la **Pipistrelles de Nathusius** a pu être mise en évidence à quelques reprises en période printanière (mars) et automnale (septembre à octobre).

Concernant les espèces de vol bas, le groupe des murins a été contacté sur la première quinzaine d'août.

Figure 12 : Tableau de continuité de présence de chaque espèce (ou groupe d'espèces) au cours du suivi en continu en 2021, basée sur les données enregistrées en nacelle d'éolienne E4 (en secondes d'activité par quinzaine) (Mars-2 : Deuxième quinzaine du mois de mars ; les couleurs sont arbitraires mais les couleurs foncées représentent un niveau d'activité plus important)

Espèce ou groupe d'espèce	Période de transit/migration				Période de mise-bas et d'élevage des jeunes						Période de transit/migration et de swarming						
	Mars-2	Avril-1	Avril-2	Mai-1	Mai-2	Juin-1	Juin-2	Juil-1	Juil-2	Aout-1	Aout-2	Sept-1	Sept-2	Oct-1	Oct-2	Nov-1	Nov-2
Vol bas										6,7							
Myotis										6,7							
Lisière	3,4		0,3	0,1	0,1	24,2	7,0	2,0	0,5	30,0	6,8	115,3	30,3	1,1	39,4	0,3	
Ppip	3,4			0,1	0,1	11,4	3,0	1,7	0,5	12,8	6,8	81,2	8,0	1,1	3,3	0,3	
Pkuh			0,3			12,8	4,0	0,2		17,2		34,0	22,3		36,1		
Lisière ou vol haut en migration/transit												0,7	0,4		0,2		
Pmid												0,7	0,4		0,2		
Vol haut en migration/transit	0,3											1,9	0,6	0,1	0,6		
Pnat	0,3											1,9	0,6	0,1	0,6		
Vol haut	0,0				0,0	0,1	1,0	0,6	0,1	20,0	3,3	13,1	4,2	0,1	1,6		
Nlei	0,0				0,0	0,1	0,7	0,1	0,1	3,6	0,2	0,9	0,4	0,0	1,1		
Nnoc						0,0	0,3	0,4	0,1	16,4	3,1	12,3	3,8	0,1	0,5		
Lisière ou vol haut	0,3		0,5	0,1	0,2	0,6	0,4	1,8	1,6	9,4	2,4	12,8	7,1	0,2	7,0	0,2	
Nycmi	0,3		0,5	0,1	0,2	0,6	0,4	1,8	1,6	9,4	2,4	12,8	7,1	0,2	7,0	0,2	
Total général	4,0		0,8	0,1	0,4	24,9	8,3	4,4	2,2	66,1	12,5	143,8	42,7	1,5	48,7	0,5	

Légende (en sec d'activité totale sur 15 jours) :					
0 à 2,5	2,5 à 10	10 à 30	30 à 50	50 à 80	> 80
0	2,5	10	30	50	80

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

Le graphique de la Figure 16 page 24 synthétise la chronologie de l'activité relevée par le module Batcorder autonome à hauteur de nacelle E4, au cours du suivi. 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 ces graphiques témoigne bien de la très forte hétérogénéité de l'activité des chauves-souris d'une nuit à l'autre, et donc de l'importance marquée des conditions climatiques et de la phénologie des espèces pour faire évoluer cette activité. Cela justifie le suivi en continu de l'activité des chauves-souris sur plusieurs mois en complément de l'appréciation basée sur un échantillon de visites ponctuelles menées « à l'aveugle » vis-à-vis de ce cumul de facteurs d'influences. Il est possible d'observer des périodes où l'activité est très faible et la nuit suivante un gros pic d'activité peut être relevé. Ces pics d'activité sont souvent ponctuels dans le temps (quelques minutes ou quelques heures seulement).

Figure 13 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience EXEN)

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

L'activité mesurée en hauteur au niveau de l'éolienne E4 peut être qualifiée de modérée globalement. Les niveaux d'activité relevés en 2021 sur le parc de Mareuil sont plus élevés que ceux relevés en 2020.

Parmi les 251 nuits suivies, il a été observé :

- 138 nuits d'activité nulle,
- 39 nuits d'activité très faible,
- 15 nuits d'activité faible,
- 11 nuits d'activité faible à modéré,
- 25 nuits d'activité modérée,
- 10 nuits d'activité modérée à forte,
- 7 nuits d'activité forte,
- 6 nuits d'activité très forte.

• Période printanière (du début du suivi à mi-mai)

L'activité chiroptérologique relevée en hauteur à cette période est très hétérogène. Elle varie de nulle (durant 52 nuits) à modérée à forte (le 24 mars 2021). L'activité augmente brusquement, comme c'est le cas pour le 7 mai (activité nulle avant et après cette nuit particulière). Le premier contact est relevé le 23 mars (contacts de **Pipistrelle commune** en majorité). Sur cette période, 4 espèces ont été contactées. Il s'agit de la **Pipistrelle commune** dont l'activité relevée oscille entre un niveau très faible et un niveau modéré à fort ; de la **Pipistrelle de Kuhl** avec une activité ponctuelle et faible ; de la **Pipistrelle de Nathusius** qui présente une activité également faible et ponctuelle ; et de la **Noctule de Leisler** avec un niveau d'activité très faible.

• Période estivale (de mi-mai à mi-août)

L'activité chiroptérologique relevée en hauteur à cette période est toujours très hétérogène, mais elle est également plus régulière. Elle varie de nulle (durant 44 nuits) à très forte (2 nuits, le 10 et 12 août 2021).

Sur cette période, la **Pipistrelle de Kuhl** et la **Pipistrelle commune** sont les espèces les plus recensées. La **Noctule commune** et la **Noctule de Leisler** ont également été contactées sur cette période. Pour ces deux espèces, l'activité relevée oscille entre un niveau faible et faible à modéré de mi-mai à début août.

A partir de début août, une recrudescence d'activité est enregistrée pour toutes les espèces avec des niveaux d'activité compris entre modéré et fort. Particulièrement entre le 09 août et le 14 août où une activité importante est relevée chaque nuit. C'est également lors de cette période de plus forte activité que le groupe des **murins** a été détectée (101 s d'activité le 13 août 2021). Le tableau Figure 14 page 23 permet de détailler l'ensemble des informations disponibles (espèces enregistrées, conditions climatiques et horaire) concernant les nuits où les niveaux d'activité relevés sont les plus hauts ainsi que la nuit où la présence de groupe des murins a été enregistrée.

Au niveau des conditions climatiques, les vitesses de vent enregistrées lors de ces périodes de plus forte activité sont assez variables. Pour plus de précision, 90% de l'activité de ces trois nuits de plus forte activité est comprise entre 3 m/s et 4,5 m/s. Les directions de vent sont aussi variables sur ces trois nuits. Plus de la moitié de l'activité a été relevée par un vent de nord. Concernant la température, elle est assez similaire sur ces trois nuits avec une moyenne de 24°C enregistrée.

Figure 14 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de plus forte activité relevées en période estivale en 2021

Date	Niveau d'activité (seconde d'activité cumulée)	Espèce contactées	Vitesse du vent (en m/s)	Direction du vent	Température	Horaire
10/08/2021	Très fort (227,77s)	Pipistrelle commune et Noctule commune en majorité et Pipistrelle de Kuhl, Noctule commune	Moyenne de 3,45 (de 1,7 à 4,25)	NE; N; NO	Moyenne de 23,19°C (de 19,77 à 24,3°C)	entre 22h00 et 04h15 principalement entre 22h00 et 23h00
12/08/2021	Très fort (230,15s)	Pipistrelle de Kuhl et Noctule commune en majorité et Pipistrelle commune, Noctule de Leisler	Moyenne de 3,3 (de 2,21 à 3,98)	SE; NE; N	Moyenne de 26,33°C (de 24,25 à 27,92°C)	entre 22h15 et 05h50 principalement entre 22h15 et 00h00
13/08/2021	Fort (191,6s)	Groupe murin sp. et Noctule commune en majorité et Pipistrelle commune, Noctule de Leisler et Pipistrelle de Kuhl	Moyenne de 3,83 (de 2,64 à 5,85)	NE; N	Moyenne de 25,63°C (de 24,32 à 27,42°C)	entre 22h20 et 04h50 (présence de murins entre 02h00 et 02h10)

A cette période de l'année, l'expérience montre que ce type de concentration d'activité en hauteur pourrait s'expliquer par la poursuite et l'exploitation ponctuelle d'essaimages d'insectes, favorisés par les conditions climatiques favorables.

- **Période automnale (de mi-août à la fin du suivi)**

L'activité chiroptérologique relevée en hauteur à cette période est encore très hétérogène et très régulière. Elle varie de nulle (durant 44 nuits, essentiellement en octobre et novembre) à très forte (4 nuits, le 03, 11 et le 15 septembre et le 24 octobre 2021). L'activité est élevée et très régulière particulièrement durant le mois de septembre. Elle devient plus ponctuelle au moins d'octobre pour devenir anecdotique au mois de novembre.

Sur la période automnale, la **Pipistrelle de Kuhl**, la **Pipistrelle commune**, la **Noctule commune** et la **Noctule de Leisler** sont toujours recensées. A cela, s'ajoute la **Pipistrelle de Nathusius** contactée sur 6 nuits et qui présente une activité variant d'un niveau très faible à un niveau modéré (le 03 septembre 2021).

Le tableau suivant permet de détailler l'ensemble des informations disponibles concernant les nuits de pics d'activité relevés sur cette période (espèces enregistrées, conditions climatiques et horaire).

Figure 15 : Tableau de synthèse des informations relatives aux nuits de pics d'activité relevées en période automnale en 2021

Date	Niveau d'activité (seconde d'activité cumulée)	Espèce contactées	Vitesse du vent (en m/s)	Direction du vent	Température	Horaire
03/09/2021	Très fort (320,21s)	Pipistrelle de Kuhl et Noctule commune en majorité et Pipistrelle commune, Pipistrelle de Nathusius	Moyenne de 2,52 (de 1,34 à 6,56)	SE; SO; E; O; S	Moyenne de 23,25°C (de 20,05 à 24,73°C)	entre 21h00 et 04h20 principalement entre 21h00 et 22h00
11/09/2021	Très fort (303,14s)	Pipistrelle commune en majorité et Noctule de Leisler, Noctule commune, Pipistrelle de Kuhl	Moyenne de 2,3 (de 1,89 à 2,68)	SE; E; NE; N	Moyenne de 18,95°C (de 16,39 à 20,99°C)	entre 21h00 et 06h10
15/09/2021	Très fort (1302,64s)	Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl en majorité et Noctule de Leisler, Noctule commune	Moyenne de 1,38 (de 0,13 à 3,28)	O; N; NO	Moyenne de 20,99°C (de 17,24 à 23,3°C)	entre 20h10 et 04h57 principalement entre 00h00 et 02h00
24/10/2021	Très fort (629,22s)	Pipistrelle de Kuhl en majorité et Noctule de Leisler, Noctule commune, Pipistrelle de Nathusius, Pipistrelle commune	Moyenne de 2,17 (de 1,24 à 3,2)	SE; O; NO; S	Moyenne de 16,27°C (de 15,68 à 16,8°C)	de 19h35 à 20h00 et de 21h09 à 21h44

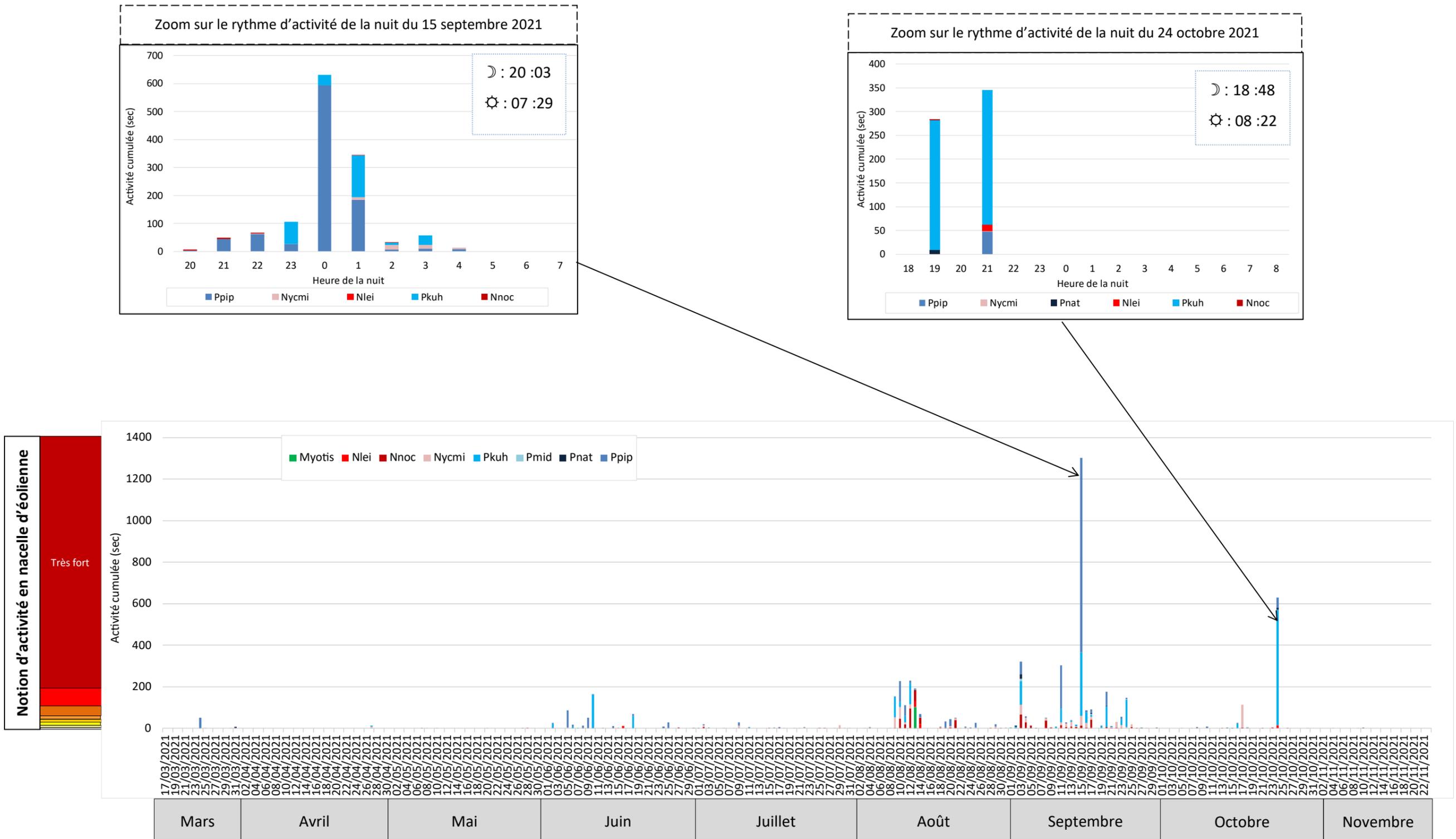
Dans la majorité des cas, la Pipistrelle de Kuhl est l'espèce la plus active lors de ces nuits particulières. D'autres espèces telles que la Pipistrelle de Nathusius, la Noctule commune, la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune sont également contactés lors de ces pics.

Au niveau des conditions climatiques, les vitesses de vent enregistrées lors de ces pics sont assez variables. Pour plus de précision, plus de 90% de l'activité de pics est relevé pour des vitesses de vent inférieures ou égale à 3,5 m/s. Les directions de vent sont aussi variables selon les pics. Plus de la moitié de l'activité de pics a été relevée par des vents de sud, de nord-ouest et de ouest. A propos de la température, les pics ont été relevés par des températures importantes (entre 15 et 24°C).

A cette période de l'année, l'expérience montre que ce type de concentration d'activité en hauteur pourrait s'expliquer soit par la poursuite et l'exploitation ponctuelle d'un essaimage d'insectes, soit par des comportements sociaux.

Il faut également noter que l'activité des espèces de haut vol (Noctule de Leisler et en particulier Noctule commune) est plus importante sur cette période.

Figure 16 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce relevée en nacelle d'éolienne E4, avec précision des heures de coucher et lever de soleil pour les pics d'activité relevés proches de ces derniers



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 proies, l'activité de chasse des chauves-souris sera aussi influencée de façon variable. Il est régulièrement convenu que les espèces les plus grosses sont capables de voler par les vents les plus forts. En réalité, il faut plutôt considérer que les espèces de chauves-souris les plus grosses chassent aussi des proies de plus grande taille susceptibles de voler dans des conditions de vents plus forts. Cette distinction entre influence des vitesses de vent sur les proies de chauves-souris et influence des vitesses de vent sur les chauves-souris elles-mêmes est importante à garder à l'esprit. En effet, sur la base de nombreux sites étudiés dans les mêmes conditions depuis 2009, nous relevons régulièrement que des espèces de taille relativement modeste sont parfois détectées en hauteur par des vents forts voire très forts (ex : Pipistrelle commune jusqu'à plus de 12m/s). Cela peut alors s'expliquer soit par une activité déconnectée de celle des insectes (comportements sociaux, de transit ou de migration), soit par des situations particulières liées à des phénomènes d'aérodynamique favorisés par le vent (ascendances dynamiques), et entraînant des insectes en hauteur et donc les chauves-souris qui les chassent. Autrement dit, si l'activité cumulée des chauves-souris diminue généralement avec la vitesse de vent, ces précisions montrent qu'il faut aussi rester prudent sur des perspectives de phénomènes ponctuels particuliers moins sensibles à ce paramètre.

Le graphique ci-contre témoigne des corrélations entre l'activité cumulée des chauves-souris en ordonnée et les notions de vitesse de vent en abscisse (en m/s). C'est ce type de graphique qui permet généralement d'apprécier pour quelle vitesse de vent, la plupart de l'activité est relevée. Généralement, ce type de graphique montre logiquement que l'activité des espèces de lisières diminue plus vite que celle des espèces de haut vol lorsque la vitesse de vent augmente.

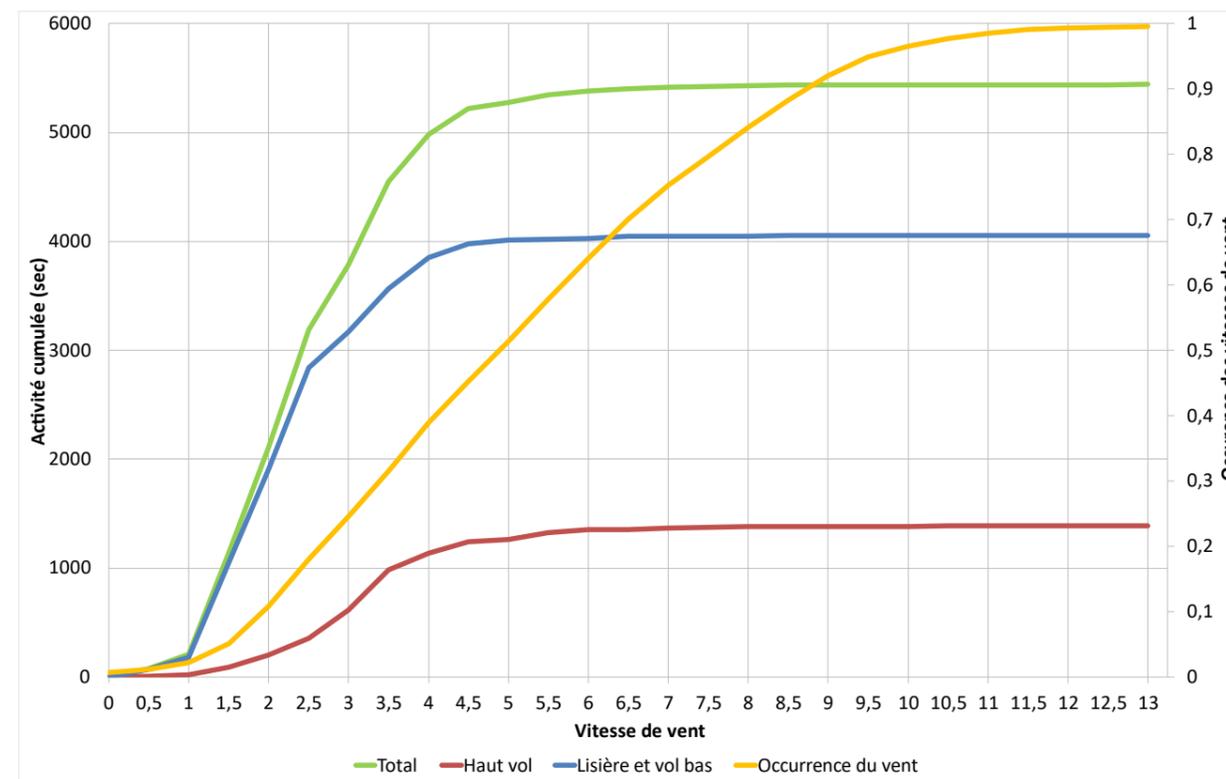
Dans le cas du parc éolien de Saint-Ambroix, le graphique montre que la quasi-totalité de l'activité des espèces de lisières et de vol bas (4052 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 8,5 m/s (7,8 s d'activité n'ont pu être affiliées à des données météorologiques). La majorité 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.

Concernant les pics d'activité, les vitesses de vent relevées, au moment de l'enregistrement de l'activité, varient entre 1 m/s et 6,5 m/s.

En 2020, 97% de l'activité des espèces de lisières relevée en nacelle d'éolienne E4 a lieu par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. En ce qui concerne les espèces de haut vol, 87 % de l'activité relevée a lieu par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s.

Figure 17 : 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 2021 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. Au niveau de l'éolienne E4, l'activité totale est plus importante pour certaines directions du vent. Ce constat se manifeste au niveau de la figure ci-contre. Les graphiques en haut à gauche et en haut à droite représentent l'activité totale enregistrée et l'occurrence du vent relevée sur l'éolienne E4, selon la direction du vent. Les graphiques du bas représentent l'activité hors-pic et l'activité de pics selon la direction du vent. A noter que l'occurrence du vent correspond au nombre de fois où chaque direction de vent a été relevée, par période de 10 min, la nuit et au niveau de l'éolienne.

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

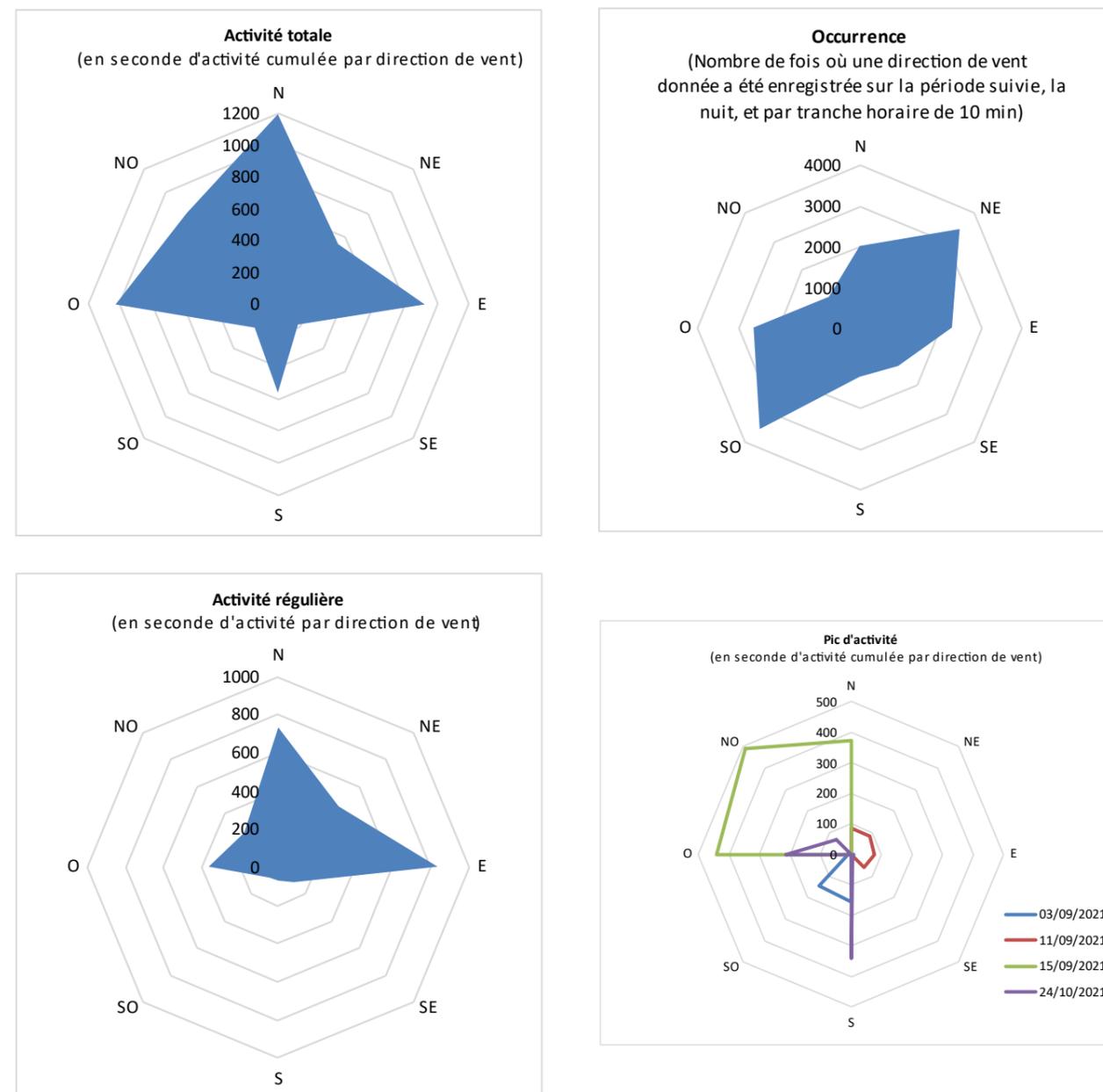
- Dans le cas d'une activité aucunement liée à la direction du vent, la forme des deux graphiques du haut sera similaire ;
- Dans le cas d'une activité plus importante liée à certaines directions de vent, les deux graphiques du haut auraient alors des différences qu'il conviendra d'essayer d'expliquer.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

D'après le graphique de la Figure 18, l'activité est généralement la plus importante par vent d'ouest, d'est, de sud et de nord, tandis que les vents dominants s'expriment plutôt par vent de nord-est et de sud-ouest. L'activité totale relevée en hauteur n'est donc pas liée aux vents dominants relevés sur site. L'activité marquée par des directions de vent d'ouest, de nord et de sud est à mettre directement en lien avec les directions de vent relevées lors des pics d'activité automnaux.

L'activité régulière est également plus importante par vent de nord, d'ouest et d'est, ne correspondant pas avec les vents dominants relevés sur site. Cela pourrait indiquer une influence négative de ces directions de vent de nord-est et de sud-ouest sur l'activité des chauves-souris. Cependant, le pic d'activité de niveau très fort du 03 septembre a été relevé par des directions de vent de sud/sud-ouest.

En 2020, l'activité régulière s'est exprimée par des vents dominants de nord/nord-est et celle liée aux pics d'activité s'est exprimée par des vents de sud-est.

Figure 18 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E4



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. Il faut noter que les périodes de chaleur s'accompagnent généralement d'une activité des chauves-souris plus importante que le reste de l'année. Dans ce contexte, ces conditions de températures élevées sont cohérentes avec les périodes d'essaimage de beaucoup d'espèces d'insectes (fin de printemps et début d'été principalement, mais aussi en fin d'été/début d'automne). 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. Si cette notion d'influence de température est ajoutée au fait que cette période de chaleur peut encore plus favoriser la formation d'ascendances thermiques (après échauffement diurne des milieux ouverts exposés), on comprend que 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, la nuit et au niveau de l'éolienne. De ce fait, il s'agit de comparer la courbe d'occurrence à celle d'activité réelle :

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

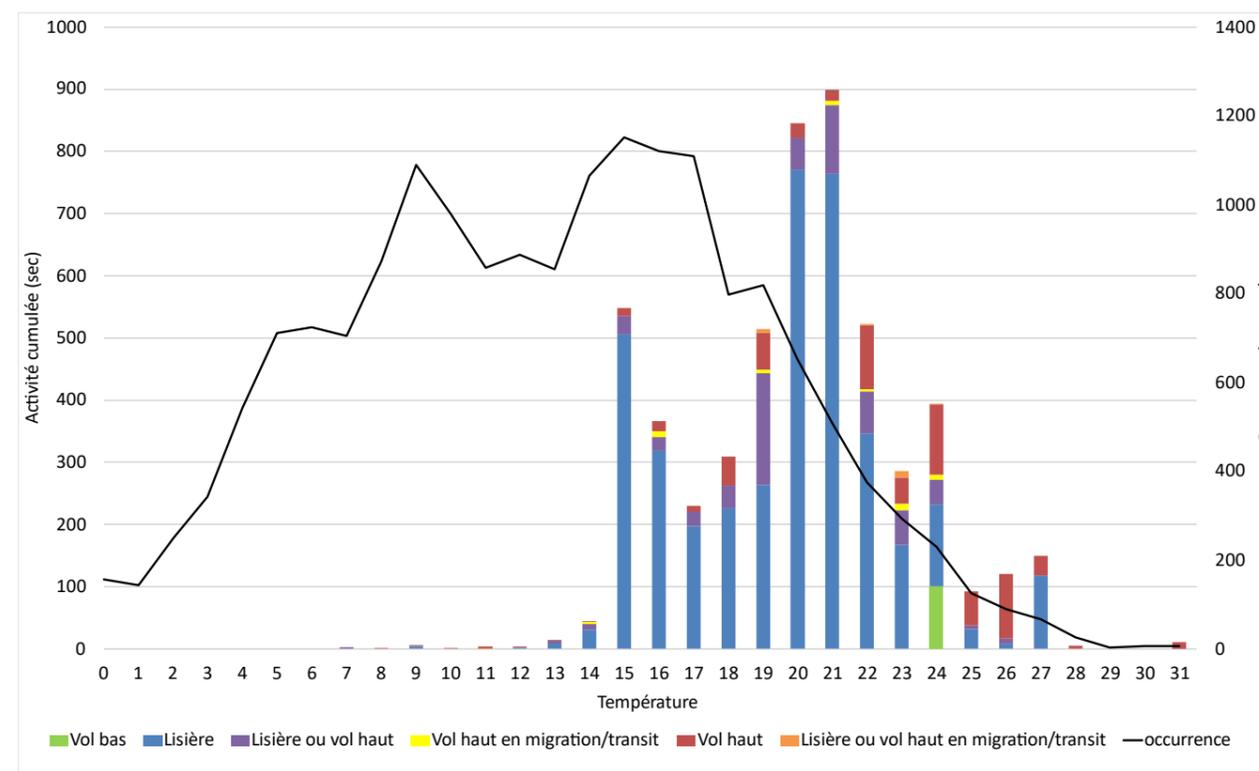
Le graphique suivant montre que l'activité des chauves-souris en hauteur est très faible en dessous de 13°C. En pourcentage d'activité, plus de 98% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 15°C et plus de 80% pour des températures supérieures à 17°C.

Au niveau du site, les températures de 9 à 17°C sont celles qui sont le plus souvent relevées, mais ce ne sont pas les températures pour lesquelles l'activité est la plus importante. En effet, les chauves-souris ont été les plus actives par des températures comprises entre 15°C et 27°C. Pour rappel, les différents pics d'activité ont été relevés sur l'éolienne E4 lorsque les températures variaient entre 15,6 et 24°C. Les chiroptères ont globalement une activité plus importante par des températures élevées et de moins en moins importante par des températures faibles (à l'inverse avec l'occurrence).

L'activité mesurée par les températures les plus faibles (entre 7 et 10°C) correspond à une activité automnale qui correspond en majorité au groupe des noctules (Noctule commune et Noctule de Leisler). Cependant, la Pipistrelle commune a également été contactée par une température faible (9°C le 10 novembre). L'activité relevée durant cette période est possiblement déconnectée d'une activité de chasse/transit et peut correspondre à une activité migratoire, en particulier pour les noctules.

En 2020, 70% de l'activité des chauves-souris a été relevée pour des températures supérieures à 20°C et 97% pour des températures supérieures à 15°C. La température minimale relevée était de 12°C (hypothèse émise d'un biais de relevé par le réchauffement de la nacelle) et la température maximale était de 32°C.

Figure 19 : 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

D'après les graphiques suivants, sur l'ensemble de la période de suivi, 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. Un peu plus d'1% de l'activité totale correspond à une activité de début de nuit (enregistrée avant le coucher du soleil ou entre l'heure du coucher du soleil et 15 minutes après).

Cette activité de début de nuit (avant le coucher du soleil ou entre l'heure du coucher du soleil et 15 minutes après) est d'un niveau très faible à faible, et concentrée sur 3 nuits d'enregistrement. 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.

En ce qui concerne les heures de contacts, la figure ci-contre confirme bien que les horaires d'activité en hauteur sont principalement situés en milieu de nuit pour le module Batcorder autonome en nacelle de E4. A 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.

En 2020, 91% de l'activité a été relevée 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. La Noctule commune avait été également contactée en début de nuit (entre l'heure du coucher du soleil et 15 minutes après ainsi qu'entre 15 et 30 minutes après le coucher du soleil) au mois de d'octobre et de novembre.

Figure 20 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E4 (en 2021)

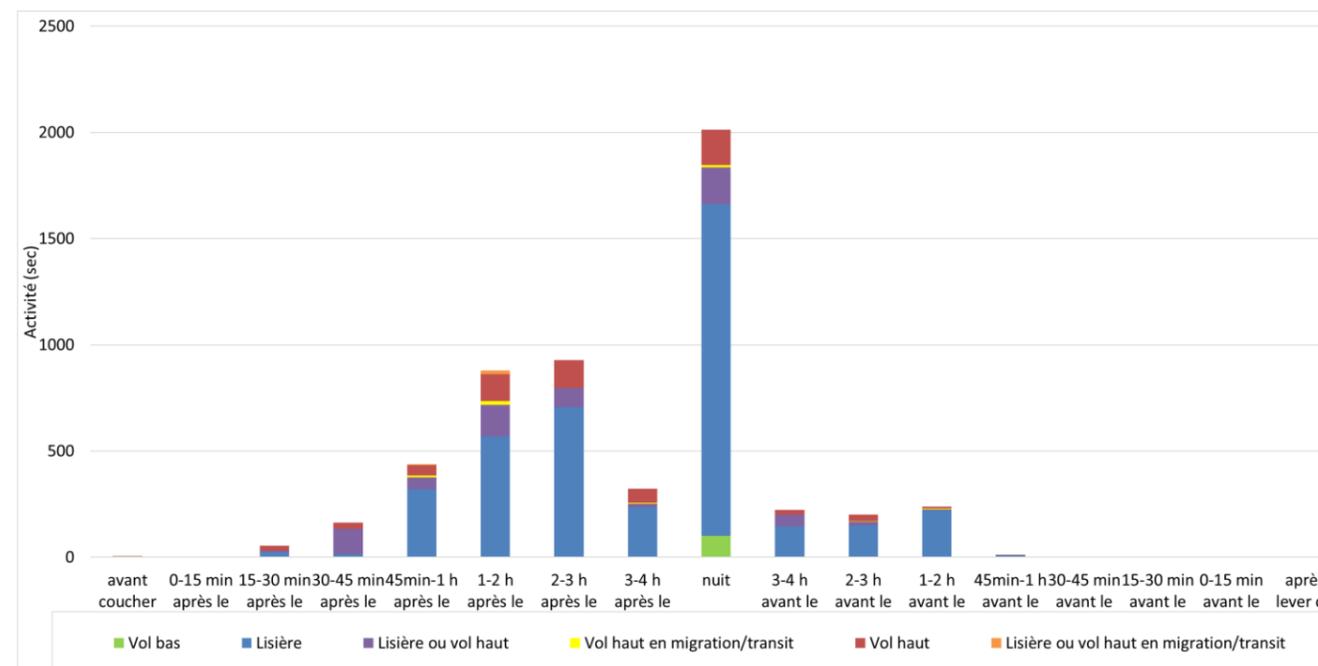
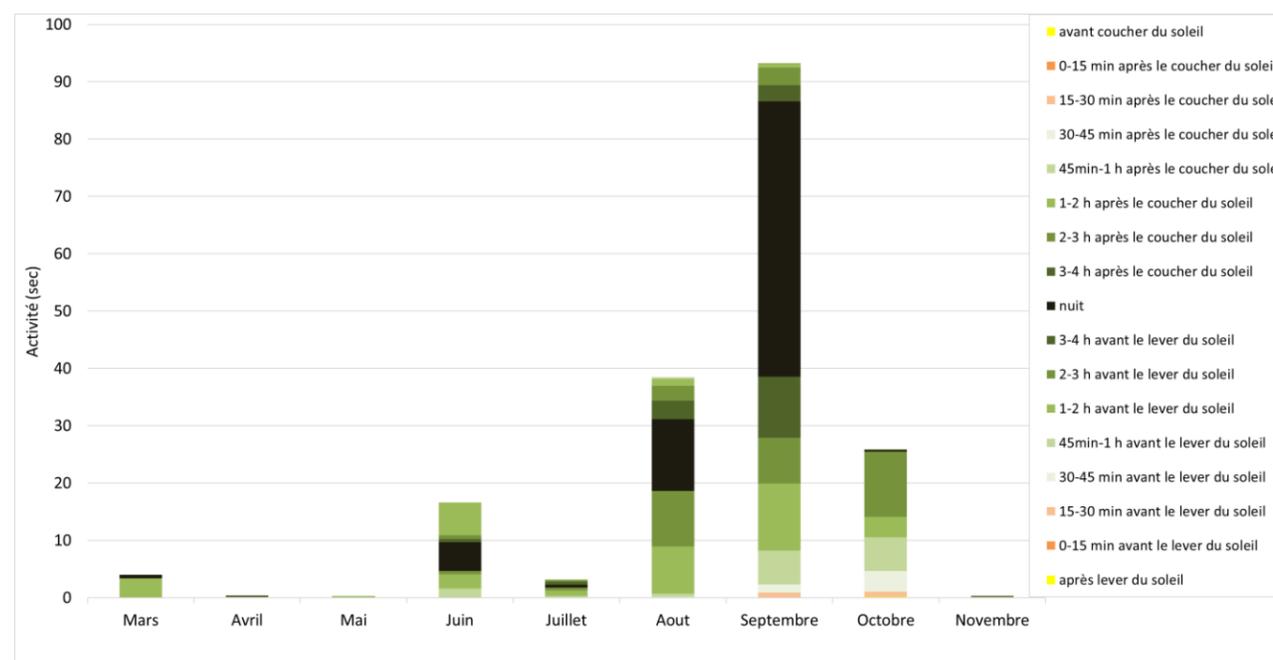


Figure 21 : Décomposition de l'activité moyenne (en seconde d'activité par nuit) des chauves-souris au niveau de la nacelle de l'éolienne E4 en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil



3.3.8 Saisonnalité

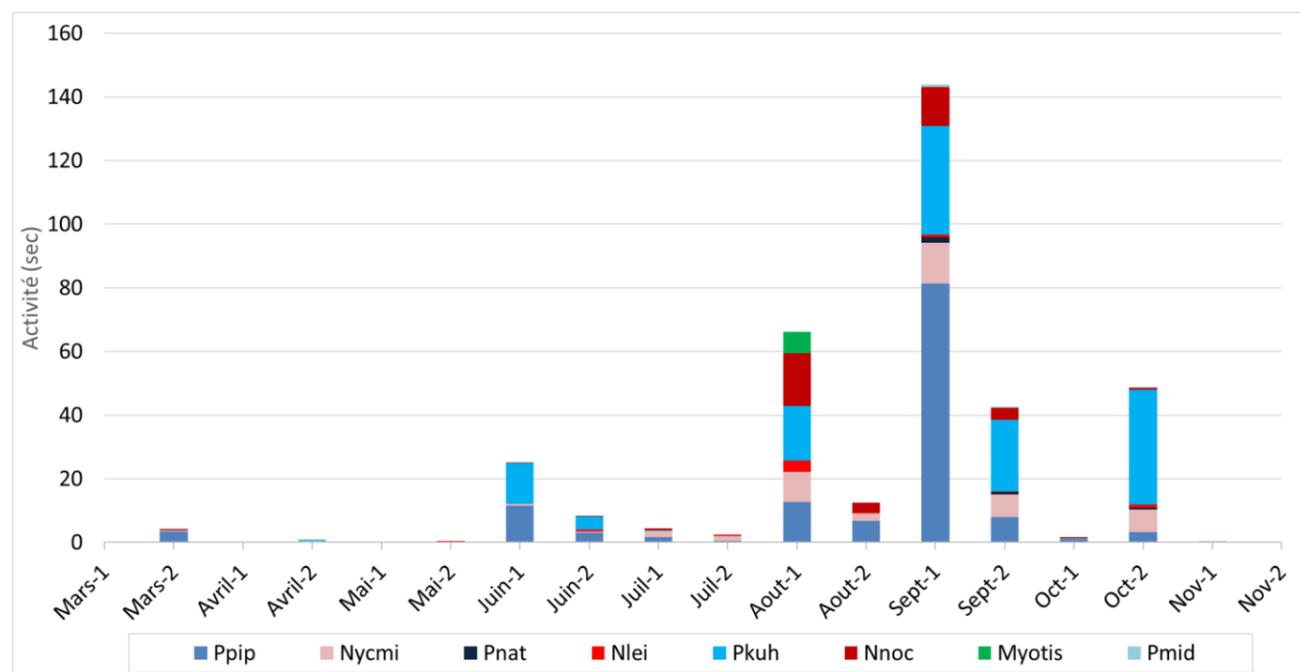
Le graphique ci-dessous présente la répartition de l'activité par espèce et par demi-mois. Il est possible de voir que l'activité chiroptérologique est plus importante à partir de la saison estivale et est à son apogée en saison automnale puis diminue en fin de période automnale. L'activité maximale a été relevée les deux premières semaines de septembre (en lien avec les principaux pics d'activité relevés).

L'activité des espèces de lisières (en dégradé de bleu) est plus importante en juin, début août et en automne (septembre et octobre). Ce constat est à mettre en lien avec la forte activité relevée durant les nuits de pics d'activité mais aussi avec des conditions climatiques favorables.

Pour les espèces de haut vol (en dégradé de rouge et de jaune), elles sont plus actives à partir de fin juillet jusqu'à fin octobre. Le fait qu'elles soient contactées sur cette période pourrait suggérer une utilisation du site en migration/transit.

En 2020, le profil de l'activité relevée sur la période de mai à novembre est similaire à l'année 2021. Les pics d'activité étaient concentrés sur les premières semaines de septembre. En revanche, le pic d'activité relevée fin octobre était situé début novembre 2020 (toujours avec une majorité de contact de Pipistrelle de Kuhl).

Figure 22 : Activité journalière moyenne (en seconde d'activité) relevée selon les espèces contactées et par demi-mois, corrigée selon le nombre de jours d'enregistrement (E4)



4. SUIVI DE LA MORTALITÉ 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 des chauves-souris 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, sans quoi l'interprétation des données des autres thèmes reste limitée.

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

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

De façon plus générale, idéalement, les résultats du suivi de la mortalité doivent être analysés en parallèle des résultats d'activité des chauves-souris. Le tableau de synthèse général des données brutes de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux retrouvés lors du suivi 2021 est présenté en Annexe 1 : Données brutes de mortalité.

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 des 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 des parcs de Saint-Ambroix (choix des périodes de suivi, choix des cadavres test, délimitation des transects de recherche...).

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

Notre méthode de travail est conforme aux prescriptions du Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (révision 2018) du MTES.

4.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites

Le protocole de suivi de la mortalité doit scrupuleusement respecter les prescriptions de l'arrêté préfectoral relatif au parc, être adapté aux risques mis en évidence lors de l'étude d'impact et être conforme au protocole de suivi environnemental de 2018.

Ce dernier précise que « *le suivi de mortalité des oiseaux et chiroptères sera constitué au minimum de 20 prospections, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre), en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site. A ce titre, il est rappelé que la période de mi-août à fin octobre qui correspond à la période de migration postnuptiale pour l'avifaune et de transits automnaux des chiroptères est considérée comme à cibler en priorité. La période de mai à mi-juillet présente également un intérêt particulier pour les espèces d'oiseaux nicheurs sur le secteur considéré, ainsi que pour les chauves-souris en période de mise-bas.*

Des suivis renforcés sur la période comprise entre les semaines 20 et 43 ou à d'autres périodes (= période pouvant être étendue et/ou fréquence augmentée) devront être réalisés dans les cas où :

- *l'étude d'impact le préconise : enjeux liés à la présence de certaines espèces d'oiseaux patrimoniales ou de chauves-souris à d'autres périodes ;*
- *les prescriptions des arrêtés préfectoraux relatifs au parc concerné le précisent ;*
- *les premiers résultats des suivis de mortalité indiquent des niveaux de mortalité significatifs nécessitant la réalisation d'investigations complémentaires.*

4.2.3 Choix des éoliennes suivies

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

4.2.4 Organisation des parcours de prospection

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

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

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

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

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

La durée de prospection sous une éolienne pour 100 % de prospection du carré (1 hectare) est d'environ 30 min. Pour une zone de prospection correspondant à 50 % du carré, la durée de prospection sera

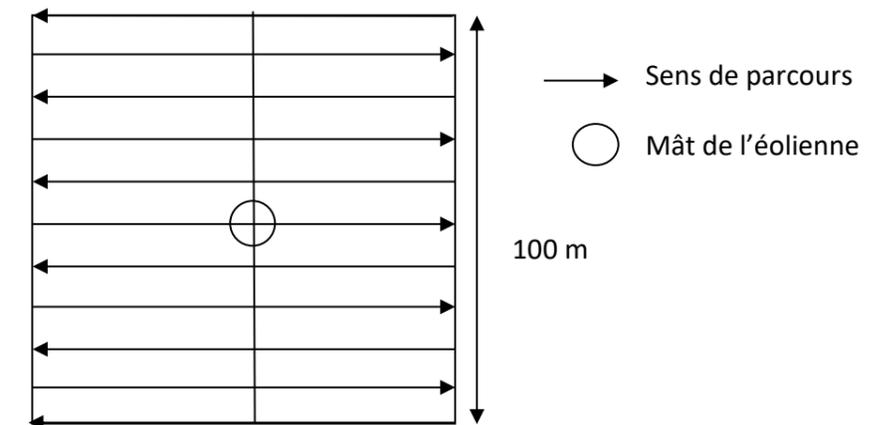
proportionnelle, soit d'environ 15 min. Il convient donc d'adapter son allure à cette durée de prospection faisant référence pour l'ensemble des observateurs afin de limiter le biais « observateur » au maximum.

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

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

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

Figure 24 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique



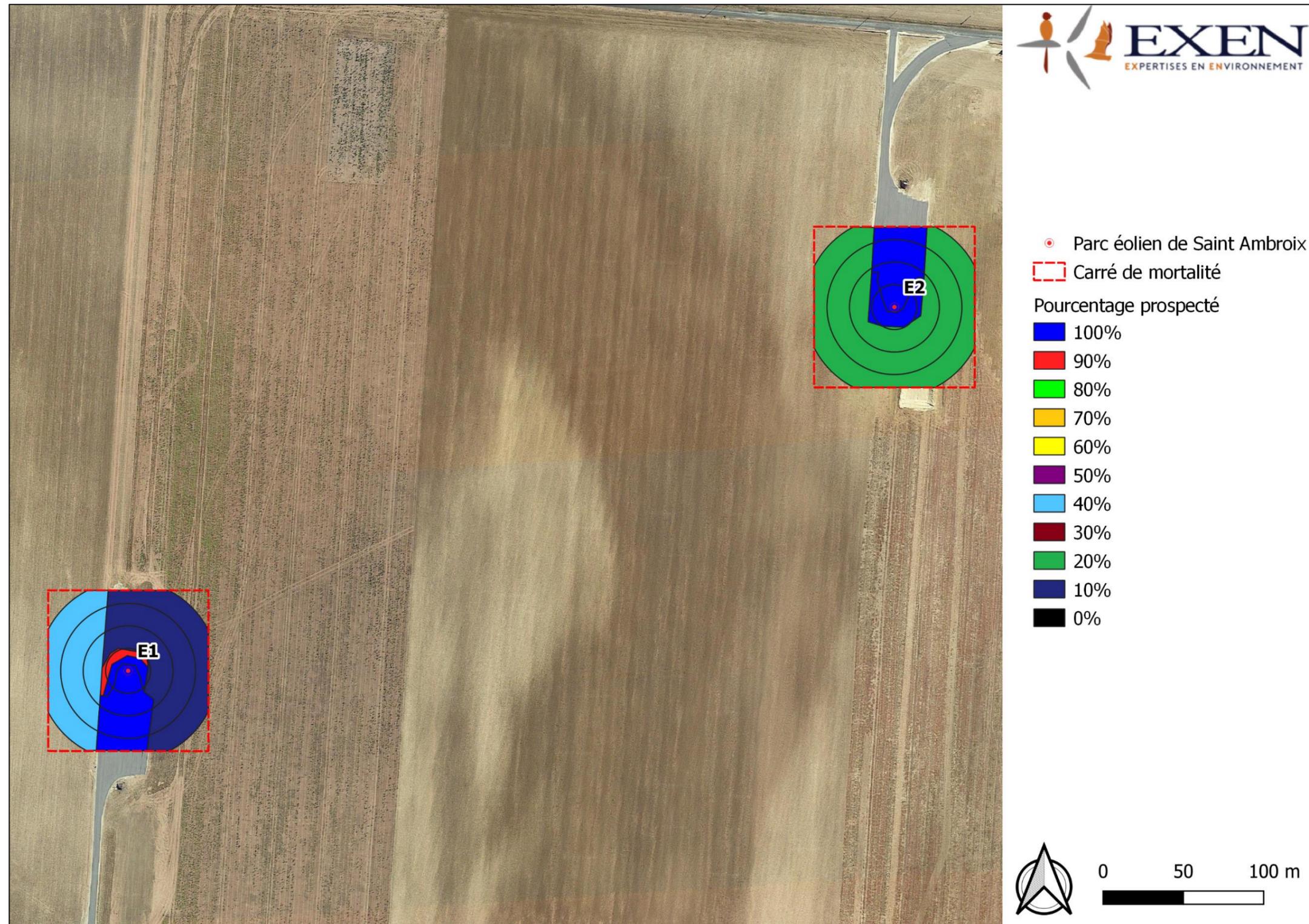
Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents niveaux de difficulté de prospection. Ainsi, l'évolution de la hauteur de végétation sera prise en compte dans l'estimation des taux de mortalité.

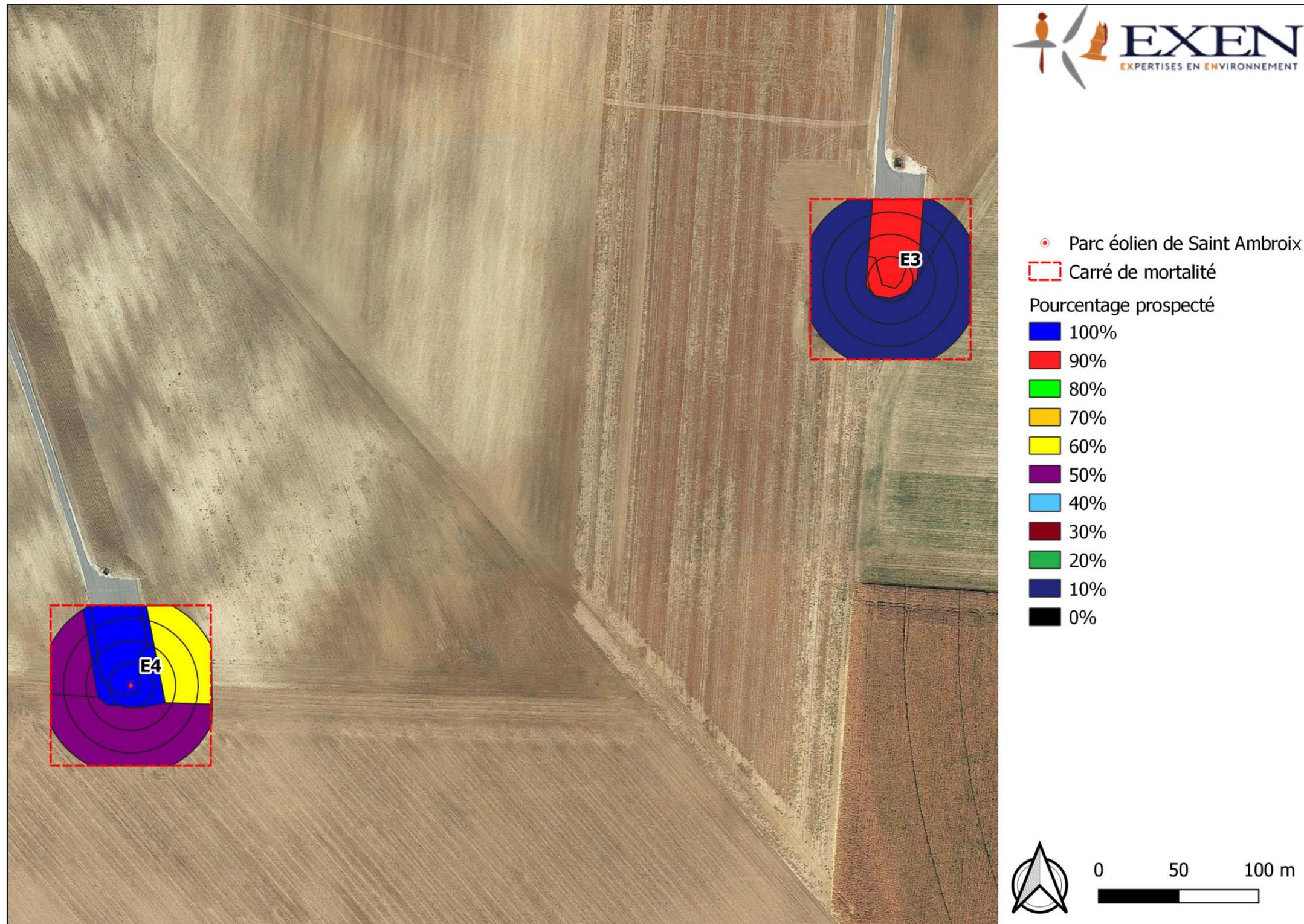
Certaines zones ne sont pas prospectées (zones non prospectables) puisqu'on ne peut pas exclure, par exemple, que certains cadavres soient restés bloqués au niveau des branchages dans leur chute. Ces surfaces non prospectées seront alors évaluées pour prendre en compte ce biais au niveau des calculs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

Pour l'ensemble de la période de suivi, il est possible de calculer le pourcentage de prospection pour chaque zone délimitée (100% : surface prospectée à chaque visite, 0% : surface non prospectée sur la

période). Ce paramètre est aussi pris en compte dans le calcul du coefficient surfacique. La Figure 25 de la page suivante propose de visualiser les surfaces prospectées et celles non prospectées en 2021.

Figure 25 : Carte de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes





4.2.5 Recueil des données et destination des cadavres

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

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

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

Tous les cadavres prélevés sont conservés dans un congélateur. En fin de campagne annuelle, l'ensemble des cadavres est rassemblé. Chacun d'entre eux fait alors l'objet d'une deuxième analyse à l'aide de 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, Helversen (Von), et Nill 2009), Cahier technique d'identification des chiroptères (Marmet 2014) ...).

Pour les oiseaux, la phase de détermination se fait par différents ornithologues, sur la base de diverses clés de détermination d'oiseaux (Guide ornitho (Svensson L., Mullarney K., Zetterström D., 2015), Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale (Fragneau C., 2017)).

La fiche type de saisie de données de terrain est présentée en Annexe 2 : Fiche de relevé de terrain.

Figure 26 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris



4.2.6 Détermination des coefficients correcteurs

4.2.6.1 Organisation générale

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

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

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

Deux sessions de détermination de ces coefficients correcteurs ont été réalisées durant la campagne de suivi (le 08 juin et le 23 août 2021).

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

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

Deux tests de détection sont effectués au cours du suivi de la mortalité, répartis sur des saisons différentes. Ces derniers sont faits grâce à des peluches de taille et de couleur différente afin de mimer des cadavres de chauves-souris et d'oiseaux. Les peluches souris miment les chauves-souris, les peluches oiseaux (petite autruche et moineaux) miment les passereaux et les peluches de grande taille (type rapace) miment les rapaces (cf. Figure 27). Autrement dit, les coefficients correcteurs utilisés pour calculer le taux de mortalité des chiroptères se baseront sur les résultats de test liés aux souris. Pour les oiseaux, ils se baseront sur les résultats de test liés aux petites peluches d'oiseaux (type passereaux) et ceux liés aux plus grands oiseaux (type rapace).

Au total et pour chaque test de détection, 10 peluches souris, 7 peluches oiseaux et 3 gros gabarits de peluches oiseaux sont dispersés (soit un total de 10 peluches pour mimer les chauves-souris et 10 peluches pour mimer les oiseaux).

Figure 27 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection



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

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

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

Figure 28 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées



Il faut être 2 personnes pour réaliser les tests, c'est-à-dire une personne qui disperse les peluches (« disperseur ») et une autre qui les recherche par la suite (« chercheur »). Le disperseur va les positionner sur la zone test. Evidemment, le chercheur n'est pas présent sur la zone au moment de la dispersion. Les limites de la zone test correspondent aux carrés de prospection. Les peluches sont dispersées sur l'ensemble du carré et dans les différents types de végétation. Le disperseur note alors sur carte de terrain la position de chaque peluche en précisant le code affecté à celle-ci (« G1 » pour première peluche de grande taille, « P2 » pour seconde peluche de petite taille ...).

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

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

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

Selon la taille du parc, 2 à 10 tests sont effectués au cours de la période de suivi. Le tableau ci-dessous détaille le nombre de tests à réaliser au cours de l'année (à des périodes différentes) et le nombre de cadavres de poussins à utiliser.

Figure 29 : Détail du nombre de tests à effectuer et de poussins à utiliser pour les tests de disparition en fonction de la taille du parc éolien

Nombre d'éoliennes sur le parc	Taxons à l'étude		Nombre de test à réaliser dans l'année
	Chauves-souris	Oiseaux	
	Nombre de poussins	Nombre de poussins doublés (poussins mis côte à côte)	
1 éolienne	3	1 poussin doublé (donc 2 poussins)	10
2 éoliennes	6	2 poussins doublés (donc 4 poussins)	5
3 éoliennes	8	2 poussins doublés (donc 4 poussins)	4
4 éoliennes	11	3 poussins doublés (donc 6 poussins)	3
≥ 5 éoliennes	15	5 poussins doublés (donc 10 poussins)	2

Ce choix se justifie par la nécessité d'avoir assez de données pour avoir une idée précise du taux de prédation sur le site, mais aussi pour éviter de répartir un grand nombre de proies sous 1 éolienne (exemple d'un parc éolien à 2 éoliennes).

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 (ou bien une éolienne sur 2 selon la taille du parc) pour tester cette persistance en fin de test d'efficacité du chercheur. Pas plus de 3 cadavres tests sont disposés sous la même éolienne.

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

Les visites retour-tests sont réalisées de la façon suivante : une visite le lendemain de la dispersion des cadavres (Retour test 1), puis 3 jours après la dispersion (Retour test 2), puis au bout de 7 jours après la dispersion (Retour test 3). Les retours-tests suivant sont espacés de 4 à 7 jours entre eux à chaque fois (selon si le test a été fait en période d'une visite par semaine ou de 2 visites 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.

4.2.6.4 Coefficient surfacique

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

4.2.7 Calculs du taux de mortalité

La méthode standardisée développée par Winkelmann (1989) est adaptée au suivi de la mortalité des chauves-souris et oiseaux. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis (Erickson et al. 2002 ; Erickson 2003 ; Kerns et al. 2004 ; Cosson et al. 2004 ; Arnett 2006 ; Beucher et al. 2010...) et sera notre cadre de travail.

Néanmoins pour l'analyse des résultats, la formule de Winkelmann paraît moins adaptée que d'autres développées plus récemment au niveau international dans le cadre de suivis de la mortalité sous des parcs éoliens (Huso, Jones, Erickson...), puisque cette formule surestime le taux de mortalité. Les résultats seront donc présentés pour chacune des 5 formules disponibles à ce jour à notre connaissance.

4 à 5 formules sont proposées par la littérature spécialisée pour permettre d'estimer, au regard des découvertes de cadavres et des résultats de coefficients correcteurs, la mortalité que le parc aura pu générer par éolienne et par an. Les différentes formules que nous utilisons sont les suivantes : Winkelmann, Erickson, Huso et Jones. Mais devant les nombreux biais à prendre en compte dans le cadre d'un exercice d'estimation d'une mortalité annuelle, sans vouloir préjuger de la pertinence mathématique de chaque formule, et pour faciliter des comparaisons pertinentes et objectives entre les résultats avec d'autres résultats de suivis des mortalités menés sur d'autres parcs éoliens, nous présenterons les résultats obtenus avec chacune des formules. Nous proposerons également une moyenne entre ces formules qui sera la base de la comparaison interannuelle des résultats.

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

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

- **La méthode des « moyennes »** est basée en grande partie sur une estimation moyenne des différents paramètres :
 - Plusieurs valeurs sont calculées sans prendre en compte la différence de prédation selon le type de végétation (p et Tm notamment)
 - Le taux de détection est quant à lui issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des types de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation. Ces paramètres sont ici calculés une fois, pour toute la période de suivi, quel que soit l'évolution de l'habitat (pousse de la végétation selon les périodes de l'année).

- **La méthode « pondérée »** est quant à elle basée sur la prise en compte des différents types de végétation et de l'évolution éventuelle de ces types de végétation durant la période de suivi.

- Dans le cas d'une faible évolution de la hauteur de végétation durant le suivi, les paramètres seront donc estimés comme suit :
 - Le taux de détection est toujours issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des types de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation.
 - Les paramètres p et tm sont aussi issus d'une pondération entre le calcul de ces mêmes paramètres selon le type de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation.

- Dans le cas d'une évolution de la hauteur de végétation durant le suivi, cette méthode permet d'ajuster les paramètres selon des « périodes » où le pourcentage de chaque type de végétation prospecté est homogène. Les paramètres seront donc estimés comme suit pour chacune des périodes identifiées :
 - Le taux de détection est toujours issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des types de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation selon la période considérée.
 - Les paramètres p et tm sont aussi issus d'une pondération entre le calcul de ces mêmes paramètres selon le type de végétation et le pourcentage de prospection de ces types de végétation selon la période considérée.

Nous avons été en mesure d'exploiter l'outil d'analyse de l'intervalle de confiance « EolApp » proposé par le CNRS (A. Besnard) pour apprécier la robustesse statistique du protocole de suivi de la mortalité mis en œuvre pour estimer le taux de mortalité.

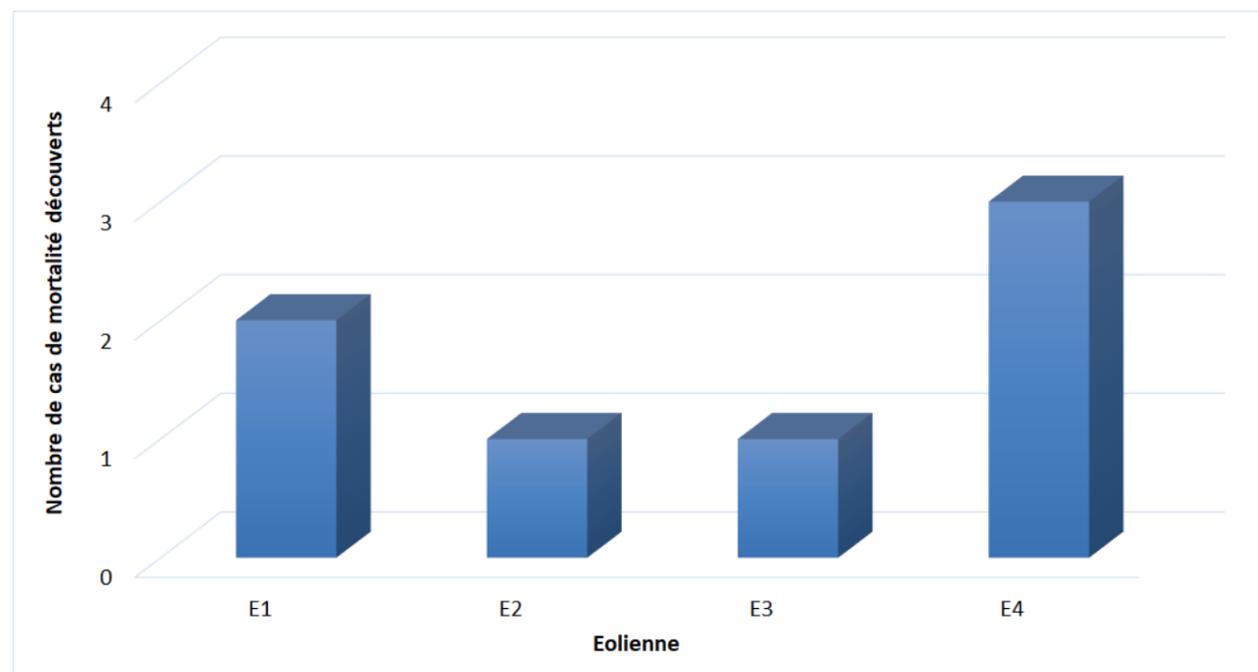
Cependant, nous tenons à souligner que cette approche des intervalles de confiance ne concerne qu'une approche quantitative des mortalités. Or, le constat de l'impact et donc, la nécessité et la façon de mettre en œuvre des mesures correctives repose aussi et surtout sur une perception qualitative de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

4.3. Bilan de la mortalité des chauves-souris

4.3.1 Bilan des mortalités par éolienne

Sept chauves-souris ont été retrouvées sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 05 mai et le 08 novembre 2021 (Figure 30). Pour 35 visites de recherche réalisées au cours de cette période de 6 mois, cela représente une moyenne de 1,16 chauves-souris découvertes par mois pour l'ensemble du parc éolien (soit 4 éoliennes).

Figure 30 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2021 et répartition par éolienne



Pour rappel, en 2020, 13 chauves-souris avaient été retrouvées sous les éoliennes entre le 12 mai et le 19 octobre 2020 dont deux lors d'une visite hors-protocole. Le nombre de chauves-souris impactées a donc diminué entre les deux années de suivi pour une durée globale de suivi similaire.

On note que toutes les éoliennes ont été à l'origine de mortalités avérées en 2021, avec l'éolienne E4 étant la plus mortifère (3 cas), suivi par l'éolienne E1 (2 cas) et par les éoliennes E2 et E3 pour un cas chacune. Lors du suivi réalisé en 2020, seules deux des quatre éoliennes avaient été à l'origine de mortalités, l'éolienne E2 (8 cas) et l'éolienne E4 (5 cas). Lors de l'année 2020, des hypothèses avaient été émises quant à la survenue de ces mortalités sur ces deux éoliennes en particulier, potentiellement du fait de la position de ces éoliennes sur des axes de transit préférentiels ou à proximité d'une ripisylve pour l'éolienne E4 pouvant être attractive pour les chauves-souris. Ces hypothèses ne peuvent être réellement confirmées en 2021 puisque des mortalités se sont déroulées sous toutes les éoliennes du

parc. Globalement, il semble toutefois que l'éolienne E4 soit la plus mortifère en prenant en compte une dimension pluriannuelle.

4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris

Le premier graphique de la Figure 32 représente la chronologie des découvertes de cadavres de chauves-souris sur l'ensemble du parc éolien de Saint-Ambroix en 2021.

Le délai qui s'écoule entre la mort des chiroptères et la date des découvertes des cadavres dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur. Comme le protocole d'étude était basé en 2021 sur une visite de terrain par semaine entre mai et novembre et deux visites par semaine entre août et mi-septembre, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier ;

- entre 0 (cas d'une chauve-souris tombée la nuit précédant la visite) et 3 – 4 jours en période de deux visites par semaine,
- entre 0 (cas d'une chauve-souris tombée la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (en période d'une visite par semaine),
- parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

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

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

- L'aspect général du cadavre (raideur cadavérique, état de déshydratation des chairs, yeux vitreux, décomposition, putréfaction des chairs ...),
- La fréquentation d'insectes nécrophages et nécrophiles. Sans aller à une datation précise, nous distinguons grossièrement sur les cadavres les phases de :
 - Colonisation par les diptères les plus précoces, et les premières pontes quelques minutes après la mort ; pupes non écloses -> la mort date de moins de 8-20h, c'est-à-dire la nuit précédant la découverte pour un suivi matinal.
 - L'évolution des pontes des diptères ; présence d'asticots -> mort antérieure à 8-20h, c'est-à-dire que la mort a pu se produire deux ou trois nuits en arrière.
 - Les phases plus tardives, de l'ordre du jour ou quelques jours après la mort, de colonisation des coléoptères et hyménoptères, avec notamment la présence de Silphes non fousseurs tels que le Bouclier sinué (*Thanatophilus sinuatus*) intervenant au stade de putréfaction (digestion extra orale des cadavres).

- Ou du Nécrophore chasseur (*Necrophorus investigator*) qui creuse des galeries sous les cadavres et les enterre progressivement. L'état d'avancement de l'enfouissement précise aussi un délai de plusieurs heures (ou jours),
- Et l'analyse comparative que nous pouvons faire du processus de décomposition des cadavres tests dispersés sur le site et suivis au cours des deux sessions de test de la campagne de suivi.

Cette estimation reste approximative pour la présente étude, le niveau de précision nécessaire pour la suite des analyses étant aussi assez grossier. Ainsi, il convient de rester prudent sur toute analyse trop fine issue de la chronologie estimée des mortalités. Le deuxième graphique de la Figure 32 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur une si large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations à postériori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

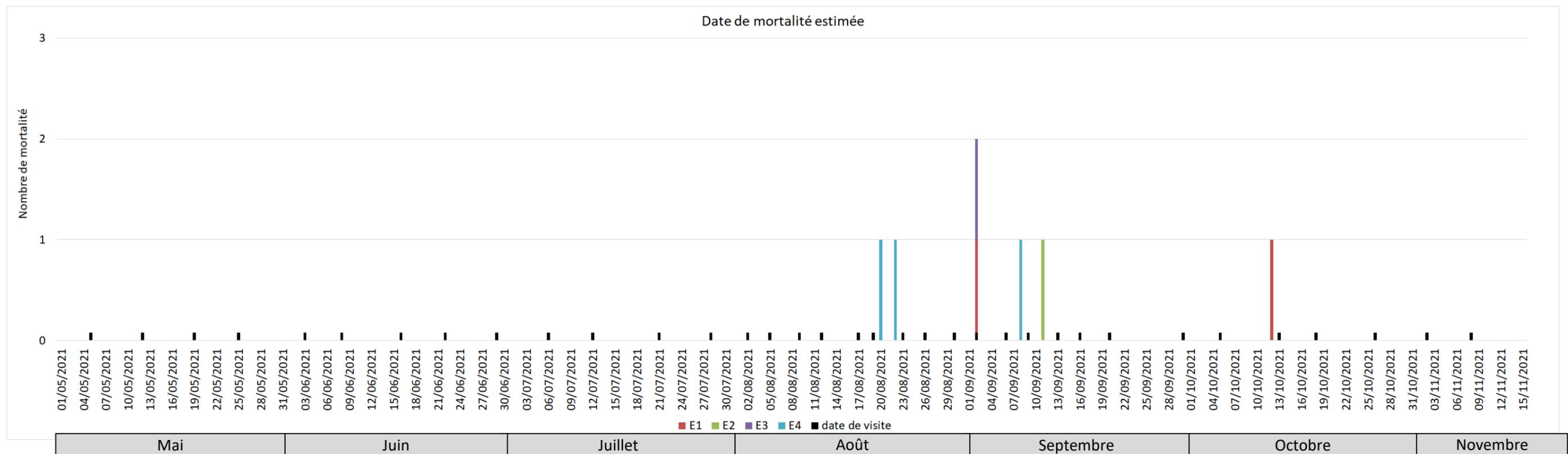
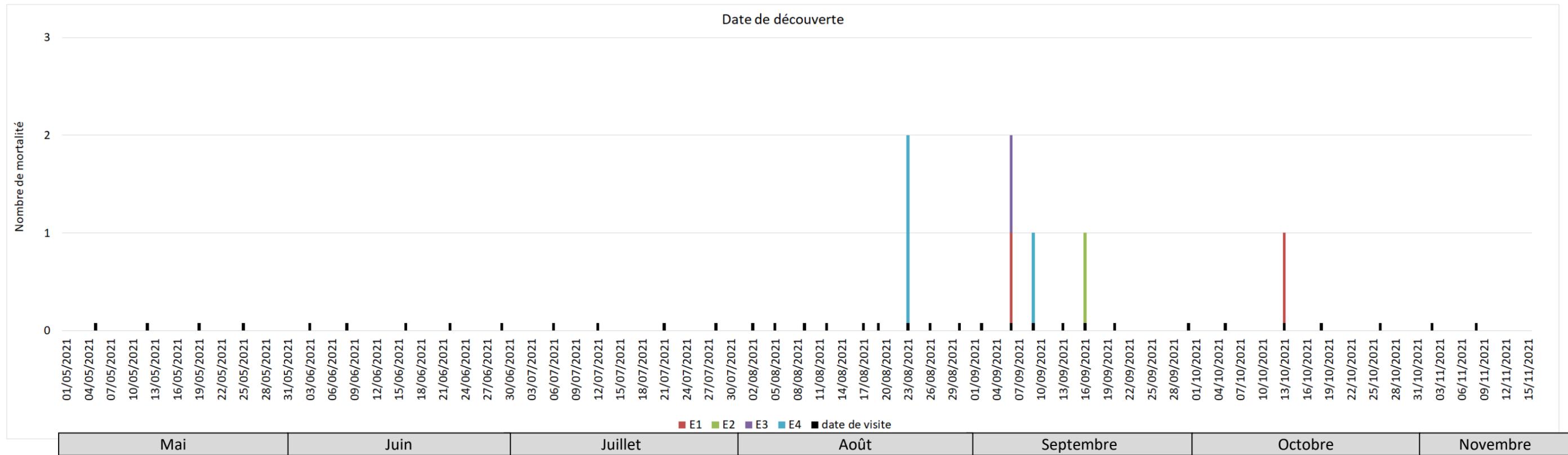
Précisons que, comparativement à d'autres parcs éoliens suivis dans la région avec la même méthodologie, les mortalités constatées sous celui de Saint-Ambroix ont apparemment été peu concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage même si l'état de dégradation de certains cadavres était avancé.

Figure 31 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) par un couple de Nécrophore chasseur (*Necrophorus investigator*), sous un autre parc



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

Figure 32 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2021



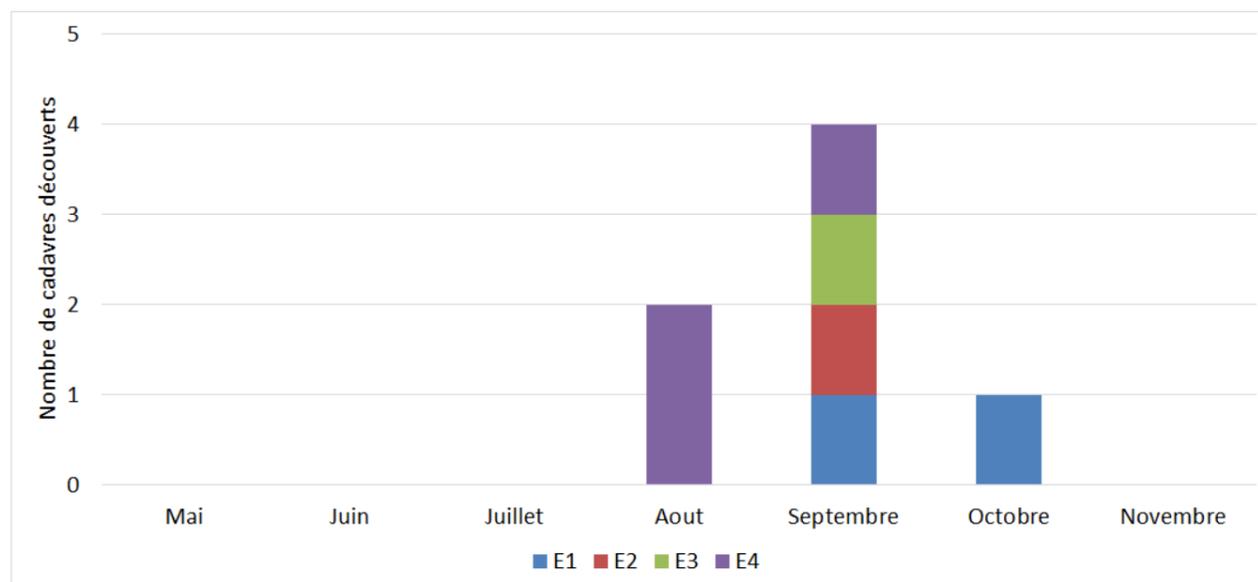
En ce qui concerne les rapports entre chronologie des mortalités et les éoliennes, il apparaît les cas de mortalité de chiroptères sont tous survenus entre le mois d'août et le mois d'octobre au cours de l'année 2021. Les mortalités liées à l'éolienne E4 semblent préférentiellement concentrées à la fin du mois d'août et au début du mois de septembre. Les mortalités au niveau des autres éoliennes sont aussi globalement concentrées dans cette période. Toutes ces mortalités sont apparues au cours de la période ayant été identifiée comme la plus à risque lors du suivi de 2020.

En effet, en 2020, les mortalités liées à l'éolienne E2 étaient préférentiellement concentrées au début du mois d'août et du mois de septembre, tandis que les mortalités liées à l'éolienne E4 étaient préférentiellement concentrées fin-mai/début juin et début septembre. Les données de 2021 confirment que la période de fin de l'été semble être la plus accidentogène, de manière assez classique comme sous de nombreux parcs éoliens.

Le mois le plus accidentogène est le mois de septembre (Figure 33) avec 5 cas de mortalité. Ce mois était aussi le plus accidentogène en 2020. Le mois d'août concentre aussi 2 cas de mortalité et en concentrait 3 en 2020.

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

Figure 33 : Chronologie des mortalités de chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2021



4.3.3 Typologie des cadavres découverts

4.3.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. Dans notre cas précis, les chauves-souris retrouvées en 2021 sur site étaient bien conservées au moment de leur détermination. Chaque individu a pu être déterminé jusqu'à l'espèce et les cadavres ont tous fait l'objet d'analyses biométriques.

Le cortège d'espèces impactées en 2021 est diversifié puisque parmi les 7 cadavres découverts, 4 espèces ont pu être discriminées : la Noctule commune, la Noctule de Leisler, la Pipistrelle commune et la Pipistrelle de Kuhl.

Pour rappel, en 2020, sur les 13 cadavres découverts, 3 espèces avaient pu être identifiées avec certitude : la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule commune.

La Figure 34 présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix en 2021. La Noctule commune est l'espèce possédant les statuts de conservation les plus défavorables parmi les espèces impactées, classée en tant que vulnérable sur la liste rouge nationale, et en tant que quasi-menacée en région Centre-Val de Loire. La Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune possèdent aussi des statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale et/ou régionale (classées en quasi-menacées).

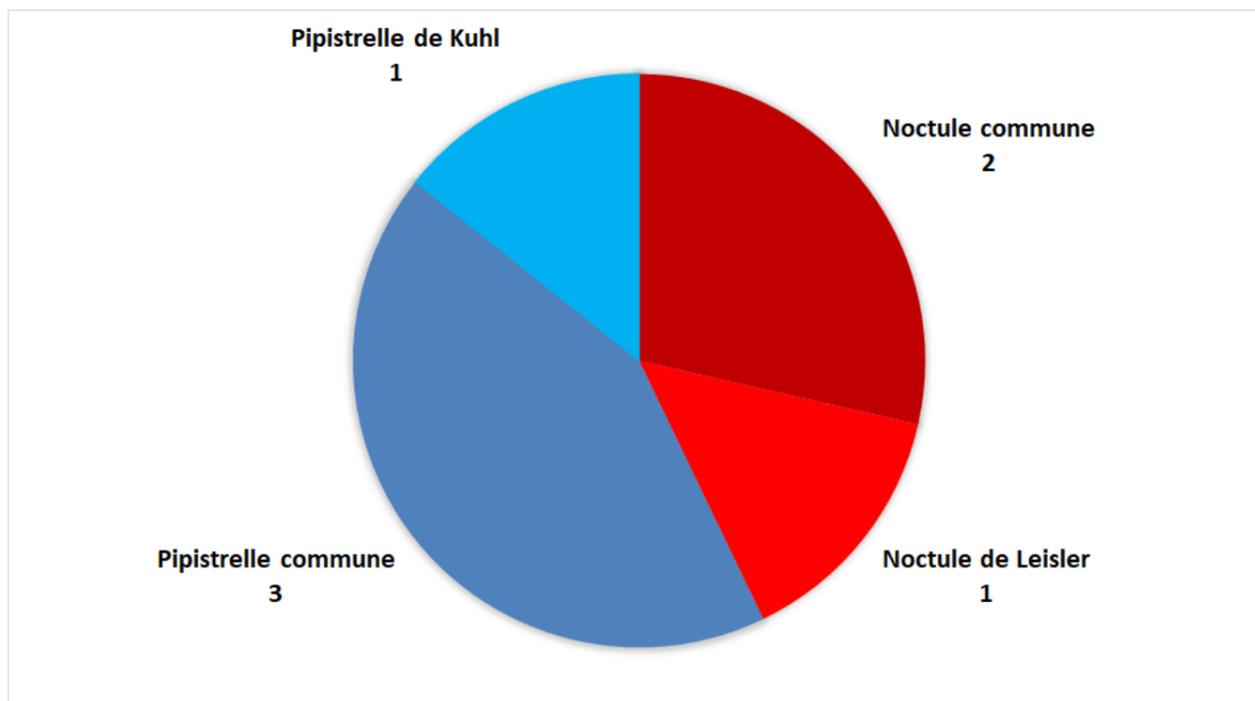
Figure 34 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces de chauves-souris retrouvées sous les éoliennes

Espèce	Nom scientifique	Abréviation	Statut de protection			Plan national d'action (2016-2025)			Statut de conservation			
			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>	Nnoc	P	H4	2	oui	oui	?	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Nlei	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ppip	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Pkuh	P	H4	2			+	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Preoc. Mineure

Le graphique suivant (Figure 35) synthétise la proportion des effectifs touchés par espèce. La Pipistrelle commune est l'espèce la plus impactée avec 3 cas de mortalité, suivie par la Noctule commune (2 cas) puis par la Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Kuhl (1 cas pour chacune).

En 2020, la Pipistrelle commune était aussi l'espèce la plus impactée avec 9 cas de mortalités. La Noctule commune avait aussi été impactée à deux reprises et un cas de mortalité de Pipistrelle de Kuhl avait été retrouvé.

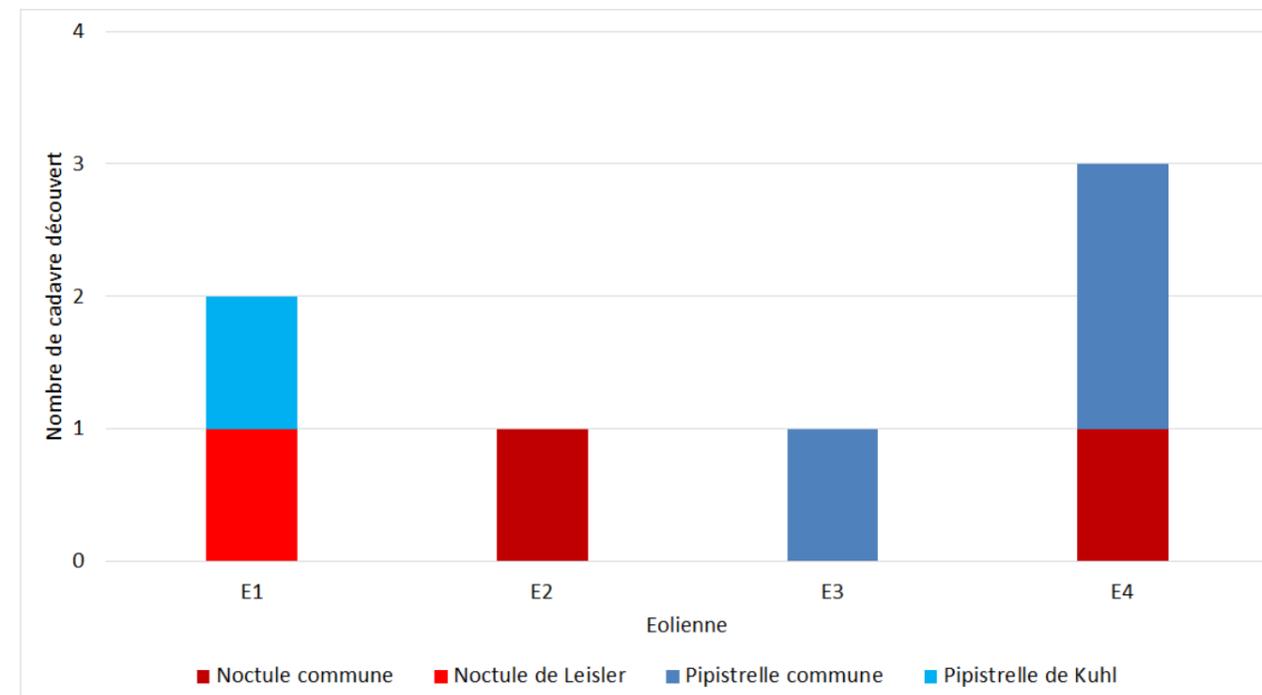
Figure 35 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2021



4.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne

Le graphique suivant (Figure 36) précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 36 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2021



Ce graphique montre une concentration des mortalités de Pipistrelles communes sous les éoliennes E3 et E4. En 2020, des concentrations de mortalités de Pipistrelle commune étaient aussi relevées sous l'éolienne E4. Pour les autres espèces, il ne semble pas y avoir de lien évident entre une éolienne et la mortalité d'une espèce en particulier.

En considérant le type de vol des espèces impactées, on considère que les pipistrelles sont typiquement des espèces de lisières (longent les corridors de structures arborées comme supports d'écholocation), alors que la Noctule commune et la Noctule de Leisler sont des espèces de haut-vol (vols de plein ciel, sans support d'écholocation particulier). Globalement, en 2021, les mortalités d'espèces de lisières et d'espèces de haut-vol ne semblent pas concentrées sous une éolienne mais sont plutôt réparties sous toutes les éoliennes du parc. En 2020, l'éolienne E4 avait affecté uniquement des espèces de lisière.

Au vu de la configuration du parc éolien en milieu ouvert, et de la proximité entre la zone du rotor et la zone d'activité des chiroptères (garde au sol de 32 mètres), les risques d'impact pourraient apparaître de façon ponctuelle lors de l'activité des espèces de lisières (longeant les lisières). Des haies ou fragments forestiers sont en effet situés à proximité de la zone de rotation des pales des éoliennes E1 et E4 du site de Saint-Ambroix. Ces risques peuvent apparaître aussi ponctuellement selon certaines conditions climatiques (conditions orageuses, vitesse de vent faible ou selon certaines directions de températures et de vent...), ou en cas d'essaimage d'insectes associé à une activité plus importante, comme nous pourrions le voir au cours du suivi d'activité en hauteur. Dans ces situations particulières, l'activité intense

des espèces de lisière peut les emmener à pénétrer dans des milieux très ouverts peu fréquentés en temps normal car généralement pauvres en disponibilités alimentaires.

Théoriquement pour les espèces de haut vol, les risques d'impact interviennent surtout lors de comportements de haut vol (en plein ciel) en particulier en période de transit migratoires, mais on ne peut écarter l'hypothèse d'exploitation de ressources alimentaires par opportunisme.

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

La figure suivante (Figure 37) représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2021. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse en groupe, comportements sociaux...).

Deux types de mortalité peuvent être définis :

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

- Pics de mortalité

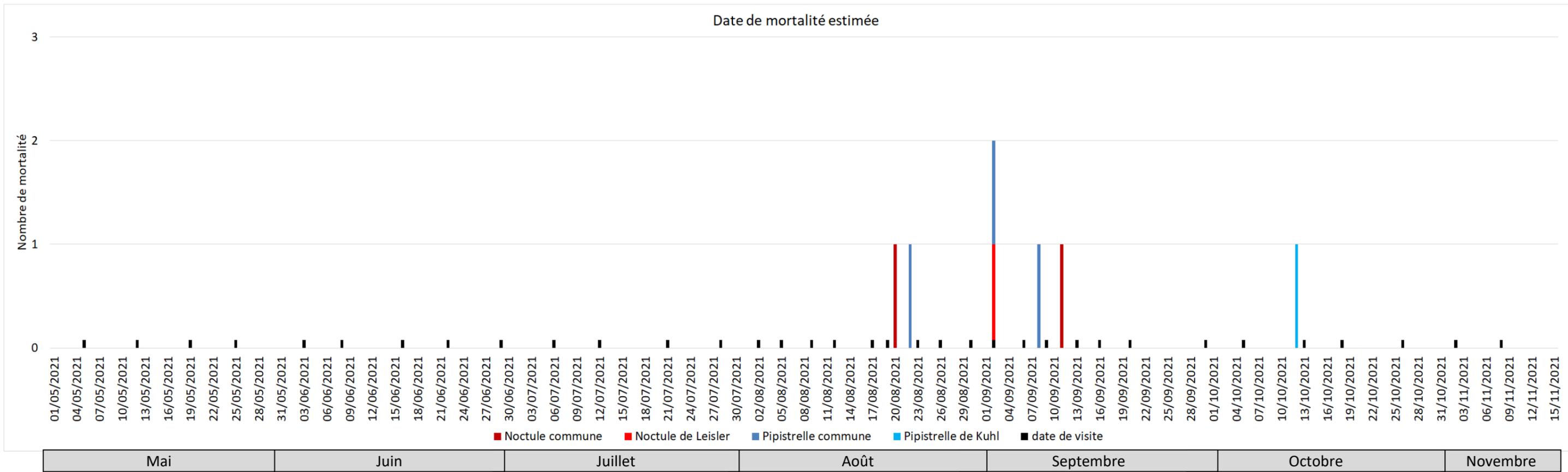
Un pic de mortalité semble apparaître lors de la nuit du 02 septembre 2021 où une Noctule de Leisler et une Pipistrelle commune ont été affectées, mais globalement, il n'y a pas de pic de mortalité spécifique à une espèce pour une nuit donnée. Il semble toutefois que la période allant de la mi-août à la mi-septembre regroupe la totalité des mortalités des espèces les plus patrimoniales impactées sur le parc de Saint-Ambroix, ce qui en fait aussi la période à plus forts risques de mortalité pour les chiroptères. **La grande majorité des mortalités a donc lieu sous la forme d'une succession de cas de mortalité regroupés sur une courte période.**

Généralement, on considère que les périodes de mi-été/début d'automne sont des périodes qui peuvent aussi bien correspondre à des périodes de plus fortes activités liées à des opportunités alimentaires qu'à des phases de transits. Ces types de comportements peuvent théoriquement être propices à des déplacements à une altitude plus élevée que lors des déplacements habituels (chasse, transit). Plusieurs cas de mortalité d'espèce de lisières pourraient correspondre à des comportements de chasse d'essaimages insectes liés à de fortes chaleurs lors de ces périodes. Des mortalités liées au comportement migratoire/transit pourraient concerner la Noctule commune et la Noctule de Leisler.

- Mortalité dite « régulière »

La mortalité régulière semble quant à elle peu courante sur le parc éolien de Saint-Ambroix. Un cas de mortalité a eu lieu en octobre et pourrait correspondre à ce type de mortalité.

Figure 37 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (d'après les dates de mortalité estimée) en 2021



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

➤ Pipistrelle commune (3 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Pipistrelle commune**, 2 cadavres de mâles adultes ont été retrouvés le 23 août et le 09 septembre 2021 sous l'éolienne E4, ainsi qu'une femelle adulte le 06 septembre 2021 sous l'éolienne E3. Les mortalités sont estimées comme datant du 22 août, du 02 septembre et du 08 septembre 2021. Ces mortalités à la fin de l'été / début d'automne confirment que cette période possède un risque accru de mortalités pour cette espèce au vu des suivis des années précédentes.

Il est très probable que ces individus aient été impactés lors de comportements de chasse, la Pipistrelle commune étant une espèce plutôt sédentaire, mais les individus concernés peuvent aussi être des individus en période de swarming en fin de saison (grands regroupements liés à la reproduction avant l'hiver). Il est aussi possible que les individus impactés l'aient été lors des déplacements entre le gîte et la zone de chasse, voire lors de déplacements entre différents gîtes. Ce constat avait aussi été fait pour cette espèce en 2020, en supposant la présence de sites de reproduction localisés dans l'entourage du parc éolien, probablement au niveau d'arbres creux ou d'abris rudimentaires construits à proximité. La mortalité en 2020 concernait en majorité des femelles adultes, ce qui ne fut pas le cas en 2021.

Figure 38 : Cliché de la Pipistrelle commune découverte le 23 août 2021 sous l'éolienne E4



➤ Noctule commune (2 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Noctule commune**, 2 cas de mortalité ont été retrouvés le 23 août et le 16 septembre, correspondant à une femelle adulte pour le premier individu, et à un individu indéterminé pour le deuxième. Les mortalités sont estimées comme étant survenues le 20 août et le 11 septembre 2021. Lors du suivi de 2020, les deux mortalités de cette espèce étaient datées au début du mois d'août et au début du mois de septembre.

A cette période de l'année, les mortalités relevées peuvent concerner des individus impactés lors de comportements de chasse. En septembre, la Noctule commune peut être migratrice et exploiter de manière opportuniste des essaimages d'insectes, tout comme la Noctule de Leisler. En effet, de début septembre à la fin de l'automne, les femelles de Noctule commune retournent sur les lieux de pariades (reproduction) puis d'hibernations dans nos régions. 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, les individus impactés pouvaient soit être en transit, s'exposant alors aux mortalités liées à l'éolien par leurs comportements de haut vol, soit être en chasse au niveau du rotor avec une présence potentielle d'essaims d'insectes en hauteur. Les individus impactés peuvent être aussi bien des mâles erratiques ou des individus en période de reproduction.

Figure 39 : Cliché de la Noctule commune découverte le 23 août 2021 sous l'éolienne E4



➤ Noctule de Leisler (1 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Noctule de Leisler**, 1 cas de mortalité a été retrouvé le 06 septembre 2021 sous l'éolienne E1. La mortalité correspond à un individu adulte et sa date de mortalité a été estimée au 02 septembre 2021. Lors du suivi de 2020, cette espèce n'avait pas été retrouvée sous les éoliennes du parc.

A cette période de l'année, les mortalités relevées peuvent 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 mais aussi lors de comportements de chasse pour suivre les essaimages d'insectes.

Figure 40 : Cliché de la Noctule de Leisler découverte le 06 septembre 2021 sous l'éolienne E1



➤ Pipistrelle de Kuhl (1 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Pipistrelle de Kuhl**, un cadavre a été retrouvé le 13 octobre 2021 sous l'éolienne E1. L'occurrence de la mortalité a été estimée à la veille et correspond à une femelle adulte. Lors du suivi de 2020, cette espèce avait été impactée le 13 août, probablement lors de comportements de chasse.

Concernant la mortalité de 2021, il est probable qu'à cette période de l'année l'individu impacté corresponde à un individu en chasse à proximité de l'éolienne, profitant des derniers essaimages d'insectes avant la période hivernale. Les températures clémentes du mois d'octobre 2021 (entre 8 et 15°C pour la nuit du 12 au 13 octobre) ont probablement favorisé les essaimages et donc ce genre de comportements à risques.

4.3.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

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

Généralement, plus la distance à l'éolienne est importante, moins le nombre de cadavres retrouvés est important. Lors du suivi de 2021, cette dispersion ne semble pas aller dans le sens de cette hypothèse, avec des cadavres concentrés aux deux classes de distances les plus extrêmes. La majorité des cadavres a même été découverte à plus de 40 mètres (4 cadavres). Cette dispersion laisse présager des causes ou des conditions de mortalités particulières pour ces cadavres.

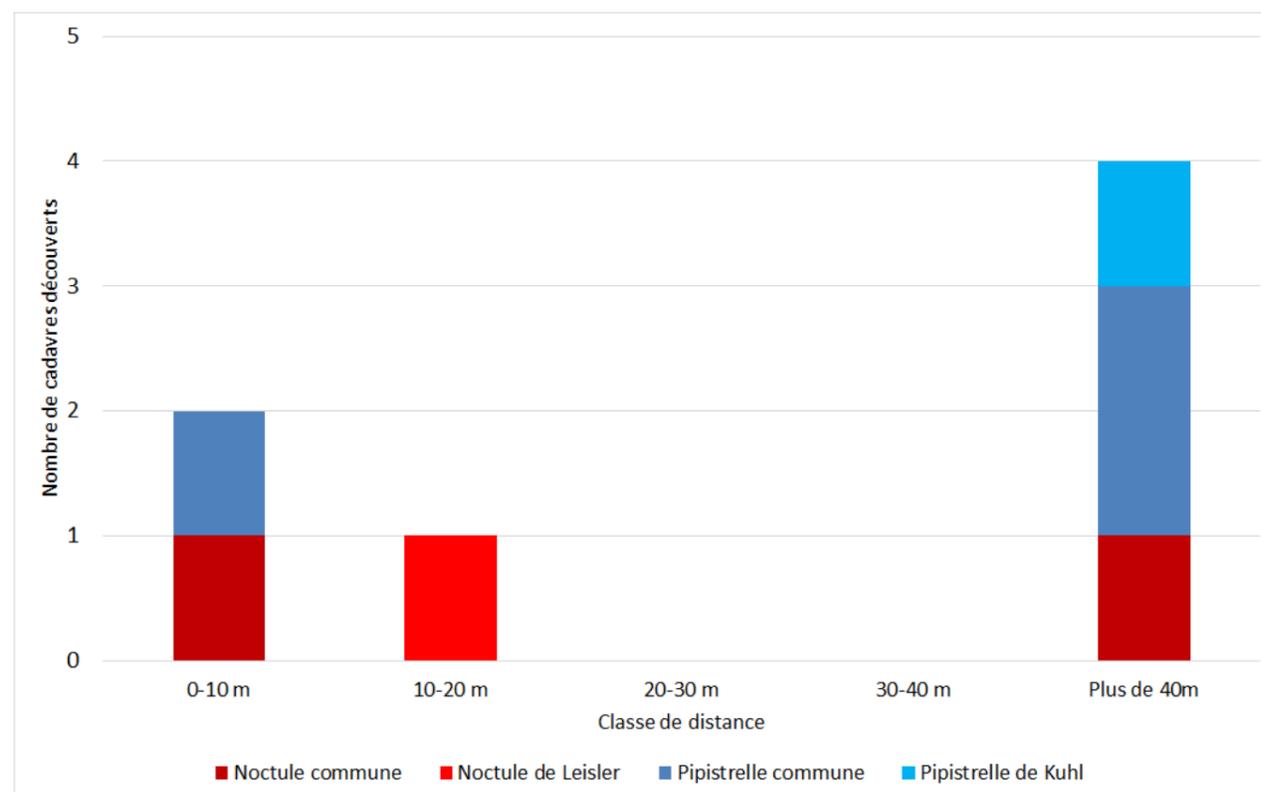
Pour rappel, en 2020, les cadavres avaient été découverts à toute les classes de distance et la dispersion était donc assez homogène.

avoir de lien entre distance vis-à-vis du mât et type de vol des individus retrouvés : les espèces de haut vol comme la Noctule commune et la Noctule de Leisler sont retrouvées aussi bien proches que loin du mât, et ce constat est similaire pour les espèces de lisières (Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl).

Finalement, nous retiendrons que les dispersions permettent de supposer qu'au moins une partie des mortalités constatées peut être liée à des vols à faible hauteur pour les individus impactés proche du mât, probablement liés à des comportements de chasse, l'autre partie étant potentiellement liée à des vols hauts. Mais il s'agit aussi de nuancer ces hypothèses, le poids des cadavres étant un élément important jouant sur la distance de dispersion. Il se peut que des cadavres légers comme les chiroptères puissent être impactés plus en hauteur et être retrouvés au sol relativement proche du mât.

Le risque accru de mortalité pour les espèces de lisière, présumé en 2020, est apparu moins évident en 2021 avec une mortalité toute aussi importante d'espèce de haut vol. Rappelons que le dimensionnement de la régulation appliqué sur une partie de la saison 2021 a ciblé en particulier ces espèces de lisières, ce qui peut expliquer en partie la réduction des mortalités de ces espèces en 2021.

Figure 41 : Graphique de répartition des cadavres de 2021 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



La distance moyenne de dispersion pour les 7 cadavres est d'environ 32 m. La dispersion est plus marquée que lors du suivi de 2020 où la distance moyenne était de 24,5 mètres. Globalement, il ne semble pas y

4.3.5 Taux de mortalité des chauves-souris

4.3.5.1 Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2021

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

3 types de recouvrement du sol ont donc été créés :

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

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

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

Un cas de mortalité d'une chauve-souris relevé sous l'éolienne E4 le 09 septembre 2021 n'a pas été pris en compte dans les calculs du taux de mortalité, ce cadavre ayant été retrouvé en dehors du carré de prospection défini dans le cadre du protocole de suivi, à 70 mètres du mât de l'éolienne.

Figure 42 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de prospection et nombre total de cadavres de chauves-souris découverts sous les éoliennes)

Date des visites	Période	Végétation			Mortalité chauves-souris
		Type 1	Type 2	Type 3	
5-mai	Période 1	83,58	16,42	0,00	
12-mai	Période 1	81,82	14,77	3,41	
19-mai	Période 1	84,44	13,33	2,22	
25-mai	Période 1	80,00	20,00	0,00	
3-juin	Période 1	80,00	8,89	11,11	
8-juin	Période 1	69,90	27,18	2,91	
16-juin	Période 1	78,13	21,88	0,00	
22-juin	Période 1	72,63	4,21	23,16	
29-juin	Période 1	52,75	9,89	37,36	
06-juil	Période 1	48,54	33,01	18,45	
12-juil	Période 2	35,29	50,98	13,73	
20-juil	Période 2	30,65	63,44	5,91	
28-juil	Période 2	31,25	56,25	12,50	
02-août	Période 2	25,86	60,92	13,22	
05-août	Période 2	20,75	28,53	50,72	
09-août	Période 2	25,86	68,39	5,75	
12-août	Période 2	62,00	38,00	0,00	
17-août	Période 2	26,37	73,63	0,00	
19-août	Période 2	16,38	83,62	0,00	
23-août	Période 2	30,00	70,00	0,00	2
26-août	Période 2	47,99	52,01	0,00	
30-août	Période 2	24,20	75,80	0,00	
03-sept	Période 2	14,33	85,67	0,00	
06-sept	Période 2	26,37	66,67	6,97	2
09-sept	Période 2	30,00	67,89	2,11	
13-sept	Période 2	26,37	66,67	6,97	
16-sept	Période 2	34,42	65,58	0,00	1
20-sept	Période 2	71,25	18,75	10,00	
30-sept	Période 2	30,00	68,95	1,05	
05-oct	Période 2	29,12	69,78	1,10	
13-oct	Période 2	29,08	69,90	1,02	1
18-oct	Période 2	39,44	57,75	2,82	
26-oct	Période 2	44,19	37,21	18,60	
02-nov	Période 2	49,14	38,79	12,07	
08-nov	Période 2	55,88	44,12	0,00	
Moyenne		45,37	47,11	7,52	6,00
Période 1		73,18	16,96	9,86	0,00
Période 2		34,25	59,17	6,58	6,00

4.3.5.2 Les formules utilisées

a) Winkelmann (2005)

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés

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

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

a : Coefficient de correction surfacique

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

b) Erickson (2000)

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

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés

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

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

a : Coefficient de correction surfacique

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

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

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés

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

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

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

a : Coefficient de correction surfacique

c) Jones (2009)

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

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

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés

a : Coefficient de correction surfacique

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

\hat{I} : Intervalle effectif

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

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

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

a : Coefficient de correction surfacique

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

\hat{I} : Intervalle effectif

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

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

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

d) Huso (2010)

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts

4.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2021, deux tests ont été menés le 08 juin et un le 23 août pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

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

a) Taux de détection

Figure 43 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	39	21	0,54
Type 1	Moyenne	Moyenne	16	8	0,50
Type 2	Moyenne	Moyenne	15	10	0,67
Type 3	Moyenne	Moyenne	8	3	0,38
Moyen	E1	08/06/2021	9	6	
Type 1	E1	08/06/2021	5	3	
Type 2	E1	08/06/2021	3	3	
Type 3	E1	08/06/2021	1	0	
Moyen	E4	08/06/2021	10	4	
Type 1	E4	08/06/2021	3	1	
Type 2	E4	08/06/2021	5	2	
Type 3	E4	08/06/2021	2	1	
Moyen	E2	23/08/2021	10	8	
Type 1	E2	23/08/2021	4	3	
Type 2	E2	23/08/2021	3	3	
Type 3	E2	23/08/2021	3	2	
Moyen	E4	23/08/2021	10	3	
Type 1	E4	23/08/2021	4	1	
Type 2	E4	23/08/2021	4	2	
Type 3	E4	23/08/2021	2	0	

		Pourcentage de prospection		
	d	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,57	45,37	47,11	7,52
Période 1	0,52	73,18	16,96	9,86
Période 2	0,59	34,25	59,17	6,58

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavres découverts par l'observateur :

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

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

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

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

$$d = 0,50 * (45,37/100) + 0,67 * (47,11/100) + 0,38 * (7,52/100) = 0,57$$

Autrement dit, 57% des peluches dispersées ont été retrouvées en moyenne. Ce pourcentage est comparable avec celui calculé en 2020 (63%).

b) Taux de persistance

Figure 44 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance (en orange, le nombre de poussins restant supposés)

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Nombre de jours après dépôt					Tm	p_moy en	p_péριο de 1	p_péριο de 2
				1	3	7	8	14				
Moyen	 	Moyenne	23	21	14	6	6	0	3,43	0,39	0,28	0,44
Type 1	 	Moyenne	9	8	6	2	2	0	3,33	0,39	0,24	0,45
Type 2	 	Moyenne	8	7	5	3	3	0	4,00	0,47	0,39	0,50
Type 3	 	Moyenne	6	6	3	1	1	0	2,83	0,29	0,18	0,34
Moyen	Toutes	08/06/2021	12	12	9	6	6	0				
Type 1	Toutes	08/06/2021	5	5	4	2	2	0				
Type 2	Toutes	08/06/2021	5	5	4	3	3	0				
Type 3	Toutes	08/06/2021	2	2	1	1	1	0				
Moyen	Toutes	23/08/2021	11	9	5	0	0	0				
Type 1	Toutes	23/08/2021	4	3	2	0	0	0				
Type 2	Toutes	23/08/2021	3	2	1	0	0	0				
Type 3	Toutes	23/08/2021	4	4	2	0	0	0				

		Pourcentage de prospection			
	Tm	p	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	3,43	0,39	 	 	
Période 1	3,40	0,26	73,18	16,96	9,86
Période 2	3,69	0,47	34,25	59,17	6,58

- Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

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

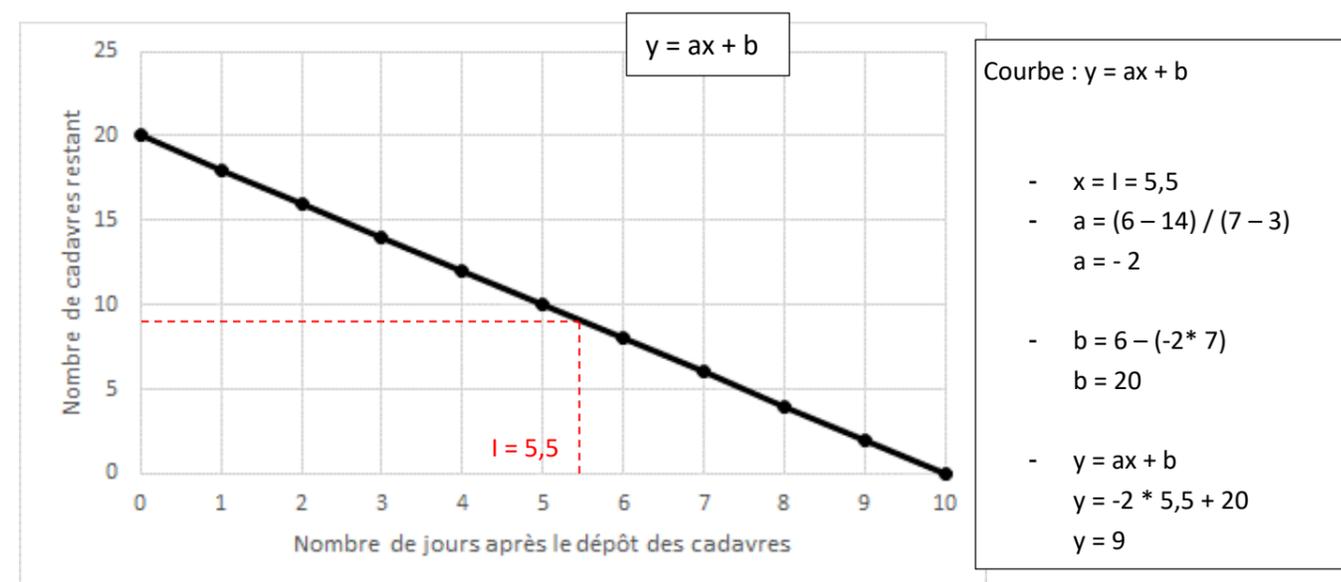
Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2021 (cf. Figure 42 page 50). Le tableau suivant détaille ce calcul. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de **I = 5,50 jours**. Cet intervalle moyen est différent en fonction de la période de suivi considérée, et équivaut à 6,80 jours pour la première période, du 05 mai au 06 juillet, et est égal à 4,96 jours pour la deuxième période, du 12 juillet au 8 novembre.

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	1	2
3	6	18
4	6	24
5	5	25
6	4	24
7	5	35
8	5	40
9	1	9
10	1	10
Total	34	187
Intervalle pondéré (tot)		5,50

Période 1	6,80
Période 2	4,96

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 14 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Le schéma suivant montre les étapes de calcul du « nombre de cadavres encore présents après I jours ».

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



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après } I \text{ jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{9}{23} = 0,39$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,39**.

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **p variant entre 0,26 (période 1) et 0,47 (période 2)**.

Lors du suivi de 2020, la valeur de p était comparable et comprise entre 0,35 et 0,45 en fonction de la période considérée.

- Paramètre Tm (formules d'Erickson + Jones + Huso)

Le paramètre Tm traduit la durée moyenne de persistance d'un cadavre. Tm se calcule sur la durée au bout de laquelle tous les cadavres test ont disparu. Dans notre cas précis, **Tm est égal à 3,43**.

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

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vus précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **Tm variant entre 3,40 (période 1) et 3,69 (période 2)**.

Autrement dit, la vitesse de disparition des cadavres est d'environ 3-4 jours, ce qui sous-entend une prédation modérée sur le site par rapport à d'autres parcs éoliens en France. Ce résultat est similaire à la valeur de Tm calculée en 2020.

c) Coefficient de correction surfacique

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

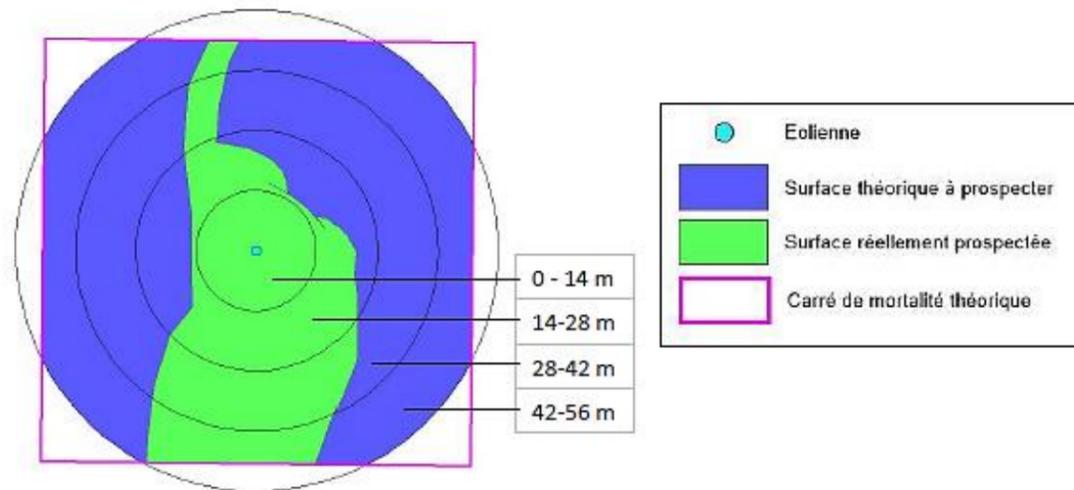
Arnett (2005) propose un mode de calcul du coefficient surfacique qui prend en compte à la fois la dispersion des cadavres découverts sous les éoliennes et la proportion de surfaces prospectées par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne. Cette estimation est basée sur la formule suivante,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

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

Avec :

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

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



Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2021 en fonction des surfaces prospectées (en hectare). Un cadavre ayant été retrouvé à plus de 56 mètres de distance, celui-ci n'a pas été pris en compte dans le calcul du coefficient surfacique

Figure 46 : Paramètres de calcul du coefficient surfacique

	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	0,46	26,65	3
28m - 42m	0,3077	4	1,2308	0,47	37,79	0
14m - 28m	0,1846	4	0,7384	0,36	49,33	0
0m - 14m	0,0615	4	0,246	0,23	93,62	3

a = 2,41

On remarque de façon classique que la surface prospectée est de moins en moins importante lorsqu'on s'éloigne du mât. Le coefficient de correction surfacique calculé en 2021 possède une valeur élevée, du fait de la moitié des cadavres de chauves-souris ayant été retrouvés dans le cercle de distance le plus éloigné du mât et le moins prospecté.

Pour rappel, la valeur du coefficient surfacique calculée en 2020 était plus faible, avec une valeur de 2.

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

Le tableau suivant (Figure 47) synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 47 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	6,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,57	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,39	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	3,43	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	5,50	Pas de temps du suivi
Î	6,87	$\hat{I} = -\log(0.01) * tm$
ê	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(I/\hat{I}) / I$
a	2,41	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 (sachant que les valeurs de chaque paramètre est arrondi au centième).

Winkelmann :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{6}{0.39 \times 0.57} \times 2,41 = 64,94$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{5,50 \times (6 - 6 \times 0.39)}{3.43 \times 0.57} \times 2,41 = 40,53$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{5,50 \times 6}{3.43 \times 0.57} \times 2.41 = 40,69$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}} \times a = \frac{6}{0.57 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 5,50 / 3,43)}} \times 2.41 = 56,59$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I}} \times a = \frac{6}{0.57 \times \frac{3.43 \times (1 - e^{-5,50/3,43})}{5.50}} \times 2.41 = 50,97$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 05 mai au 08 novembre 2021 et pour les 4 éoliennes suivies. Ces résultats sont basés sur 6 mois, soit plus de la moitié de la période d'activité du cycle biologique des chiroptères. Même si ce raisonnement dépend bien sûr des espèces, on considère en effet que la phase d'activité des chiroptères s'étale en moyenne sur 8 mois/an (4 mois d'hibernation) sur le site de 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 6 (6 mois de suivi) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères)
- on multiplie par 4 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères).

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau suivant (Figure 48) synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 15,73 mortalités par éolienne et par an** (Figure 48), avec une fourchette qui oscille entre 13,51 et 18,86 (21,65 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 48 : Résultats des calculs de taux de mortalité des chauves-souris pour le suivi 2021 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkermann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkermann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	64,94	40,53	40,69	56,59	50,97	50,74	47,19
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	16,23	10,13	10,17	14,15	12,74	12,69	11,80
Mortalité par éolienne et par mois	2,71	1,69	1,70	2,36	2,12	2,11	1,97
Mortalité par éolienne et pour une année	21,65	13,51	13,56	18,86	16,99	16,91	15,73
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	86,58	54,04	54,25	75,45	67,95	67,66	62,92

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

Ici on tient compte de la hauteur des types de végétation. Ci-dessous (Figure 49) sont ainsi présentées les valeurs des paramètres nécessaires aux différentes équations.

Figure 49 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Période	Valeurs	Explications
C	Période 1	0,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
	Période 2	6,00	
d	Période 1	0,52	Valeur du taux de détection pondérée selon le type de recouvrement moyen
	Période 2	0,59	
p	Période 1	0,26	Valeur du taux de persistance pondérée selon le type de recouvrement moyen
	Période 2	0,47	
tm	Période 1	3,40	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain
	Période 2	3,69	
l	Période 1	6,80	Pas de temps du suivi
	Période 2	4,96	
î	Période 1	6,79	$\hat{I} = -\log(0.01) * tm$
	Période 2	7,39	
ê	Période 1	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{I}) / l$
	Période 2	1,00	
a	Toutes périodes confondues	2,41	Coefficient de correction surfacique selon la période

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

La formule de Winkermann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 13,17 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette qui oscille entre 10,91 et 15,97 (17,25 pour la formule de Winkermann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 50 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2021 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkermann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkermann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	51,75	32,72	32,87	47,92	44,50	41,95	39,50
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	12,94	8,18	8,22	11,98	11,13	10,49	9,88
Mortalité par éolienne et par mois	2,16	1,36	1,37	2,00	1,85	1,75	1,65
Mortalité par éolienne et pour une année	17,25	10,91	10,96	15,97	14,83	13,98	13,17
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	69,00	43,62	43,83	63,89	59,33	55,93	52,67

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

L'application Shiny « EolApp » a été créée par Aurélien Besnard et Cyril Bernard pour permettre d'obtenir les intervalles de confiance à 95% des estimations de mortalité obtenues dans le cadre des suivis sous les éoliennes. Cette application web est disponible à l'adresse suivante : <https://shiny.cefe.cnrs.fr/EolApp/>.

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

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

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

Le tableau suivant (Figure 51) détaille l'ensemble de ces paramètres.

Figure 51 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	5,50
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	39
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	21
Pourcentage de la surface prospectée	0,39

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

Figure 52 : Sortie de l'application Shiny EolApp, Taux de mortalité pour le parc éolien de Saint-Ambroix en 2021 (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	44,29	6,86	113,69	17,45	84,56
Huso	55,68	8,98	135,12	22,03	102,77
Winkelmann	109,52	15,65	383,33	40,35	242,11
Jones	62,49	9,89	158,12	24,53	117,54
Moyenne par éolienne	17,00	2,59	49,39	6,52	34,19
Moyenne par éolienne (sans Winkelmann)	13,54	2,14	33,91	5,33	25,41

En considérant les 3 modèles (sans Winkelmann), il y a 80% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées par éolienne se situe entre 6,5 et 34 cas de mortalité. De même, il y a 95% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées par éolienne se situe entre 3 et 49 cas de mortalité.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- on divise par 6 (6 mois de suivi) -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**

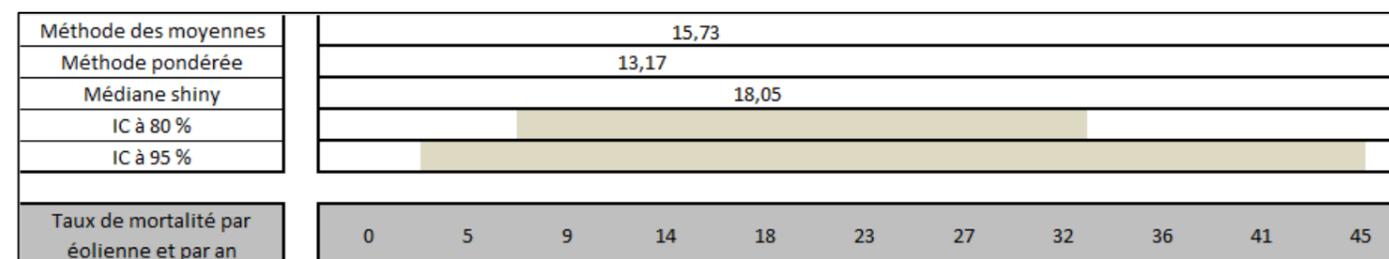
- on multiplie par 8 -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des chauves-souris).

On aboutit donc à un résultat pour un intervalle de confiance de 95% de l'ordre de 3 à 45 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann). A un intervalle de confiance de 80%, le résultat est de l'ordre de 7 à 34 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

Avec la médiane de 13,54 mortalités par éolienne sur la période de suivi, on aboutit à **18 chauves-souris/éolienne/an** pour toute la période d'activité des chiroptères.

4.3.5.7 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2021

Les fourchettes de résultats fournies par l'application Shiny « Eol App » englobent nos résultats de calculs, même s'ils se situent plutôt dans la fourchette basse des estimations. Nous retiendrons que théoriquement nous aboutissons à un résultat de l'ordre de **13 à 18 cas de mortalité par éolienne et par an**, soit environ 52 à 72 mortalités par an pour le parc éolien de Saint-Ambroix (constitué de 4 éoliennes).



Pour rappel, en 2020, le taux de mortalité avait été estimé comme compris entre 27 et 36 cas par éolienne et par an. Ce taux de mortalité a donc diminué entre les deux années de suivi, principalement en lien avec la diminution du nombre de Pipistrelles communes impactées. Cela peut être en partie lié à la mise en place du pattern de régulation préconisé à l'issue du suivi de 2020 et implémenté en machine à partir du 29 juillet 2021, couvrant la période à plus forts risques de mortalité.

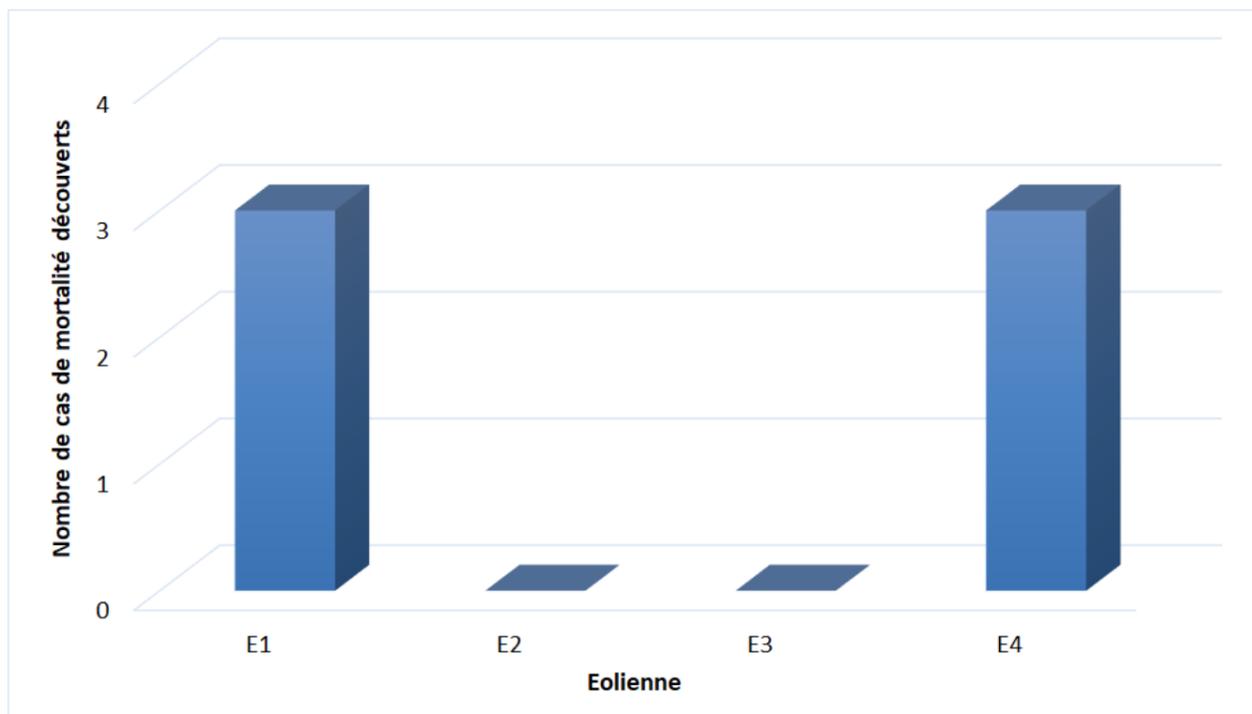
Ce taux de mortalité calculé en 2021 reste toutefois élevé, influencé par le nombre de cadavres retrouvés mais aussi par des estimateurs parfois non négligeables (persistance des cadavres en 3 à 4 jours, coefficient surfacique supérieur à 2). Rappelons d'autant plus qu'un cadavre de Pipistrelle de Kuhl n'a pas été pris en compte dans le calcul du taux de mortalité, celui-ci ayant été retrouvé en dehors du carré de mortalité.

4.4. Bilan de la mortalité des oiseaux

4.4.1 Bilan des mortalités par éolienne

4 cadavres et deux plumées d’oiseaux ont été retrouvés sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix au cours de la campagne de suivi menée entre le 05 mai et le 08 novembre 2021 (Figure 53). Un cadavre de Bergeronnette grise a aussi été retrouvé emprisonné dans le caisson de ventilation au pied de l’éolienne E2 le 17 août 2021. Ce cadavre n’a pas été pris en compte dans les graphiques et les analyses puisque la mortalité n’a pas été causée directement par l’éolienne. Depuis ce cas de mortalité, les accès au caisson de ventilation utilisables par la faune ont par ailleurs été grillagés afin d’empêcher tout passage.

Figure 53 : Bilan des mortalités d’oiseaux constatées en 2021 et répartition par éolienne



Pour 35 visites de recherche réalisées au cours d’une période de 6 mois, cela représente une moyenne de 1 oiseau découvert par mois sous l’ensemble des éoliennes (soit 4 éoliennes). On note que 2 des 4 éoliennes ont été à l’origine de mortalités avérées d’oiseaux en 2021, avec 3 mortalités chacune pour les éoliennes E1 et E4. Pour comparaison, en 2020, 4 cadavres et une plumée d’oiseaux avaient été retrouvés, et les éoliennes les plus impactantes avaient été les éoliennes E2 et E3 avec 2 mortalités chacune, et une mortalité pour l’éolienne E1.

Finalement, on note qu’en 2021, les mortalités se sont réparties sur les deux éoliennes du parc les plus à l’ouest du parc éolien et les plus proches des éléments arborés du paysage. En considérant une dimension pluriannuelle, il ne semble pas y avoir d’éolienne plus mortifère que les autres, puisque les éoliennes E2 et E3 étaient les plus concernées par des mortalités.

4.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d’oiseaux

Le premier graphique de la Figure 54 représente la chronologie des découvertes de cadavres d’oiseaux sur l’ensemble du parc éolien en 2021.

Le délai qui s’écoule entre la mort des oiseaux et la date de découverte des cadavres dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l’efficacité du chercheur. Comme le protocole d’étude était basé en 2021 sur une ou deux visites de terrain par semaine selon la période, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier ;

- entre 0 (cas d’un oiseau tombé la nuit précédant la visite) et 3 – 4 jours en période de deux visites par semaine,
- entre 0 (cas d’un oiseau tombé la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (en période d’une visite par semaine),
- parfois plus pour les cadavres qui n’auraient été trouvés qu’après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

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

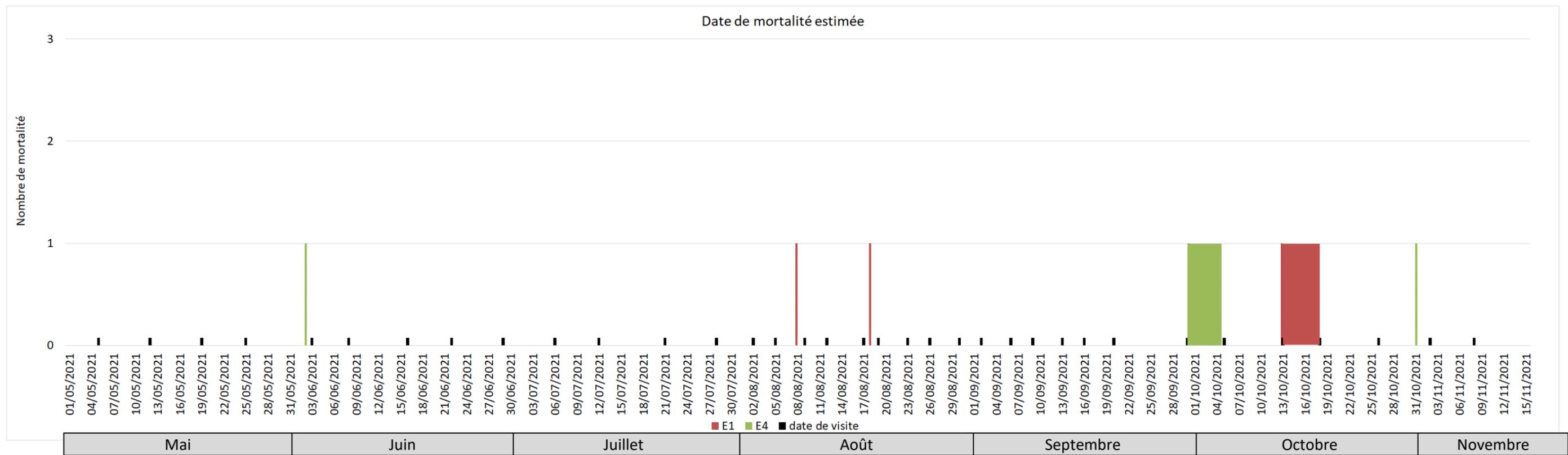
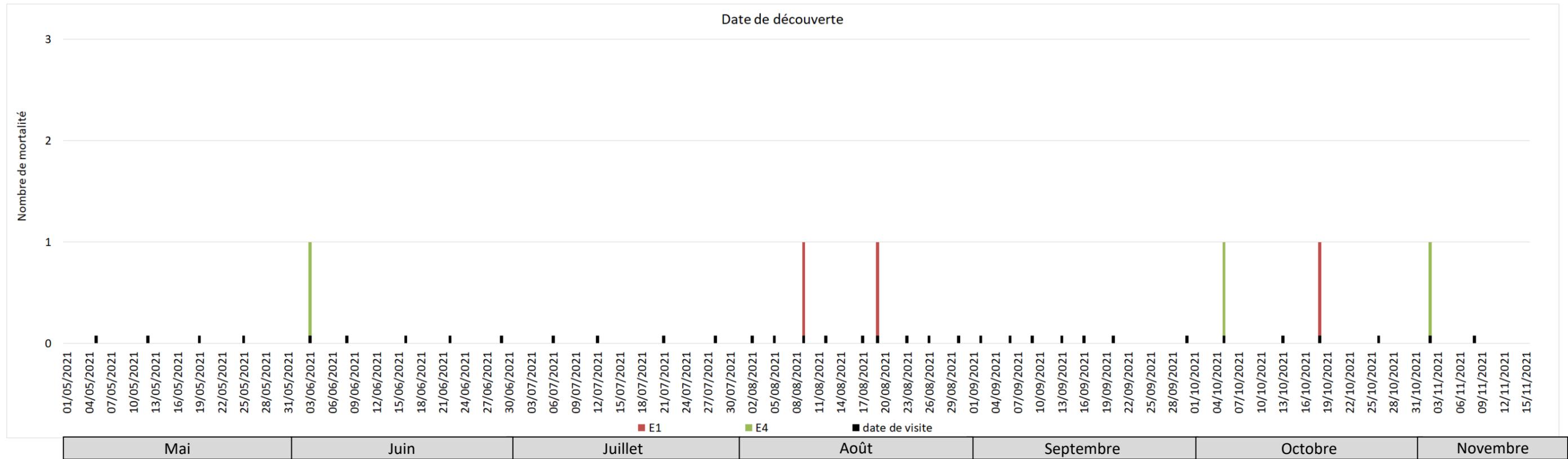
Comme pour les chauves-souris, plusieurs critères d’appréciation peuvent être utilisés en parallèle (cf. : 4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris).

Cette estimation reste approximative pour la présente étude, le niveau de précision nécessaire pour la suite des analyses étant aussi assez grossier. Ainsi, il convient de rester prudent sur toute analyse trop fine issue de la chronologie estimée des mortalités. Le deuxième graphique de la Figure 54 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur une large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d’éventuelles confrontations a posteriori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

Précisons que, comparativement à d’autres parcs éoliens suivis dans la région avec la même méthodologie, les mortalités constatées sous les éoliennes de Saint-Ambroix ont pu être concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage (2 plumées d’oiseaux ayant notamment été retrouvées).

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

Figure 54 : Chronologie des mortalités d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2021 (les dates de mortalité pour les plumées sont représentées par des périodes)

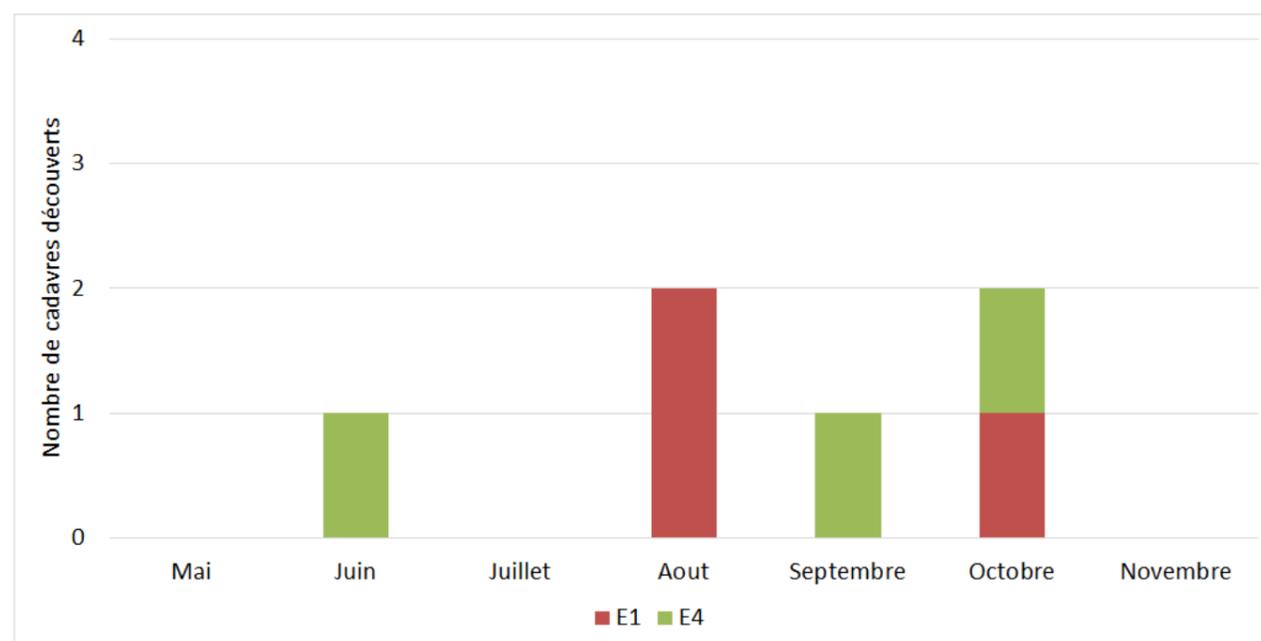


En ce qui concerne les rapports entre les cas de mortalité, leur chronologie, et les éoliennes, nous relevons une seule concentration de mortalité sous l'éolienne E1, entre le début du mois d'août et la mi-août (2 mortalités). Les autres mortalités sont plus étalées sur la saison de suivi et ne semblent pas concentrées à une période donnée pour une éolienne spécifique. Les plumées apparaissent dans le graphique sous forme d'intervalles comme la date de mortalité estimée n'a pas pu être déterminée avec précision. Cette période est définie entre la date de découverte et la visite précédente.

En 2020, les mortalités d'oiseaux étaient en nombre plus important au mois de mai et de juillet et le risque de mortalité semblait donc prépondérant de la fin du printemps jusqu'au milieu de l'été. En 2021, ce constat n'est pas applicable, la majeure partie des mortalités ayant été retrouvées entre août et octobre sous les éoliennes du parc. Les périodes à risque semblent donc différentes entre l'année 2020 et 2021, et il est donc difficile de conclure sur l'existence d'une période à plus forts risques de mortalité sur le parc de Saint-Ambroix en considérant une dimension pluriannuelle.

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

Figure 55 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2021



4.4.3 Typologie des cadavres découverts

4.4.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. En 2021, les cadavres étaient bien conservés au moment de la détermination et les plumes issues de plumées étaient assez caractéristiques pour déterminer l'espèce.

Le **cortège d'espèces impactées en 2021 est diversifié** puisque parmi les 4 cadavres et les deux plumées découvertes, 4 espèces différentes ont pu être identifiées. Ces espèces correspondent à des passereaux (Alouette des champs, Bergeronnette printanière, Gobemouche noir) ou des oiseaux de taille intermédiaire (Pigeon ramier). Pour comparaison, 5 espèces avaient été impactées en 2020, la Perdrix grise, le Busard Saint-Martin, le Bruant jaune, l'Alouette des champs et une Alouette sp.

Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes. La Bergeronnette printanière et le Pigeon ramier ne possède pas de statuts de conservation défavorables en région Centre et à l'échelle nationale. L'Alouette des champs et le Gobemouche noir possèdent cependant des statuts de conservation peu favorables (Quasi-menacé pour l'Alouette des champs) voire défavorables (Vulnérable à l'échelle nationale pour le Gobemouche noir et danger à l'échelle régionale). Notons toutefois que ces listes rouges concernent les oiseaux nicheurs et que les individus impactés ici l'ont été en grande majorité en période migratoire, ces statuts sont donc difficilement applicables pour ces individus.

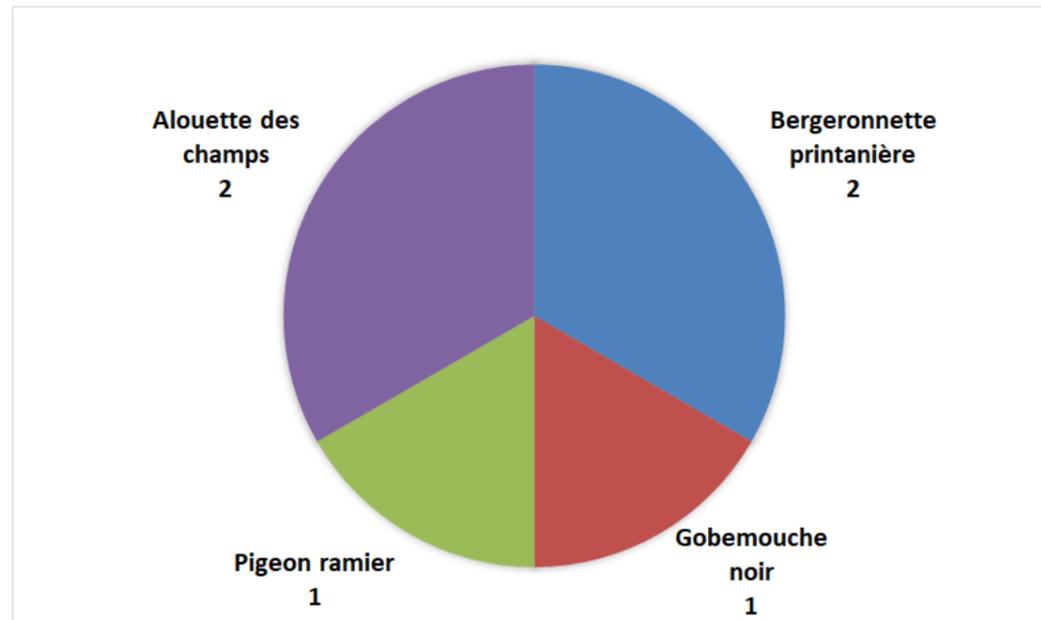
Globalement, en 2021, le parc éolien de Saint-Ambroix a touché une diversité d'espèces légèrement plus faible qu'en 2020 et ne semble pas avoir impacté de rapaces patrimoniaux contrairement à l'année 2020 avec la mortalité de Busard Saint-Martin.

Figure 56 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes

Espèce	Nom scientifique	Type	Statut de protection			Statuts de conservation		Niveau de patrimonialité
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Liste Rouge Régionale Centre (oiseaux nicheurs 2013)	
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	GC	O.2.2	3	Quasi menacée	Quasi menacée	Faible à modéré
Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	Passereau	P	-	2	Préc. mineure	Préc. mineure	Faible
Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	Passereau	P	-	2	Vulnérable	En danger	Fort
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Intermédiaire	GN	O.2.1 / O.3.1	-	Préc. mineure	Préc. mineure	Très faible

Le graphique suivant synthétise la proportion des effectifs touchés par espèce.

Figure 57 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2021



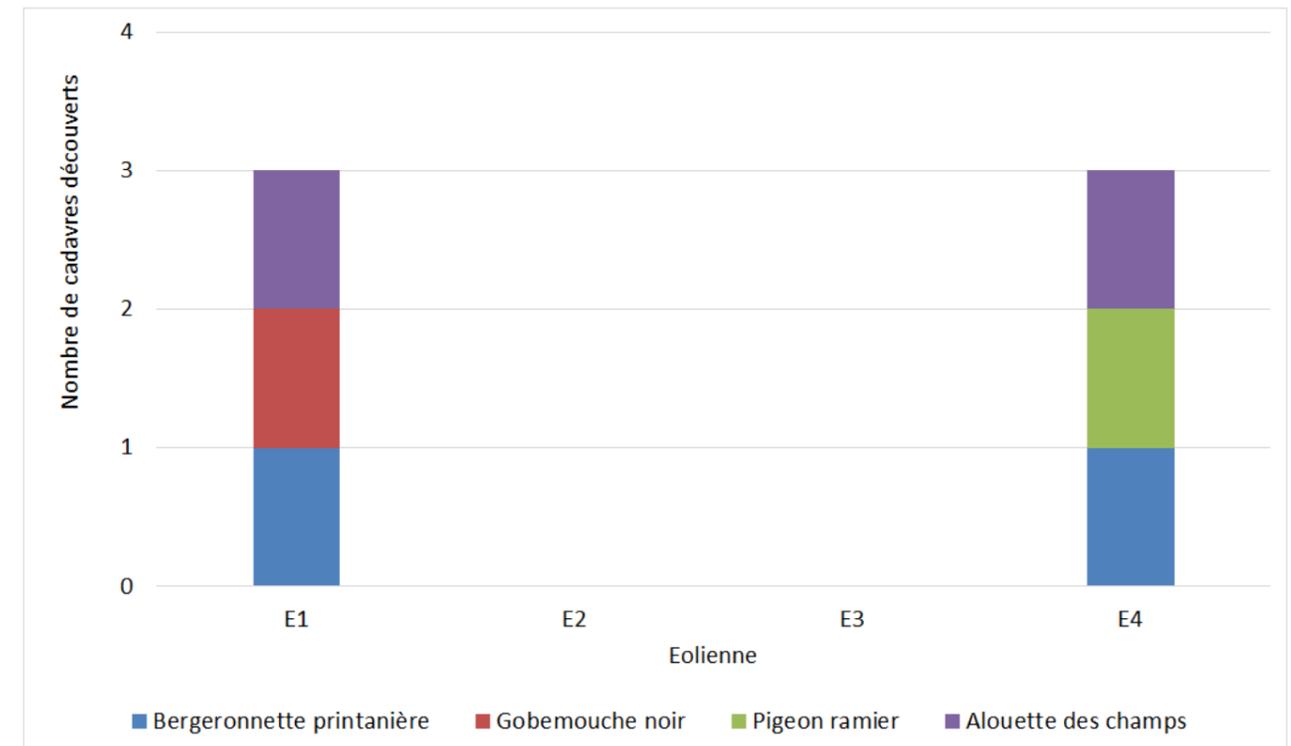
Concernant les mortalités relevées en 2021, les deux espèces les plus retrouvées sont l'Alouette des champs et la Bergeronnette printanière (2 cas de mortalité), suivies par le Pigeon ramier et le Gobemouche noir avec un cas de mortalité chacun. Pour comparaison, la Perdrix grise, le Busard Saint-Martin, le Bruant jaune, l'Alouette des champs et l'Alouette sp. avaient chacun été impactés à une reprise en 2020.

Globalement, au vu des deux ans de suivi, l'Alouette des champs semble être l'espèce la plus impactée, et le parc semble affecter en grande majorité des passereaux.

4.4.3.2 Relation espèce / éolienne

Le graphique suivant (Figure 58) précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 58 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2021



Le graphique précédent ne montre pas de lien particulier entre une espèce impactée et une éolienne en particulier. Les espèces se répartissent entre les deux éoliennes E1 et E4 sans montrer d'élément véritablement discriminant. Pour rappel, en 2020, les alouettes avaient toutes deux été retrouvées sous l'éolienne E3, le reste des mortalités était réparti sous d'autres éoliennes.

Au vu du contexte en milieu très ouvert dans lequel se trouve la totalité du parc éolien, il est difficile de savoir pourquoi certaines éoliennes comptent plusieurs mortalités et pas d'autres, situées pourtant dans le même contexte paysager. La présence d'éléments arborés à proximité des éoliennes E1 et E4 semble être le seul élément paysager susceptible d'expliquer cette différence. Toutefois, les variations interannuelles semblent plutôt indiquer une répartition relativement aléatoire des mortalités d'oiseaux sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix.

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

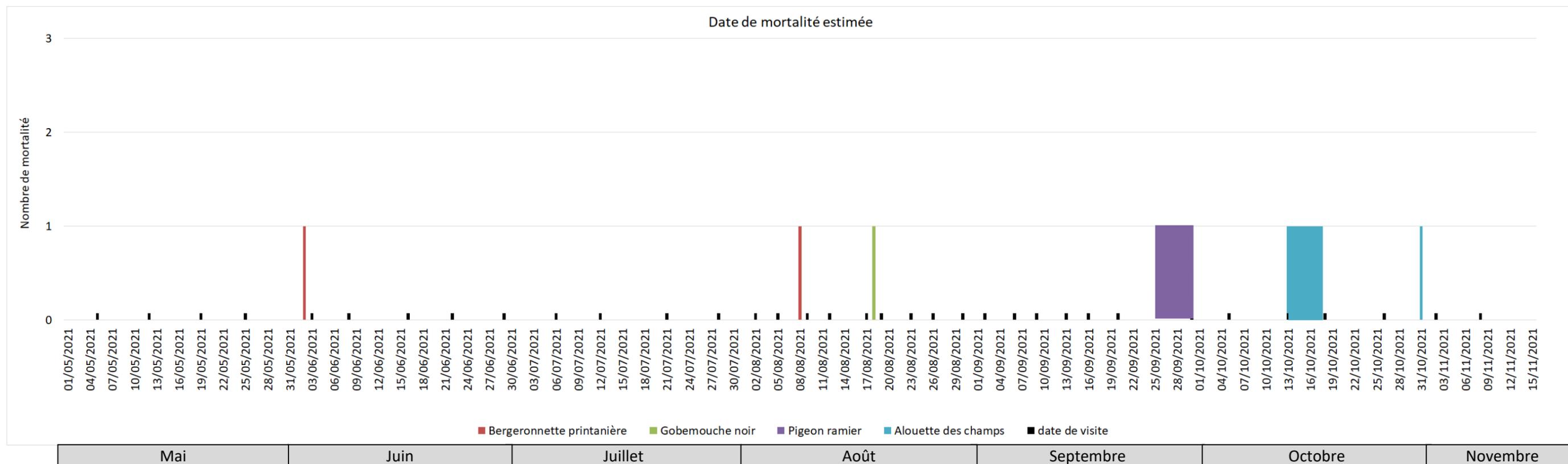
La figure suivante (Figure 59) représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2021. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

Aucun pic de mortalité n'aura été relevé pour une espèce en particulier et pour un jour précis, mais une période à plus fort risque de mortalité semble apparaître pour l'Alouette des champs entre la mi et la fin

décembre. Les autres mortalités sont plutôt réparties sur toute la saison de suivi, sans pic de mortalité particulier ni pour une espèce ni pour une nuit donnée.

En 2020, 2 périodes de mortalité étaient notées, concernant des espèces et des éoliennes différentes : fin mai et de mi-juillet à fin juillet.

Figure 59 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (d'après les dates de mortalité estimées) en 2021 (pour les plumées, les dates de mortalité sont matérialisées sous forme de période)



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

- Alouette des champs (2 mortalités)

Un cadavre et une plumée d'Alouette des champs ont été retrouvés sous les éoliennes E1 et E4 lors du suivi 2021, respectivement le 18 octobre et le 02 novembre 2021. La date de mortalité précise de la plumée pas pu être estimée du fait de l'absence de restes permettant cette analyse. Le cadavre retrouvé le 02 novembre a été estimé comme ayant été impacté le 31 octobre 2021.

Cette espèce est considérée comme chassable en France, bien que ses statuts de conservation à l'échelle nationale et régionale soient peu favorables (classée en tant que quasi-menacée en France et en région Centre).

A cette période, les individus impactés correspondent vraisemblablement à des individus en migration post-nuptiale, la majorité des passages migratoires s'effectuant au cours du mois d'octobre chez cette espèce.

Figure 60 : Cliché du cadavre d'Alouette des champs retrouvé sous l'éolienne E4 le 02 novembre 2021



- Bergeronnette printanière (2 cas de mortalité)

Deux cadavres de Bergeronnette printanière ont été retrouvés sous les éoliennes E4 et E1 lors du suivi 2021, respectivement le 03 juin (mâle adulte) et le 09 août 2021 (adulte indéterminé). Les dates de mortalité ont été estimées au 02 juin et au 08 août 2021.

Cette espèce est protégée en France et ses statuts de conservation ne sont pas défavorables à l'échelle nationale et régionale (préoccupation mineure).

A cette période, les individus impactés correspondent vraisemblablement à un individu en période de reproduction pour l'individu retrouvé au mois de juin. En effet, en période de reproduction l'espèce se rencontre dans les zones marécageuses, les bords d'étangs, les lagunes, mais peut aussi nicher en milieu sec : prairies mésophiles, cultures (blé, colza, pois, par exemple), ce qui explique sa présence en période de nidification au niveau du parc éolien de Saint-Ambroix.

Le deuxième individu retrouvé en août peut correspondre à un individu internuptial ou en début de période de migration postnuptiale, celle-ci s'effectuant d'août à octobre.

Figure 61 : Cliché du cadavre de Bergeronnette printanière retrouvé sous l'éolienne E1 le 09 août 2021



- Gobemouche noir (1 cadavre)

Un cadavre de Gobemouche noir a été retrouvé sous l'éolienne E1 le 19 août 2021, correspondant à un individu mâle. La date de mortalité a été estimée au 18 août 2021.

Cette espèce est protégée en France, et ses statuts de conservation sont défavorables en tant que nicheur à l'échelle nationale et régionale (vulnérable et en danger). Cette espèce est néanmoins en grande majorité impactée en période de migration, et ses statuts de conservation en tant qu'oiseaux de passage ne sont pas connus (par manque de données sur l'espèce).

A cette période, l'individu impacté correspond à un individu en période de migration postnuptiale, celle-ci commençant en août après la mue.

Figure 62 : Cliché du cadavre de Gobemouche noir retrouvé sous l'éolienne E1 le 19 août 2021



➤ Pigeon ramier (1 plumée)

Une plumée de pigeon ramier a été retrouvée le 05 octobre 2021 sous l'éolienne E4, avec une date de mortalité n'ayant pas pu être estimée avec précision du fait de l'absence de chair retrouvée.

Cette espèce est considérée comme gibier nuisible en France et ses statuts de conservation ne sont pas défavorables à l'échelle nationale et régionale (classée en tant que préoccupation mineure).

A cette période de l'année, la mortalité peut concerner aussi bien un individu sédentaire local ou un individu migrateur provenant des régions nordiques ou continentales, le pic de migration en France se situant vers le milieu du mois d'octobre.

Figure 63 : Cliché de la plumée de Pigeon ramier retrouvé sous l'éolienne E4 le 05 octobre 2021



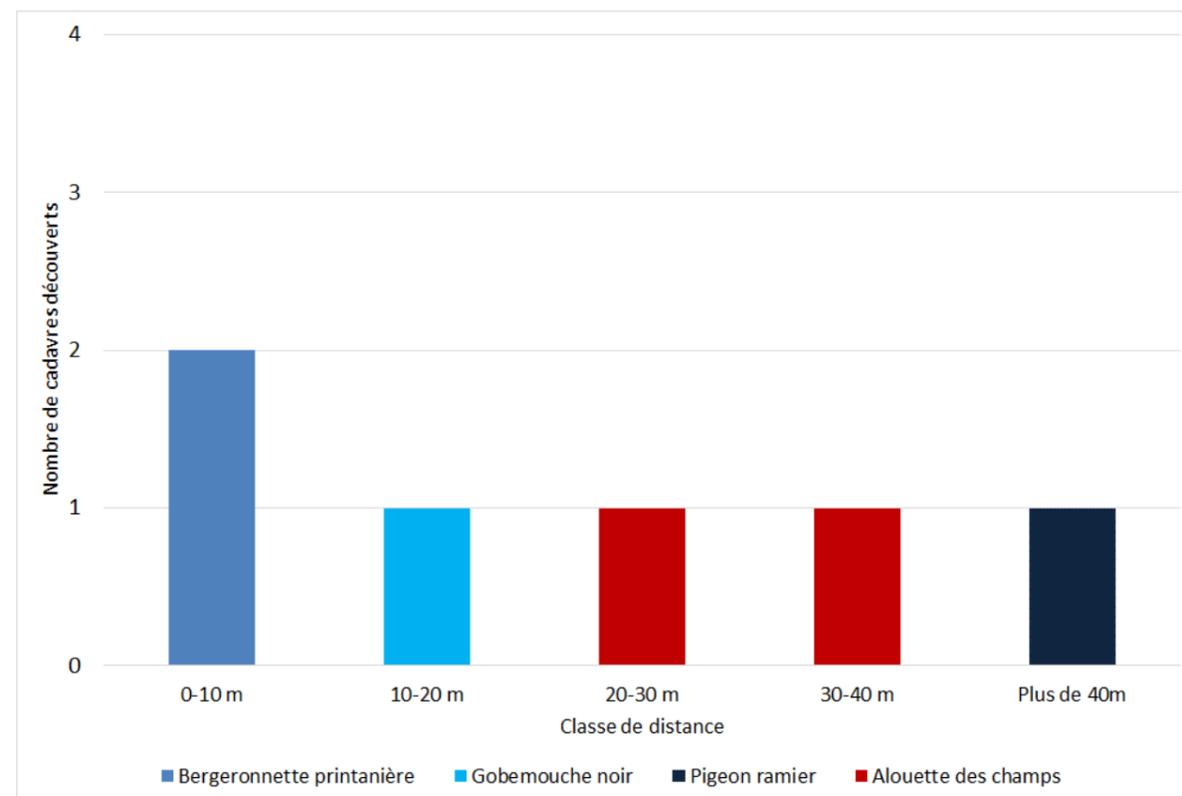
4.4.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

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

Lors du suivi de 2021 sur le parc éolien de Saint-Ambroix, le graphique suivant (Figure 64) témoigne d'une dispersion homogène à toutes les classes de distances. Les deux Bergeronnettes printanières sont retrouvées au plus proche du mât, puis les autres cas de mortalité sont retrouvés aux autres classes de distance à raison de un cas par classe. Pour rappel, en 2020, la dispersion était assez marquée, avec des oiseaux retrouvés très proches du mat entre 0 et 20 mètres, et d'autres très loin du mat, à plus de 40 mètres de distance.

ascensions en hauteur puis se laisser retomber en chantant lors des parades, ce qui peut créer des situations à risque. Les Bergeronnettes et le Gobemouche ont au contraire pu être impactés dans la partie basse du champ de rotation des pales, mais cette hypothèse doit être nuancée car la dispersion peut dépendre de nombreux paramètres.

Figure 64 : Graphique de répartition des cadavres de 2021 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



La distance moyenne de dispersion pour les cadavres et les plumées est d'environ 21 m, ce qui est inférieur à la distance moyenne calculée en 2020 qui était supérieure à 30 mètres.

Les individus retrouvés au plus loin du mât sont pour certaines des espèces ayant pour habitude d'adopter des comportements de vol en hauteur. L'Alouette des champs va notamment effectuer des

4.4.5 Taux de mortalité des oiseaux

4.4.5.1 Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2021

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

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

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

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

Le tableau ci-contre (Figure 65) montre la part moyenne de chaque type végétation au cours du suivi, ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies.

Figure 65 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres d'oiseaux découverts sous les éoliennes)

Date des visites	Période	Végétation			Mortalité oiseaux
		Type 1	Type 2	Type 3	
5-mai	Période 1	83,58	16,42	0,00	
12-mai	Période 1	81,82	14,77	3,41	
19-mai	Période 1	84,44	13,33	2,22	
25-mai	Période 1	80,00	20,00	0,00	
3-juin	Période 1	80,00	8,89	11,11	1
8-juin	Période 1	69,90	27,18	2,91	
16-juin	Période 1	78,13	21,88	0,00	
22-juin	Période 1	72,63	4,21	23,16	
29-juin	Période 1	52,75	9,89	37,36	
06-juil	Période 1	48,54	33,01	18,45	
12-juil	Période 2	35,29	50,98	13,73	
20-juil	Période 2	30,65	63,44	5,91	
28-juil	Période 2	31,25	56,25	12,50	
02-août	Période 2	25,86	60,92	13,22	
05-août	Période 2	20,75	28,53	50,72	
09-août	Période 2	25,86	68,39	5,75	1
12-août	Période 2	62,00	38,00	0,00	
17-août	Période 2	26,37	73,63	0,00	
19-août	Période 2	16,38	83,62	0,00	1
23-août	Période 2	30,00	70,00	0,00	
26-août	Période 2	47,99	52,01	0,00	
30-août	Période 2	24,20	75,80	0,00	
03-sept	Période 2	14,33	85,67	0,00	
06-sept	Période 2	26,37	66,67	6,97	
09-sept	Période 2	30,00	67,89	2,11	
13-sept	Période 2	26,37	66,67	6,97	
16-sept	Période 2	34,42	65,58	0,00	
20-sept	Période 2	71,25	18,75	10,00	
30-sept	Période 2	30,00	68,95	1,05	
05-oct	Période 2	29,12	69,78	1,10	1
13-oct	Période 2	29,08	69,90	1,02	
18-oct	Période 2	39,44	57,75	2,82	1
26-oct	Période 2	44,19	37,21	18,60	
02-nov	Période 2	49,14	38,79	12,07	1
08-nov	Période 2	55,88	44,12	0,00	
Moyenne		45,37	47,11	7,52	6,00
Période 1		73,18	16,96	9,86	1,00
Période 2		34,25	59,17	6,58	5,00

4.4.5.2 Les formules utilisées

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

4.4.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2021, deux tests ont été menés le 08 juin et un le 23 août pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

a) Taux de détection

Figure 66 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	40	34	0,85
Type 1	Moyenne	Moyenne	14	13	0,93
Type 2	Moyenne	Moyenne	17	14	0,82
Type 3	Moyenne	Moyenne	9	7	0,78
Total	E1	08/06/2021	10	9	
Type 1	E1	08/06/2021	4	4	
Type 2	E1	08/06/2021	5	5	
Type 3	E1	08/06/2021	1	0	
Total	E4	08/06/2021	10	9	
Type 1	E4	08/06/2021	5	4	
Type 2	E4	08/06/2021	2	2	
Type 3	E4	08/06/2021	3	3	
Total	E2	23/08/2021	10	10	
Type 1	E2	23/08/2021	3	3	
Type 2	E2	23/08/2021	4	4	
Type 3	E2	23/08/2021	3	3	
Total	E4	23/08/2021	10	6	
Type 1	E4	23/08/2021	2	2	
Type 2	E4	23/08/2021	6	3	
Type 3	E4	23/08/2021	2	1	

	d	Pourcentage de prospection		
		Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,87	45,37	47,11	7,52
Période 1	0,90	73,18	16,96	9,86
Période 2	0,86	34,25	59,17	6,58

Le taux de détection correspond à la proportion de cadavres découverts par l'observateur :

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

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

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

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

$$d = 0,93 * (45,37/100) + 0,82 * (47,11/100) + 0,78 * (7,52/100) = 0,87$$

Autrement dit, 87% des peluches d'oiseaux dispersés ont été retrouvées, ce qui correspond à une très bonne détection. En 2020, ce taux de détection était aussi très bon avec 92% des peluches retrouvées.

b) Taux de persistance

Figure 67 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance (en orange, le nombre de poussins restant supposés)

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Jour de dépôt					Tm	p_moyen	p_période 1	p_période 2
				1	3	7	8	14				
Moyen		Moyenne	29	26	18	6	6	0	3,17	0,36	0,23	0,42
Type 1		Moyenne	12	10	8	2	2	0	3,00	0,35	0,19	0,42
Type 2		Moyenne	9	8	6	3	3	0	3,89	0,46	0,35	0,50
Type 3		Moyenne	8	8	4	1	1	0	2,63	0,27	0,14	0,32
Moyen	Toutes	08/06/2021	15	15	12	6	6	0				
Type 1	Toutes	08/06/2021	7	7	6	2	2	0				
Type 2	Toutes	08/06/2021	5	5	4	3	3	0				
Type 3	Toutes	08/06/2021	3	3	2	1	1	0				
Moyen	Toutes	23/08/2021	14	11	6	0	0	0				
Type 1	Toutes	23/08/2021	5	3	2	0	0	0				
Type 2	Toutes	23/08/2021	4	3	2	0	0	0				
Type 3	Toutes	23/08/2021	5	5	2	0	0	0				

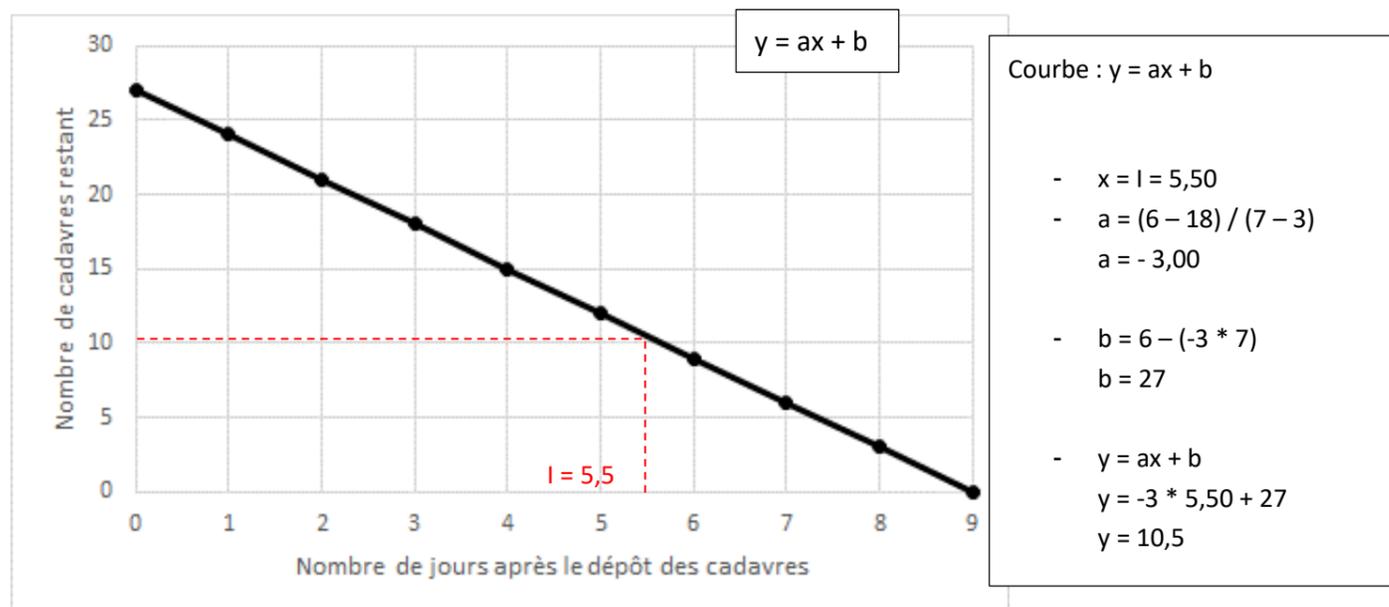
	Tm	p	Pourcentage de prospection		
			Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	3,17	0,36			
Période 1	3,11	0,21	73,18	16,96	9,86
Période 2	3,50	0,46	34,25	59,17	6,58

- Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

Comme évoqué pour les chauves-souris, dans notre cas précis, l'intervalle I moyen entre deux visites est de l'ordre de **I = 5,50 jours**.

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 14 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours (Figure 68).

Figure 68 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours »



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après I jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{10,5}{29} = 0,36$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,36**.

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **p variant entre 0,19 (période 1) et 0,42 (période 2)**.

Comme pour les chiroptères, le taux de persistance des cadavres a une valeur classique par rapport à d'autres parcs éoliens en France. Pour rappel, la valeur de p était de 0,37 en 2020, très comparable à la valeur calculée lors du suivi 2021.

- Paramètre Tm (formules d'Erickson + Jones + Huso)

Le paramètre Tm traduit la durée moyenne de persistance d'un cadavre. Tm se calcule sur la durée au bout de laquelle tous les cadavres test ont disparu. Dans notre cas précis, **Tm est égal à 3,17**.

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

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **Tm variant entre 3,11 (période 1) et 3,50 (période 2)**. Autrement dit, la vitesse de disparition des cadavres est en moyenne de 3,17 jours, valeur plutôt moyenne par rapport à d'autres parcs en France. Pour rappel, cette valeur était de 3,7 en 2020, ce qui reste comparable.

c) Coefficient de correction surfacique

Le coefficient de correction surfacique a été défini de la même façon que pour les chiroptères. Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres d'oiseaux découverts en 2021 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

Figure 69 : Tableau détaillant les valeurs permettant de calculer le coefficient de correction surfacique pour les oiseaux

	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	0,46	26,65	1
28m - 42m	0,3077	4	1,23	0,47	37,79	1
14m - 28m	0,1846	4	0,74	0,36	49,33	2
0m - 14m	0,0615	4	0,25	0,23	93,62	2

$$a = 2,10$$

On remarque de façon classique que la surface prospectée est de moins en moins importante lorsqu'on s'éloigne du mât. Le coefficient de correction surfacique est inférieur à celui des chiroptères, moins de cadavres ayant été retrouvés dans les cercles de prospection les plus éloignés. Ce coefficient est encore une fois proche de celui calculé en 2020 qui avait une valeur de 2,3.

4.4.5.4 Méthodes de calcul employées

Les méthodes de calcul employées sont identiques à celles du calcul du taux de mortalité des chauves-souris.

4.4.5.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »)

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

Figure 70 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	6,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,87	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,36	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	3,17	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	5,50	Pas de temps du suivi
Î	6,34	Î = - log(0.01) * tm
ê	1,00	ê = Min(I/Î) / I
a	2,10	Coefficient de correction surfacique

Sur la base des paramètres précédents, les résultats de calculs des taux de mortalités sont les suivants pour les différentes formules utilisées (sachant que les valeurs de chaque paramètre est arrondi au centième).

Winkelmann :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{6}{0.36 \times 0.87} \times 2.1 = 40.07$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{5.50 \times (6 - 6 \times 0.36)}{3.17 \times 0.87} \times 2.1 = 25.06$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{5.50 \times 6}{3.17 \times 0.87} \times 2.1 = 25.15$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}} \times a = \frac{6}{0.87 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 5.50 / 3.17)}} \times 2.1 = 34.52$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I / tm})}{I} \times \hat{e}} \times a = \frac{6}{0.87 \times \frac{3.17 \times (1 - e^{-5.50 / 3.17})}{5.50} \times 1} \times 2.1 = 30.55$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux sur la période allant du 05 mai au 08 novembre 2021 et pour les 4 éoliennes suivies. Ces résultats sont basés sur 6 mois, soit un peu moins de la moitié de la période d'activité des oiseaux.

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 6 (6 mois de suivi) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux, soit toute l'année)
- on multiplie par 4 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an**.

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 14,41 mortalités par éolienne et par an** (Figure 71), avec une fourchette qui oscille entre 12,53 et 17,26 (20,03 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 71 : Résultats des calculs de taux de mortalité des oiseaux pour le suivi 2021 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	40,07	25,06	25,15	34,52	30,55	31,07	28,82
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	10,02	6,27	6,29	8,63	7,64	7,77	7,21
Mortalité par éolienne et par mois	1,67	1,04	1,05	1,44	1,27	1,29	1,20
Mortalité par éolienne et pour une année	20,03	12,53	12,58	17,26	15,27	15,54	14,41
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	80,14	50,12	50,30	69,04	61,10	62,14	57,64

4.4.5.6 Calculs de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »)

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

Figure 72 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Période	Valeurs	Explications
C	Période 1	1,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
	Période 2	5,00	
d	Période 1	0,90	Valeur du taux de détection pondérée selon le type de recouvrement moyen
	Période 2	0,86	
p	Période 1	0,21	Valeur du taux de persistance pondérée selon le type de recouvrement moyen
	Période 2	0,46	
tm	Période 1	3,11	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain
	Période 2	3,50	
l	Période 1	6,80	Pas de temps du suivi
	Période 2	4,96	
î	Période 1	6,23	$\hat{i} = -\log(0.01) * tm$
	Période 2	7,00	
ê	Période 1	0,92	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{i}) / l$
	Période 2	1,00	
a	Toutes périodes confondues	2,10	Coefficient de correction surfacique selon la période

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

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. **Le tableau aboutit à un résultat moyen de l'ordre de 13,18 mortalités par éolienne et par an** (Figure 73), avec une fourchette qui oscille entre 11,18 et 15,91 (18,70 pour la formule de Winkelmann) mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 73 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2021 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	37,40	22,37	22,46	31,82	28,82	28,57	26,37
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	9,35	5,59	5,62	7,95	7,20	7,14	6,59
Mortalité par éolienne et par mois	1,56	0,93	0,94	1,33	1,20	1,19	1,10
Mortalité par éolienne et pour une année	18,70	11,18	11,23	15,91	14,41	14,29	13,18
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	74,80	44,74	44,92	63,64	57,64	57,15	52,73

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

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

Le tableau suivant (Figure 74) détaille l'ensemble de ces paramètres utilisés.

Figure 74 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	5,50
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	40
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	34
Pourcentage de la surface prospectée	0,39

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

Figure 75 : Sortie de l'application Shiny EolApp, Taux de mortalité pour le parc éolien de Saint-Ambroix en 2021 (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	31,19	7,42	69,79	14,46	54,70
Huso	37,72	8,29	80,58	17,82	64,01
Winkelmann	88,64	19,72	264,68	39,07	179,57
Jones	43,15	10,55	95,82	20,05	75,41
Moyenne par éolienne	12,54	2,87	31,93	5,71	23,36
Moyenne par éolienne (sans Winkelmann)	9,34	2,19	20,52	4,36	16,18

En considérant les 3 modèles (sans Winkelmann), il y a 80% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés par éolienne se situe entre 5,7 et 23,4 cas de mortalité. De même, il y a 95% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés par éolienne se situe entre 2,9 et 31,9 cas de mortalité.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- on divise par 6 (6 mois de suivi) -> on aura une estimation de la mortalité par éolienne et par mois

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

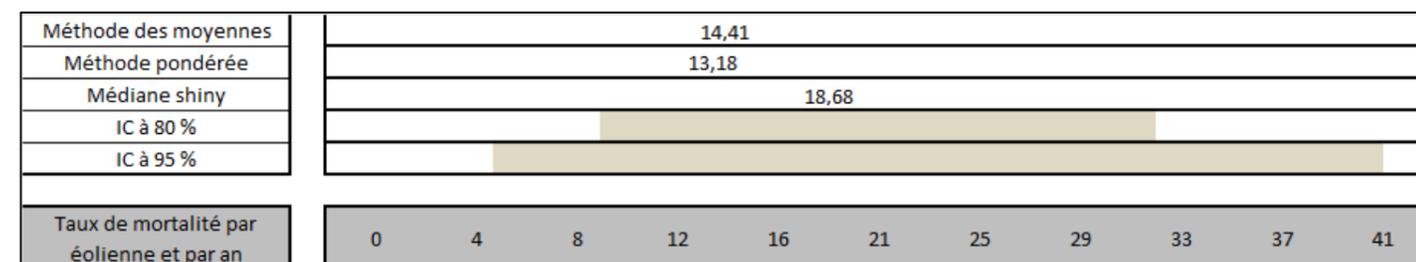
On aboutit à un résultat à un intervalle de confiance de 95% de l'ordre de 4 à 41 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

A un intervalle de confiance de 80%, le résultat est de l'ordre de 9 à 32 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

Avec la médiane de 9,34 mortalités par éolienne sur la période de suivi, on aboutit à une médiane de **18,68 oiseaux/éolienne/an**.

4.4.5.8 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2021

La fourchette de résultats fournie par l'application Shiny « Eol App » concorde avec nos calculs. Aussi, nous retiendrons que **théoriquement nous aboutissons à entre 13 et 19 cas de mortalité par éolienne et par an, soit environ 52 à 76 mortalités par an pour le parc entier (constitué de 4 éoliennes)**.



Ce taux de mortalité est légèrement supérieur au taux de mortalité estimé en 2020, dont la valeur était de 12 à 14 cas de mortalité par éolienne et par an.

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

5.1. Concernant les chiroptères

5.1.1 Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

Théoriquement, nous aboutissons à un résultat de l'ordre de 13 à 18 cas de mortalité par éolienne et par an, soit entre 52 et 72 mortalités par an pour le parc éolien de Saint-Ambroix.

D'après les données disponibles actuellement en France mais aussi et surtout à l'étranger (Europe, voir tableaux suivant), cette estimation de la mortalité témoignerait **d'une valeur de mortalité par éolienne et par an modérée voire modérée à forte vis-à-vis des chauves-souris.**

Pour les parcs éoliens français dont le niveau de mortalité est exceptionnellement haut, ils sont situés dans des contextes biogéographiques particuliers (Bouin en littoral atlantique (Dulac, 2006), Castelnau Pégayrols en contexte forestier et ligne de crête (Beucher & Kelm, 2009-2010), en plaine camarguaise de la Crau (GCP, 2010), ou en forêt ou bordure de canal (Cornut et Vincent, 2010)). À titre de comparaison, sous ces parcs éoliens qui font aujourd'hui référence parmi les plus meurtriers, les taux de mortalité peuvent dépasser les 20 chauves-souris/éolienne/an, correspondant à plusieurs centaines de cadavres sur chaque parc selon leur taille. La fourchette de taux de mortalité calculée ici correspondrait effectivement, dans son intervalle le plus haut, à des résultats obtenus sous des parcs éoliens dont l'impact peut être qualifié de modéré à fort (Bouin, Castelnau Pégayrols), même si cette analyse comparative reste délicate et soumise à de nombreux facteurs locaux (contraintes techniques de recherche, pression de suivi...).

En 2021, 7 chauves-souris ont été retrouvées sous les 4 éoliennes du parc de Saint-Ambroix au cours de la campagne de suivi menée entre le 05 mai et le 08 novembre 2021, contre 13 cas en 2020. Le nombre de mortalité brute a donc diminué de moitié en 2021 par rapport au suivi de l'année précédente, qui s'étendait aussi sur une période de 5 mois et non 6. Cette diminution du nombre de mortalité brute peut être en partie imputée à la mise en place du pattern de régulation des éoliennes au cours du suivi 2021, permettant de préserver une partie non négligeable de l'activité des chiroptères en hauteur.

Le taux de mortalité calculé en 2021 est aussi inférieur au taux de mortalité de l'année 2020 (18 à 27 cas en 2020) mais demeure toutefois à un niveau non négligeable. Les paramètres utilisés pour le calcul du taux de mortalité ne semblent pas posséder de valeurs extrêmes qui pourraient surévaluer ce calcul. Les estimateurs possèdent des valeurs globalement proches de celles calculées en 2020.

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

Figure 76 : 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 milieu	Année de suivi	Nombre de victimes / éolienne / an	Référence
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2010	0	ALEPE 2010
Rézentières	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2013	0-3	Beucher, Albespy, Mougnot 2014
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)
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
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2011	3,7 - 3,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2014
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2010	4,2-4,9	Albespy, Beucher (2015)
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2012	4,4 - 5,5	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2015
Cuq Servies	81	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2013	5,5 - 6,9	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2014
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2012	6,1-6,6	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2014	7,5-7,9	Beucher, Albespy 2015
Talizat	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2010	7,4-8,7	Beucher, Albespy 2011
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2006	6,0 - 9,3	Dulac 2008
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2008	9,78	Albespy, Beucher (2015)
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2009	10	ALEPE 2009
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2009	13,5	Albespy, Beucher (2015)
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2007	20,3 - 21,6	Dulac 2008
Bouin	85	Littoral atlantique cultivé	2005	21,5 - 26,7	Dulac 2008
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

Figure 77 : 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 – Seladoinho (Portugal)	2006	0,8	Alves et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Proença I e II (Portugal)	2006	1,8	Lopes et al., 2008, Alves et al., 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Grèce (Soros)	2010	2,2	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Mosqueiros I (Portugal)	2008	3,6	Barreiro et al., 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Gardunha	2007	4,2	Alves et al., 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Steinberg (Autriche)	09/2003 – 09/2004	5,3	Traxler et al. 2004 in Brinkmann et al. 2006
Grèce (Dydimos Lofos)	2010	5,5	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Grèce (Monastiri)	2010	6,5	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Candal Coelheira (Portugal)	2006, 2007	7,8	Alves et al., 2007, Amorim 2009 in Dubourg-Savage et al., 2011
Prellenkirchen (Autriche)	09/2003 – 09/2004	8,00	Traxler et al. 2004 in Brinkmann et al. 2006
Cantons de Berne et de Lucerne (Suisse)	06 – 10/2007	8,2	Leuzinger, 2008
Grèce (Mati)	2010	10,8	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
District de Fribourg (Allemagne)	Début 04 – mi-05 et mi-07 – mi-10/2005	11,8*	Brinkmann et al. 2006
S. Pedro (Portugal)	2006	12	Alves et al., 2007 in Dubourg-Savage et al., 2011
Grèce (Sapka)	2010	13,2	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Navarre (Espagne)	03/2000 – 03/2001	13,3	Lekuona, 2001
Grèce (Kerveros)	2010	13,9	Geogiakis P., Fapadatou E. et WWF Hellas 2010
Caramulo (Portugal)	2006, 2007	14,2	Hortencio et al., 2007, Silva et al., 2008
District de Fribourg (Allemagne)	fin 07 – fin 10/2004	20,9	Brinkmann et al. 2006
Outeiro (Portugal)	2006, 2008	26,3	in Dubourg-Savage et al., 2011

5.1.2 Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères

➤ Niveau des risques

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

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

- des résultats du suivi de la mortalité ;
- 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 de l'activité en hauteur (activité réellement à risque).

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

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 haut vol ou fréquemment retrouvées lors des suivis de mortalité.

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

Sept modalités ont été retenues pour renseigner le niveau d'activité réellement à risque (activité relevée lorsque le tour-rotor est supérieur à 0) des espèces recensées lors du suivi automatisé en hauteur :

- Négligeable : espèce non identifiée précisément sur le site ou non présente dans l'activité réellement à risque ;
- Très faible : quelques contacts ponctuels réellement à risque ;
- Faible : plusieurs contacts ponctuels restants à risque réparties sur plusieurs périodes de l'année ;
- Faible à modéré : activité à risque récurrente répartie sur plusieurs périodes de l'année ;
- Modéré : activité à risque récurrente répartie sur plusieurs périodes de l'année, avec un niveau d'activité moyen modéré ;
- Fort : activité à risque récurrente répartie sur plusieurs périodes de l'année, responsable de pics d'activité en hauteur et avec un niveau d'activité moyen modéré à fort ;
- Très fort : activité à risque récurrente répartie sur plusieurs périodes de l'année, responsable de pics d'activité en hauteur et avec un niveau d'activité moyen fort à très fort.

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

- Très forte pour la Pipistrelle commune ;
- Forte pour la Noctule commune ;
- Modérée à forte pour la Noctule de Leisler et la Pipistrelle de Kuhl ;
- Faible à modérée pour la Pipistrelle de Nathusius ;
- Faible pour la Sérotine de Nilsson, les murins, la Sérotine commune et la Sérotine bicolore.

Cette évaluation du risque d'occurrence de mortalité sur le site se base sur le nombre de cadavres découverts sous les éoliennes, le niveau d'activité réellement à risque et la sensibilité théorique de chaque espèce à l'éolien. Etant donné, la prédation existant (d'un niveau modéré) sur le site et la possibilité que des cadavres n'aient pas été retrouvés par le découvreur, le nombre d'individus réellement tués est certainement supérieur. Par exemple, un seul cadavre de Pipistrelle de Kuhl a été retrouvé mais il est possible qu'en réalité un nombre plus important d'individus aient été impactés.

Il est impossible d'exclure un risque de mortalité pour d'autres espèces non retrouvées au pied des éoliennes ou non contactées sur le suivi acoustique en hauteur. Dans tous les cas, même si d'autres espèces venaient à fréquenter le site, elles ne le feraient que ponctuellement et le niveau de risque de mortalité devrait donc être très faible.

Figure 78 : Niveau d'intensité des risques de mortalité (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 d'activité réellement à risque (tour rotor >1)	Sensibilité théorique vis-à-vis de l'éolien	Mortalité brute recueillie lors du suivi 2021	Risque d'occurrence de mortalité sur le site
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Fort	Forte	3	Très fort
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Modéré	Forte	2	Fort
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Modéré	Forte	1	Modéré à fort
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Fort	Modérée à forte	1	Modéré à fort
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Très faible	Forte		Faible à modéré
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Négligeable	Modérée à forte		Faible
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	Négligeable	Faible à modéré		Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Négligeable	Modérée		Faible
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Négligeable	Modérée		Faible

➤ Evaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix

Les niveaux d'impact attendus sont évalués proportionnellement à leur intensité et aux niveaux d'enjeux. Finalement, quatre niveaux d'impact (modéré à fort, faible à modéré, faible, très faible) ont été définis comme indiqué dans le tableau suivant en croisant le niveau d'intensité de l'impact (risque d'occurrence) avec le niveau d'enjeu écologique (niveau de patrimonialité).

Figure 79 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010)

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

Figure 80 : Évaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix 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	Fort	Modéré à fort
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Modéré à fort	Modéré à fort	Modéré à fort
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Modéré	Très fort	Modéré à fort
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Très faible	Modéré à fort	Faible à modéré
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Modéré	Faible à modéré	Faible à modéré
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Modéré	Faible	Faible à modéré
Sérotine de Nilsson	<i>Eptesicus nilssonii</i>	Faible à modéré	Faible	Faible
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Faible à modéré	Faible	Faible
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	Très faible	Faible	Très faible

Finalement, les espèces aux niveaux d'impacts théoriques les plus importants (**modéré à fort**) correspondent à des espèces très patrimoniales et sensibles à l'éolien. Celles-ci sont la **Noctule commune, la Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune**. Elles sont suivies de la Pipistrelle de Kuhl, de la Pipistrelle Nathusius et de la Sérotine commune qui présentent un niveau d'impact théorique faible à

modéré puis de la Sérotine de Nilsson, de la Sérotine bicolore et du groupe des murins avec un niveau d'impact théorique faible ou très faible.

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.

Pour rappel, en 2021, la Pipistrelle commune a été retrouvée 3 fois lors du suivi de mortalité (9 fois en 2020). Concernant la Noctule commune, celle-ci fut retrouvée 2 fois (2 fois également en 2020) et pour la Pipistrelle de Kuhl, celle-ci fut retrouvée 1 fois (1 fois en 2020). Concernant la Noctule de Leisler, un cadavre a été trouvé en 2021 (aucun cadavre de cette espèce n'avait été trouvé en 2020).

5.2. Concernant les oiseaux

5.2.1 Analyse quantitative des impacts sur les oiseaux

Théoriquement nous aboutissons à entre 13 et 19 cas de mortalité par éolienne et par an, soit entre 52 et 76 mortalités par an pour les 4 éoliennes du parc de Saint-Ambroix.

Les évaluations à l'échelle nationale ou européenne montrent généralement un taux de mortalité variant de 0 à 10 oiseaux/éolienne/an. **Le taux de mortalité estimé peut être plutôt qualifié de modéré par rapport aux résultats obtenus pour d'autres parcs éoliens.**

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.

En 2021, 6 cas de mortalité d'oiseaux ont été retrouvés sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 05 mai et le 08 novembre 2021, contre 5 cas de mortalité lors du suivi de 2020. Le nombre de mortalité brute est donc légèrement supérieur en 2021. L'estimation de la mortalité annuelle (13 à 19 cas par éolienne et par an) peut être qualifiée de modérée par rapport à d'autres parcs plus impactant. Cette estimation est supérieure à celle de 2020 (de 12 à 14 cas de mortalité par éolienne et par an) qui avait été qualifiée à un niveau faible à modéré avec des valeurs relativement classiques.

Rappelons aussi que comme pour les chauves-souris, ces estimations de taux de mortalité sont soumises à des biais potentiels. Même si les estimateurs calculés ne semblent pas exagérés, le poids d'un cadavre découvert est très important dans le résultat du taux de mortalité, du fait de la prédation modérée existant sur le site, de l'écart de plus de 5 jours en moyenne entre 2 visites (permettant théoriquement à de nombreux cadavres de disparaître avant le passage d'une nouvelle visite) et du coefficient surfacique.

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

5.2.2 Analyse qualitative des impacts sur les oiseaux

En 2021, 4 espèces d'oiseaux ont été impactées. Il s'agit de l'Alouette des champs, de la Bergeronnette printanière, du Gobemouche noir et du Pigeon ramier. Parmi ces espèces, 2 sont protégées (la Bergeronnette printanière et le Gobemouche noir), les deux autres espèces étant considérées comme chassable ou nuisible.

L'Alouette des champs fait partie des espèces les plus sensibles à l'éolien. Avec 388 cas de mortalité recensés en Europe dont 91 cas en France (d'après les tableaux de T. Dürr 2021), cette espèce est la 9ème la plus impactée en termes d'effectifs à l'échelle européenne. Elle est considérée comme chassable à l'échelle nationale et est classée comme quasi-menacée à l'échelle nationale et régionale. Les mortalités relevées sur site ont été découvertes le 18 octobre 2021 et le 02 novembre 2021, correspondant probablement à des individus en migration post-nuptiale, la majorité des passages migratoires s'effectuant au cours du mois d'octobre chez cette espèce.

D'après le rapportage de l'UMS Patrinat (2019), les populations nicheuses de cette espèce sont estimées entre 1 300 000 et 2 000 000, et les tendances d'évolution des effectifs sont à la baisse sur le court terme et sur le long terme (-34 % entre 1996 et 2017).

Un cadavre et une plumée d'Alouette des champs ont été retrouvés sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix en 2021. Au moins un autre cas de mortalité de cette espèce avait été retrouvé lors du suivi de l'année précédente. L'Alouette des champs ayant une sensibilité à l'éolien modérée, le niveau d'impact théorique est **faible à modéré** pour cette espèce.

La Bergeronnette printanière fait partie des espèces peu sensibles à l'éolien. Avec 12 cas de mortalité recensés en Europe dont 4 cas en France (d'après les tableaux de T. Dürr 2021), cette espèce est la 125ème la plus impactée en termes d'effectifs à l'échelle européenne. Elle est protégée à l'échelle nationale et classée en préoccupation mineure à l'échelle nationale et régionale. Les mortalités relevées sur site ont été découvertes le 03 juin et le 09 août 2021, correspondant vraisemblablement à un individu en période de reproduction pour l'individu retrouvé au mois de juin, et à un individu internuptial ou en début de période de migration postnuptiale pour l'individu retrouvé au mois d'août.

D'après le rapportage de l'UMS Patrinat (2019), les populations nicheuses de cette espèce sont estimées entre 110 000 et 160 000 couples, et les tendances d'évolution des effectifs sont à la baisse sur le court terme (-30% entre 2007 et 2018) et sur le long terme (-13 % entre 2001 et 2018).

Deux cadavres de Bergeronnette printanière ont été retrouvés sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix en 2021. Cette espèce n'avait pas été détectée comme mortalité lors du suivi de 2020. La Bergeronnette ayant une sensibilité à l'éolien faible, le niveau d'impact théorique est **faible** pour cette espèce.

Le Gobemouche noir fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Avec 81 cas de mortalité recensés en Europe dont 24 cas en France (d'après les tableaux de T. Dürr 2021), cette espèce est la 41ème la plus impactée en termes d'effectifs à l'échelle européenne. Globalement, ce passereau est principalement impacté en migration au niveau des parcs éoliens, effectuant des vols pouvant se situer à hauteur de rotor. La mortalité sur site a été découverte le 19 août 2021, correspondant à un individu en période de migration postnuptiale.

D'après le rapportage de l'UMS Patrinat (2019), les populations nicheuses de cette espèce sont estimées à entre 2 000 et 4 000 couples, et les tendances d'évolution des effectifs ne sont pas connues à court et à long terme, les données étant insuffisantes pour effectuer ces estimations.

Un cadavre de Gobemouche noir a été retrouvé sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix en 2021. Cette espèce n'avait pas été détectée comme mortalité lors du suivi de 2020. Le Gobemouche noir ayant une sensibilité à l'éolien faible à modérée, le niveau d'impact théorique est qualifié de **faible à modéré** pour cette espèce.

Le Pigeon ramier fait partie des espèces les plus sensibles à l'éolien. Avec 271 cas de mortalité recensés en Europe dont 33 cas en France (d'après les tableaux de T. Dürr 2021), cette espèce est la 14ème la plus impactée en termes d'effectifs à l'échelle européenne. Cette espèce est considérée comme gibier nuisible et ses statuts de conservation ne sont pas défavorables à l'échelle nationale et régionale (préoccupation mineure). La mortalité relevée sur site a été découverte le 05 octobre 2021 et peut concerner aussi bien un individu sédentaire local ou un individu migrateur provenant des régions nordiques ou continentales.

D'après le rapportage de l'UMS Patrinat (2019), les populations nicheuses de cette espèce sont estimées à entre 2 500 000 et 3 500 000 couples, et les tendances d'évolution des effectifs indiquent une augmentation à court terme de 24% des populations nicheuses entre 2007 et 2017, et une augmentation à long terme de 101% entre 1996 et 2017.

Une plumée de Pigeon ramier a été retrouvée sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix en 2021. Cette espèce n'avait pas été détectée comme mortalité lors du suivi de 2020. Le pigeon ramier ayant une sensibilité à l'éolien modérée, le niveau d'impact théorique est qualifié de **faible** pour cette espèce non patrimoniale.

Finalement, du point de vue qualitatif, l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix peut être qualifié de faible vis-à-vis de l'avifaune.

6. BILAN DE L'EFFICACITE DES MESURES DE MAITRISES DES RISQUES EN 2021

6.1. Confrontation entre mortalités et activité des chiroptère en nacelle E4

Le graphique de la page suivante permet une analyse comparée de la date de mortalité estimée des chauves-souris retrouvées en 2021 et de la chronologie d'activité à risque, enregistrée au niveau du module Batcorder autonome de l'éoliennes E4 lorsque les pales tournent (tour rotor >0). En effet, seule l'activité des chiroptères enregistrée lorsque les pales des éoliennes tournent (tour rotor/minute >0) est prise en compte dans cette figure.

Cette comparaison repose sur des dates de mortalité estimées, exercice assez compliqué se basant seulement sur l'état de dégradation des cadavres. Il s'agit donc plutôt de comparer grossièrement le cas de mortalité relevé au sol avec l'activité à risque relevée en nacelle, sur une période (quelques jours) et non sur une date très précise.

Trois cadavres ont été retrouvés sous l'éolienne E4, équipée d'un enregistreur. Ces trois cas (2 en août et 1 en septembre) semblent corrélés à une activité régulière relevée en hauteur (de niveau faible à modéré).

Deux cadavres ont été retrouvés sous l'éolienne E1, un sous l'éolienne E2 et un sous l'éolienne E3, non équipées d'un enregistreur. Ces derniers semblent assez bien corrélés à l'activité à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (variant de très faible à modéré).

Aucun cadavre n'est lié aux pics d'activité relevés le 11, 15 septembre et 24 octobre. Pour ces nuits particulières, aucune activité à risque n'est relevée le 11 septembre, le 15 septembre et le 24 octobre ; Toute l'activité chiroptérologique relevée au cours de ces 3 nuits est protégée par la régulation en vigueur sur le parc.

Finalement, les cas de mortalité relevés au sol sont assez bien corrélés avec une activité chiroptérologique relevée lorsque les pales tournent.

A noter qu'en mars, il n'est pas possible de savoir si des individus ont été impactés au cours de la nuit de plus forte activité du 24 mars (niveau d'activité relevé modéré à fort) car le suivi de mortalité n'était pas encore effectif (début du suivi au cours du mois mai).

D'après la figure page suivante, une nuit d'activité à risque se caractérise par un niveau d'activité fort (le 10 juin), 2 nuits d'activité sont d'un niveau modéré à fort (24 mars et 05 juin) et 16 nuits d'un niveau d'activité modéré. Lors des autres nuits, l'activité à risque est plus faible.

Compte tenu des différents biais liés au suivi mortalité, il est possible que des individus aient été impactés sans qu'ils n'aient été découverts lors des prospections. En effet, même si la détection est correcte sur

ce site ($d = 0.57$), la prédation est assez importante sur le site (disparition des cadavres en 3-4 jours) et peut faire disparaître un cadavre avant que le prospecteur vienne sur le site (intervalle moyen entre 2 visites de près de 5,5 jours). D'autant plus que le coefficient surfacique est élevé du fait que les cadavres de chiroptère ont été retrouvés au sein des zones les moins prospectées (dominance de parcelle en culture).

Dans le cas présent, soit ces nuits d'activité à risque plus importante n'ont pas entraîné de mortalités des chiroptères, soit elles ont entraîné des mortalités sans qu'elles soient retrouvées au sol (biais de détection et de prédation).

En 2020, les périodes à risque étaient les mêmes que celles contactées pour l'année 2021.

Finalement, les cas de mortalité retrouvés en 2021 sous les éoliennes sont bien corrélés avec une activité à risque en nacelle d'éolienne. Ce premier élément suppose que le bridage n'est pas suffisant sur cette période de mortalité, ou bien que les conditions de vol des chauves-souris aient changé entre les 2 années de suivi, d'où un pattern de régulation légèrement sous dimensionné sur cette plage de temps.

6.2. Données brutes et estimations du taux de mortalité

A propos des données brutes, 12 cas de mortalité ont été découverts en 2020 contre 6 cas en 2021. La situation semble donc s'être améliorée pour cette deuxième année de suivi. Mais, ces 6 cas de mortalité ont été retrouvés en période de régulation des machines.

Pour rappel, en 2020, le taux de mortalité avait été estimé comme compris entre 27 et 36 cas par éolienne et par an.

Le taux de mortalité calculé en 2021 est encore élevé, 13 à 18 cas de mortalités par éolienne et par an, influencé par le nombre de cadavres retrouvés mais aussi par des estimateurs parfois non négligeables (persistance des cadavres en 3 à 4 jours, coefficient surfacique supérieur à 2). Ce taux de mortalité a donc diminué entre les deux années de suivi, principalement en lien avec la diminution du nombre de Pipistrelles communes impactées.

Au vu de ces éléments, il est difficile de juger de l'efficacité de la régulation mise en place à partir 29 juillet 2021.

Figure 81 : Chronologie de l'activité chiroptérologique réellement à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (tour rotor > 0) et de la mortalité constatée en 2021

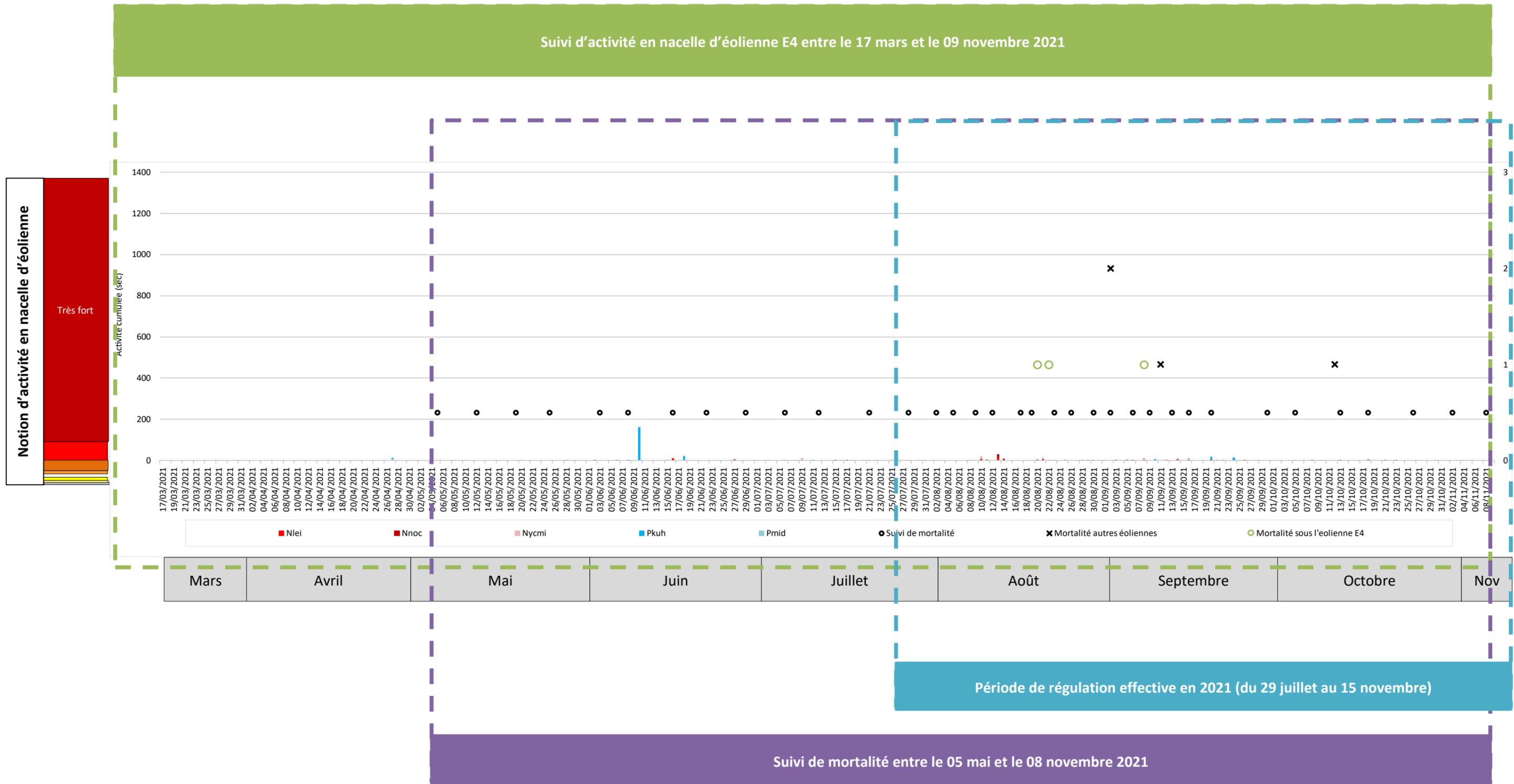
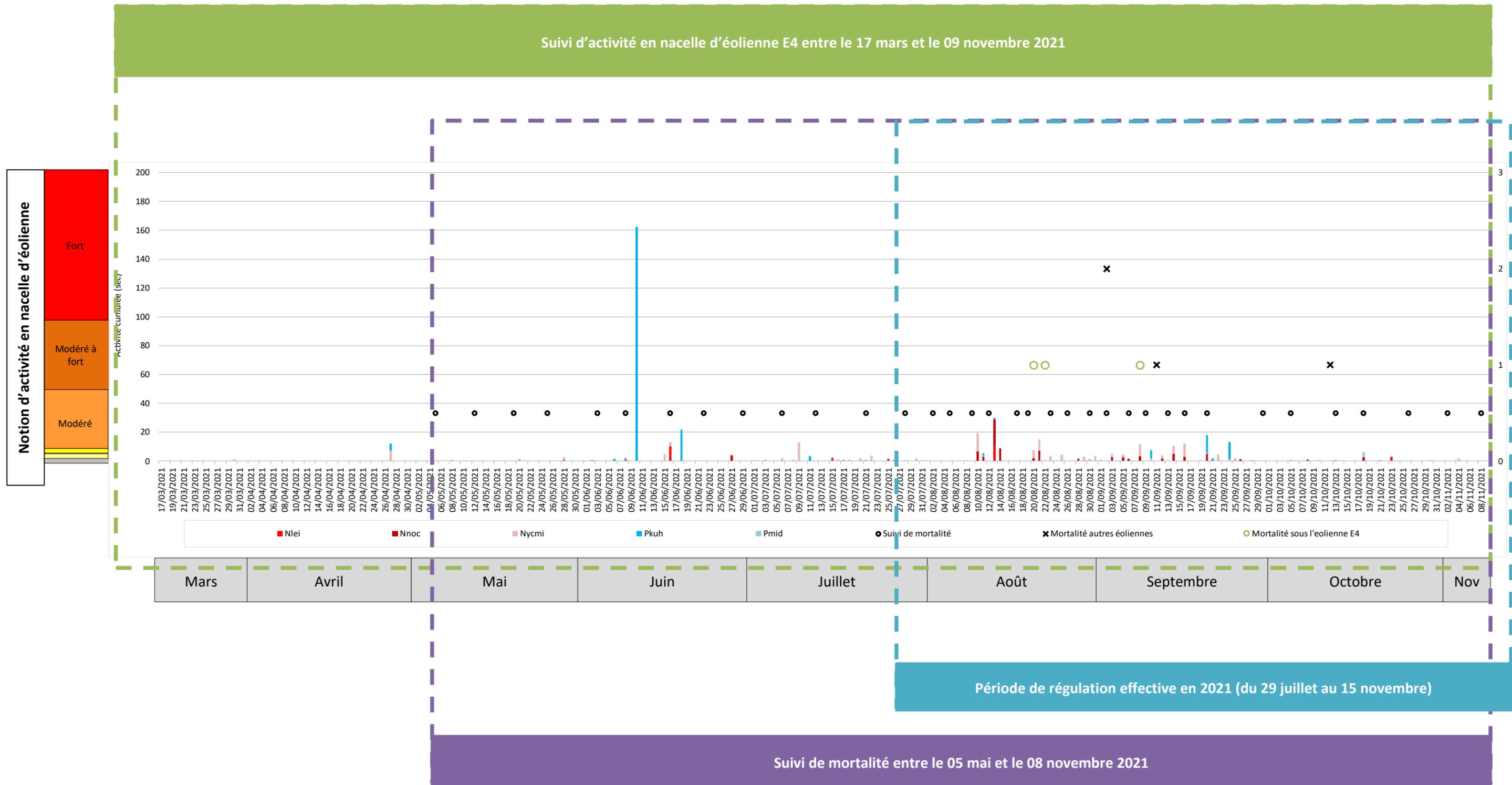


Figure 82 : Chronologie de l'activité chiroptérologique réellement à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (tour rotor > 0) et de la mortalité constatée en 2021 (échelle adaptée pour une meilleure lisibilité du graphique)



6.3. Analyse des paramètres de régulation

Pour rappel, le pattern de régulation mis en place en 2021 correspond à un arrêt automatique des éoliennes lorsque les conditions suivantes sont réunies :

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).

Il faut noter que cette préconisation de régulation n'a pu être mise en place qu'à partir du **29 juillet 2021** pour des raisons techniques.

Ainsi, l'analyse de l'efficacité de cette régulation ne peut se faire qu'à partir de cette date. Les graphiques Figure 83 et Figure 84 page 83 (dont l'échelle a été adaptée pour permettre une meilleure lisibilité) permettent de constater cet état de fait. Il est visible qu'une grande partie de l'activité réellement à risque relevée du 23 mars au 31 juillet aurait pu être protégée par le pattern de régulation préconisé en 2020. Cependant, aucun cas de mortalité n'a été trouvé sur cette période. Le constat sur le reste du suivi est que les deux chronologies sont assez similaires avec quelques disparités minimes.

➤ Concernant la plage de fonctionnement des mesures de régulation

Les six cas de mortalité de chiroptères ont été retrouvés lors de la période effective de la régulation (du 29 juillet au 15 novembre).

La période de régulation préconisée est du 15 mars au 15 novembre. Ceci semble bien en adéquation avec le profil d'activité relevée en 2021 puisque la première nuit d'activité a été enregistrée le 24 mars et la dernière le 10 novembre.

De ce fait, d'après les résultats d'activité et de mortalité de 2021, **la plage de fonctionnement des mesures de régulation est suffisante.**

➤ Concernant le seuil de vitesse de vent

L'analyse menée au paragraphe sur 3.3.4 Influence de la vitesse du vent a pu mettre en évidence que la quasi-totalité de l'activité chiroptérologique (5440 s sur 5478 s) a eu lieu pour des vitesses de vent inférieures à 13 m/s. La majorité de l'activité (95% soit 5220 s) a été enregistrée pour des vitesses de vent inférieures ou égales à 4,5 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.

Pour les 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.

Concernant les pics d'activité, les vitesses de vent relevées, au moment de l'enregistrement de l'activité, varient entre 1 m/s et 6,5 m/s.

Le seuil de vent de 4 m/s semble couvrir une part importante de l'activité des chiroptères relevée en 2021 puisque cela permet de protéger 91% de l'activité chiroptérologique totale dont 81% de l'activité des espèces de vol haut et 95% de l'activité des espèces de lisières.

Mais les seuils de 4 m/s ne semblent donc pas suffisants pour couvrir l'ensemble des situations à risque. Il faut noter que 254 s d'activité de vol haut et 202 s d'activité de lisière sont encore à risque (8% de l'activité totale). **Le seuil de vent est donc à revoir.**

Il faut noter que les nuits précédant les cas des mortalités, l'activité a été relevée pendant des vitesses de vent comprises entre 3 m/s et 6 m/s sur la période automnale

➤ Concernant le seuil de température

A propos de la température, l'analyse menée au paragraphe 3.3.6 Influence de la température a pu mettre en évidence que l'activité des chauves-souris en hauteur est plus importante à partir d'une température de 15°C. En pourcentage d'activité, plus de 98% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 15°C. Il faut noter que 30s d'activité ont été enregistrées pour des températures comprises entre 7°C et 13°C inclus et 37 s d'activité chiroptérologique n'ont pu être affiliées à des conditions de températures (suspicion de problème technique).

Sur ces éléments, le seuil de 12°C est donc jugé conservateur mais pertinent au vu du profil d'activité et des températures relevées sur le site.

➤ Concernant les horaires de fonctionnement au cours de la nuit

D'après l'analyse menée au paragraphe 3.3.7 Rythme d'activité nocturne, environ 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. De même, plus de 80% de l'activité est mesurée entre 1 heure après le coucher du soleil et 3 heures avant le lever du soleil.

Il faut noter qu'en période automnale, la Noctule commune a présenté, en 2021, une activité (2 s) sur des heures de début de nuit, hors régulation (entre l'heure du coucher du soleil et 15 minutes après).

En 2020, 91% de l'activité a été relevée entre 45 minutes après le coucher du soleil et 3h avant le lever du soleil.

Le rythme d'activité nocturne est similaire entre les années de suivi. Par précaution, il serait préférable de rester sur changer l'heure de démarrage de la régulation, en particulier sur la période automnale. Ainsi, il serait pertinent que les horaires de fonctionnement soit du coucher du soleil à 15 min avant le lever du soleil. Ceci en vue de protéger l'activité de la Noctule commune, qui en période de migration peut avoir une activité précoce au coucher du soleil. **Les horaires de fonctionnement sont donc à modifier légèrement.**

Finalement, il serait pertinent de revoir et d'affiner le seuil de vitesse du vent du pattern de régulation, qui ne permet pas de couvrir l'ensemble des situations à risque, ainsi que les horaires de mise en place de la régulation.

Figure 83 : Activité réellement à risque (tour >0) constatée en 2021 (activité comparée à l'activité de l'éolienne seulement)

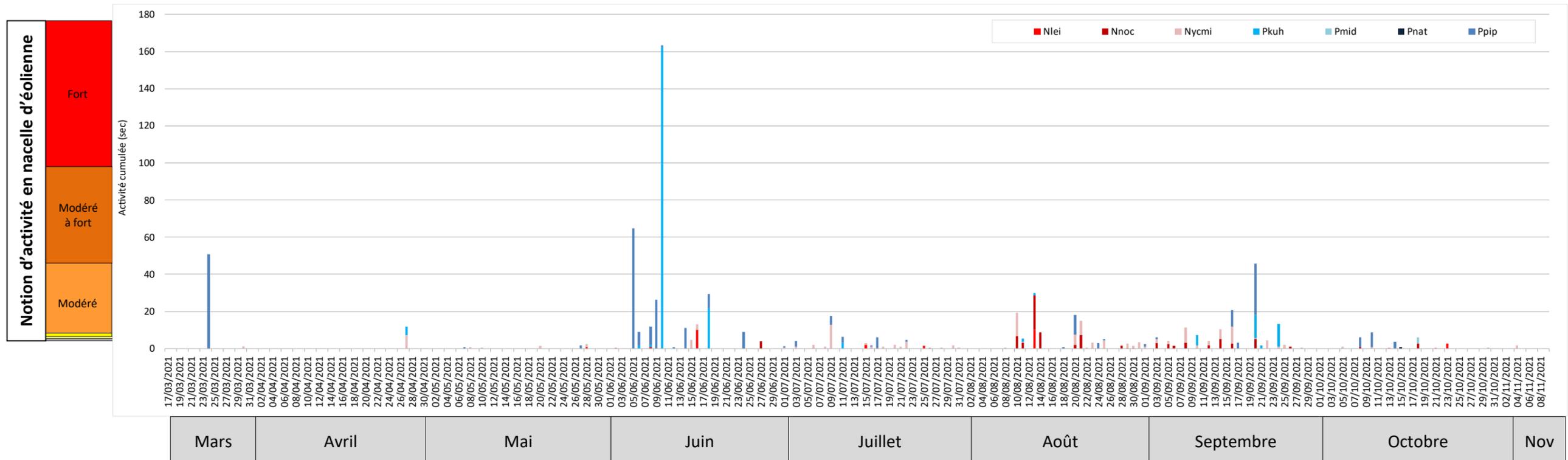
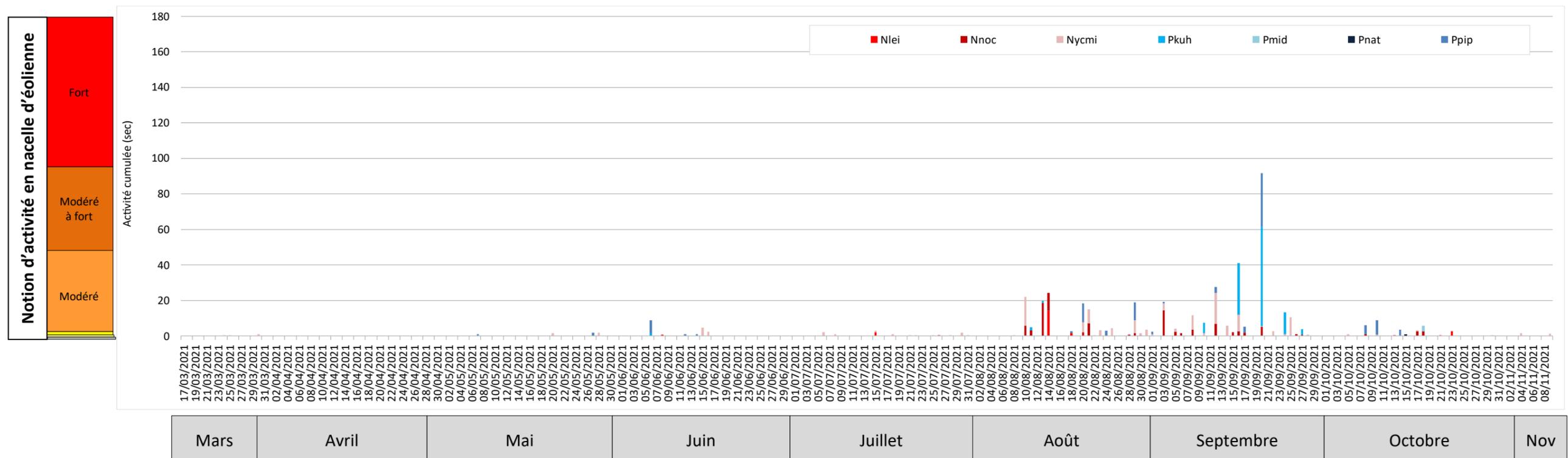


Figure 84 : Activité restante théoriquement à risque avec le pattern de régulation préconisé en 2021 (activité comparée aux conditions météorologiques sans tenir compte de l'activité de l'éolienne)



7. MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS

7.1. Concernant les chiroptères

7.1.1 Mesure de régulation de l'activité des éoliennes

Au vu des éléments ci-dessus, le bureau d'études EXEN propose de **modifier le pattern de régulation** des éoliennes dès 2022, afin de réduire le risque d'impact sur les chiroptères, en particulier la Noctule commune, Noctule de Leisler et la Pipistrelle commune, trois espèces impactées en 2020 et 2021.

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 01 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 01 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).

Cette modification du pattern permet de protéger 98% de l'activité chiroptérologique, soit 5350s. Il faut noter que 37s d'activité ne sont pas prises en compte dans cette simulation du fait de l'absence de données météorologiques en lien.

Ainsi ce pattern permet de protéger 382s d'activité en plus (cf. Figure 87 page 85), notamment sur la période automnale qui semble être la période la plus à risque sur ce site éolien. Ainsi, cette modification devrait profiter à la Noctule commune et à la Pipistrelle commune, les deux espèces les plus impactées en 2020 et 2021.

Figure 85 : Tableau qui résume l'activité protégée par le pattern préconisé

Activité	Groupe de vol						Total général
	Lisière ou vol haut	Lisière	Vol haut en migration/transit	Vol haut	Vol bas	Lisière ou vol haut en migration/transit	
Activité cumulée restante à risque	30,84	37,47	0,00	18,38	0,00	3,09	89,78
Activité cumulée protégée	628,86	3913,73	50,75	639,29	101,17	16,51	5350,30
Total	659,70	3951,20	50,75	657,66	101,17	19,60	5440,08
Pourcentage d'activité protégée	95%	99%	100%	97%	100%	84%	98%

Figure 86 : Tableau qui résume l'activité protégée par le pattern actuel

Activité	Groupe de vol						Total général
	Lisière ou vol haut	Lisière	Vol haut en migration/transit	Vol haut	Vol bas	Lisière ou vol haut en migration/transit	
Activité cumulée restante à risque	140,55	206,87	0,87	119,72	0,00	3,09	471,11
Activité cumulée protégée	519,14	3744,33	49,88	537,95	101,17	16,51	4968,98
Total	659,70	3951,20	50,75	657,66	101,17	19,60	5440,08
Pourcentage d'activité protégée	79%	95%	98%	82%	100%	84%	91%

Figure 87 : Représentation de l'activité cumulée à risque par groupe de vol et tous groupes de vol confondus (le graphique de droite présente une échelle adaptée pour une meilleure lisibilité)

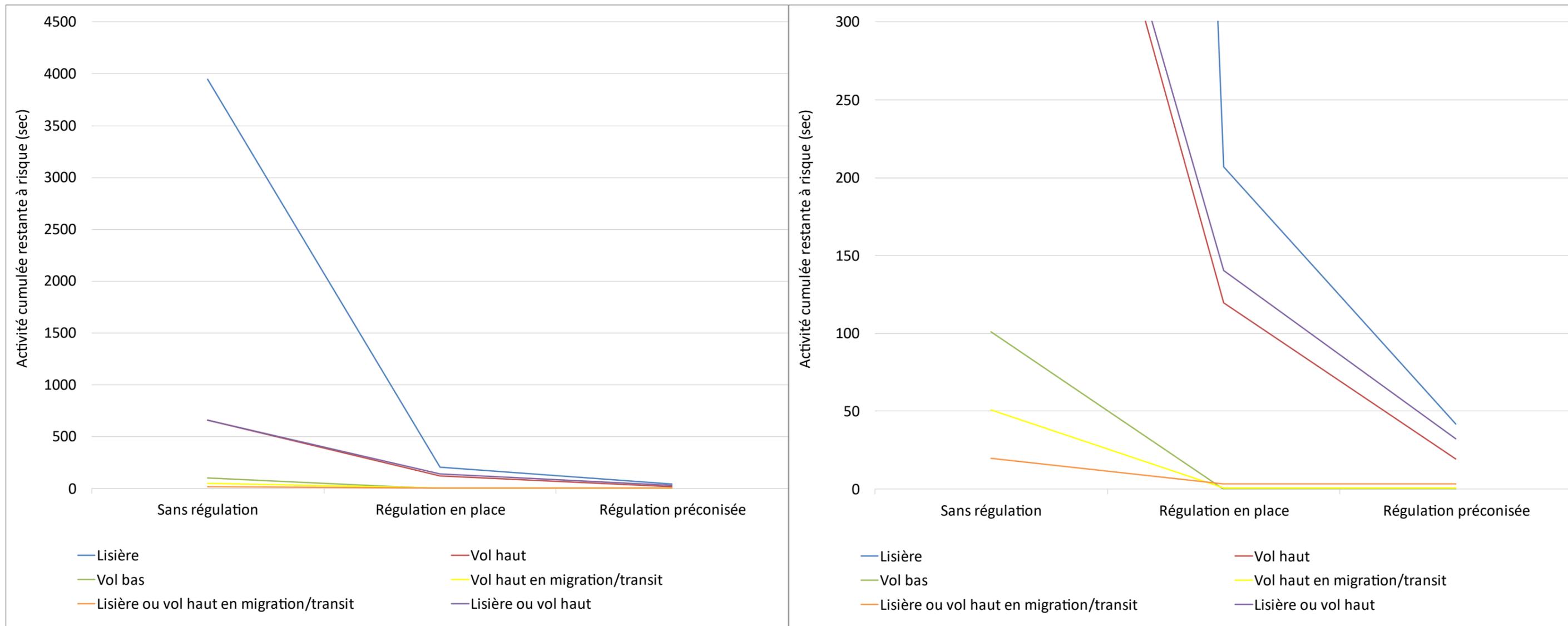


Figure 88 : Activité restante théoriquement à risque avec le pattern actuellement en place (sur la base de l'activité chiroptérologique 2021)

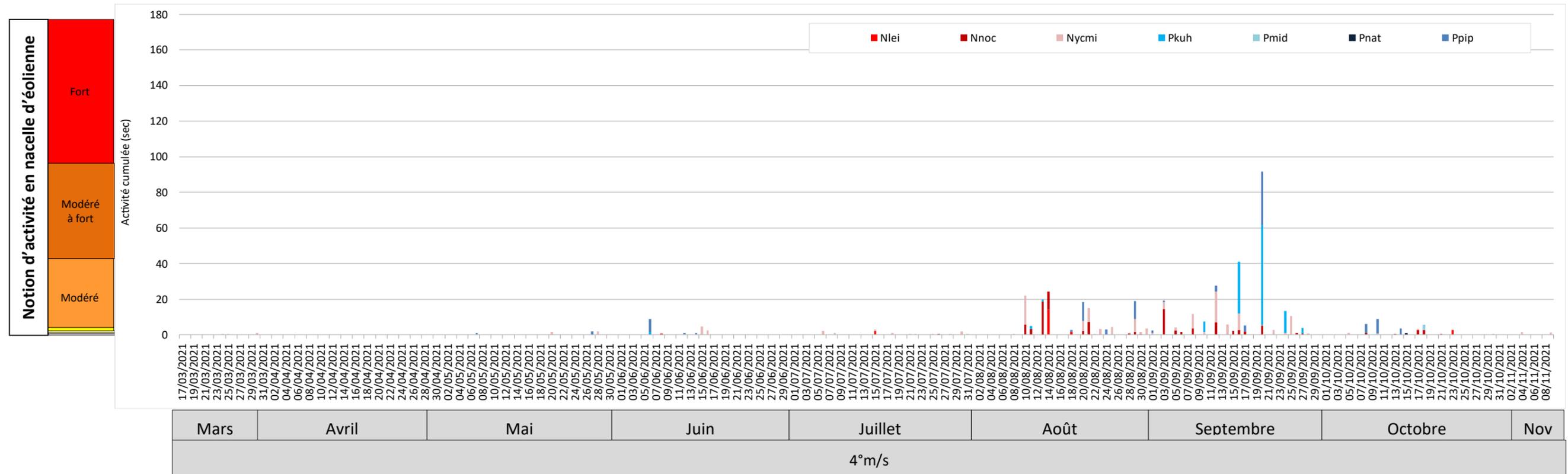
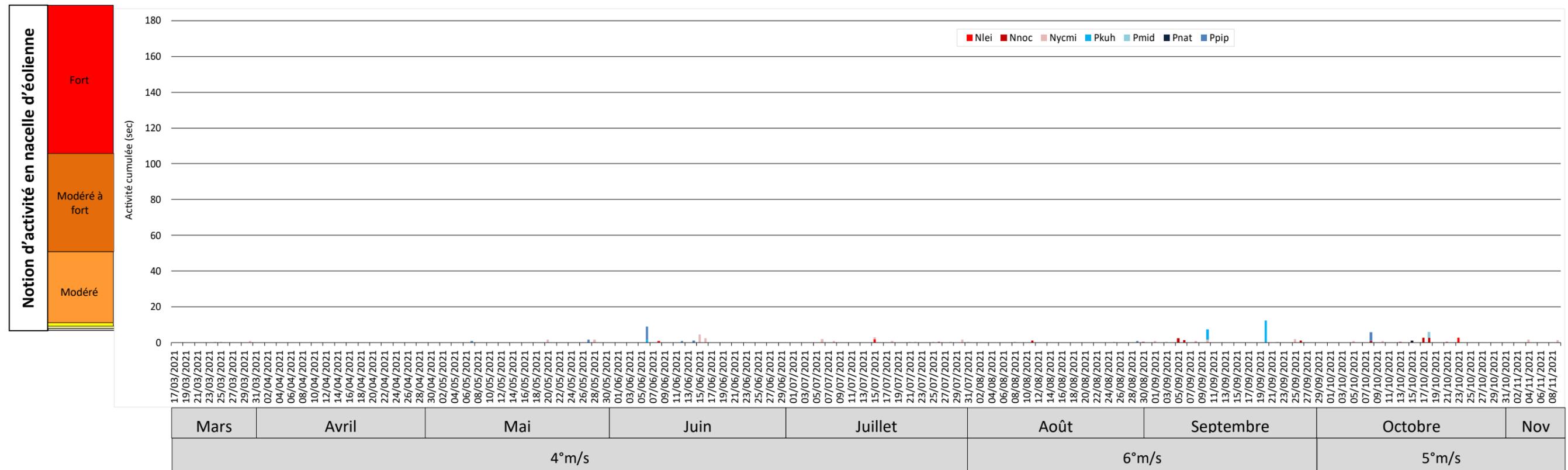


Figure 89 : Activité restante théoriquement à risque avec le pattern ayant subi des modification sur le seuil de vitesse de vent principalement

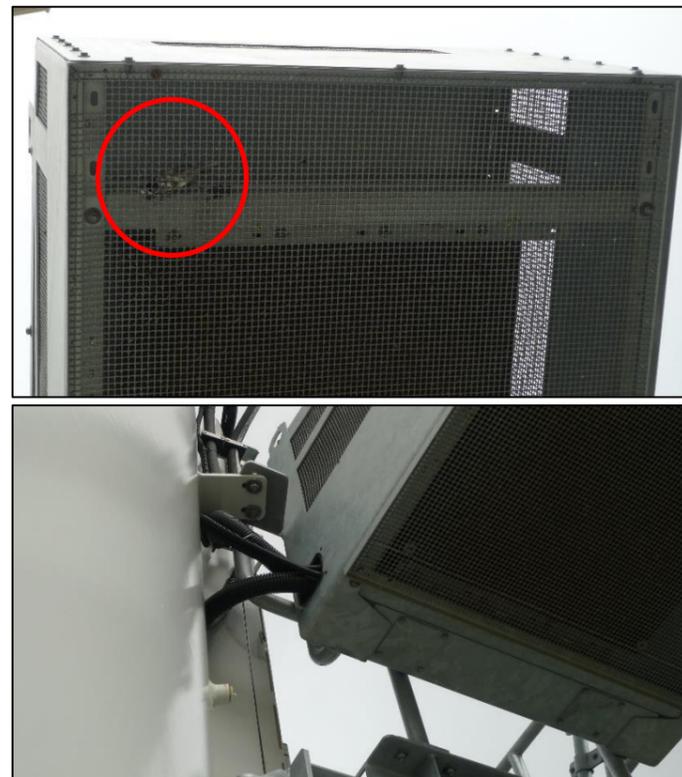


7.2. Concernant les oiseaux

7.2.1 Mesure d'accompagnement en faveur de la nidification des passereaux nicheurs de milieux ouverts

Au cours des différents suivis réalisés sur le parc éolien de Saint-Ambroix en 2021, des Bergeronnettes grises ont été retrouvées à plusieurs reprises bloquées dans les caissons de ventilation au pied des éoliennes. Deux cadavres de cette espèce ont par ailleurs été découverts dans les caissons de ventilation de l'éolienne E2 le 29 avril et le 17 août. Ces individus sont probablement morts d'épuisement, ne pouvant retrouver la sortie du fait du passage exigü utilisé pour y rentrer (Figure 90).

Figure 90 : Cliché de la Bergeronnette grise retrouvée le 17 août 2021 au niveau de l'éolienne E2. Le deuxième cliché représente les passages de câbles au niveau de ces caissons ayant pu permettre le passage de l'oiseau.



Ayant été alerté au cours du suivi, 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.

La présence de ces oiseaux à l'intérieur des caissons semble témoigner d'une volonté de nidification, comme en témoigne le cliché suivant (Figure 91) pris le 26 juin 2021. Un nid avait été construit dans le caisson de ventilation de l'éolienne E2 et la ponte avait effectivement débuté.

Figure 91 : Cliché d'un nid de Bergeronnette grise dans le caisson de ventilation de l'éolienne E2



Dans la mesure où l'intervention visant à la pose de grillage pour combler les entrées de ces caissons a entraîné une perte potentielle de sites de nidifications, et en émettant l'hypothèse que ces oiseaux viennent nicher dans les caissons car ils se trouvent relativement limités dans leurs possibilités de nidification aux alentours, il pourrait être intéressant de mettre à disposition de nouveaux lieux de nidifications pour favoriser la reproduction.

La Bergeronnette grise utilise généralement des sites semi-cavernicoles mais se trouve relativement tolérante vis-à-vis de tous types d'anfractuosités pour construire son nid. La pose de modèle de nichoirs ouverts ou semi-ouverts à proximité du parc éolien permettrait à cette espèce ainsi qu'à d'autres colonisant le même type de nichoirs de pouvoir effectuer leur nidification à l'écart d'infrastructures comme les caissons de ventilation qui constituent des pièges pour la faune. Un exemple de nichoirs semi-ouvert est présenté en Figure 92.

Figure 92 : Exemple de nichoir semi-ouvert adapté à la nidification de la Bergeronnette grise (image : nichoir-detournerie.com)



Cela permettrait aussi de favoriser globalement la nidification des passereaux de milieux ouverts à proximité du parc en augmentant les possibilités de nidification qui semblent rares aux alentours pour

certaines espèces. La pose de nichoirs de type semi-ouverts pourra ainsi bénéficier à la Bergeronnette grise mais aussi au Rougequeue noir et au Rougegorge familier par exemple.

Nous recommandons la pose d'une dizaine de ces nichoirs dans les alentours du parc éolien de Saint-Ambroix. Ces nichoirs étant relativement faciles d'accès pour les prédateurs, il s'agirait de les placer à minima à hauteur d'homme, voire dans l'idéal à 2,5 ou 3m de haut, en les plaçant de préférence côté ombre, dos aux vents dominants et avec une orientation sud-est à sud-ouest.

Le coût de cette mesure est estimé à 250 € pour l'achat de 10 nichoirs semi-ouverts, somme à laquelle s'ajoute le coût de la pose de ces 10 nichoirs représentant une demi-journée de main d'œuvre pour un écologue, soit 300€ (sans compter les frais de déplacement sur site).

7.3. Concernant les chauves-souris 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 les chauves-souris 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 de nombreuses espèces contactées sur site ont l'habitude de venir chasser autour de lampadaires (pipistrelles, noctules, Minioptère...). Sur un parc éolien Aveyronnais en forêt et lisières forestières, le taux de mortalité a chuté de façon drastique une fois l'éclairage des portes d'entrée éteintes (Beucher et Kelm, 2009).

Il s'agit d'éviter autant que possible l'éclairage en pied de mât des éoliennes. Si pour une quelconque raison (sécuritaire notamment), des éclairages étaient installés en pied de mât, alors la société d'exploitation du parc veillera à les adapter à la présence de chauves-souris, notamment via les mesures suivantes :

- Ne pas installer de détecteur de mouvement à déclenchement automatique. Privilégier un interrupteur et limiter la temporisation à 1 min,
- Limiter une large diffusion de la lumière (orientation du faisceau vers le bas, plaque autour de l'ampoule pour éviter le halo ...),
- Sélectionner le spectre de longueur d'onde des lumières : pas de néons, pas d'halogène et utiliser soit une lumière rouge, soit des LED dont il est prouvé qu'elles attirent moins les insectes (si absence d'UV ou lumière bleue) et donc les chauves-souris en chasse (Voigt & al. 2016). Il s'agit même idéalement de sélectionner les modèles de sports lumineux en fonction de leur spectre de longueur d'ondes (retenir un spectre de l'ordre de 590 nm). Plusieurs entreprises (ex : innolumis,

signify...) proposent aujourd'hui des produits particulièrement adaptés à cette problématique avec conception à la demande.

7.3.2 Autres mesures pour limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes

Il s'agira d'éviter autant que possible de recréer des conditions favorables au développement des d'insectes 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. 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). Il s'agira de maintenir une végétation rase tout au long de l'année aux alentours des éoliennes. Cette démarche exclura l'utilisation de pesticides.

A l'inverse, il s'agit de favoriser des aménagements les plus artificialisés sous les éoliennes, avec des revêtements inertes (gravillons) ne favorisant pas la repousse d'un couvert végétal. Les gravillons choisis seront clairs de préférence afin de limiter l'emménagement de la chaleur en journée et sa restitution la nuit, cela afin d'éviter la création d'ascendances thermiques susceptibles d'entraîner des essaimages d'insectes en hauteur, attirant les chauves-souris.

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.
- **ANDREY.** (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.
- **DGPR – DGALN – MTES.** (2018) - Protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres. Révision 2018. 20 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.
- **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.
- **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.
- **ULDRY V.** (2013) – Comparaison entre deux détecteurs d'ultrasons automatiques (Batcorder et Batlogger) dans le domaine de l'éolien. 36 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Données brutes de mortalité

Oiseaux

Date	Mortalité	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Oiseau (OIS) ou Chauve-souris (CS)	Date de mortalité estimée	Espèce	Nom latin	Type de vol	Sexe	Age	Commentaires
29/04/2021	Oui (ventilation)	cadavre	E2			OIS		Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	Passereau			dans caisson de ventilation
03/06/2021	Oui	Cadavre	E4	3	SO	OIS	02/06/2021	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	Passereau	Mâle	Adulte	
09/08/2021	Oui	Cadavre	E1	2	E	OIS	08/08/2021	Bergeronnette printanière	<i>Motacilla flava</i>	Passereau	?	Adulte	
17/08/2021	Oui (ventilation)	cadavre	E2			OIS		Bergeronnette grise	<i>Motacilla alba</i>	Passereau			dans caisson de ventilation
19/08/2021	Oui	cadavre	E1	15	N	OIS	18/08/2021	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	Passereau	Mâle	?	
05/10/2021	Oui	Plumée	E4	50	e	OIS	30/09/2021	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Intermédiaire			
18/10/2021	Oui	Plumée	E1	20	E	OIS	13/10/2021	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	?	?	
02/11/2021	Oui	cadavre	E4	35	N	OIS	31/10/2021	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	?	?	

Chauves-souris

Date	Mortalité	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Oiseau (OIS) ou Chauve-souris (CS)	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol	Sexe	Age	Mesure de l'avant-bras (mm)	Commentaires
23/08/2021	Oui	cadavre	E4	8	NE	CS	22/08/2021		Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Mâle	Adulte	32	
23/08/2021	Oui	cadavre	E4	45	SO	CS	20/08/2021	AB droit cassé + aile gauche arrachée	Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Vol haut	Femelle	Adulte	49,7	
06/09/2021	Oui	cadavre	E1	12	S	CS	02/09/2021		Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Vol haut	?	Adulte	44	
06/09/2021	Oui	cadavre	E3	50	N	CS	02/09/2021		Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	?	Adulte	31	
09/09/2021	OUI	cadavre	E4	70	N	CS	08/09/2021		Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Mâle	Adulte	30	
16/09/2021	Oui	cadavre	E2	4	W	CS	11/09/2021		Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Vol haut	?	?	51	
13/10/2021	Oui	cadavre	E1	40	s	CS	12/10/2021	Oui, aile + épaule et dos	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Lisière	Femelle	Adulte	34	

Annexe 2 : Fiche de relevé de terrain



FICHE DE TERRAIN MORTALITE
Suivi mortalité du parc éolien de Mareuil (Parc éolien de Saint Ambroix) (2021)

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

