

Parc éolien de Saint-Ambroix (18)

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

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux en 2020

Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle en 2020



Février 2021

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 2020 ciblé sur les chauves-souris et sur les oiseaux

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux en 2020

Suivi de l'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle en 2020

- **Visites de mortalité sur site** : J. Caylet, A. Comby, R. Delalleau, S. Dervaux, C. Metge, L. Nazon, P. Petitjean, C. Respaud, C. Siccardi
- **Organisation, méthodes** : F. Albespy, Y. Beucher, A. Langlois
- **Analyse des données, interprétations** : X. Nardou, A. Rozelle
- **Rédaction, relecture** : X. Nardou, A. Rozelle, A. Langlois

Février 2021

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
TABLE DES ILLUSTRATIONS	6
1. OBJET.....	9
2. CONTEXTE.....	9
3. SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX	12
3.1. OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE	12
3.2. METHODOLOGIE.....	12
3.2.1 Choix d'une méthode standardisée.....	12
3.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites	12
3.2.3 Choix des éoliennes suivies.....	13
3.2.4 Organisation des parcours de prospection.....	14
3.2.5 Recueil des données et destination des cadavres.....	17
3.2.6 Détermination des coefficients correcteurs	17
3.2.6.1 Organisation générale	17
3.2.6.2 Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »).....	18
3.2.6.3 Tests de disparition (ou « test de persistance »).....	19
3.2.6.4 Coefficient surfacique.....	19
3.2.6.5 Calculs	19
3.2.6.6 Intervalle de confiance.....	20
3.3. BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS	21
3.3.1 Bilan des mortalités par éolienne.....	21
3.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris.....	21

3.3.3 Typologie des cadavres découverts	24
3.3.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce.....	24
3.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne.....	25
3.3.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations	27
3.3.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes.....	29
3.3.5 Taux de mortalité des chauves-souris.....	30
3.3.5.1 Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2020.....	30
3.3.5.2 Les formules utilisées	31
a) Winkelmann (2005).....	31
b) Erickson (2000)	31
c) Jones (2009).....	31
d) Huso (2010).....	32
3.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)	33
a) Taux de détection.....	33
b) Taux de persistance.....	33
c) Coefficient de correction surfacique.....	35
3.3.5.4 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »)	36
3.3.5.5 Calculs de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »)	37
3.3.5.6 Calcul de mortalité avec l'application Shiny « EolApp »	37
3.3.5.7 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des chauves-souris en 2020.....	38
3.4. BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX	39
3.4.1 Bilan des mortalités par éolienne.....	39
3.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux.....	39

3.4.3	<i>Typologie des cadavres découverts</i>	41	4.2.3	<i>Une détection divergente selon les espèces</i>	56
3.4.3.1	Proportion des mortalités estimées par espèce	41	4.2.4	<i>Autres limites de détection acoustique</i>	57
3.4.3.2	Relation espèce / éolienne.....	42	4.3.	RESULTATS DU SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES	59
3.4.3.3	Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations	43	4.3.1	<i>Cortège d'espèces</i>	59
3.4.4	<i>Dispersion des cadavres sous les éoliennes</i>	45	4.3.2	<i>Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle E4</i>	61
3.4.5	<i>Taux de mortalité des oiseaux</i>	47	4.3.3	<i>Influence de la vitesse du vent</i>	64
3.4.5.1	Planning du suivi de la mortalité et hauteur du type de végétation en 2020.....	47	4.3.4	<i>Influence de la direction du vent</i>	65
3.4.5.2	Les formules utilisées.....	48	4.3.5	<i>Influence de la température</i>	66
3.4.5.3	Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	48	4.3.6	<i>Rythme d'activité nocturne</i>	67
a)	Taux de détection.....	48	4.3.7	<i>Saisonnalité</i>	68
b)	Taux de persistance.....	48	5. CONFRONTATION ENTRE LES CAS DE MORTALITE DE CHAUVE-SOURIS ET L'ACTIVITE RELEVÉE EN NACELLE D'ÉOLIENNE E4	69	
c)	Coefficient de correction surfacique	49	6. EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE SAINT-AMBROIX	74	
3.4.5.4	Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyennes »).....	50	6.1.	CONCERNANT LES CHIROPTERES	74
3.4.5.5	Calculs de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »).....	51	6.1.1	<i>Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens</i>	74
3.4.5.6	Calcul de mortalité avec l'application Shiny « EolApp »	51	6.1.2	<i>Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères</i>	75
3.4.5.7	Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2020	52	6.2.	CONCERNANT LES OISEAUX	77
4. SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHAUVES-SOURIS EN HAUTEUR	53		6.2.1	<i>Analyse quantitative des impacts sur les oiseaux</i>	77
4.1.	METHODOLOGIE	53	6.2.2	<i>Analyse qualitative des impacts sur les oiseaux</i>	77
4.1.1	<i>Suivi automatisé en continu (passif) : généralités et organisation</i>	53	7. MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS	78	
4.1.2	<i>Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E4</i>	53	7.1.	CONCERNANT LES CHIROPTERES	78
4.2.	LIMITES DE LA METHODOLOGIE	55	7.1.1	<i>Mesure de régulation de l'activité des éoliennes</i>	78
4.2.1	<i>Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle)</i>	55	7.1.1.1	Mesure de régulation préventive par très faibles vitesses de vent non exploitables par les éoliennes.....	78
4.2.2	<i>Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces</i>	55	7.1.1.2	Mesure de régulation prédictive, multicritère et proportionnée aux caractéristiques locales du risque.....	79

7.2.	CONCERNANT LES OISEAUX.....	84
7.3.	CONCERNANT LES CHAUVES-SOURIS ET LES OISEAUX	84
7.3.1	<i>Veiller à l'absence d'éclairage du parc</i>	<i>84</i>
7.3.2	<i>Autres mesures pour limiter la fréquentation de la faune volante autour des éoliennes</i>	<i>84</i>
7.3.3	<i>Mesures réglementaires</i>	<i>84</i>
7.3.3.1	<i>Suivi de la mortalité.....</i>	<i>84</i>
7.3.3.2	<i>Suivi d'activité en nacelle.....</i>	<i>85</i>
	BIBLIOGRAPHIE.....	86
	ANNEXES	87
	ANNEXE 1 : DONNEES BRUTES DE MORTALITE	88
	ANNEXE 2 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN	89
	ANNEXE 3 : RAPPORT D'INCIDENT RELATIF A LA MORTALITE DE BUSARD SAINT-MARTIN	91

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien sur fond de carte IGN.....	10	Figure 19 : Cliché de la Noctule commune découverte le 13 août 2020 sous l'éolienne E2.....	28
Figure 2 : Carte de la localisation du parc sur fond de carte orthophotographique.....	11	Figure 20 : Cliché de la Pipistrelle de Kuhl découverte le 13 août 2020 sous l'éolienne E2	28
Figure 3 : Calendrier de ciblage des périodes de suivi les plus judicieuses dans le contexte local.....	13	Figure 21 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne.....	29
Figure 4 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique.....	14	Figure 22 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres de chauves-souris (CS) découverts sous les éoliennes).....	30
Figure 5 : Carte de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes	15	Figure 23 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d.....	33
Figure 6 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris.....	17	Figure 24 : 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)	33
Figure 7 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection.....	18	Figure 25 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après 1 jours »	34
Figure 8 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées	18	Figure 26 : Tableau détaillant les valeurs permettant de calculer le coefficient de correction surfacique pour les chauves-souris.....	35
Figure 9 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2020 et répartition par éolienne.....	21	Figure 27 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul	36
Figure 10 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii) par un couple de Nécrophore chasseur (Thanatophilus sinuatus), sous un autre parc	22	Figure 28 : Résultats des calculs de taux de mortalité des chauves-souris pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)	37
Figure 11 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020.....	23	Figure 29 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul	37
Figure 12 : Chronologie des mortalités de chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2020.....	24	Figure 30 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....	37
Figure 13 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces de chauves-souris retrouvées sous les éoliennes	24	Figure 31 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp ».....	38
Figure 14 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2020	25	Figure 32 : Sortie de l'application Shiny EolApp (IC : intervalle de confiance).....	38
Figure 15 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2020.....	25	Figure 33 : Bilan des mortalités d'oiseaux constatées en 2020 et répartition par éolienne.....	39
Figure 16 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2020 en fonction du type de vol.....	26	Figure 34 : Chronologie des mortalités d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020 (les dates de mortalité pour les plumées sont représentées par des périodes).....	40
Figure 17 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (d'après les dates de mortalité estimée) en 2020, les pics de mortalités sont entourés en rouge.....	27	Figure 35 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2020.....	41
Figure 18 : Cliché de la Pipistrelle commune découverte le 04 août 2020 sous l'éolienne E2.....	28	Figure 36 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes.....	41

Figure 37 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2020	42	Figure 55 : Clichés de positionnement du module Batcorder à l'intérieur de l'éolienne	53
Figure 38 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2020	42	Figure 56 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes.....	54
Figure 39 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (d'après les dates de mortalité estimées) en 2020 (pour les plumées, les dates de mortalité sont matérialisées sous forme de période).....	43	Figure 57 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences).....	54
Figure 40 : Cliché du Bruant jaune retrouvé sous l'éolienne E2 le 23 Juillet 2020	44	Figure 58 : Synthèse des plages de fonctionnement du module en continu en éolienne E4, et nombre d'enregistrements	55
Figure 41 : Cliché du Busard Saint-Martin retrouvé sous l'éolienne E2 le 30 Juillet 2020.....	44	Figure 59 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie >30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »).....	56
Figure 42 : Cliché de l'alouette sp. retrouvée sous l'éolienne E3 le 23 Juillet 2020.....	44	Figure 60 : 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)	56
Figure 43 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne	45	Figure 61 : 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).....	57
Figure 44 : 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).....	47	Figure 62 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours des suivis en continu (en blanc sont représentées les espèces dont la détermination reste incertaine)	59
Figure 45 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d	48	Figure 63 : 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).....	60
Figure 46 : 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).....	48	Figure 64 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience EXEN).....	61
Figure 47 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après 1 jours ».....	49	Figure 65 : 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.....	63
Figure 48 : Tableau détaillant les valeurs permettant de calculer le coefficient de correction surfacique pour les oiseaux	49	Figure 66 : 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 2020 en nacelle d'éolienne)	64
Figure 49 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul.....	50	Figure 67 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E4.....	65
Figure 50 : Résultats des calculs de taux de mortalité des oiseaux pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)	51	Figure 68 : 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	66
Figure 51 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul	51		
Figure 52 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres).....	51		
Figure 53 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »	51		
Figure 54 : Sortie de l'application Shiny EolApp (IC : intervalle de confiance).....	52		

<i>Figure 69 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E4 (en 2020).....</i>	<i>Figure 84 : Planning prévisionnel du suivi de la mortalité pour 2021</i>
<i>67</i>	<i>85</i>
<i>Figure 70 : 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</i>	
<i>67</i>	
<i>Figure 71 : Activité journalière moyenne (en seconde d'activité) relevée selon les espèces contactées et par demi-mois, corrigé selon le nombre de jours d'enregistrement (E4).....</i>	
<i>68</i>	
<i>Figure 72 : Chronologie de l'activité chiroptérologique à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (tour rotor > 0) et de la mortalité constatée en 2020</i>	
<i>70</i>	
<i>Figure 73 : Schéma explicatif des notions de distance de détection.....</i>	
<i>71</i>	
<i>Figure 74 : Schéma de représentation des distances des éoliennes (mât et rotor) aux lisières les plus proches.....</i>	
<i>72</i>	
<i>Figure 75 : Détail du calcul de la distance entre le bas du rotor et la lisière la plus proche.....</i>	
<i>72</i>	
<i>Figure 76 : Schéma théorique de l'activité des chiroptères selon le type de vol et problématiques liées aux différents types d'implantation des éoliennes (forêt, lisière ou milieu ouvert).....</i>	
<i>73</i>	
<i>Figure 77 : 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>74</i>	
<i>Figure 78 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE)</i>	
<i>75</i>	
<i>Figure 79 : Niveau d'intensité des risques de mortalité (en gris les espèces identifiées avec certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol).....</i>	
<i>76</i>	
<i>Figure 80 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010).....</i>	
<i>76</i>	
<i>Figure 81 : Évaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix sur les chauves-souris (en gris les espèces identifiées avec certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol)</i>	
<i>76</i>	
<i>Figure 82 : Tableau de synthèse de l'activité cumulée relevée par espèce ou groupe d'espèces sur le parc et activité cumulée restant théoriquement à risque après régulation (sur la base des données enregistrées en 2020 en nacelle d'éolienne E4)</i>	
<i>82</i>	
<i>Figure 83 : Chronologie de l'activité relevée en 2020 avec simulation de la mise en place du pattern de régulation multicritère (graphique du haut : activité de 2020, graphique du bas : activité restant à risque en 2020 après application du pattern de régulation préconisé).....</i>	
<i>83</i>	

1.OBJET

En 2020, VSB Energies nouvelles a mandaté le bureau d'étude EXEN pour définir un protocole de suivi de la mortalité des chiroptères et des oiseaux sur 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).

Ce suivi d'impacts in situ cible tout particulièrement les chauves-souris et les oiseaux, les principaux groupes d'espèces animales les plus sensibles aux effets des parcs éoliens. Le suivi doit permettre d'aboutir à une perception concrète et objective des effets du parc éolien sur la mortalité générée par les éoliennes sur les chauves-souris et sur les oiseaux.

Depuis la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, les éoliennes relèvent du régime des ICPE au titre du Code de l'Environnement. L'arrêté du 26 août 2011 a fixé des prescriptions générales applicables aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement. Cet arrêté, dans l'article 12, prévoit « *qu'au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs. Lorsqu'un protocole de suivi environnemental est reconnu par le ministre chargé des installations classées, le suivi mis en place par l'exploitant est conforme à ce protocole. Ce suivi est tenu à disposition de l'inspection des installations classées* ».

En 2018, le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer a officiellement reconnu une mise à jour du « protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres ». Les suivis environnementaux à mettre en place doivent donc être conformes à ce protocole.

Ce protocole de suivi environnemental est applicable aux éoliennes terrestres soumises à autorisation et à déclaration au titre de la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement au titre de l'article 12 de l'arrêté du 26 août 2011 (autorisation) et par le point 3.7 de l'annexe 1 de l'arrêté du 26 août 2011 (déclaration).

Ce protocole officiel définit les modalités des suivis environnementaux à mettre en place au sein des parcs éoliens en exploitation. Il guide la mise en place du suivi de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères.

La réalisation d'un suivi dans les 3 années précédant la demande est nécessaire. Pour ce type de suivi, VSB Energies Nouvelles a alors missionné en 2020 la société EXEN, spécialisée dans l'étude de la faune sauvage et de ses rapports avec le développement éolien. Le bureau d'étude EXEN a donc pris en charge le suivi de la mortalité au pied des éoliennes. En parallèle, un suivi d'activité chiroptérologique a été réalisé en hauteur (en nacelle d'éolienne).

La synthèse des résultats de ce suivi doit permettre d'aboutir à une évaluation objective des impacts du parc éolien sur cette faune volante. **Le présent document fait donc le bilan des résultats du suivi de mortalité d'oiseaux et de chauves-souris sous les éoliennes pour l'année 2020 et du suivi d'activité des chauves-souris à hauteur de nacelle.** Au vu des résultats de ce suivi, ce présent rapport fournira, si besoin, des mesures visant à la réduction de l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix sur la faune volante. De plus, l'analyse du suivi d'activité des chiroptères permettra de préciser les conditions de risques d'impacts (typologie des mortalités, saisonnalités, facteurs climatiques...), et d'apporter des réponses sur les mesures complémentaires à mettre en œuvre, si besoin, pour faire en sorte que les modalités d'exploitation du parc éolien limitent les risques de façon significative. Les différentes études bibliographiques ainsi que l'expérience du bureau d'études EXEN soulignent la complexité des rapports entre la faune volante et les éoliennes.

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

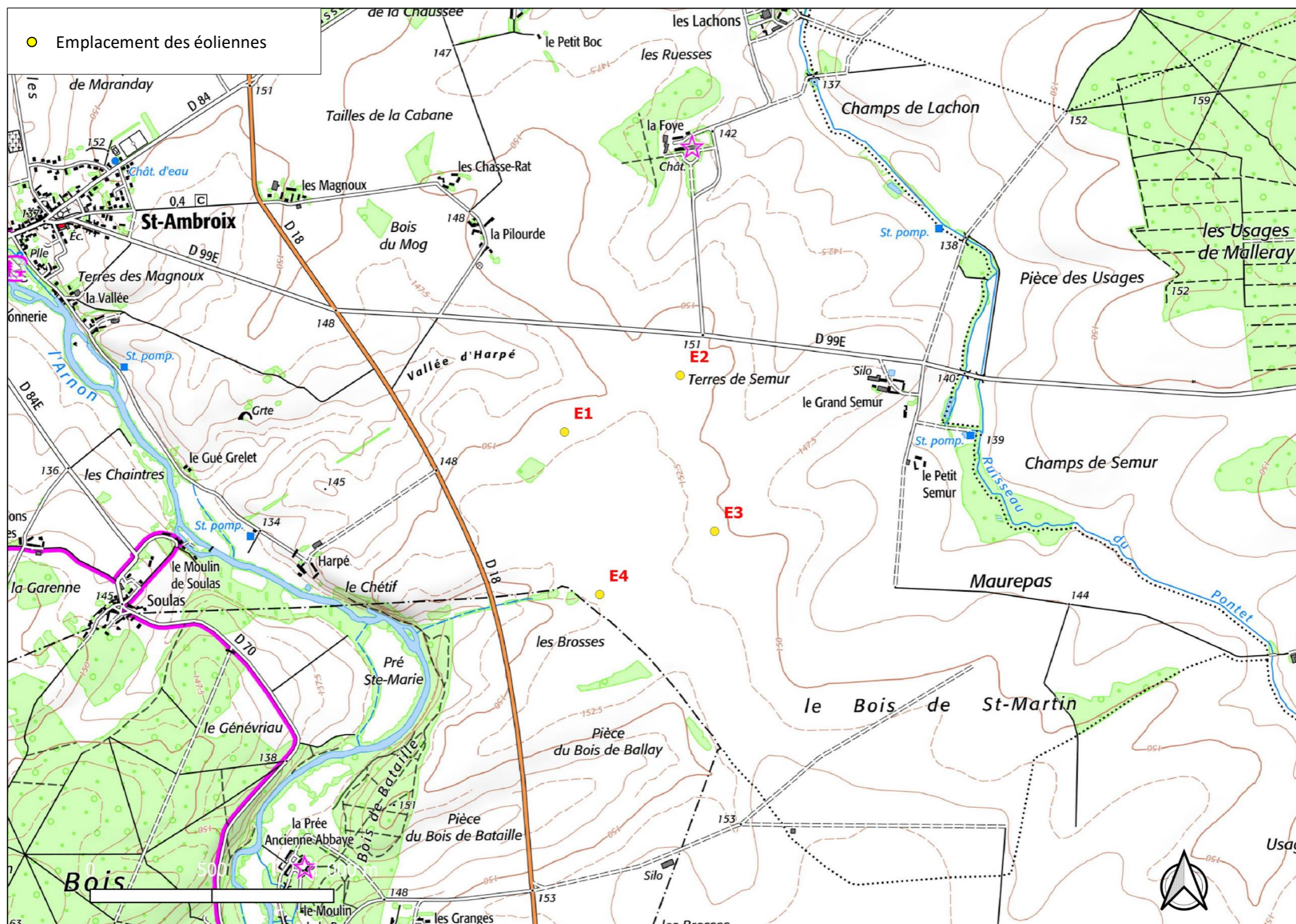


Figure 2 : Carte de la localisation du parc sur fond de carte orthophotographique



3. SUIVI DE LA MORTALITÉ DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX

3.1. Objectifs du suivi de la mortalité

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

Le suivi de la mortalité sous les éoliennes est l'option de suivi la plus consommatrice de temps pour obtenir des résultats pertinents. Elle reste pour autant un des thèmes d'étude prépondérants du suivi post-implantation, 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 2020 est présenté en Annexe 1 : Données brutes de mortalité.

3.2. Méthodologie

3.2.1 Choix d'une méthode standardisée

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

- De faire l'économie de biais méthodologiques déjà expérimentés ailleurs, et d'aboutir sur des résultats pertinents et parfaitement exploitables dès le début de l'étude,
- D'éviter une modification trop importante du protocole d'une année sur l'autre pour permettre une analyse efficace de l'évolution des résultats dans le temps,

- D'être en mesure de comparer les résultats obtenus avec ceux d'autres suivis réalisés sous d'autres parcs éoliens et sur d'autres types de milieux (regards croisés).

La méthode standardisée développée par Winkelman (1989) est adaptée au suivi de la mortalité des chauves-souris. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis (Erickson et al. 2002 ; Erickson 2003 ; Kerns et al. 2004 ; Cosson et al. 2004 ; Arnett 2006 ; Beucher et al. 2010) et représente notre cadre de travail. À partir de cette base méthodologique, la configuration du site éolien, l'assolement et notre recul vis-à-vis de ce protocole nous permettent de cibler et d'ajuster plus spécifiquement le suivi du parc éolien 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.

3.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites

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

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

Dans le cas présent, l'exploitant a choisi de retenir une période de suivi de la mortalité s'étendant **du 12 mai au 19 octobre 2020**, avec pression de suivi d'une visite par semaine en moyenne. **Au total, 25 visites ont été effectuées en 2020** (Figure 3). A cela s'ajoute une visite hors-protocole de suivi de mortalité effectuée le 3 septembre 2020 dans le cadre d'un retour de test de persistance des cadavres sur la zone. Cette visite a été comptabilisée dans les analyses des cas de mortalité du fait de deux cadavres retrouvés sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix, mais ces mortalités ne seront pas comptabilisées dans le calcul du taux de mortalité du fait de l'absence de protocole standardisé lors de cette visite.

3.2.4 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.

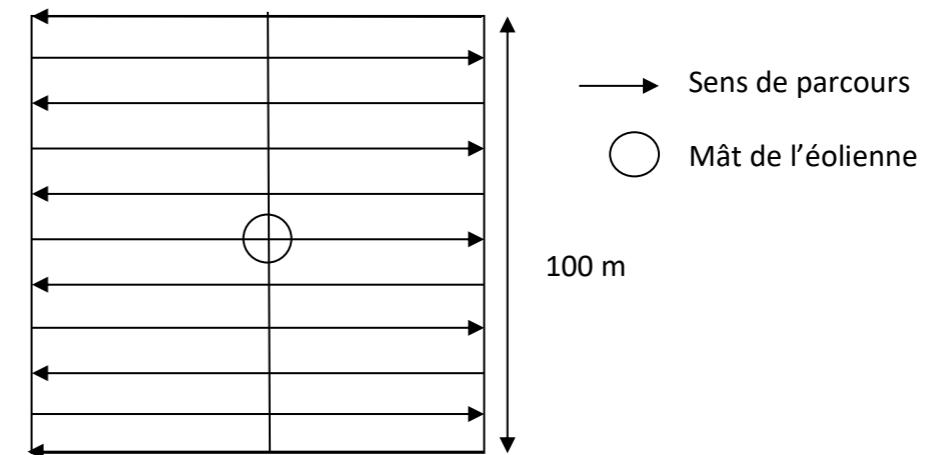
La durée de prospection sous une éolienne pour 100 % de prospection du carré (1 hectare) est d'environ 30 min. Pour une zone de prospection correspondant à 50 % du carré, la durée de prospection sera proportionnelle, soit d'environ 15 min. Il convient donc d'adapter son allure à cette durée de prospection 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 4 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique



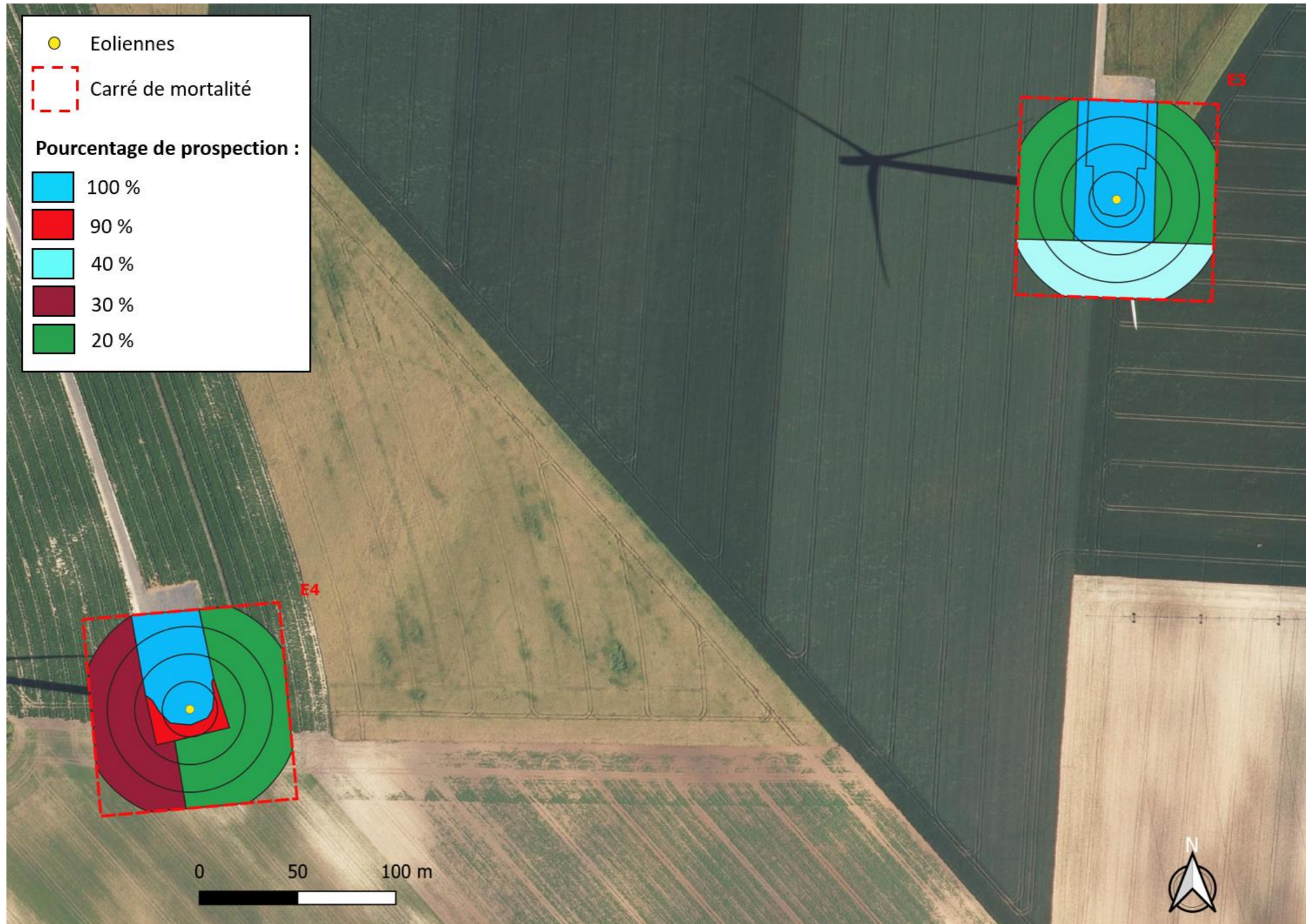
Tout au long de la période de suivi, nous avons noté la proportion (sous chaque éolienne suivie) des différents niveaux de difficulté de prospection. Ainsi, l'évolution de la hauteur de végétation sera prise en compte dans l'estimation des taux de mortalité.

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 5 de la page suivante propose de visualiser les surfaces prospectées et celles non prospectées.

Figure 5 : Carte de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi de la mortalité sous les éoliennes





3.2.5 Recueil des données et destination des cadavres

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

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

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

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

Concernant les chiroptères, la phase de détermination se fait donc souvent à plusieurs reprises, par différents chiroptérologues formés aux techniques de captures, sur la base de diverses clefs de détermination des chauves-souris (Clef de détermination des chauves-souris de Midi Pyrénées (Dejean 2007), Clé de détermination illustrée des chauves-souris d'Europe (Dietz, 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 clefs de détermination d'oiseaux (Guide ornitho (Svensson L., Mullarney K., Zetterström D., 2015), Identifier les plumes des oiseaux d'Europe occidentale (Fraigneau C., 2017)).

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

Figure 6 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris



3.2.6 Détermination des coefficients correcteurs

3.2.6.1 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 02 juin et le 1^{er} août 2020).

3.2.6.2 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 7). 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 7 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection

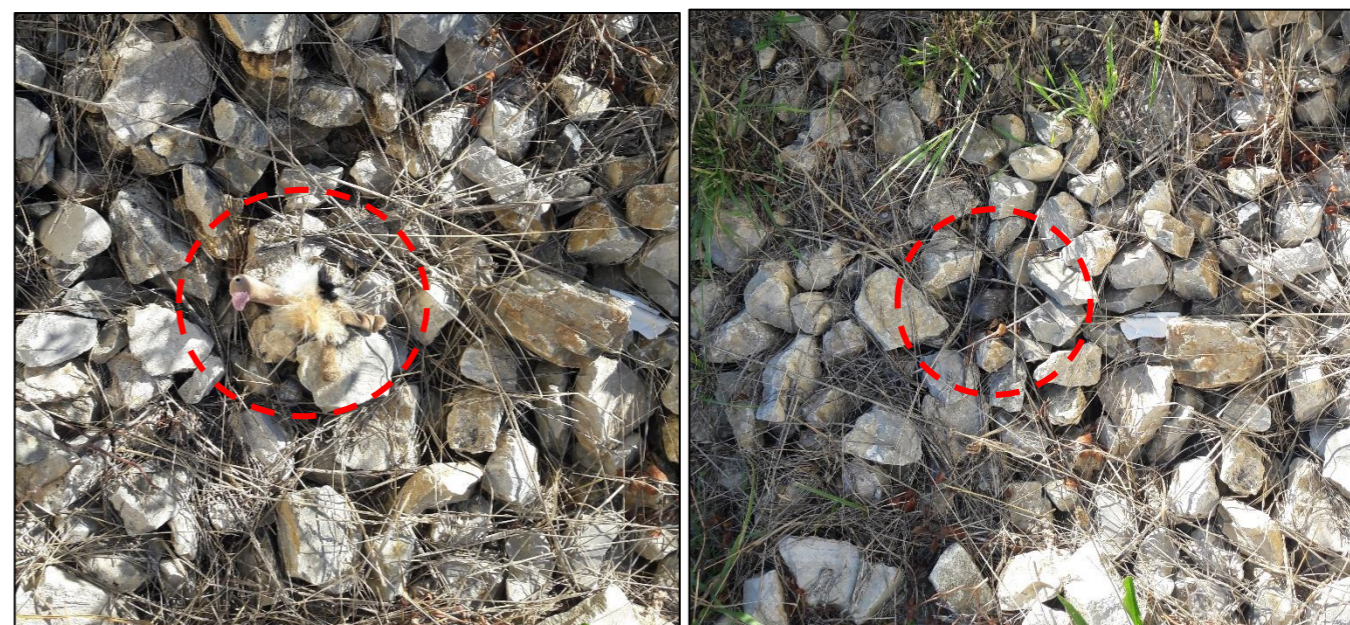


Le choix de l'éolienne sous laquelle se fait le test de détection est scrupuleusement réfléchi et est basé sur la représentativité des types de milieux présents sur le parc éolien. Les peluches doivent être dispersées de manière la plus équitable possible au niveau de chaque type de revêtement prospectable

(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 8 : 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).

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

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

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

Pour se faire, des poussins d'élevage sont placés sous les éoliennes de manière la plus équitable possible au niveau de chaque type de revêtement prospectable (Type 1, 2 et 3), comme pour le test de détection. Chacun des tests a été réalisé à l'aide de 15 poussins (pour imiter des petits cadavres) et de 5 tas de 2 poussins positionnés côte à côte (pour imiter des plus gros cadavres). Ne disposant actuellement que de poussins d'élevage de taille comparable, nous considérons qu'un poussin est le cadavre test de petite taille (chauves-souris ou passereaux). Pour les cadavres de grande taille, 2 cadavres de poussins ont été disposés l'un contre l'autre.

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

Afin d'être plus représentatif et afin d'éviter l'effet selon lequel un seul prédateur pourrait prélever l'ensemble des cadavres déposés sous une seule éolienne, les cadavres ont été dispersés sous l'ensemble du parc pour tester cette persistance en fin de test d'efficacité du chercheur. Pas plus de 3 cadavres tests sont disposés sous la même éolienne.

Pour apprécier la vitesse de disparition des cadavres, il suffit de revenir sur chaque carré de mortalité après un délai variable, la parcourir de façon méthodique (comme lors du test de l'efficacité du chercheur) et de s'aider de la carte de terrain pour remarquer la disparition ou le déplacement des cadavres par rapport aux positions initiales. En effectuant ce travail à plusieurs reprises, on peut alors apprécier l'action des nécrophages par unité de temps.

Les visites retour-tests sont réalisées de la façon suivante : une visite le lendemain de la dispersion des cadavres (Retour test 1), puis 3 jours après la dispersion (Retour test 2), puis au bout de 7 jours après la

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

3.2.6.4 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.

3.2.6.5 Calculs

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

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

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

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

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

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

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

3.2.6.6 Intervalle de confiance

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

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

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

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

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

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

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

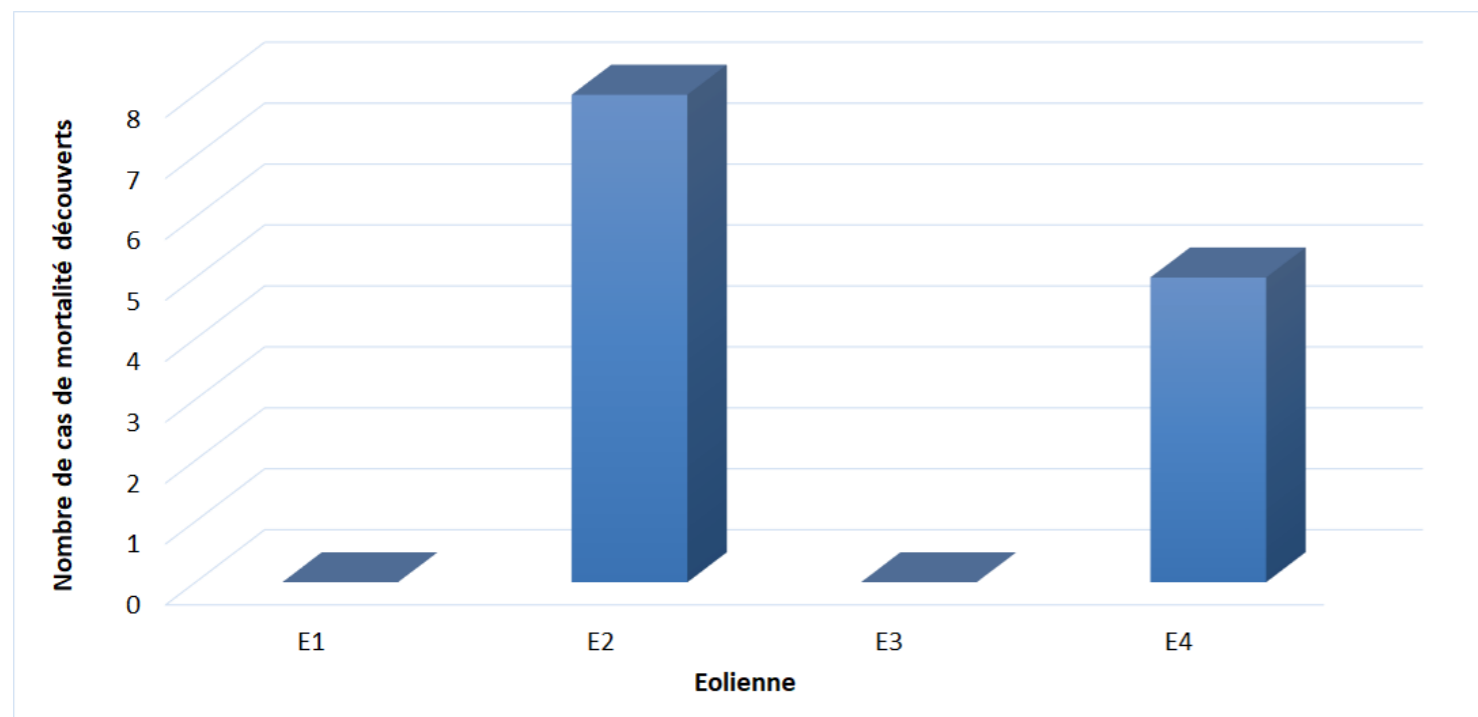
L'analyse des résultats cherchera à mettre en évidence l'importance de différents facteurs pour expliquer les éventuelles mortalités constatées (facteurs climatiques, facteurs milieux, facteurs lumières, autres facteurs comportementale particulier, types d'espèces, phénologie des espèces...) et proposer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

3.3. Bilan de la mortalité des chauves-souris

3.3.1 Bilan des mortalités par éolienne

Treize chauves-souris furent retrouvées sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 12 mai et le 19 octobre 2020 (Figure 9), dont deux lors d'une visite hors-protocole qui seront tout de même représentées dans cette section.

Figure 9 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2020 et répartition par éolienne



Pour 26 visites de recherche (25 + 1 hors protocole) réalisée au cours du suivi de mortalité 2020 (5 mois de suivi réel), cela représente une moyenne de 2,6 chauves-souris découvertes 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 de chauve-souris en 2020, et l'éolienne E2 a été à l'origine de huit des treize mortalités à elle seule.

Finalement, au vu de la configuration du parc éolien, on note qu'en 2020, les mortalités se sont réparties sur les deux éoliennes du parc les plus éloignées entre elles, au Sud-Ouest et au Nord-Est. **Ces mortalités ne semblent donc pas réparties aléatoirement sur le parc.** Une des pistes explorées est la position de ces éoliennes entre le lieu de repos des chauves-souris (gîtes dans les villages) et leurs zones de chasse (lisières, milieux humides, zones enherbées...). L'éolienne E4 est effectivement située près d'une ripisylve qui peut être attractive pour les chauves-souris. Mais cette piste ne suffit pas pour expliquer pourquoi 8

cadavres ont été retrouvés sous l'éolienne E2, située dans un contexte paysager similaire aux éoliennes E1 et E3 par exemple. L'éolienne E2 pourrait se situer sur un axe de transit préférentiel.

3.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris

Le premier graphique de la Figure 11 représente la chronologie des découvertes de cadavres de chauves-souris sur l'ensemble du parc éolien en 2020.

Le délai qui s'écoule entre la mort des chiroptères et la date des découvertes des cadavres dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur. Comme le protocole d'étude était basé en 2020 sur une visite de terrain par semaine selon la période, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier ;

- entre 0 (cas d'une chauve-souris tombée la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (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 fouisseurs 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 11 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.

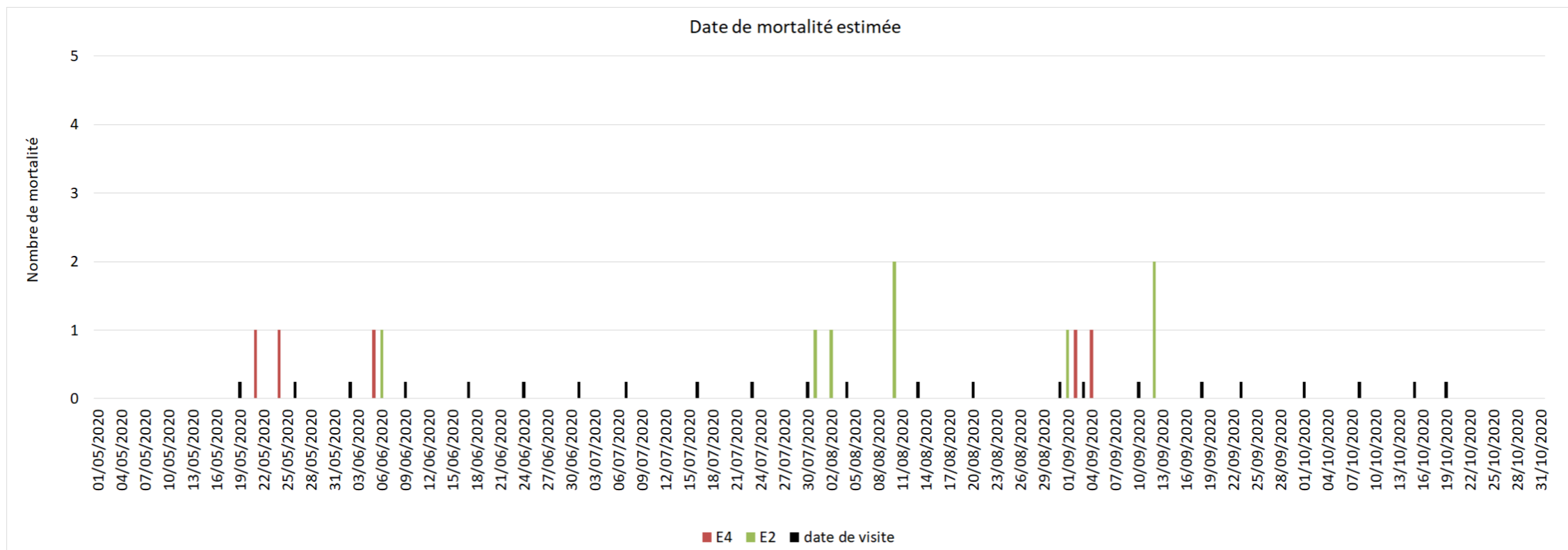
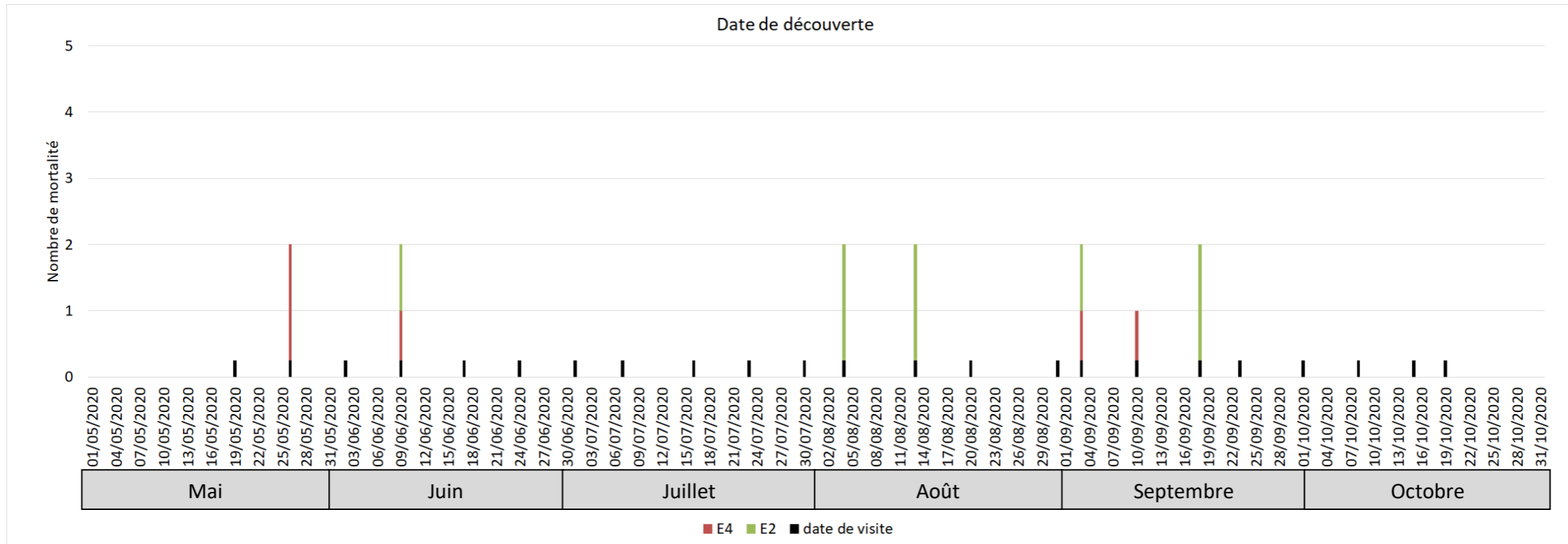
Précisons que, comparativement à d'autres parcs éoliens suivis dans la région avec la même méthodologie, les mortalités constatées sous celui de Saint-Ambroix ont apparemment été peu concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage même si l'état de dégradation de certains cadavres était avancé.

*Figure 10 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) par un couple de Nécrophore chasseur (*Thanatophilus sinuatus*), sous un autre parc*



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

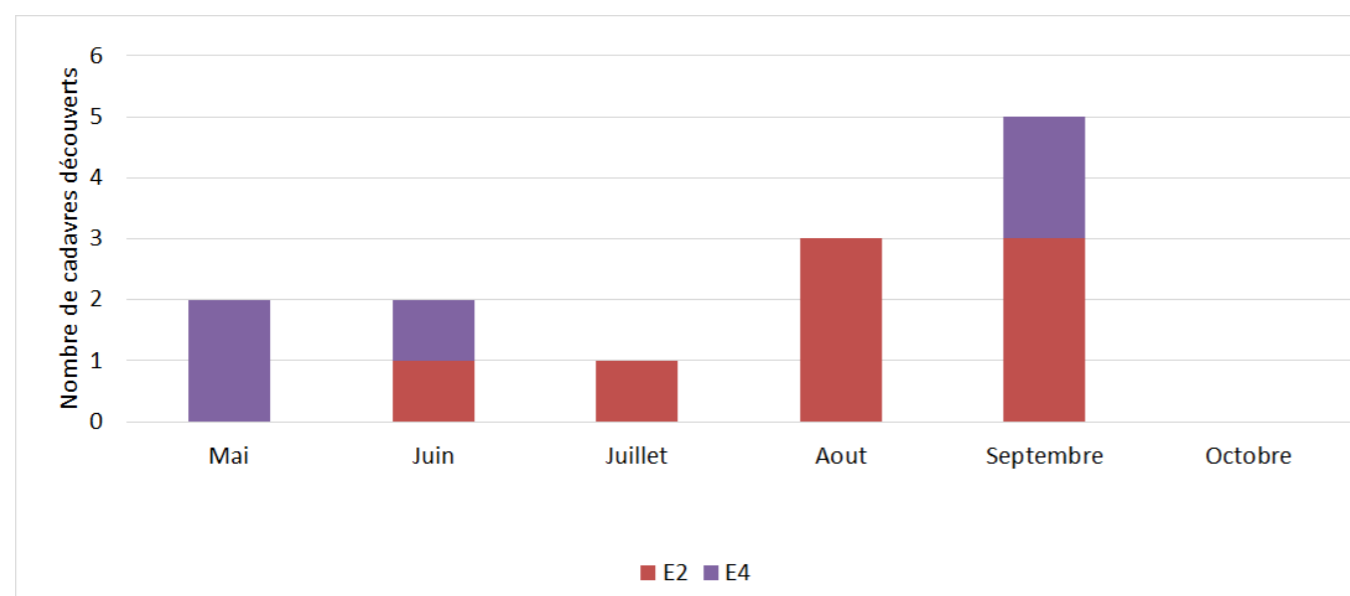
Figure 11 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020



En ce qui concerne les rapports entre chronologie des mortalités et les éoliennes, 13 cas de mortalité sont apparus sous deux éoliennes différentes entre le 12 mai et le 19 octobre 2020. Les mortalités liées à l'éolienne E2 sont préférentiellement concentrées au début du mois d'août et du mois de septembre, tandis que les mortalités liées à l'éolienne E4 sont préférentiellement concentrées fin-mai/début juin et début septembre.

Globalement, les mortalités sont concentrées **sur une trentaine de jours, allant du 20 mai au 5 juin, du 31 juillet au 10 août et du 1^{er} septembre au 12 septembre.**

Figure 12 : Chronologie des mortalités de chauves-souris estimées (corrigées) par mois en 2020



Le mois le plus accidentogène est le mois de septembre (Figure 12) avec 5 cas de mortalité. Le mois d'août concentre aussi 3 cas de mortalité. Globalement, les mois de mai-juin ainsi que d'août-septembre concentrent la majorité des mortalités.

Ces mortalités s'expliquent potentiellement par des conditions bien particulières, qui peuvent aussi interagir entre elles ; on peut évoquer des conditions climatiques, jouant sur l'activité des chauves-souris comme celle des éoliennes, des situations phénologiques particulières qui pourraient augmenter ponctuellement le niveau d'activité des chauves-souris, ou encore certains comportements précis qui pourraient plus les exposer au risque de mortalité à un moment donné. Nous chercherons par la suite si cette concentration de mortalités s'exprime pour des espèces ou des comportements comparables et à quelle phénologie du cycle biologique des espèces correspondent ces périodes de mortalités.

3.3.3 Typologie des cadavres découverts

3.3.3.1 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 2020 sur site était globalement en bon état, sauf pour certaines dont l'état de décomposition était avancé où seules certaines parties du corps ont été retrouvées. Les cadavres ont tous fait l'objet d'analyses biométriques.

Le **cortège d'espèces impactées en 2020 est peu diversifié** puisque parmi les 13 cadavres découverts, 3 espèces ont pu être identifiées avec certitude : la Pipistrelle commune, la Pipistrelle de Kuhl et la Noctule commune. Pour un individu, seule une aile a été retrouvée, l'identification ayant abouti à une Pipistrelle commune probable. Cet individu sera donc inclus dans ce groupe dans la suite de ce rapport. Pour un autre individu, seul un morceau d'aile (avant-bras non complet) a été retrouvé. L'identification n'a pas pu être réalisée avec précision et cet individu sera classé dans le groupe des « Chiroptères sp. » dans la suite de ce rapport.

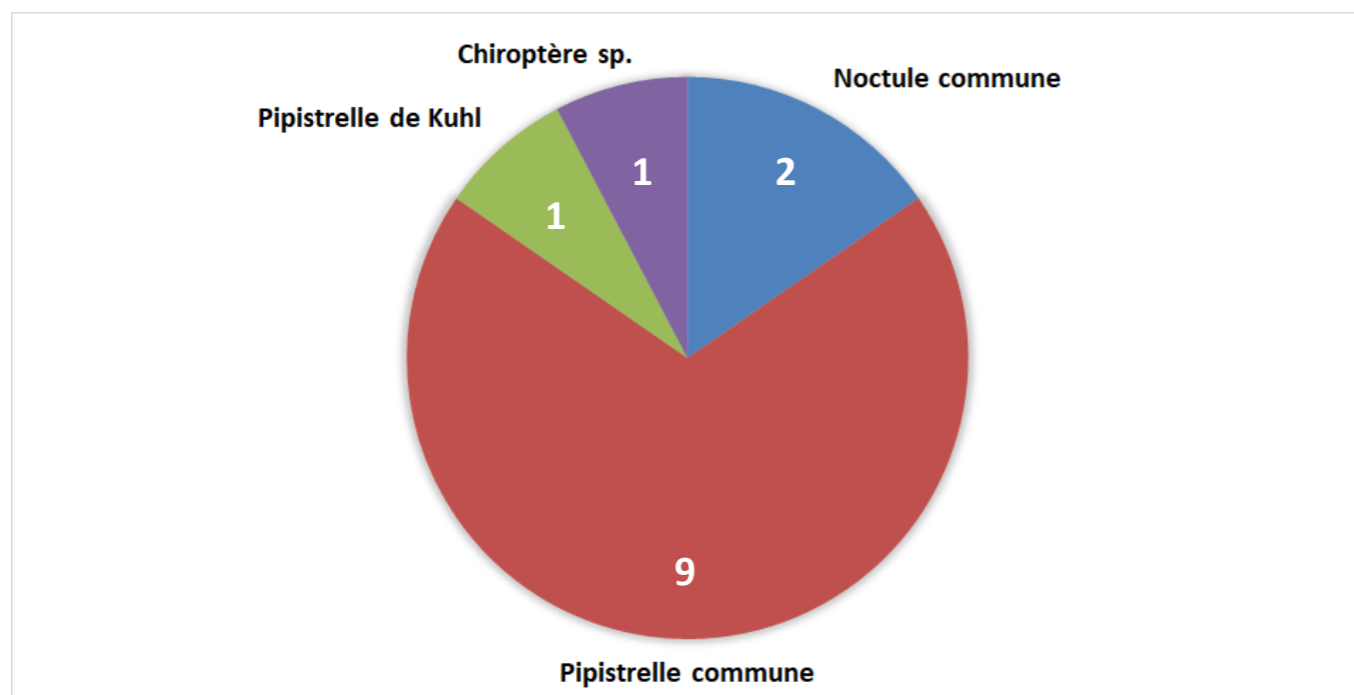
La Figure 13 présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes du parc de Saint-Ambroix. La Noctule commune ainsi que la Pipistrelle commune sont les espèces dont les statuts de conservation sont les moins favorables (respectivement vulnérable et quasi-menacée à l'échelle nationale).

Figure 13 : 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				Niveau de patrimonialité	
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Espèce prioritaire	Espèce à forte pression liée à l'éolien	Tendance évolutive	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre-Val-de-Loire (2013)		
Chiroptère sp.														
Noctule commune	Nyctalus noctula	Nnoc	P	H4	2	oui	oui	?	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé	Modéré à fort	
Pipistrelle commune	Pipistrellus pipistrellus	Ppip	P	H4	2	oui	oui	-	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure	Modéré	
Pipistrelle de Kuhl	Pipistrellus kuhlii	Pkuh	P	H4	2			+	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Preoc. Mineure	Très faible	

Le graphique suivant (Figure 14) synthétise la proportion des effectifs touchés par espèce.

Figure 14 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2020

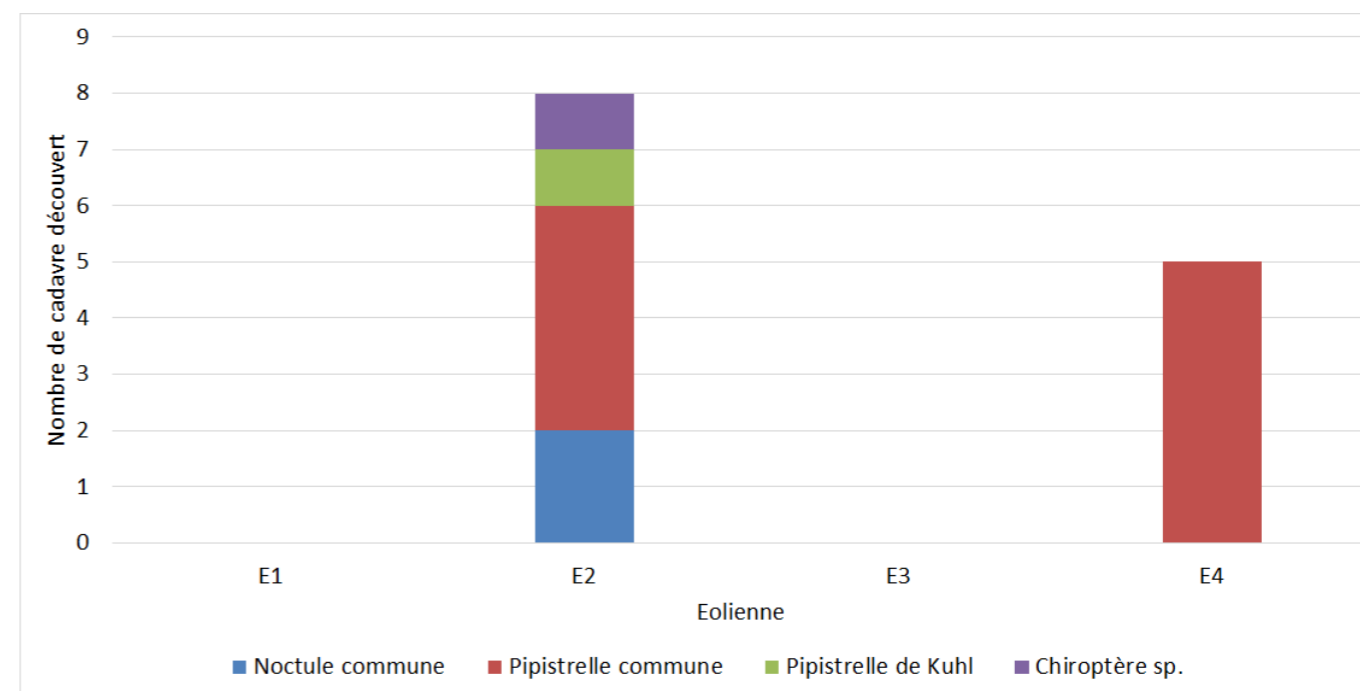


Il apparaît que les mortalités de chiroptère sur le parc de Saint Ambroix concernent majoritairement la Pipistrelle commune (9 cas de mortalité, 69 % des cas), suivie en moindre mesure par la Noctule commune (2 cas de mortalité, 15 % des cas), la Pipistrelle de Kuhl (1 cas, 8%) et le Chiroptère indéterminé (1 cas, 8%).

3.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne

Le graphique suivant (Figure 15) précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

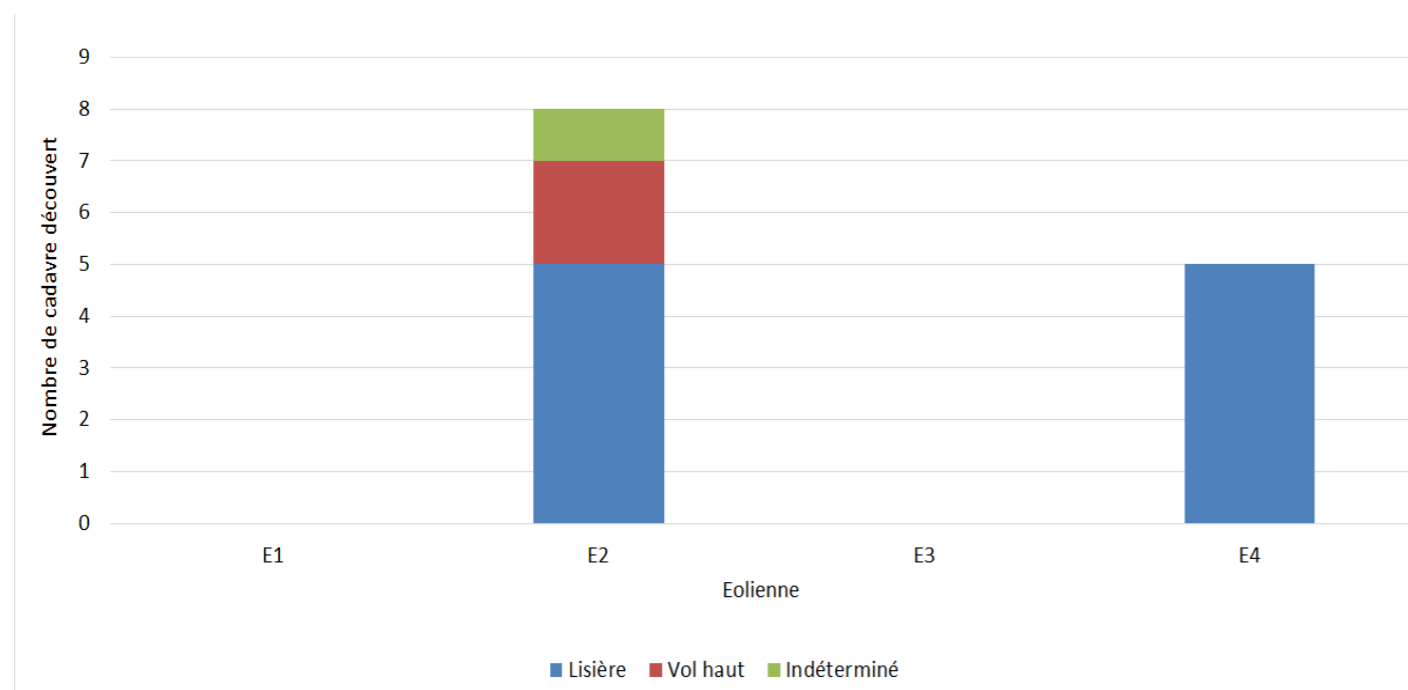
Figure 15 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2020



Ce graphique montre une concentration de mortalité sous l'éolienne E4 pour la Pipistrelle commune. L'éolienne E2 est aussi à l'origine de 4 mortalités de Pipistrelle commune, mais cette éolienne semble toucher d'autres espèces de manière indépendante puisqu'elle est à l'origine de tous les autres cas de mortalité (Noctule commune, Pipistrelle de Kuhl et Chiroptère sp.).

Le graphique suivant (Figure 16) représente, pour chaque cas de mortalité, le type de vol de l'espèce concernée, de manière à y rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, dispersion des jeunes...) ou comportementales (chasse en groupe, comportements sociaux...) par éolienne. On considère ainsi que les pipistrelles sont typiquement des espèces de lisières (longent les corridors de structures arborées comme supports d'écholocation), alors que la Noctule commune est une espèce de haut-vol (vols de plein ciel, sans support d'écholocation particulier). **Nous retiendrons que la majorité des cadavres appartiennent au groupe des espèces de lisières, et que l'éolienne E4 cible préférentiellement ces espèces de lisière, tandis que l'éolienne E2 semble impacter en majorité les espèces de lisières, mais aussi plusieurs individus d'espèces de haut vol.**

Figure 16 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2020 en fonction du type de vol



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), mais on ne peut écarter l'hypothèse d'exploitation de ressources alimentaires par opportunisme.

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

La figure suivante (Figure 17) représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2020. 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...).

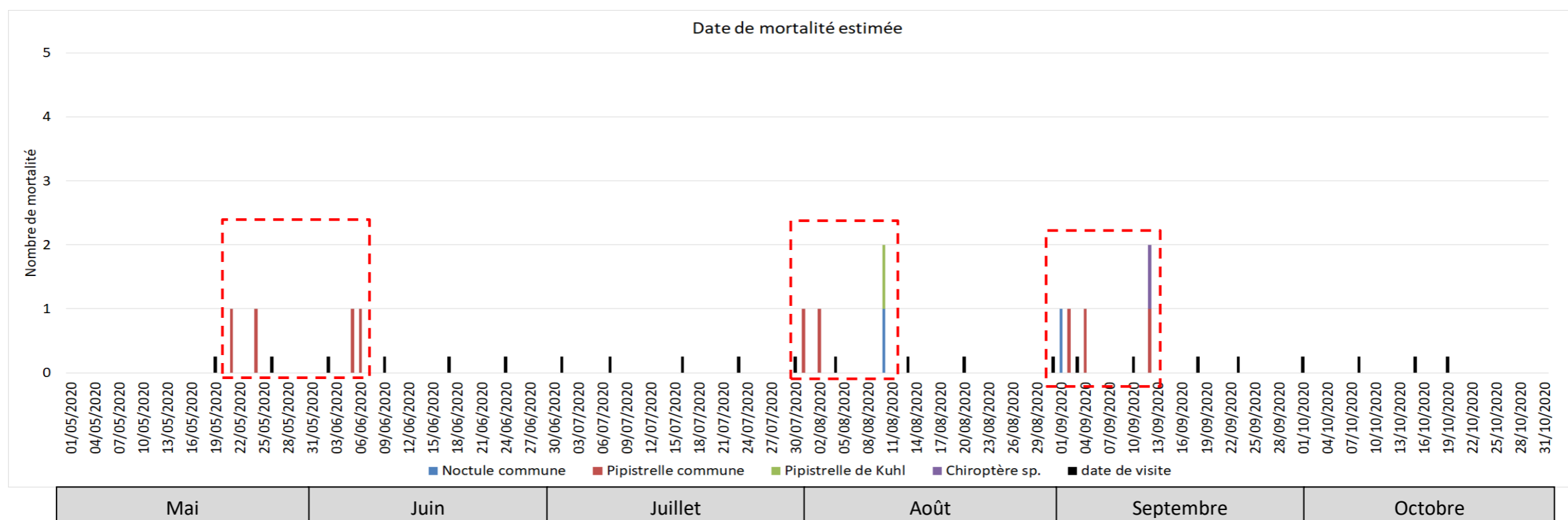
- Pics de mortalité

Les pics de mortalité ont lieu surtout fin mai - début juin, début août et début septembre, sous la forme d'une succession de cas de mortalité regroupés sur une courte période. Généralement, on considère que les périodes de fin de printemps/début d'été et 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 avec des comportements de chasse d'essaimages insectes liés à des fortes chaleurs lors de ces périodes. Comme nous le verrons dans l'étude de l'activité en hauteur, des comportements sociaux peuvent aussi expliquer l'éloignement des espèces de lisières de leurs territoires habituels. Des mortalités liées au comportement migratoire/transit pourraient concerner la Noctule commune.

- Mortalité dite « régulière »

La mortalité régulière semble quant à elle peu courante sur le parc éolien de Saint-Ambroix.

Figure 17 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (d'après les dates de mortalité estimée) en 2020, les pics de mortalités sont entourés en rouge



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

- Pipistrelle commune (9 cas de mortalité minimum)

En ce qui concerne la **Pipistrelle commune**, les 9 cadavres identifiés en 2020 sont notés durant tous les pics de mortalité (fin mai - début juin, début août et début septembre). 7 sont des adultes et 2 sont juvéniles. Les individus sont majoritairement des femelles (Annexe I).

Ces données supposent que l'espèce exploite le site en majeure partie durant la période de mise-bas et d'élevage des jeunes (de fin mai à début août), ainsi que durant le début de la période de migration/transit et de swarming (à partir de fin août). Cela suppose que des sites de reproduction soient localisés dans l'entourage du parc éolien, probablement au niveau d'arbres creux ou d'abris rudimentaires construits à proximité. Une mortalité accrue a été constatée pour les femelles, celles-ci assurant de nombreux comportements de chasse pour l'élevage des jeunes durant ces périodes.

Figure 18 : Cliché de la Pipistrelle commune découverte le 04 août 2020 sous l'éolienne E2



- Noctule commune (2 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Noctule commune**, les cas de mortalité sont constatés début août (une femelle) et début septembre (un mâle). Encore une fois, à cette période de l'année les mortalités relevées peuvent être liées à une activité de chasse en fin de période d'élevage des jeunes ou en période de transit.

Figure 19 : Cliché de la Noctule commune découverte le 13 août 2020 sous l'éolienne E2



- Pipistrelle de Kuhl (1 cas de mortalité)

En ce qui concerne la **Pipistrelle de Kuhl**, un cadavre identifié avec certitude a été retrouvé le 13 août sous l'éolienne E2. Il s'agit d'un individu juvénile femelle. A cette période de l'année, il est probable que cet individu ait été impacté lors de comportements de chasse, mais on ne peut exclure d'éventuels mouvements de transit.

Figure 20 : Cliché de la Pipistrelle de Kuhl découverte le 13 août 2020 sous l'éolienne E2

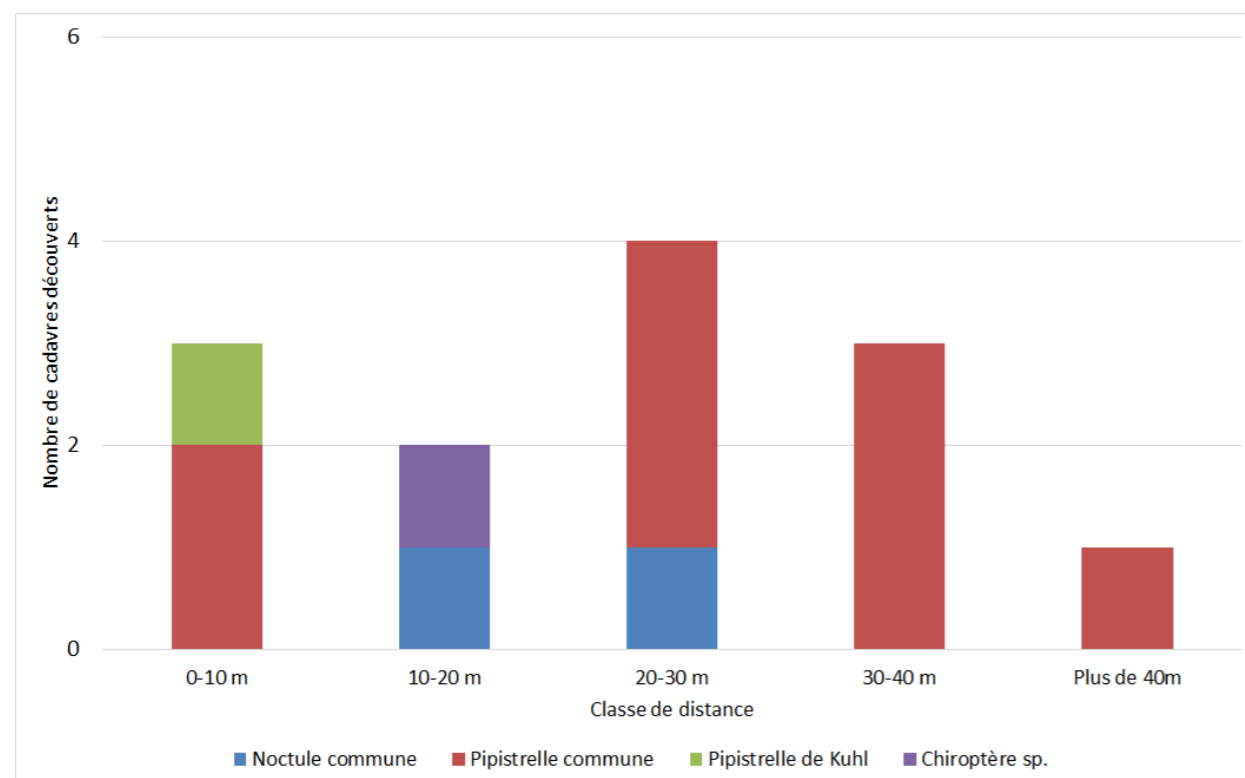


3.3.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

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

Concernant le suivi de 2020, le graphique suivant (Figure 21) témoigne d'une dispersion assez homogène : les cadavres sont découverts à toutes les classes de distance, de 0 à plus de 40m du mat de l'éolienne. Le plus grand nombre de cadavres est retrouvé entre 20 et 30 mètres de distance du mat.

Figure 21 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



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

- La Pipistrelle commune est retrouvée dans quatre classes de distances différentes, entre 0 et plus de 40 mètres, ce qui peut laisser penser que les mortalités peuvent avoir lieu aussi bien pour les individus volant à la base du rotor que pour des individus volant bien plus haut.

- La Noctule commune est retrouvée dans deux classes de distance, entre 10 et 30 mètres, ce qui peut laisser penser que la collision ait pu avoir lieu pour un individu volant dans la partie basse du champ de rotation du rotor.
- La Pipistrelle de Kuhl est retrouvée à 9 mètres du mât de l'éolienne, ce qui peut laisser penser que la collision ait pu avoir eu lieu pour un individu volant dans la partie basse du champ de rotation du rotor.
- Le chiroptère indéterminé est retrouvé à 15 mètres du mât de l'éolienne, ce qui peut laisser penser que la collision ait pu avoir eu lieu pour un individu volant dans la partie basse du champ de rotation du rotor.

La distance moyenne de dispersion pour les 13 cadavres est d'environ 24,5 mètres, ce qui est assez faible par rapport au mât de l'éolienne. On peut alors supposer que **la majorité des mortalités aient été occasionnées à des hauteurs de vols correspondant à la partie basse du champ de rotation des pales d'éoliennes.**

La prévalence des cas de mortalité pour les pipistrelles, ainsi que les distances rapprochées des cadavres par rapport au mât des éoliennes **mettent en évidence un risque accru de mortalité pour les espèces de chauve-souris de lisière.** Les haies et les fragments forestiers assurent plusieurs rôles importants pour les chiroptères : ils peuvent servir de gîtes (pour les espèces arboricoles), de corridor biologique, de terrain de chasse pour les insectes et de protection face au vent et aux prédateurs. Ce sont donc des éléments du paysage important pour la conservation des chiroptères, mais leur proximité avec les éoliennes risque parfois d'engendrer des situations à risque à proximité des rotors et créer des cas de mortalité supplémentaires. Le risque de mortalité lié à cet effet de lisière sera évalué dans la suite de ce rapport (Partie 5. Confrontation entre les cas de mortalité de chauve-souris et l'activité relevée en nacelle d'éolienne E4)

3.3.5 Taux de mortalité des chauves-souris

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

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

3 types de recouvrement du sol ont donc été créés :

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

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

Le tableau ci-contre (Figure 22) montre la part moyenne de chaque type végétation au cours du suivi, ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies selon le protocole standardisé.

Pour rappel, 2 mortalités ont été découvertes hors protocole. Elles ne sont donc pas comptabilisées dans le calcul du taux de mortalité qui suit.

Figure 22 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque type de végétation et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque type de végétation et nombre total de cadavres de chauves-souris (CS) découverts sous les éoliennes)

Date des visites	Période	Végétation			Mortalité chauves-souris
		Type 1	Type 2	Type 3	
12-mai	Période 1	76,47	23,53	0,00	
19-mai	Période 1	0,00	78,79	21,21	
26-mai	Période 1	41,14	56,57	2,29	2
2-juin	Période 1	69,90	13,11	16,99	
9-juin	Période 1	54,96	29,01	16,03	2
17-juin	Période 1	75,73	24,27	0,00	
24-juin	Période 1	68,00	26,67	5,33	
1-juil.	Période 1	69,90	30,10	0,00	
7-juil.	Période 1	49,07	9,26	41,67	
16-juil	Période 2	25,82	50,70	23,47	
23-juil	Période 2	19,84	62,26	17,90	
30-juil	Période 2	23,00	69,97	7,03	
04-août	Période 2	23,00	60,06	16,93	2
13-août	Période 2	16,01	55,34	28,65	2
20-août	Période 2	20,43	70,61	8,96	
23-août	Période 3	72,73	6,06	21,21	
31-août	Période 3	49,32	29,45	21,23	
10-sept	Période 3	69,90	5,83	24,27	1
18-sept	Période 3	69,90	5,83	24,27	2
23-sept	Période 3	69,90	5,83	24,27	
01-oct	Période 3	71,29	5,94	22,77	
05-oct	Période 3	75,00	6,25	18,75	
08-oct	Période 3	75,00	6,25	18,75	
15-oct	Période 3	78,26	6,52	15,22	
19-oct	Période 3	31,85	21,66	46,50	
Moyenne		51,86	30,39	17,75	11,00
Période 1		56,13	32,37	11,50	4,00
Période 2		21,35	61,49	17,16	4,00
Période 3		66,31	9,96	23,72	3,00

3.3.5.2 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 :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés

a : Coefficient de correction surfacique

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

\hat{I} : Intervalle effectif

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

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

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

d) Huso (2010)

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts

a : Coefficient de correction surfacique

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).

3.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2020, deux tests ont été menés le 02 juin et un le 1^{er} 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 23 : 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	30	19	0,63
Type 1	Moyenne	Moyenne	17	13	0,76
Type 2	Moyenne	Moyenne	6	4	0,67
Type 3	Moyenne	Moyenne	7	2	0,29
Moyen	E3	02/06/2020	10	5	
Type 1	E3	02/06/2020	7	4	
Type 2	E3	02/06/2020	0	0	
Type 3	E3	02/06/2020	3	0	
Moyen	E1	02/06/2020	10	7	
Type 1	E1	02/06/2020	4	4	
Type 2	E1	02/06/2020	3	2	
Type 3	E1	02/06/2020	3	1	
Moyen	E4	01/08/2020	10	8	
Type 1	E4	01/08/2020	6	5	
Type 2	E4	01/08/2020	3	2	
Type 3	E4	01/08/2020	1	1	

	d	Pourcentage de prospection		
		Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,65	51,86	30,39	17,75
Période 1	0,68	56,13	32,37	11,50
Période 2	0,62	21,35	61,49	17,16
Période 3	0,64	66,31	9,96	23,72

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 :

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

$$d = 0,76 * (51,86/100) + 0,67 * (30,39/100) + 0,29 * (17,75/100) = 0,63$$

Autrement dit, 63% des peluches dispersées ont été retrouvées en moyenne.

b) Taux de persistance

Figure 24 : 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_moyen	p_période 1	p_période 2	p_période 3
				1	3	7	10	15					
Moyen		Moyenne	25	23	18	8	1	0	3,76	0,35	0,30	0,39	0,39
Type 1		Moyenne	11	9	5	3	1	0	3,09	0,29	0,26	0,30	0,30
Type 2		Moyenne	5	5	5	2	0	0	4,60	0,45	0,37	0,50	0,50
Type 3		Moyenne	9	9	8	3	0	0	4,11	0,38	0,30	0,43	0,43
Moyen	Toutes	02/06/2020	10	9	6	3	1	0					
Type 1	Toutes	02/06/2020	6	5	3	2	1	0					
Type 2	Toutes	02/06/2020	0	0	0	0	0	0					
Type 3	Toutes	02/06/2020	4	4	3	1	0	0					
Moyen	Toutes	31/08/2020	15	14	12	5	0	0					
Type 1	Toutes	31/08/2020	5	4	2	1	0	0					
Type 2	Toutes	31/08/2020	5	5	5	2	0	0					
Type 3	Toutes	31/08/2020	5	5	5	2	0	0					

	Tm	p	Pourcentage de prospection		
			Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	3,76	0,35			
Période 1	3,70	0,30	56,13	32,37	11,50
Période 2	4,19	0,45	21,35	61,49	17,16
Période 3	3,48	0,35	66,31	9,96	23,72

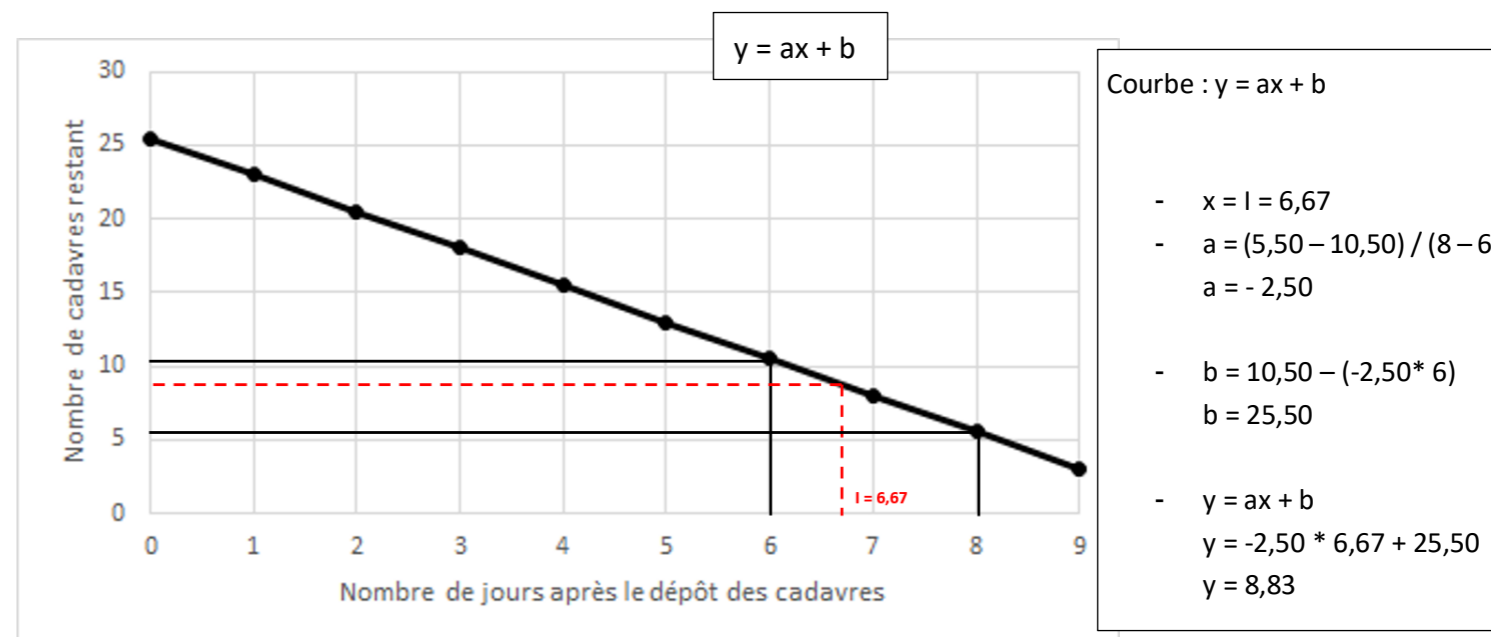
- Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

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

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2020 (cf. Figure 22 page 30). Le tableau suivant détaille ce calcul. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de **I = 6,67 jours**.

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	0	0
3	2	6
4	2	8
5	2	10
6	1	6
7	10	70
8	4	32
9	2	18
10	1	10
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
Total	24	160
Intervalle pondéré (tot)		6,67
Période 1		7,22
Période 2		6,33
Période 3		6,33

Figure 25 : Schéma de calcul du « nombre de cadavres encore présents après I jours »



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après } I \text{ jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{8,83}{25} = 0,35$$

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **p variant entre 0,30 (période 1), 0,35 (période 3) et 0,45 (période 2)**.

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

- 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 3,76.**

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

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation 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 3,48 (période 3), 3,70 (période 1) et 4,19 (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.

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 réalisé sous la plupart des parcs éoliens (pour permettre des comparaisons). La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

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

Avec

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

- S = proportion de la surface du cercle k prospectée.

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2020 en fonction des surfaces prospectées (en hectares).

Figure 26 : Tableau détaillant les valeurs permettant de calculer le coefficient de correction surfacique pour les chauves-souris

	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	0,42	24,11	1
28m - 42m	0,3077	4	1,2308	0,43	35,27	3
14m - 28m	0,1846	4	0,7384	0,47	63,95	4
0m - 14m	0,0615	4	0,246	0,24	96,88	3

a = 2,00

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 relativement peu élevé, témoignant d'un bon pourcentage de surfaces prospectées notamment dans la zone comprise entre 0 et 28 mètres, et une dispersion des cadavres plutôt au plus proche du mât.

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

Le tableau suivant (Figure 27) synthétise les valeurs des paramètres nécessaires aux calculs des différentes équations.

Figure 27 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	11,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,65	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,35	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	3,76	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	6,67	Pas de temps du suivi
î	7,52	$\hat{l} = -\log(0.01) * tm$
ê	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{l}) / l$
a	2,00	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 :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{11}{0.35 \times 0.65} \times 2,00 = 95,83$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{l \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{7.14 \times (11 - 11 \times 0.35)}{3.76 \times 0.65} \times 2,00 = 59,82$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{l \times C}{tm \times d} \times a = \frac{6,67 \times 11}{3.76 \times 0.65} \times 2,00 = 60,04$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times l / tm)}} \times a = \frac{11}{0.65 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 6,67 / 3,76)}} \times 2,00 = 82,17$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-l / tm})}{l} \times \hat{e}} \times a = \frac{11}{0.65 \times \frac{3.76 \times (1 - e^{-6,67 / 3,76})}{6,67} \times 1} \times 2,00 = 72,32$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 12 mai au 19 octobre 2020 et pour les 4 éoliennes suivies. Ces résultats sont basés sur 5 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 5 (5 mois de suivi) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des 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 28) synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 27,43 mortalités par éolienne et par an** (Figure 28), avec une fourchette qui oscille entre 23,93 et 32,87 (38,33 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 28 : Résultats des calculs de taux de mortalité des chauves-souris pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	95,83	59,82	60,04	82,17	72,32	74,04	68,59
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	23,96	14,96	15,01	20,54	18,08	18,51	17,15
Mortalité par éolienne et par mois	4,79	2,99	3,00	4,11	3,62	3,70	3,43
Mortalité par éolienne et pour une année	38,33	23,93	24,01	32,87	28,93	29,61	27,43
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	153,33	95,72	96,06	131,47	115,71	118,46	109,74

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

Ici on tient compte de la hauteur des types de végétation. Ci-dessous (Figure 29) sont ainsi présentées les valeurs des paramètres nécessaires aux différentes équations.

Figure 29 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Période	Valeurs	Explications
C	Période 1	4,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
	Période 2	4,00	
	Période 3	3,00	
d	Période 1	0,68	Valeur du taux de détection pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	0,62	
	Période 3	0,64	
p	Période 1	0,30	Valeur du taux de persistance pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	0,45	
	Période 3	0,35	
tm	Période 1	3,70	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain pondérée selon le type de recouvrement moyen de la
	Période 2	4,19	
	Période 3	3,48	
l	Période 1	7,22	Pas de temps du suivi
	Période 2	6,33	
	Période 3	6,33	
î	Période 1	7,39	$\hat{i} = -\log(0.01) * tm$
	Période 2	8,39	
	Période 3	6,97	
ê	Période 1	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{i}) / l$
	Période 2	1,00	
	Période 3	1,00	
a	Toutes périodes	2,00	Coefficient de correction surfacique

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

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 27,28 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette qui oscille entre 23,71 et 32,78 (37,89 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 30 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	94,72	59,28	59,50	81,95	72,11	73,51	68,21
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	23,68	14,82	14,87	20,49	18,03	18,38	17,05
Mortalité par éolienne et par mois	4,74	2,96	2,97	4,10	3,61	3,68	3,41
Mortalité par éolienne et pour une année	37,89	23,71	23,80	32,78	28,84	29,40	27,28
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	151,55	94,85	95,20	131,11	115,38	117,62	109,14

3.3.5.6 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 31) détaille l'ensemble de ces paramètres.

Figure 31 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »

Paramètre	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	6,67
Nombre de cadavre déposé pour l'étude de détection	30
Nombre de cadavre découvert pour l'étude de détection	19
Pourcentage de la surface prospectée	0,40

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 32 : Sortie de l'application Shiny EolApp (IC : intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	76,35	25,17	159,05	40,60	126,38
Huso	92,03	30,83	185,91	49,72	148,78
Winkelmann	135,69	41,67	370,07	68,18	260,42
Jones	105,29	34,80	219,34	56,17	173,68
Moyenne par éolienne	25,59	8,28	58,40	13,42	44,33
Moyenne par éolienne (sans Winkelmann)	22,81	7,57	47,03	12,21	37,40

En considérant les 4 modèles, il y a 80% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 13 et 44 cas de mortalité par éolienne (entre 12 et 37 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann). De même, il y a 95% de chance que le nombre réel de chauves-souris impactées se situe entre 8 et 58 cas de mortalité par éolienne (entre 8 et 47 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann).

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

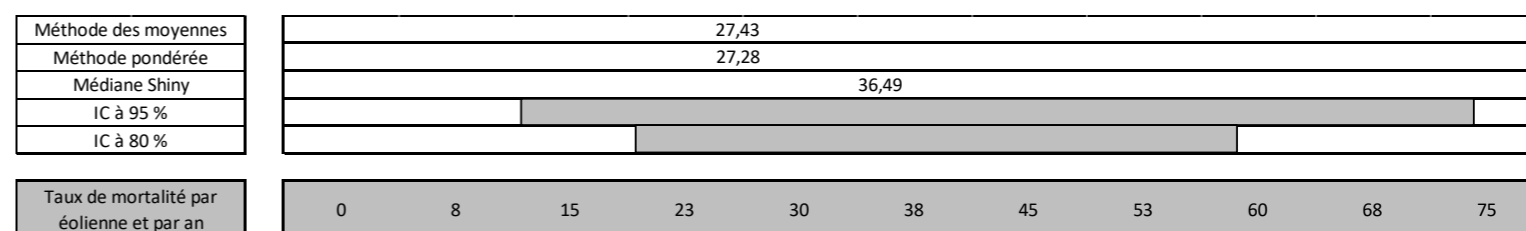
- on divise par 5 (5 mois de suivi) -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 8 -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des chauves-souris).

On aboutit donc à un résultat pour un intervalle de confiance de 95% de l'ordre de 12 à 75 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 20 à 60 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

Enfin, si on s'intéresse à la médiane moyennée (sans Winkelmann) de 22,81 mortalités par éolienne sur la période de suivi, on aboutit à un résultat de **36 mortalités/éolienne/an**.

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

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 **27 à 36 cas de mortalité par éolienne et par an**, soit environ 108 à 144 mortalités par an pour le parc éolien de Saint-Ambroix (constitué de 4 éoliennes).



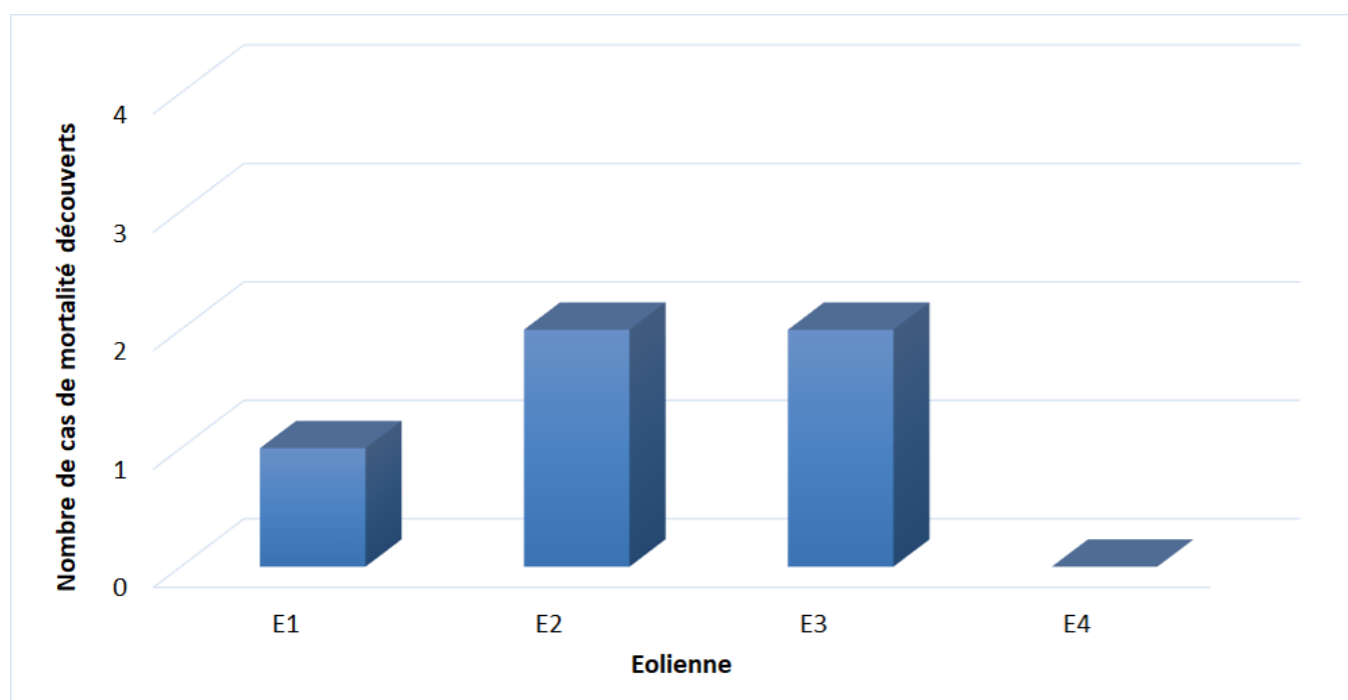
Ce taux de mortalité élevé s'explique principalement par le grand nombre de cadavres retrouvés au pied des éoliennes et l'intervalle modéré entre deux visites. Les différents estimateurs calculés pour le parc de Saint-Ambroix possèdent des valeurs « classiques » (taux de détection, taux de prédation, coefficient surfacique) et ne semblent pas induire une surestimation exagérée du taux de mortalité.

3.4. Bilan de la mortalité des oiseaux

3.4.1 Bilan des mortalités par éolienne

4 cadavres et une plumée d'oiseau ont été retrouvés sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 12 mai et le 19 octobre 2020 (Figure 33). La plumée sera considérée dans la totalité des graphiques et analyses présentés dans ce rapport, sauf pour le calcul du taux de mortalité dont le protocole nécessite la présence d'os pour qu'un cadavre soit comptabilisé.

Figure 33 : Bilan des mortalités d'oiseaux constatées en 2020 et répartition par éolienne



Pour 25 visites de recherche (+ 1 hors protocole) réalisées au cours du suivi de mortalité 2020 (5 mois de suivi réel), cela représente une moyenne de 1 oiseau découvert par mois sous l'ensemble des éoliennes (soit 4 éoliennes). On note que 3 des 4 éoliennes ont été à l'origine de mortalités avérées d'oiseaux en 2020, avec 2 mortalités chacune pour les éoliennes E2 et E3 (l'éolienne E3 comptabilise un cadavre et une plumée), et une mortalité pour l'éolienne E1.

Finalement, on note qu'en 2020, les mortalités se sont réparties sur la quasi-totalité du parc de Saint-Ambroix.

3.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux

Le premier graphique de la Figure 34 représente la chronologie des découvertes de cadavres d'oiseaux sur l'ensemble du parc éolien en 2020.

Le délai qui s'écoule entre la mort des oiseaux et la date de découverte des cadavres dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur. Comme le protocole d'étude était basé en 2020 sur une 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 6-7 jours (en période d'une seule visite par semaine),
- parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

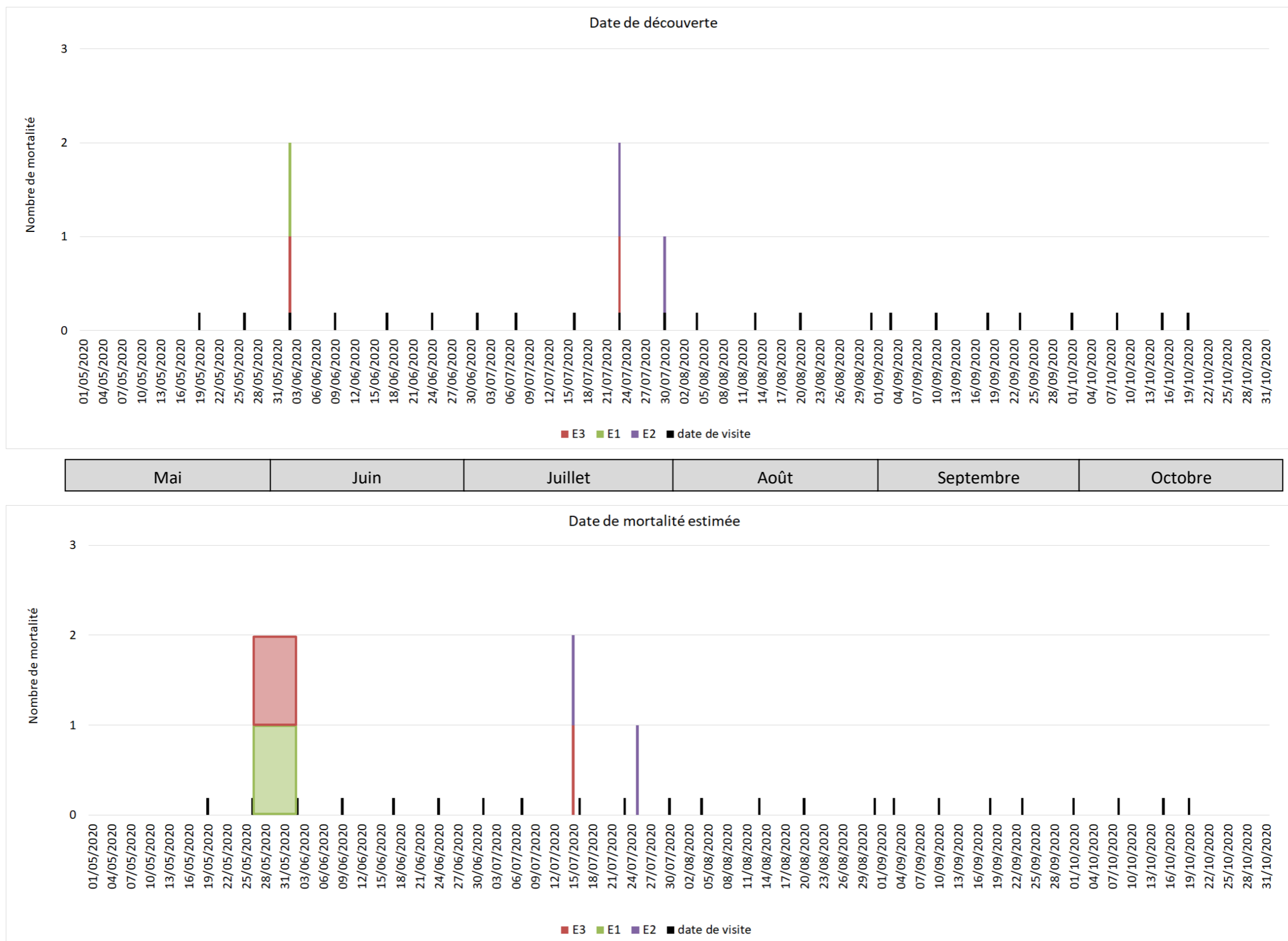
Si on veut tenter d'analyser même grossièrement cette chronologie des mortalités avec différents facteurs d'influence, nous cherchons à estimer la date de la mortalité de chaque cadavre en fonction de son état au moment de la découverte. Quand il est trouvé, chaque cadavre fait en effet l'objet d'une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

Comme pour les chauves-souris, plusieurs critères d'appréciation peuvent être utilisés en parallèle (cf. : 3.3.2 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 34 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur une large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations a posteriori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

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

Figure 34 : Chronologie des mortalités d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2020 (les dates de mortalité pour les plumées sont représentées par des périodes)

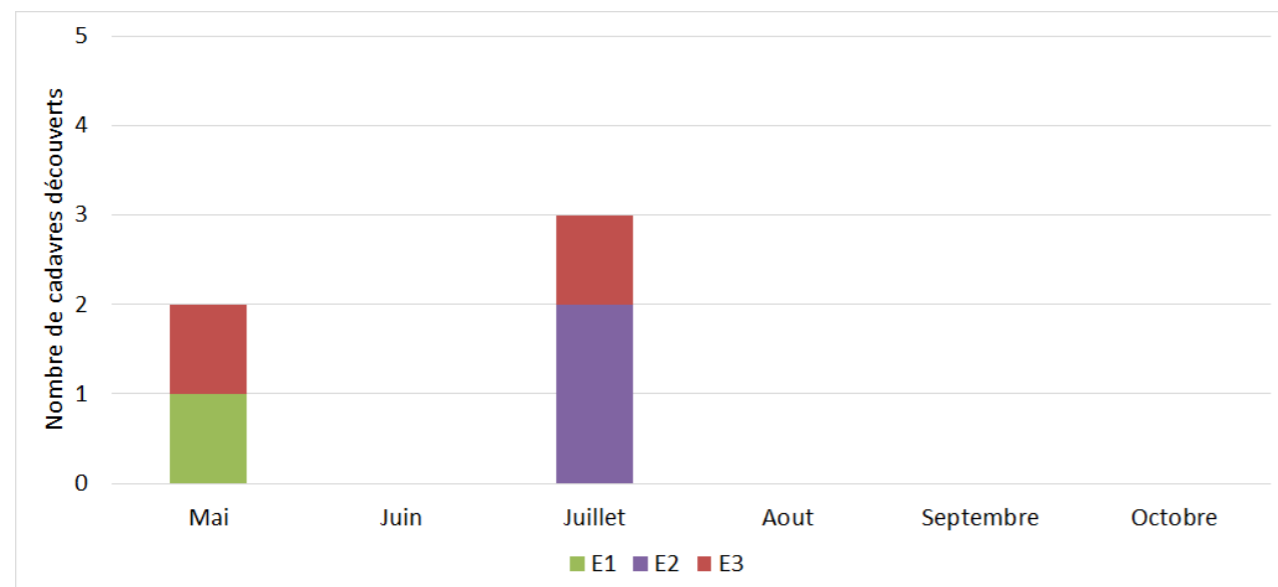


En ce qui concerne les rapports entre les cas de mortalité, leur chronologie, et les éoliennes, nous ne relevons pas de concentrations de mortalités sous une même éolienne sur une courte période ; par contre, on note des concentrations de mortalité sous plusieurs éoliennes fin-mai ainsi qu'entre la mi- et fin-juin. La plumée retrouvée sous l'éolienne E3, ainsi que la mortalité sous l'éolienne E1 (où seule une aile a été retrouvée) 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.

Au regard du profil ci-dessous, on notera que la mortalité d'oiseaux est plus importante au mois de mai et de juillet, ce qui coïncide avec la période de reproduction et d'élevage des jeunes. Les mortalités de mai correspondent aux mortalités estimées pour la plumée et l'aile retrouvées le 02 Juin 2020. Les mortalités d'oiseaux sur le parc éolien de Saint-Ambroix ne semblent pas réparties au hasard sur la période de mai à octobre. Elles semblent prépondérantes de la fin du printemps jusqu'au milieu de l'été.

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 35 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2020



3.4.3 Typologie des cadavres découverts

3.4.3.1 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 2020, la majorité des cadavres était bien conservée au moment de la détermination et les plumes issues de plumées étaient assez caractéristiques pour déterminer l'espèce. Un cadavre d'alouette n'a pas pu être déterminé avec plus de précision du fait de son état de dégradation. Tous les cadavres ont fait l'objet d'analyses biométriques.

Le **cortège d'espèces impactées en 2020 est très diversifié** puisque parmi les 4 cadavres et la plumée découverte, 5 espèces différentes ont pu être identifiées. Ces espèces déterminées sont des passereaux, des oiseaux de taille intermédiaire ou des grands rapaces correspondant à :

- Des espèces présentes localement tout au long de l'année (Perdrix grise),
- Des espèces présentes localement tout au long de l'année mais possible migratrices (Busard Saint-Martin, Bruant jaune, alouettes).

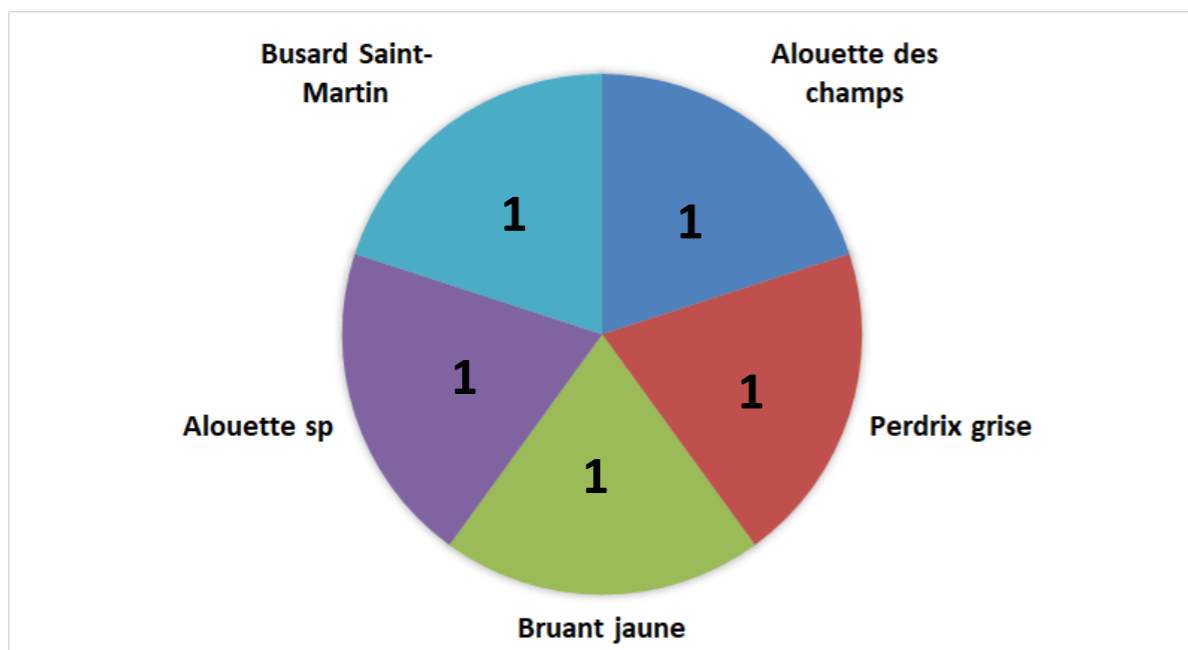
Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes. Toutes les espèces concernées par des cas de mortalité (cadavre ou plumée) ont des statuts de conservation peu favorables en région Centre.

Figure 36 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes

Espèce	Nom scientifique	Type	Statut de protection			Statut de conservation		Niveau de patrimonialité
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Liste Rouge Régionale Centre (oiseaux nicheurs 2013)	
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	GC	O.2.2	3	Quasi menacé	Quasi menacé	Très faible
Alouette sp								
Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	Passereau	P	-	2	Vulnérable	Quasi menacé	Faible
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	Grand rapace	P	O.1	2	Préc. mineure	Quasi menacé	Faible à modéré
Perdrix grise	<i>Perdix perdix</i>	Intermédiaire	GC	O.2.1, O.3.1	3	Préc. mineure	Quasi menacé	Très faible

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

Figure 37 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2020

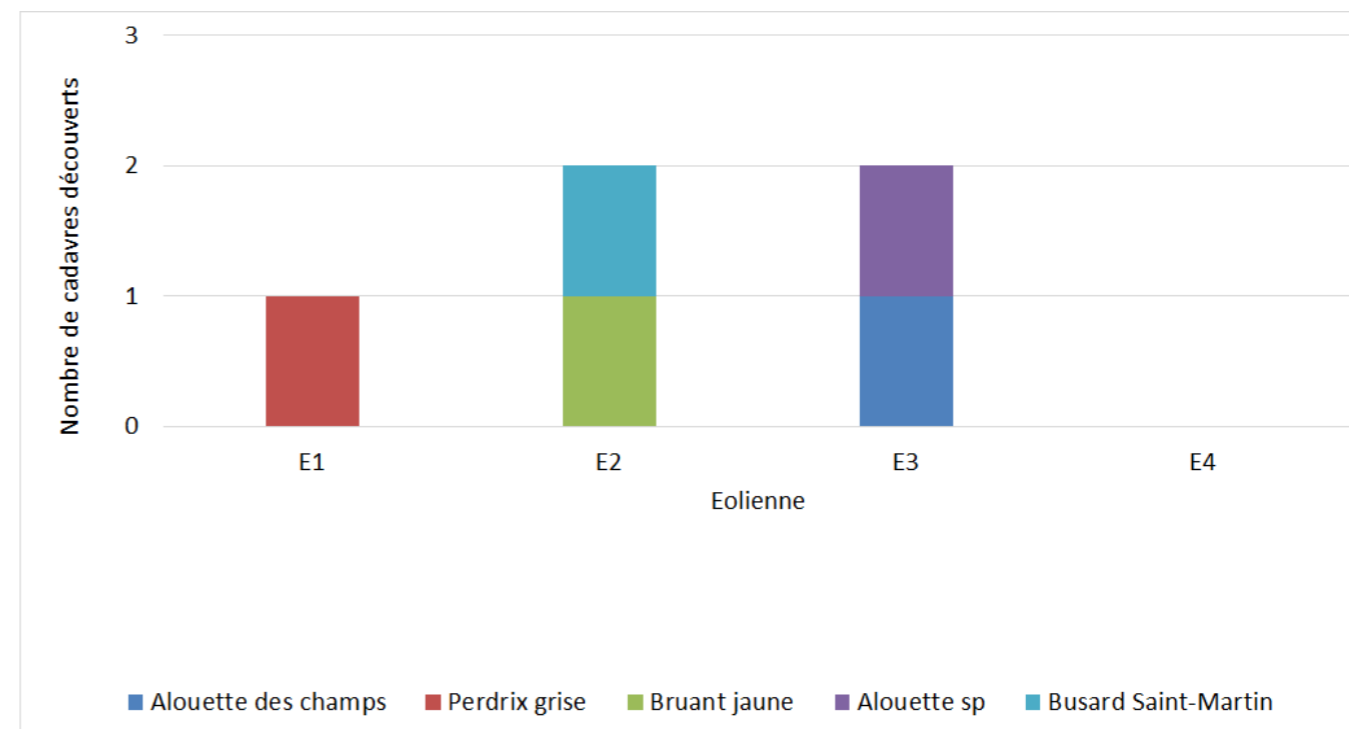


On notera qu'un seul cas de mortalité avéré est retrouvé pour chaque espèce sous les éoliennes de Saint-Ambroix durant la durée du suivi. Les passereaux semblent plus affectés par l'éolien sur ce site, par rapport aux autres catégories touchées (rapaces, intermédiaires).

3.4.3.2 Relation espèce / éolienne

Le graphique suivant (Figure 38) précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 38 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2020



Le graphique précédent montre la présence d'un regroupement de cas de mortalités sous plusieurs éoliennes en particulier : 1 Bruant jaune et 1 Busard Saint-Martin sous l'éolienne E2, ainsi que deux alouettes sous l'éolienne E3. La Perdrix grise est retrouvée sous l'éolienne E1.

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.

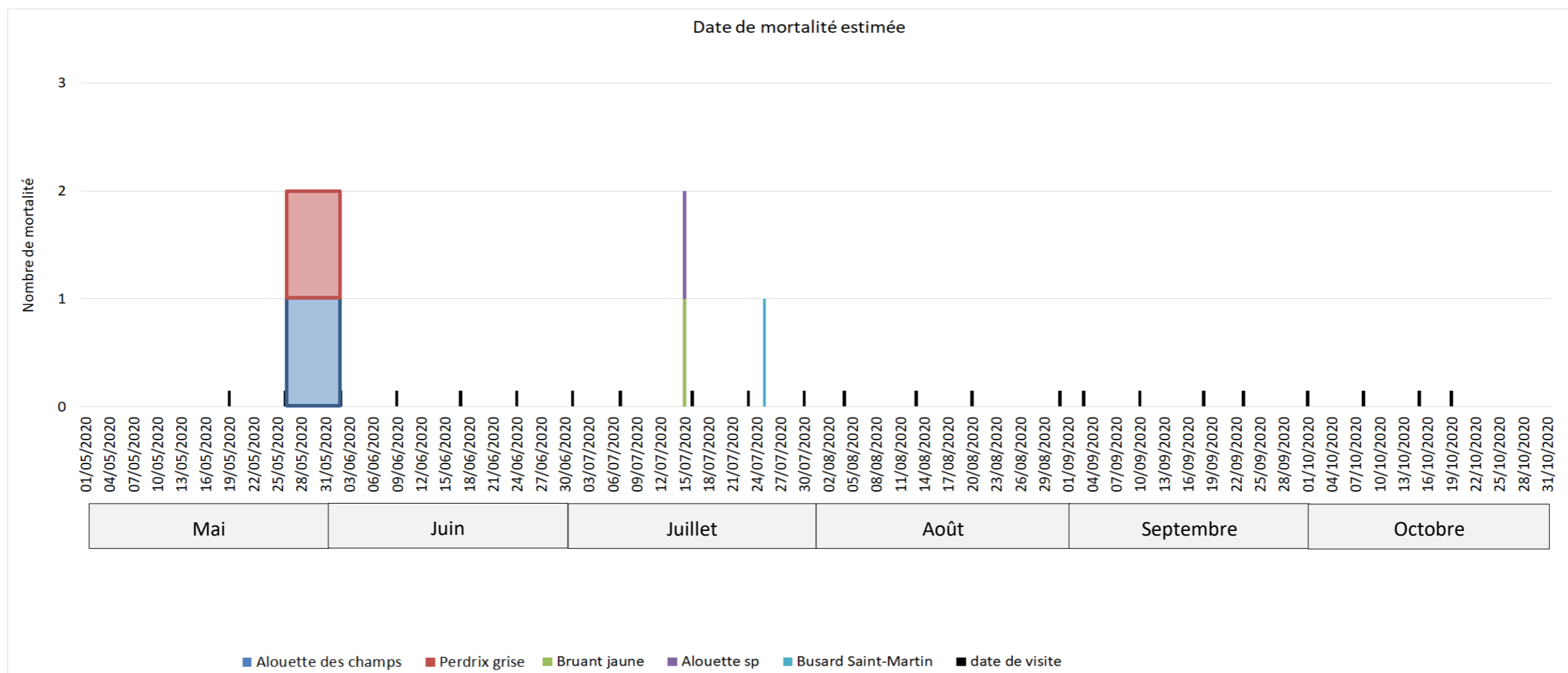
3.4.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

La figure suivante (Figure 39) représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2020. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

Aucun pic de mortalité n'aura été relevé pour une espèce en particulier et pour un jour précis, puisque seul un individu a été retrouvé pour chaque espèce. En revanche, 2 périodes de mortalité sont notées, concernant des espèces et des éoliennes différentes : fin mai et de mi-juillet à fin juillet.

Les dates de mortalité pour la plumée et l'aile ont été estimées à une période de plusieurs jours précédant le jour de leur découverte, en supposant qu'elle date au maximum de la visite précédente.

Figure 39 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (d'après les dates de mortalité estimées) en 2020 (pour les plumées, les dates de mortalité sont matérialisées sous forme de période)



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

- Bruant jaune (1 cas de mortalité)

Un cadavre de Bruant jaune a été retrouvé le 23 juillet 2020 sous l'éolienne E2. Sa date de mortalité est estimée au 15 Juillet. Cette espèce est protégée et possède des statuts de conservation peu favorables à l'échelle nationale et régionale (classée vulnérable en France et quasi-menacée en région Centre).

Le Bruant jaune niche dans les milieux ouverts tels les paysages agraires aux alentours des éoliennes de Saint-Ambroix. Il profite probablement des quelques haies et fragments forestiers à proximité pour nicher. A cette période, le Bruant jaune est probablement un individu nicheur encore en période de reproduction. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire liés à l'élevage des jeunes.

Figure 40 : Cliché du Bruant jaune retrouvé sous l'éolienne E2 le 23 Juillet 2020



- Busard Saint-Martin (1 cas de mortalité)

Un cadavre de Busard Saint-Martin a été retrouvé le 30 juillet 2020 sous l'éolienne E2. Sa date de mortalité est estimée au 25 juillet. Cette espèce est protégée en France et en Europe et possède des statuts de conservation peu favorables à l'échelle régionale (classée quasi-menacée en région Centre).

Le Busard Saint-Martin est un rapace se reproduisant en majorité dans les milieux cultivés de plaines et fréquente tous les milieux ouverts à la végétation peu élevée, caractéristique des paysages aux alentours du site de Saint-Ambroix. A cette période, le Busard Saint-Martin est probablement en fin de période de reproduction et d'élevage des jeunes. Les busards s'appêtent à quitter leur site de reproduction pour rejoindre le Sud de la France. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire, mais un individu migrateur précoce n'est pas à exclure, d'autant plus que les

Busards Saint-Martin effectuent rarement des vols de prospection alimentaire en hauteur, ayant plutôt tendance à voler à 1 ou 2 mètres de hauteur pour chasser.

Ce dernier a fait l'objet d'un rapport d'incident présenté en Annexe 3.

Figure 41 : Cliché du Busard Saint-Martin retrouvé sous l'éolienne E2 le 30 Juillet 2020



- Alouette sp. (1 cas de mortalité)

Un cadavre d'alouette indéterminée a été retrouvé le 23 juillet 2020 sous l'éolienne E3. Sa date de mortalité est estimée au 15 juillet.

L'alouette affectionne les paysages ouverts et cultivés. A cette période, l'alouette est probablement un individu nicheur encore en période de reproduction. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire liés à l'élevage des jeunes.

Figure 42 : Cliché de l'alouette sp. retrouvée sous l'éolienne E3 le 23 Juillet 2020



➤ Alouette des champs (1 cas de mortalité)

Un cadavre d'Alouette des champs a été retrouvé le 02 juin 2020 sous l'éolienne E3. Sa date de mortalité est comprise dans les 7 jours précédant sa découverte.

L'Alouette des champs affectionne les paysages ouverts et cultivés. A cette période, l'Alouette des champs est probablement un individu nicheur en période de reproduction. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire liés à l'élevage des jeunes.

➤ Perdrix grise (1 cas de mortalité)

Un cadavre de Perdrix grise a été retrouvé le 02 juin 2020 sous l'éolienne E3. Sa date de mortalité est comprise dans les 7 jours précédents sa découverte.

La Perdrix grise montre une prédilection pour les zones ouvertes de cultures céréalières, lui assurant le minimum de couverts nécessaires à sa protection, à sa nourriture et à l'implantation de son nid. A cette période, la Perdrix grise est probablement un individu nicheur en période de reproduction. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire liés à l'élevage des jeunes.

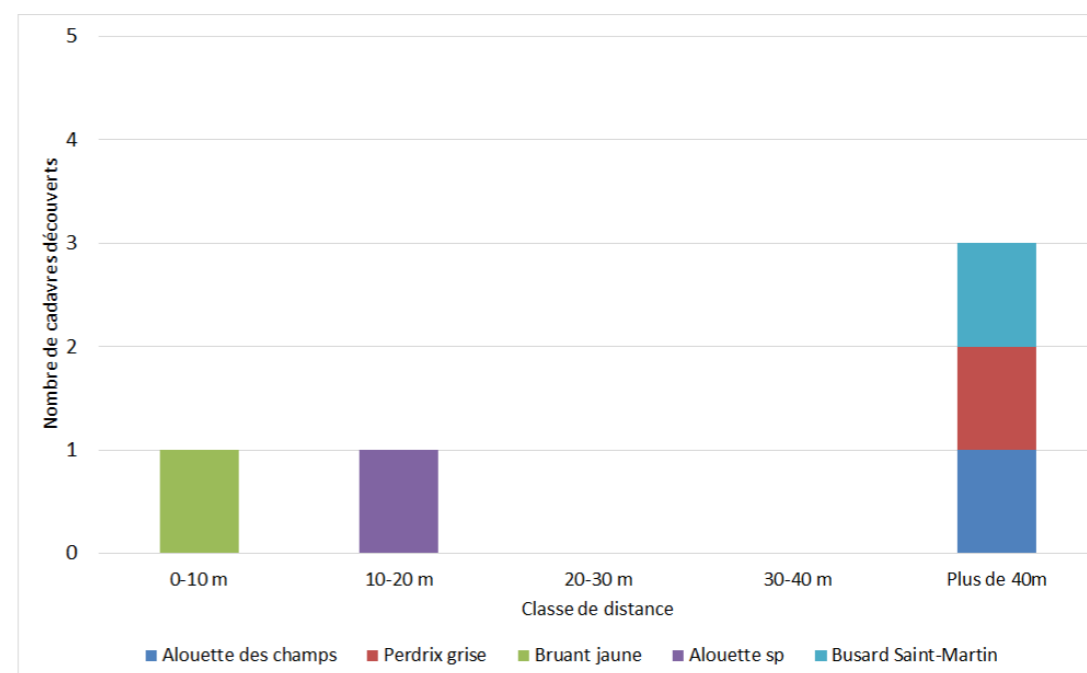
Cette espèce fait partie des gibiers chassables. Il pourrait aussi s'agir d'une mortalité liée à la chasse bien qu'aucune trace de plombs n'ait été découverte.

3.4.4 Dispersion des cadavres sous les éoliennes

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

Lors du suivi de 2020 sur le parc éolien de Saint-Ambroix, le graphique suivant (Figure 43) témoigne d'une dispersion 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.

Figure 43 : Graphique de répartition des cadavres de 2020 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



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

- Le Bruant jaune est retrouvé à 1 mètre du mat, ce qui peut laisser penser que la mortalité est intervenue pour un individu volant dans la partie basse du rotor ;

- L'alouette sp. est retrouvée à 14 mètres du mat, ce qui peut laisser penser que les mortalités sont intervenues pour des individus volant dans la partie basse du rotor ;
- L'Alouette des champs, la Perdrix grise et le Busard Saint-Martin sont retrouvés à plus de 40 mètres du mat, ce qui peut laisser penser que les mortalités sont intervenues pour des individus volant dans la partie haute du rotor ;

La distance moyenne de dispersion pour les cadavres et les plumées est d'environ 33,4 m, ce qui est assez important par rapport au mât de l'éolienne. Les individus retrouvés au sol à plus de 40m du mât sont des espèces ayant pour habitude d'adopter des comportements de vol en hauteur. L'Alouette des champs va notamment effectuer des ascensions en hauteur puis se laisser retomber en chantant lors des parades, ce qui peut créer des situations à risque.

3.4.5 Taux de mortalité des oiseaux

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

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

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

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

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

Le tableau ci-contre (Figure 44) montre la part moyenne de chaque type végétation au cours du suivi, ainsi que la mortalité constatée à chaque visite sous les éoliennes suivies selon le protocole standardisé.

Pour rappel, seuls les cadavres sont comptabilisés dans le calcul du taux de mortalité. Les plumées étant des restes de cadavres, la détection et la vitesse de disparition ne sont pas estimées. Elles ne peuvent donc pas être comptabilisées dans le calcul du taux.

Figure 44 : 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	
12-mai	Période 1	76,47	23,53	0,00	
19-mai	Période 1	0,00	78,79	21,21	
26-mai	Période 1	41,14	56,57	2,29	
2-juin	Période 1	69,90	13,11	16,99	1
9-juin	Période 1	54,96	29,01	16,03	
17-juin	Période 1	75,73	24,27	0,00	
24-juin	Période 1	68,00	26,67	5,33	
1-juil.	Période 1	69,90	30,10	0,00	
7-juil.	Période 1	49,07	9,26	41,67	
16-juil	Période 2	25,82	50,70	23,47	
23-juil	Période 2	19,84	62,26	17,90	2
30-juil	Période 2	23,00	69,97	7,03	1
04-août	Période 2	23,00	60,06	16,93	
13-août	Période 2	16,01	55,34	28,65	
20-août	Période 2	20,43	70,61	8,96	
23-août	Période 3	72,73	6,06	21,21	
31-août	Période 3	49,32	29,45	21,23	
10-sept	Période 3	69,90	5,83	24,27	
18-sept	Période 3	69,90	5,83	24,27	
23-sept	Période 3	69,90	5,83	24,27	
01-oct	Période 3	71,29	5,94	22,77	
05-oct	Période 3	75,00	6,25	18,75	
08-oct	Période 3	75,00	6,25	18,75	
15-oct	Période 3	78,26	6,52	15,22	
19-oct	Période 3	31,85	21,66	46,50	
Moyenne		51,86	30,39	17,75	4,00
Période 1		56,13	32,37	11,50	1,00
Période 2		21,35	61,49	17,16	3,00
Période 3		66,31	9,96	23,72	0,00

3.4.5.2 Les formules utilisées

Les formules utilisées sont identiques à celles du calcul du taux de mortalité des chauves-souris (3.3.5.2 Les formules utilisées).

3.4.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2020, deux tests ont été menés le 02 juin et un le 1^{er} 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 45 : 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	30	27	0,90
Type 1	Moyenne	Moyenne	13	13	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	11	9	0,82
Type 3	Moyenne	Moyenne	6	5	0,83
Total	E3	02/06/2020	10	8	
Type 1	E3	02/06/2020	6	6	
Type 2	E3	02/06/2020	0	0	
Type 3	E3	02/06/2020	4	3	
Total	E1	02/06/2020	10	10	
Type 1	E1	02/06/2020	4	4	
Type 2	E1	02/06/2020	5	5	
Type 3	E1	02/06/2020	1	1	
Total	E4	01/08/2020	10	8	
Type 1	E4	01/08/2020	3	3	
Type 2	E4	01/08/2020	6	4	
Type 3	E4	01/08/2020	1	1	

	d	Pourcentage de prospection		
		Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,92	51,86	30,39	17,75
Période 1	0,92	56,13	32,37	11,50
Période 2	0,86	21,35	61,49	17,16
Période 3	0,94	66,31	9,96	23,72

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 :

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

$$d = 1 * (51,86/100) + 0,82 * (30,39/100) + 0,83 * (17,75/100) = 0,92$$

Autrement dit, 92% des peluches d'oiseaux dispersés ont été retrouvées, ce qui correspond à une très bonne détection.

b) Taux de persistance

Figure 46 : 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	p_période 3
				1	3	7	10	15					
Moyen		Moyenne	35	31	24	12	1	0	3,71	0,37	0,32	0,40	0,40
Type 1		Moyenne	15	11	7	4	1	0	2,93	0,28	0,26	0,30	0,30
Type 2		Moyenne	8	8	8	4	0	0	5,00	0,54	0,47	0,58	0,58
Type 3		Moyenne	12	12	9	4	0	0	3,83	0,37	0,31	0,40	0,40
Moyen	Toutes	02/06/2020	15	13	9	6	1	0					
Type 1	Toutes	02/06/2020	8	6	4	3	1	0					
Type 2	Toutes	02/06/2020	1	1	1	1	0	0					
Type 3	Toutes	02/06/2020	6	6	4	2	0	0					
Moyen	Toutes	31/08/2020	20	18	15	6	0	0					
Type 1	Toutes	31/08/2020	7	5	3	1	0	0					
Type 2	Toutes	31/08/2020	7	7	7	3	0	0					
Type 3	Toutes	31/08/2020	6	6	5	2	0	0					

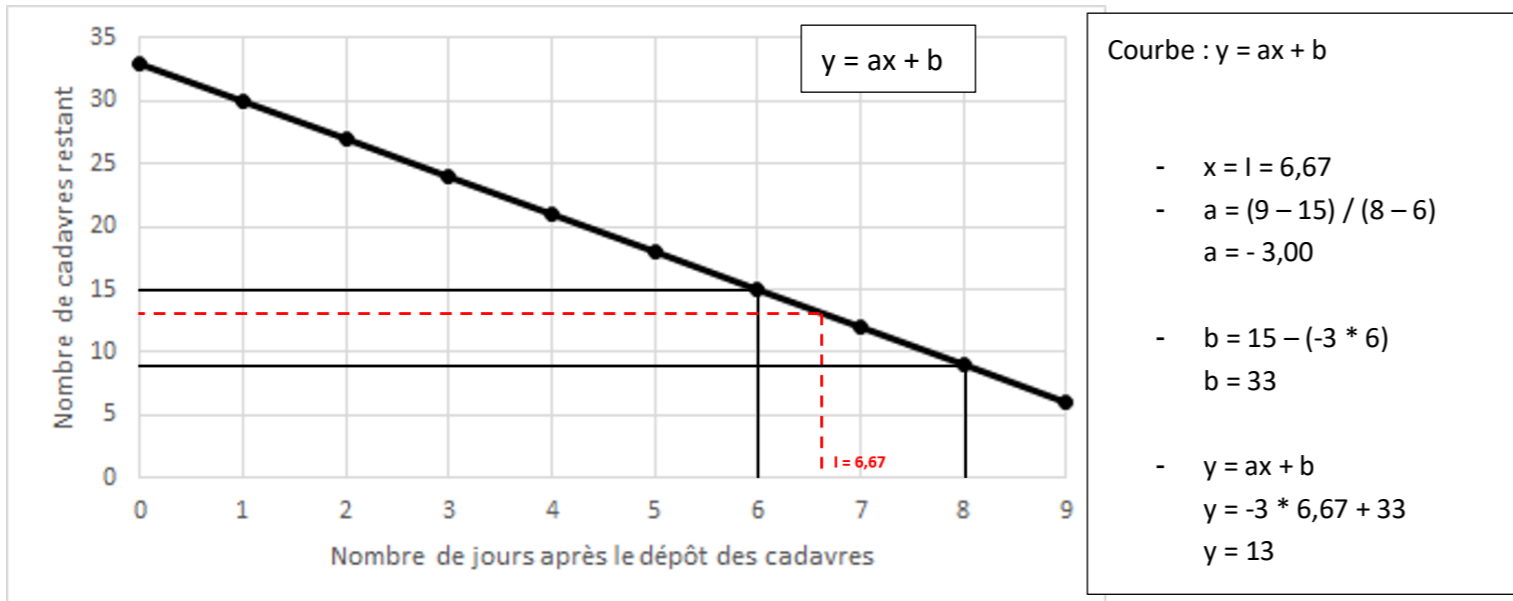
	Tm	p	Pourcentage de prospection		
			Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	3,71	0,37			
Période 1	3,71	0,33	56,13	32,37	11,50
Période 2	4,36	0,49	21,35	61,49	17,16
Période 3	3,35	0,35	66,31	9,96	23,72

- 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 = 6,67 jours**.

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 15 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours (Figure 47).

Figure 47 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours »



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après } I \text{ jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{13}{35} = 0,37$$

Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,37**.

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 0,33 (période 1), 0,35 (période 3) et 0,49 (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.

- 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 3,71**.

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

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

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 3,35 (période 3), 3,71 (période 1) et 4,36 (période 2)**. Autrement dit, la vitesse de disparition des cadavres est en moyenne de 3,7 jours, valeur plutôt moyenne par rapport à d'autres parcs en France.

c) Coefficient de correction surfacique

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres d'oiseaux découverts (sans prendre en compte la plumée) en 2020 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

Figure 48 : 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	0,42	24,11	1
28m - 42m	0,3077	4	1,23	0,43	35,27	1
14m - 28m	0,1846	4	0,74	0,47	63,95	1
0m - 14m	0,0615	4	0,25	0,24	96,88	1

a = 2,39

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 légèrement plus élevé que celui des chiroptères, étant dépendant de la proportion de cadavres retrouvés dans chaque disque de prospection.

3.4.5.4 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 49 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	4,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,92	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,37	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	3,71	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	6,67	Pas de temps du suivi
Ĥ	7,43	$\hat{I} = -\log(0.01) * tm$
ê	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(I/\hat{I}) / I$
a	2,39	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 :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{4}{0.37 \times 0.92} \times 2.39 = 28.18$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{7.14 \times (4 - 4 \times 0.37)}{3.71 \times 0.92} \times 2.39 = 18.72$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{6.67 \times 4}{3.71 \times 0.92} \times 2.39 = 18.79$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}} \times a = \frac{4}{0.92 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 6.67 / 3.71)}} \times 2.39 = 25.68$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I / tm})}{I} \times \hat{e}} \times a = \frac{4}{0.92 \times \frac{3.71 \times (1 - e^{-6.67 / 3.71})}{6.67} \times 1} \times 2.39 = 22.53$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux sur la période allant du 12 mai au 19 octobre 2020 et pour les 4 éoliennes suivies. Ces résultats sont basés sur 5 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 5 (5 mois de suivi) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux, soit toute l'année)
- on multiplie par 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 12,86 mortalités par éolienne et par an** (Figure 50), avec une fourchette qui oscille entre 11,23 et 15,41 (16,91 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 50 : Résultats des calculs de taux de mortalité des oiseaux pour le suivi 2020 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	28,18	18,72	18,79	25,68	22,53	22,78	21,43
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	7,05	4,68	4,70	6,42	5,63	5,70	5,36
Mortalité par éolienne et par mois	1,41	0,94	0,94	1,28	1,13	1,14	1,07
Mortalité par éolienne et pour une année	16,91	11,23	11,27	15,41	13,52	13,67	12,86
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	67,64	44,92	45,09	61,63	54,08	54,67	51,43

3.4.5.5 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 51 : 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	3,00	
	Période 3	0,00	
d	Période 1	0,92	Valeur du taux de détection pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	0,86	
	Période 3	0,94	
p	Période 1	0,33	Valeur du taux de persistance pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	0,49	
	Période 3	0,35	
tm	Période 1	3,71	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain pondérée selon le type de recouvrement moyen de la période
	Période 2	4,36	
	Période 3	3,35	
l	Période 1	7,22	Pas de temps du suivi
	Période 2	6,33	
	Période 3	6,33	
î	Période 1	7,41	$\hat{i} = -\log(0.01) * tm$
	Période 2	8,72	
	Période 3	6,71	
ê	Période 1	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{i}) / l$
	Période 2	1,00	
	Période 3	1,00	
a	Toutes périodes	2,39	Coefficient de correction surfacique

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

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. **Le tableau aboutit à un résultat moyen de l'ordre de 12,04 mortalités par éolienne et par an** (Figure 52), avec une fourchette qui oscille entre 10,28 et 14,50 (14,89 pour la formule de Winkelmann) mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 52 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2020 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelmann)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	24,82	17,13	17,21	24,17	21,76	21,02	20,07
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	6,20	4,28	4,30	6,04	5,44	5,25	5,02
Mortalité par éolienne et par mois	1,24	0,86	0,86	1,21	1,09	1,05	1,00
Mortalité par éolienne et pour une année	14,89	10,28	10,32	14,50	13,05	12,61	12,04
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	59,56	41,11	41,30	58,00	52,21	50,44	48,16

3.4.5.6 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 53) détaille l'ensemble de ces paramètres utilisés.

Figure 53 : Paramètres à renseigner dans l'application Shiny « EolApp »

Paramètre	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	6,67
Nombre de cadavre déposé pour l'étude de détection	30
Nombre de cadavre découvert pour l'étude de détection	27
Pourcentage de la surface prospectée	0,40

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 54 : Sortie de l'application Shiny EolApp (IC : intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	18,93	0,00	47,73	5,26	36,54
Huso	22,89	0,00	56,13	6,20	43,42
Winkelmann	31,25	0,00	90,01	8,84	63,10
Jones	26,12	0,00	65,38	7,18	50,18
Moyenne par éolienne	6,20	0,00	16,20	1,72	12,08
Moyenne par éolienne (sans Winkelmann)	5,66	0,00	14,10	1,55	10,85

En considérant les 4 modèles (Figure 54), il y a 80% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 1,72 et 12,08 cas de mortalité par éolienne (entre 1,55 et 10,85 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann). De même, il y a 95% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0 et 16,20 cas de mortalité par éolienne (entre 0 et 14,1 si on ne prend pas en compte la formule de Winkelmann).

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

- on divise par 5 (5 mois de suivi) -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 12 -> on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux).

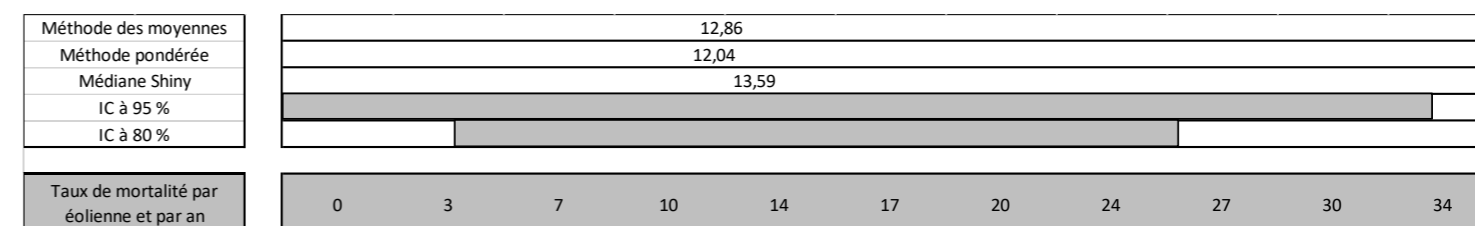
On aboutit à un résultat à un intervalle de confiance de 95% de l'ordre de 0 à 34 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

A un intervalle de confiance de 80%, le résultat est de l'ordre de 4 à 26 mortalités par éolienne et par an (sans la formule de Winkelmann).

Enfin, si on s'intéresse à la médiane moyennée (sans Winkelmann) de 5,66 mortalités par éolienne sur la période de suivi, on aboutit à un résultat de **14 mortalités/éolienne/an**.

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

La fourchette de résultats fournie par l'application Shiny « Eol App » concorde avec nos calculs. Aussi, nous retiendrons que **théoriquement nous aboutissons à entre 12 et 14 cas de mortalité par éolienne et par an, soit environ 48 à 56 mortalités par an pour le parc entier (constitué de 4 éoliennes)**.



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

4.1. Méthodologie

4.1.1 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 2020 pour l'installation du Batcorder fut l'éolienne E4. Le suivi de l'activité des chauves-souris en hauteur s'est étalé du 12 mai au 24 novembre 2020. Le suivi en continu a donc permis de couvrir la période estivale et automnale 2020.

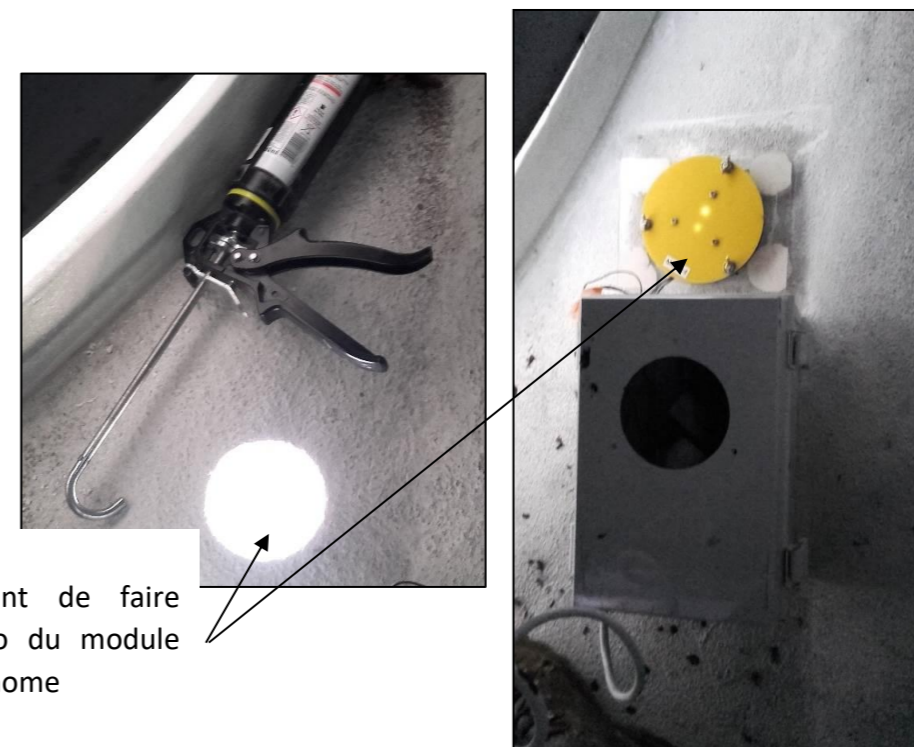
4.1.2 Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E4

Pour suivre l'activité des chauves-souris en parallèle de la mortalité, un détecteur/enregistreur d'ultrasons de type *Batcorder* (3.1) 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 :

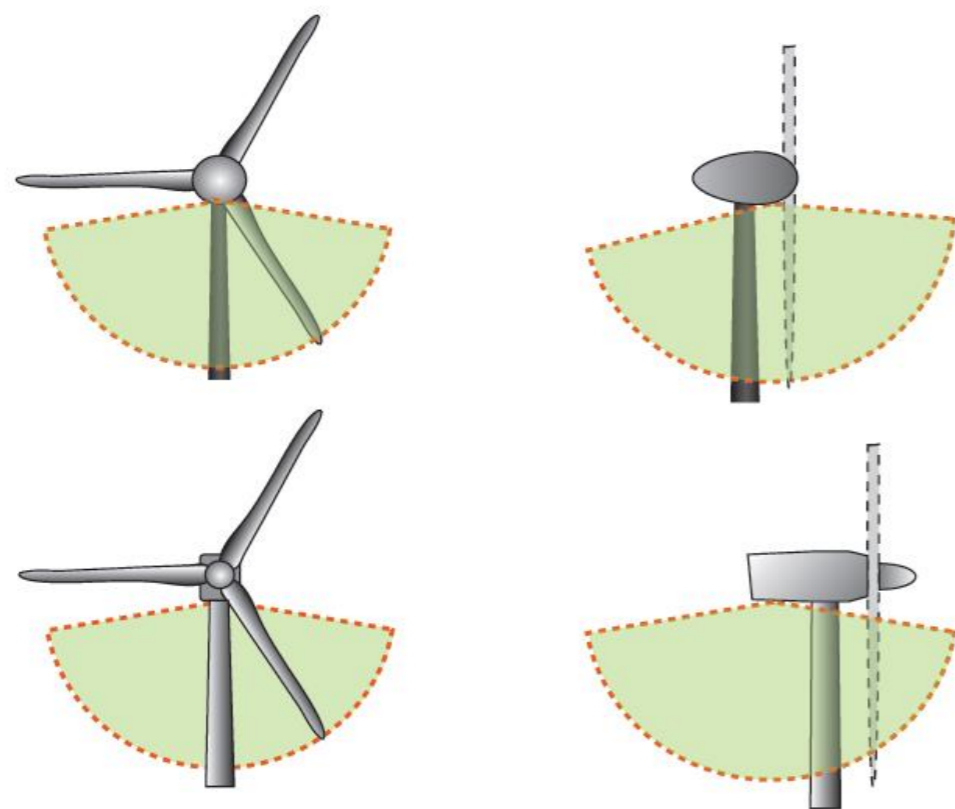
- une alimentation en 220V sur éolienne,
- une batterie de secours,
- un boîtier GSM permettant un contrôle à distance quotidiennement (envoi automatisé de SMS),
- un micro multidirectionnel adapté à la structure de nacelles en fibre de verre (micro disk qui traverse la paroi de la nacelle),
- un système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

Figure 55 : Clichés de positionnement du module *Batcorder* à l'intérieur de l'éolienne



Trou permettant de faire passer le micro du module *Batcorder* autonome

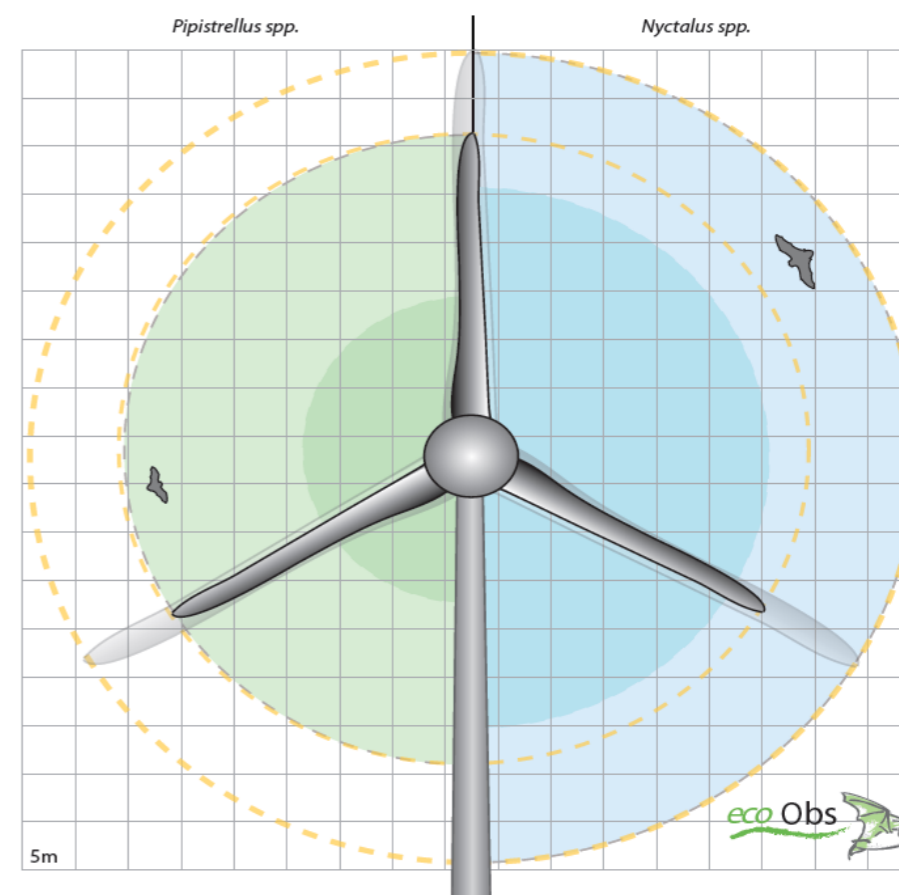
Figure 56 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes



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 (Batacorders). L'expérimentation a notamment montré que 83% des chiroptères qui rentrent dans le champ de rotation des éoliennes sont détectés par la méthode acoustique. Ces capteurs paraissent donc particulièrement adaptés à la caractérisation de l'activité des chiroptères autour des éoliennes. Il est évident que ces chiffres ne prennent pas en compte les biais liés à l'orientation du micro et aux obstacles acoustiques par rapport à la structure de la nacelle. Le ciblage du suivi vers la partie basse du rotor s'explique par le fait qu'il s'agit logiquement de la partie la plus 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 57 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)



Un autre intérêt du système Batacorder réside aussi dans la facilité d'analyse des données, ce qui est particulièrement appréciable pour des plages d'enregistrements de plusieurs dizaines de milliers de séquences lorsque c'est le cas. Les séquences sonores des chauves-souris ont été enregistrées et sauvegardées numériquement sur une carte SDHC. Ces enregistrements sont ensuite gérés et traités par les logiciels *bcAdmin* et *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 plug-ins proposent notamment une corrélation rapide des données d'activité des chiroptères avec les données climatiques enregistrées sur l'éolienne.

Figure 58 : 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 enregistrées correspondant à des chiroptères
E4	12/05/2020	Installation	1 118	883
	24/11/2020	Désinstallation		

Cela représente un total de 1 118 données ultrasonores à analyser dont 883 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 12 mai au 24 novembre 2020. Finalement, le suivi d'activité en hauteur a permis de suivre 196 nuits.**

4.2. 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.

4.2.1 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'aérologie, émergence d'insectes...) et qu'il est particulièrement important à prendre en compte pour quantifier les risques ponctuels vis-à-vis d'un projet éolien.

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

4.2.2 Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces

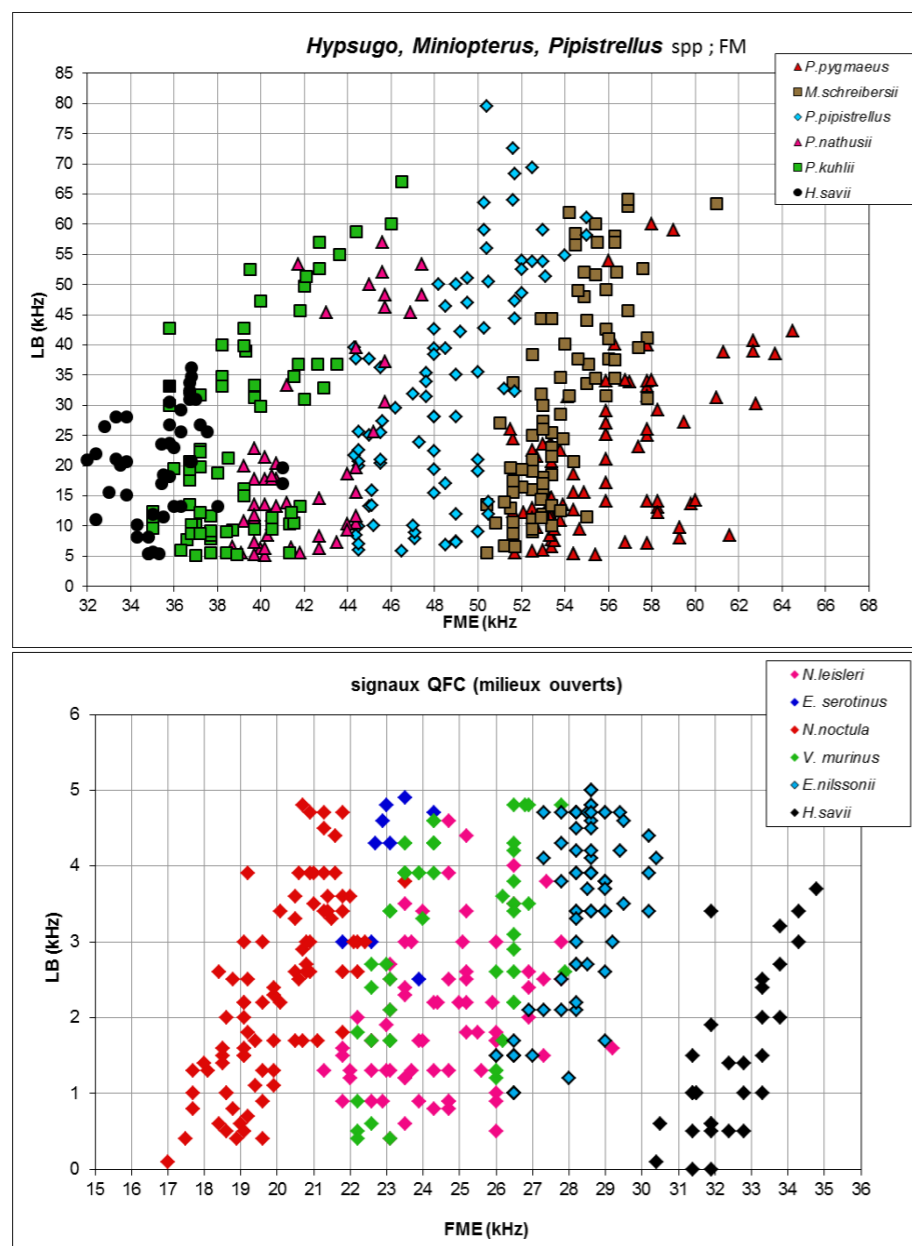
L'identification acoustique des chiroptères est une science encore en évolution et qui bénéficie d'avancées récurrentes ces dernières années. La plupart des espèces peuvent être déterminées précisément.

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.

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

Figure 59 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie >30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »)



4.2.3 Une détection divergente selon les espèces

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

Figure 60 : Liste des espèces de chiroptères par ordre d'émission décroissante, avec distances de détection et coefficient de détectabilité selon qu'elles évoluent en milieu ouvert ou en sous-bois (Barataud, 2015)

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

4.2.4 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 (craquelons, sauterelles) plus ou moins actifs selon les périodes de l'année et les sites et qui peuvent limiter la perception d'éventuels signaux de chiroptères émis aux mêmes bandes de fréquences. Ici, il s'agit surtout de parasites liés aux éoliennes elles-mêmes.
- Les **facteurs climatiques** qui jouent non seulement sur l'activité des chiroptères, mais aussi sur les capacités de détection (parasitages acoustiques par l'ambiance ultrasonore générée par un vent fort ou la présence de pluie...).

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

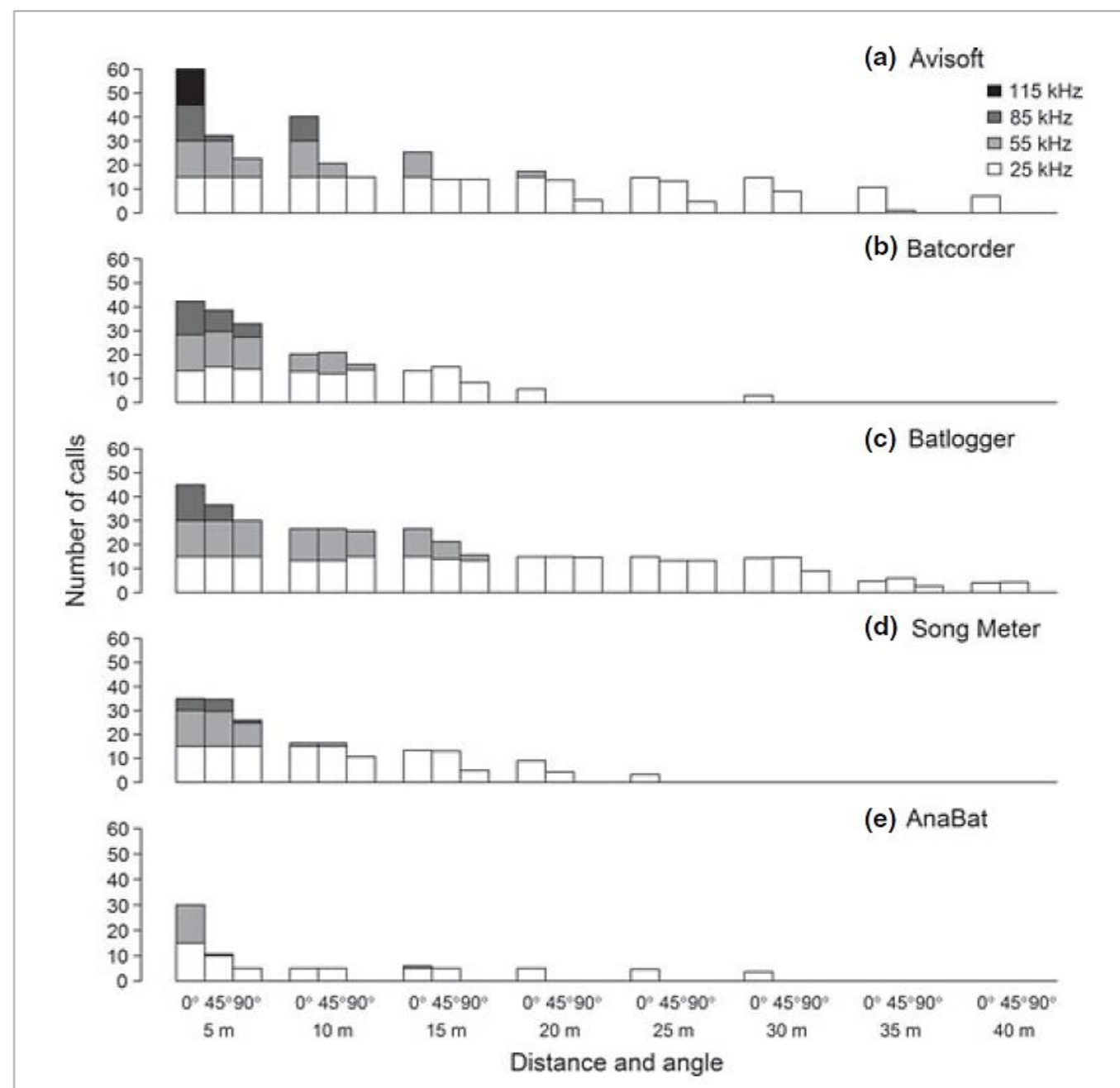
- les limites liées à la qualité et à la fréquence de recalibrage des micros,
- leur volume de détection (cône de détection) et à leur caractère directionnel ou multidirectionnel,
- les paramétrages retenus (filtres des basses ou hautes fréquences, durée d'enregistrement depuis le déclenchement),
- les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

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

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

suivante (ADAMS, 2012) montre que le Batcorder présente une capacité de détection à distance théoriquement globalement moins bonne que celle du Batlogger ou des systèmes Avisoft. Mais ces deux produits présentent des contraintes techniques très importantes pour des suivis sur le long terme (ULDRY V., 2013), nécessitant des opérations de maintenance régulières et une difficulté majeure à la perception de problèmes à distance.

Figure 61 : 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).

4.3. Résultats du suivi de l'activité des chiroptères

4.3.1 Cortège d'espèces

Rappelons que le suivi passif de l'activité ultrasonore des chiroptères fut basé sur le fonctionnement d'un enregistreur automatique à ultrasons sur l'éolienne 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 6 mois et demi en 2020.

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 2020. Il précise les statuts de protection et de conservation de ces différentes espèces. Au total, 5 espèces ont pu être discriminées avec certitude.

Figure 62 : 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	Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv. Berne	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre-Vai de Loire (2013)
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 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

Pour une meilleure lisibilité, un regroupement des espèces selon leur comportement de vol est réalisé. 5 groupes peuvent être dissociés, il s'agit :

- **Du groupe des espèces de lisières** qui comprend l'ensemble des pipistrelles (hormis la Pipistrelle de Nathusius) 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 50m) la plupart du temps en suivant les éléments structurants du paysage (lisières de boisement, haies, chemin...). Cependant il est possible de retrouver ponctuellement ce groupe d'espèces plus en hauteur, notamment lors de poursuite en altitude d'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,

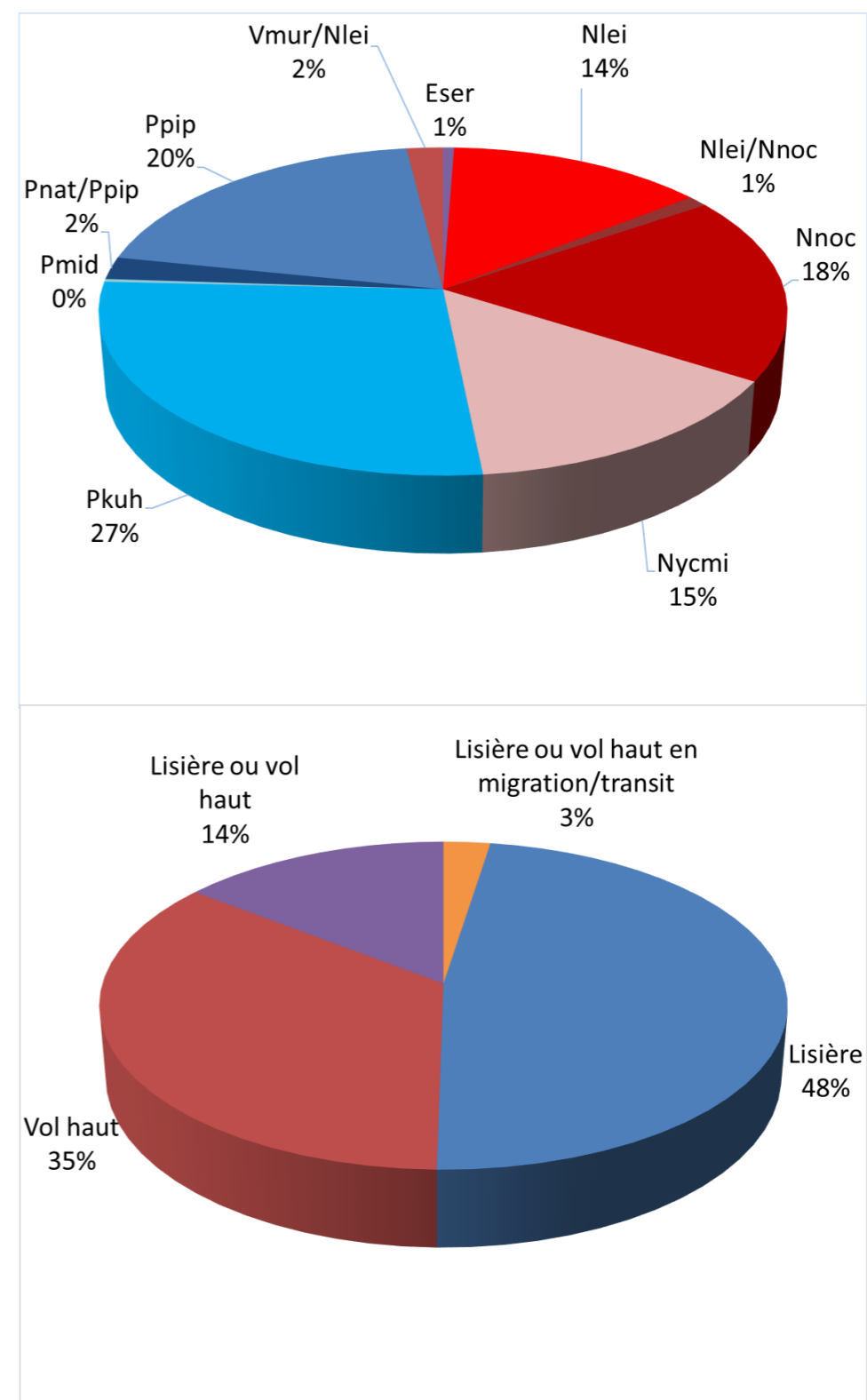
- **Du groupe des espèces de vol haut en période de migration/transit**, qui comprend la Pipistrelle de Nathusius. En effet, la Pipistrelle de Nathusius semble avoir un comportement similaire aux autres pipistrelles lors de ses vols réguliers de chasse (espèce de lisières) mais lors de ses transits ou en période migratoire, elle utilise volontiers le plein ciel. Ce groupe comprend aussi le Minioptère de Schreibers qui semble aussi avoir un comportement similaire aux pipistrelles lors de ses mouvements de chasse mais qui peut ponctuellement se retrouver plus en hauteur lors de vol migratoire notamment au printemps ou à l'automne,
- **Du groupe des espèces de vol haut**, qui comprend l'ensemble des noctules (Noctule de Leisler, Noctule commune), la Sérotine bicolore, le Vespère de Savi et le Molosse de Cestoni (contacts en Nyctief correspondant aussi à cette espèce). Ce groupe d'espèce comprend donc des espèces qui utilisent les secteurs plus ouverts et donc régulièrement des hauteurs de vols plus importantes même lors de vols de chasse,
- **Du groupe des espèces de vol haut 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), le groupe des Ptief, qui peut correspondre à la Pipistrelle de Kuhl (espèce de lisières) ou au Vespère de Savi (espèce de vol haut),
- **Du groupe des espèces de vol haut en migration/transit ou de lisière**, qui comprend le groupe des Pmid correspondant soit à la Pipistrelle de Nathusius (espèce de vol haut en migration/transit) soit à la Pipistrelle de Kuhl (espèce de lisière) ou encore le groupe des Phoch (pipistrelles hautes fréquences ou Minioptère de Schreibers).

Les graphiques de la figure suivante témoignent de la proportion de chacun des 5 grands groupes d'espèces dans l'activité totale relevée au niveau du Batcorder sur l'éolienne E4. On remarque que le groupe des espèces de lisières est presque autant 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.

Abréviatic	Espèce
Eser	Sérotine commune
Nlei	Noctule de Leisler
Nlei/Nnoc	Noctule commune / Noctule de Leisler
Nnoc	Noctule commune
Nycmi	Noctule de Leisler / Sérotine commune / Sérotine bicolore/Noctule commune/Sérotine de Nilson
Pkuh	Pipistrelle de Kuhl
Pmid	Pipistrelle Nathusius / Pipistrelle de Kuhl
Pnat/Ppip	Pipistrelle de Nathusius / Pipistrelle commune
Ppip	Pipistrelle commune
Vmur/Nlei	Sérotine bicolore / Noctule de Leisler

Figure 63 : 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)



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

Le graphique de la Figure 65 page 63 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 64 : 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

Au-delà des pics d'activité et des périodes de plus forte activité, les relevés en altitude (99 m) témoignent de façon générale d'une **activité régulière d'un niveau très faible voire nulle** ce qui accentue encore plus la perception du caractère ponctuel et massif des pics d'activité.

Parmi les 197 nuits suivies, on peut observer :

- 134 nuits d'activité nulle,
- 25 nuits d'activité très faible,
- 11 nuits d'activité faible,
- 6 nuits d'activité faible à modéré,
- 18 nuits d'activité modérée,
- 3 nuits d'activité modérée à forte,
- 0 nuit d'activité forte,
- 0 nuit d'activité très forte.

L'activité estivale (de mi-mai à mi-août) et automnale (à partir de mi-août) sont très hétérogènes au cours du temps. Tout au long de la période de suivi, l'activité oscille entre un niveau d'activité très faible voire nulle (octobre notamment) à modéré à fort (les nuits de pic d'activité du 1^{er} juin, 3 septembre et 8 novembre 2020). On note également la présence de noctules sur le site, de manière irrégulière tout au long de la période de suivi.

- **Pic d'activité du 1^{er} juin 2020 (niveau modéré à fort)**

D'après le référentiel EXEN, le pic d'activité du 1^{er} juin 2020 est d'un niveau modéré à fort. Celui-ci se caractérise par une activité importante de la Pipistrelle de Kuhl. D'autres contacts concernent la Pipistrelle commune et la Noctule de Leisler. L'ensemble de l'activité de ce pic a été concentrée entre 23h30 et 2h en pleine nuit. Les conditions météorologiques étaient favorables pour les chiroptères puisque la température était en moyenne de 19,5°C et que le vent était très faible (entre 1 et 2,1 m/s).

- **Pics d'activité de niveau modéré à fort**

D'après le référentiel EXEN, deux autres pics d'activité de niveau modéré à fort ont été recensés à l'automne 2020.

Le pic d'activité du 3 septembre a eu lieu :

- Par des vitesses de vent de 0,6 à 2,4 m/s,
- Par des températures supérieures à 21°C,
- Sur une période étendue de la nuit (entre 20h50 et 4h10)

- Avec une activité principalement de Noctule commune, du groupe des Nycmi et de Pipistrelle commune mais aussi des contacts de Pipistrelle de Kuhl et de Noctule de Leisler.

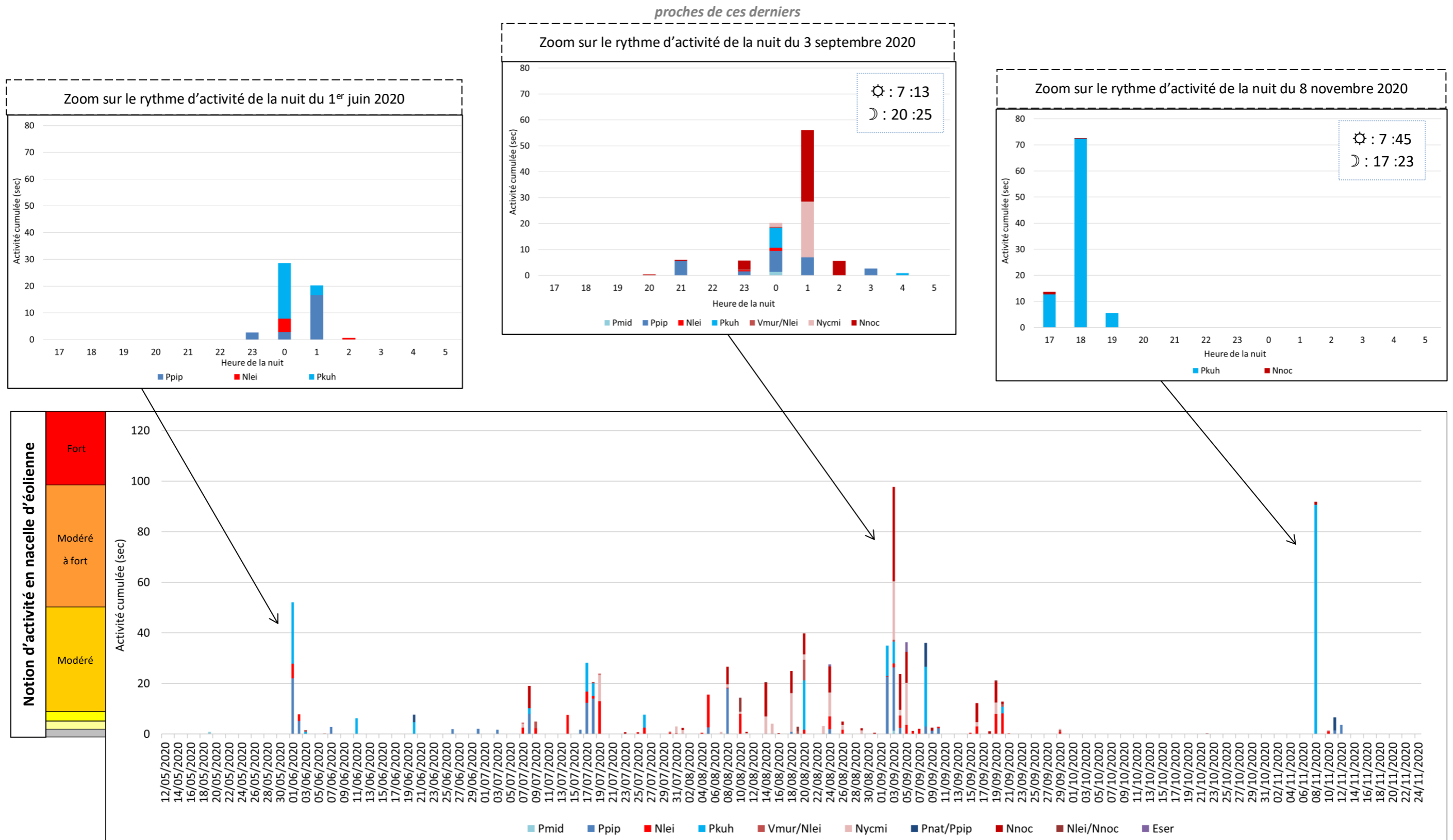
Le pic d'activité du 8 novembre a eu lieu :

- Par des vitesses de vent comprises entre 1 et 2,1 m/s,
- Par des températures moyennes de 17,5°C,
- Sur une période très courte du début de nuit (entre 17h40 et 19h10)
- Avec une majorité des enregistrements provenant de la Pipistrelle de Kuhl et plus faiblement de Noctule commune.

Nous retiendrons une certaine **cohérence** entre ces pics d'activité, avec un cortège d'espèces similaires (marqué majoritairement par la Pipistrelle de Kuhl), des **faibles vitesses du vent** (< 2,5 m/s), des **températures** généralement **importantes** (> 17°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. Dans notre cas précis, quelques contacts de phases d'approche et cris sociaux ont été enregistrés, ce qui permet de confirmer l'hypothèse de l'exploitation d'un essaim d'insectes et de comportement sociaux au niveau de l'éolienne E4.

Figure 65 : 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



4.3.3 Influence de la vitesse du vent

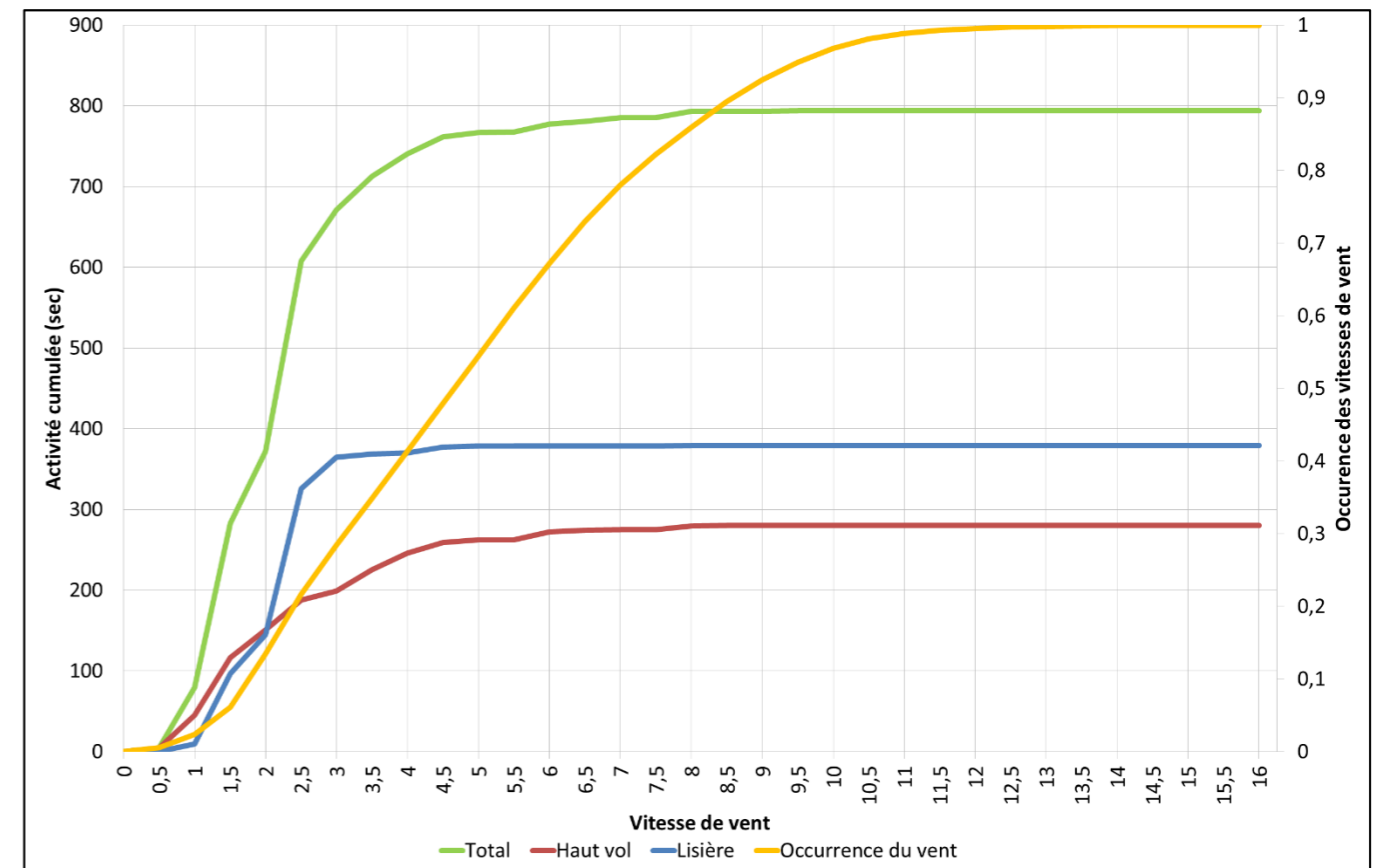
Le principal paramètre avancé à ce jour comme facteur d'influence de l'activité des chauves-souris est la vitesse du vent. L'expérience montre en effet que l'activité des chauves-souris chute de façon corrélée avec l'augmentation de la vitesse du vent. Cela s'explique surtout par le fait que les vents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

Le graphique ci-contre témoigne 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 notre cas précis, le graphique montre que la plupart de l'activité des espèces de lisière est relevée pour des vitesses de vent inférieures à 4,5 m/s. De même, la plupart de l'activité des espèces de haut vol a été relevée pour des vitesses de vent inférieures à 6 m/s.

Il est possible de calculer que 97 % de l'activité des espèces de lisières 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 des espèces de haut vol a lieu aussi par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. Ainsi par des vitesses de vent supérieures à 4 m/s, il ne reste au total que 53 secondes d'activité cumulée, toutes espèces confondues.

Figure 66 : 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 2020 en nacelle d'éolienne)



4.3.4 Influence de la direction du vent

La direction du vent peut aussi être un facteur d'influence de l'utilisation du site par les chauves-souris. Au niveau de l'éolienne E4, on s'aperçoit que 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 E6, selon la direction du vent. Les graphiques du bas représentent l'activité hors-pic et l'activité de pics selon la direction du vent. Précisons que l'occurrence du vent correspond au nombre de fois où chaque direction de vent a été relevée, par période de 10 min, la nuit et au niveau de l'éolienne.

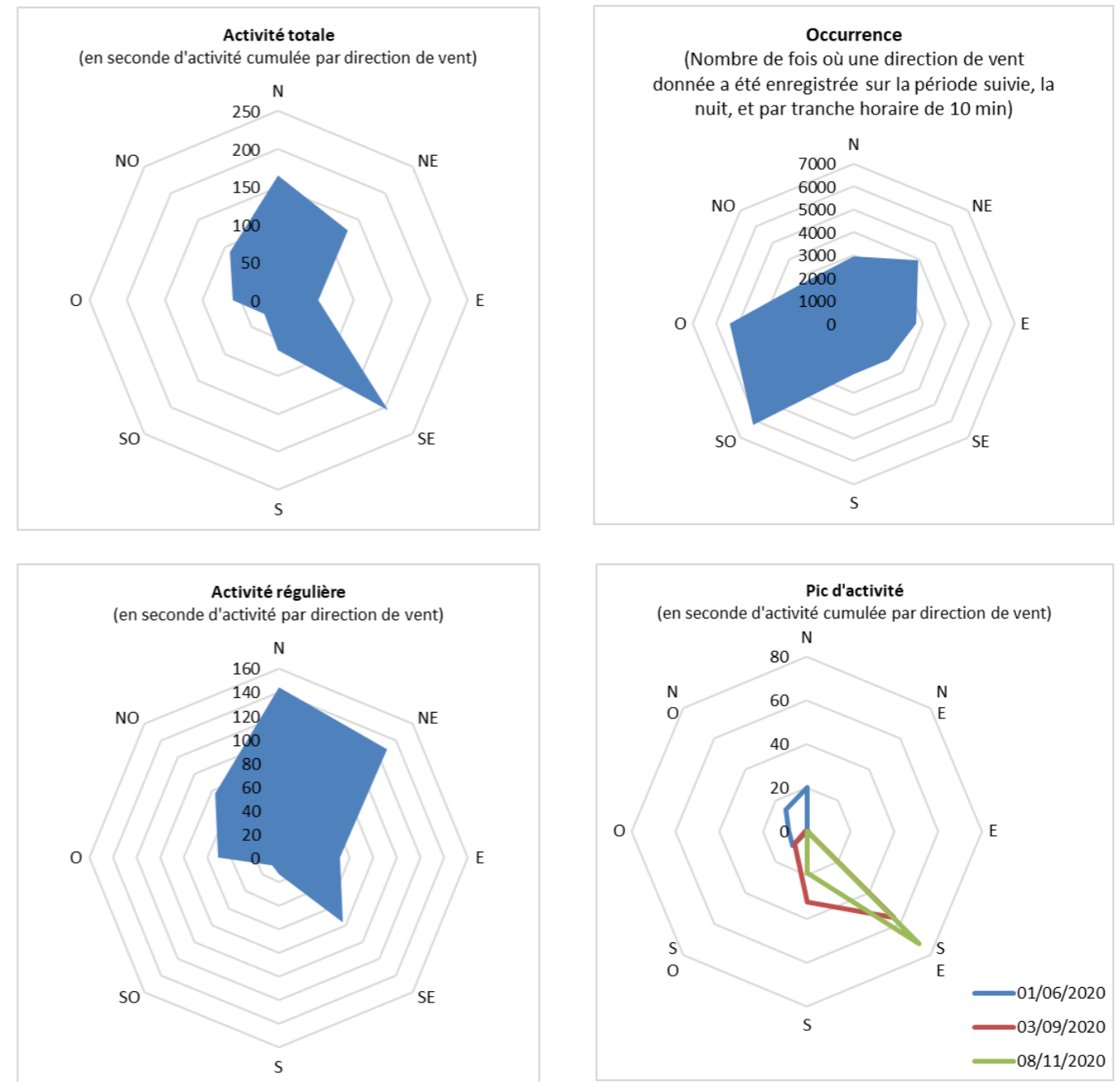
De ce fait, il s'agit de comparer le graphique de l'activité totale à celui de l'occurrence du vent :

- 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 67**, l'activité est généralement la plus importante par vent de sud-est et de nord. Dans la mesure où les vents dominants proviennent du sud-ouest, de l'ouest et plus faiblement du nord-est sur la période de référence (occurrence), il n'y a pas de réelle influence positive de l'orientation du vent pour expliquer l'activité des chauves-souris en hauteur.

Si on distingue l'activité liée aux pics d'activité en hauteur (du 1^{er} juin, du 3 septembre et du 8 novembre 2020) à celle plus « régulière » en dehors de ce pic, on constate une légère divergence. En effet, si l'activité régulière s'exprime surtout pour des vents dominants orientés au nord et nord-est, celle liée aux pics d'activité s'exprime surtout pour des vents qui viennent du sud-est (nuits du 08/11/2020 et du 03/09/2020) et du nord (nuit du 01/06/2020). Ces pics d'activité sont surtout liés à la présence d'espèces de lisière et de haut vol, **et il est possible que cette orientation du sud-est favorise des phénomènes qui entraînent ces espèces vers la hauteur**. Pour autant, les données au niveau des pics d'activité ne sont pas assez robustes pour généraliser à une fonctionnalité particulière apparaissant uniquement par des directions de vent particulières.

Figure 67 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E4



4.3.5 Influence de la température

La température apparaît également comme un paramètre parfois important à prendre en compte pour expliquer les modalités de fréquentation des chauves-souris. On note 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 température élevée 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 on ajoute à cette notion d'influence de température, le fait que cette période de chaleur peut encore plus favoriser la formation d'ascendances thermiques (après échauffement diurne des milieux ouverts exposés), 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.

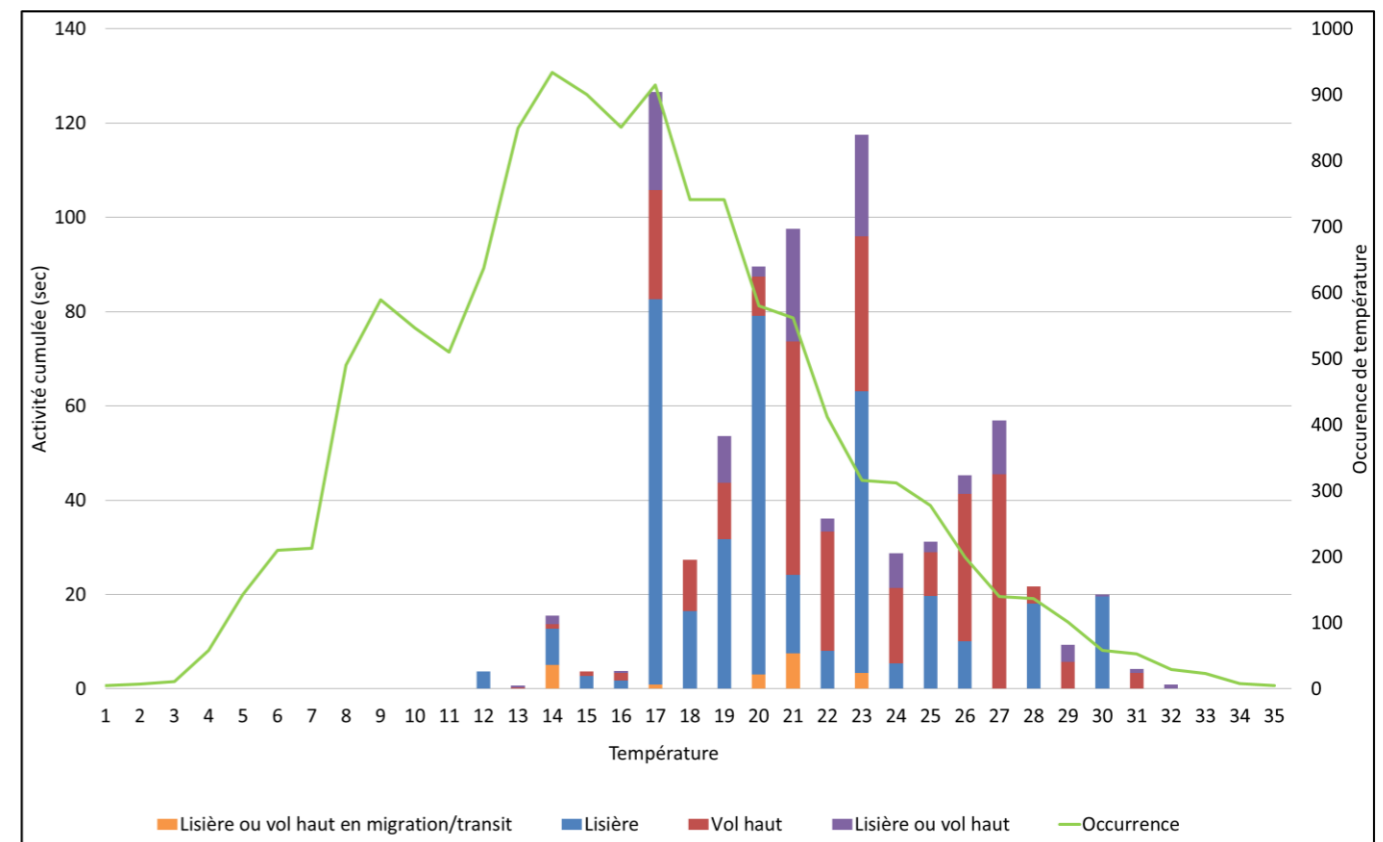
Le graphique suivant montre que l'activité des chauves-souris en hauteur est très faible en dessous de 12°C. En pourcentage d'activité, environ 70% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 20°C et plus de 97% pour des températures supérieures à 15°C.

Au niveau du site, les températures de 13 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 plus actives par des températures plus élevées mais moins fréquentes sur le site. Pour rappel, les différents pics d'activité ont été relevés sur l'éolienne E4 lorsque les températures variaient entre 17 et 26°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 (jusqu'à 12-13°C) correspond à des contacts du groupe des espèces de vol haut (correspondant très probablement à des noctules de Leisler ou communes) ainsi qu'à des prises d'altitude la part de pipistrelles communes. Ces quelques contacts ont été relevés durant le mois de novembre, période probable de migration. Il s'agit donc d'une activité possiblement déconnectée de l'influence des conditions météo.

Ces seuils extrêmement hauts comparé à ce qui est relevé habituellement sur d'autres parcs laisse supposer que les relevés de températures sont potentiellement influencés par le réchauffement de la nacelle. En effet, le profil est décalé sur la droite, vers des températures chaudes, comparé à ce qui est habituellement observé en nacelle.

Figure 68 : 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



4.3.6 Rythme d'activité nocturne

D'après les graphiques suivants, sur l'ensemble de la période de suivi, la plupart des données ultrasonores sont enregistrées en majorité en première partie de nuit et lors de celle-ci. Peu de données ont été enregistrées en tout début et en toute fin de nuit, excepté en novembre.

Cette activité de début de nuit (durant l'heure suivant le coucher du soleil) est d'un niveau faible, mais cela laisse supposer la présence de gîtes dans le secteur, notamment au mois d'octobre et de novembre où l'activité de la Noctule commune (déterminée de manière certaine en novembre et en recouvrement avec la Noctule de Leisler en octobre) a eu lieu dans les 15 premières minutes après le coucher du soleil et entre 15 et 30 min après le coucher du soleil.

Des contacts de Pipistrelle de Kuhl ont également été enregistrés entre 15 et 30 minutes après le coucher du soleil au mois de novembre.

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.

Figure 69 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E4 (en 2020)

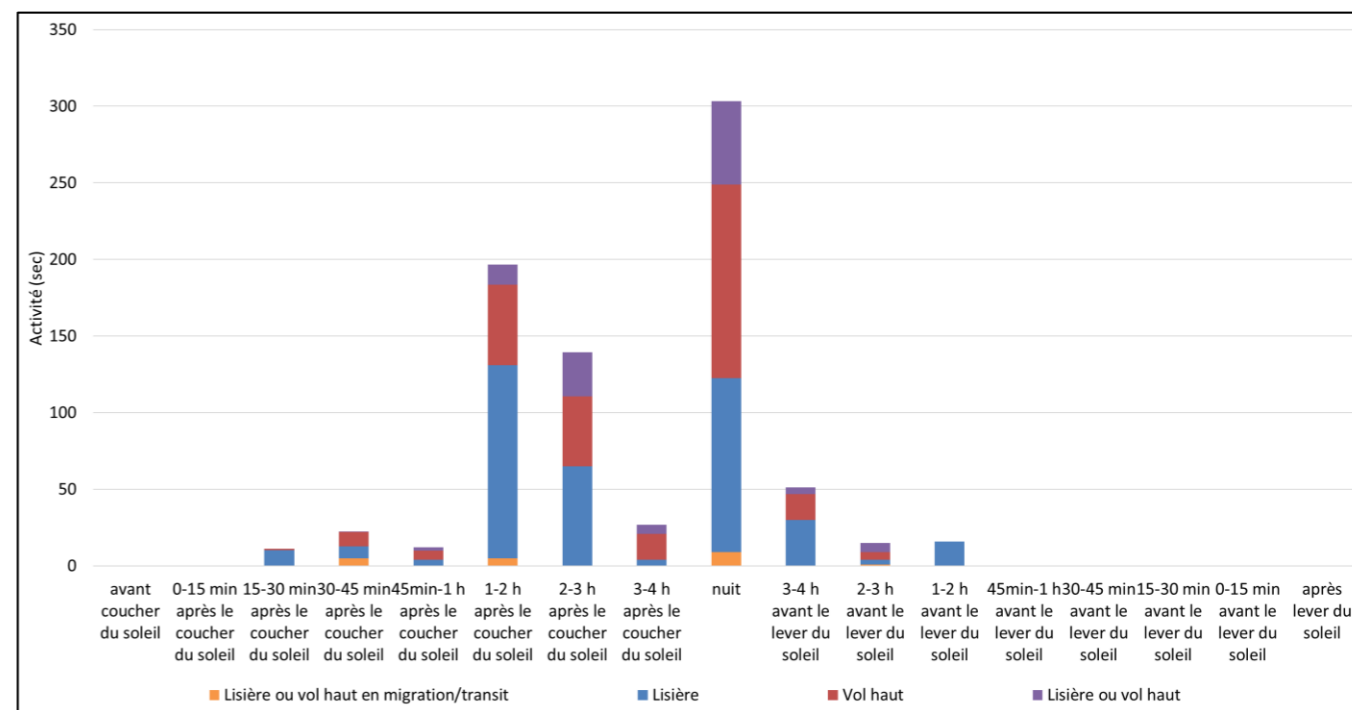
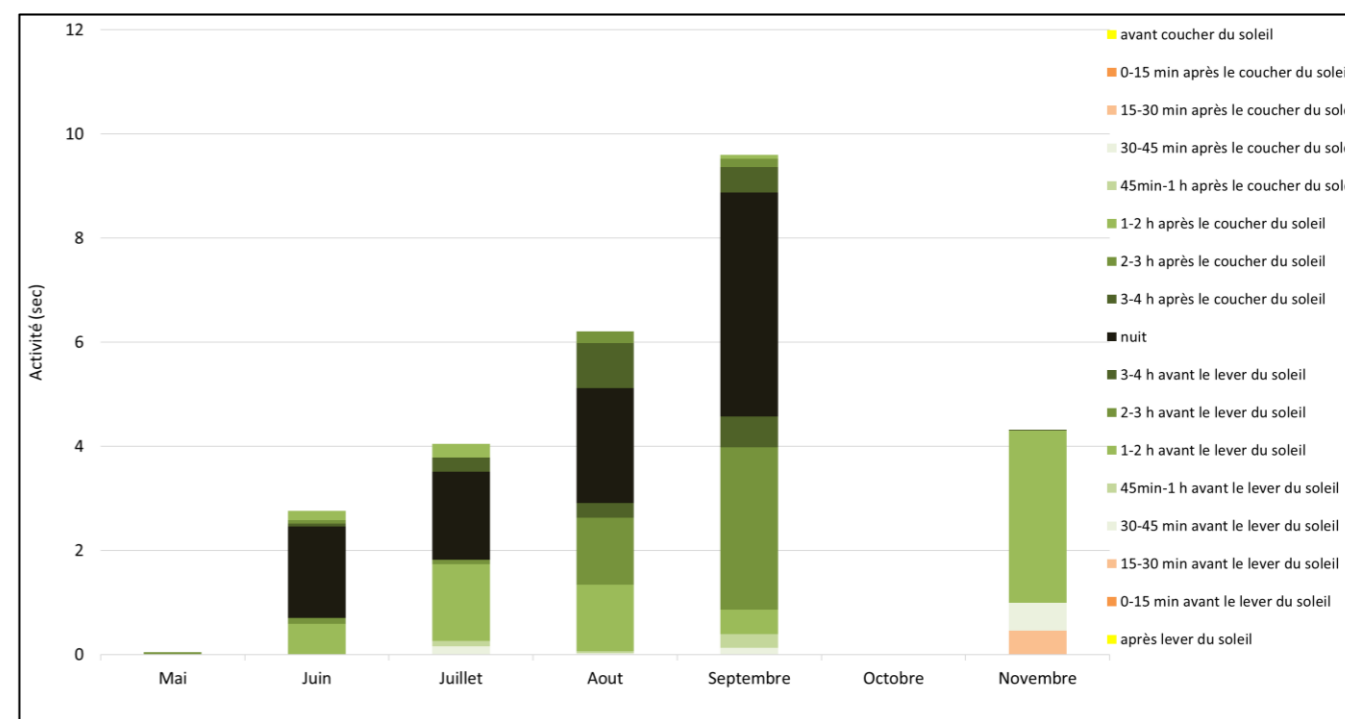


Figure 70 : Décomposition de l'activité moyenne (en seconde d'activité par nuit) des chauves-souris au niveau de la nacelle de l'éolienne E4 en fonction de l'écart avec le lever ou le coucher du soleil



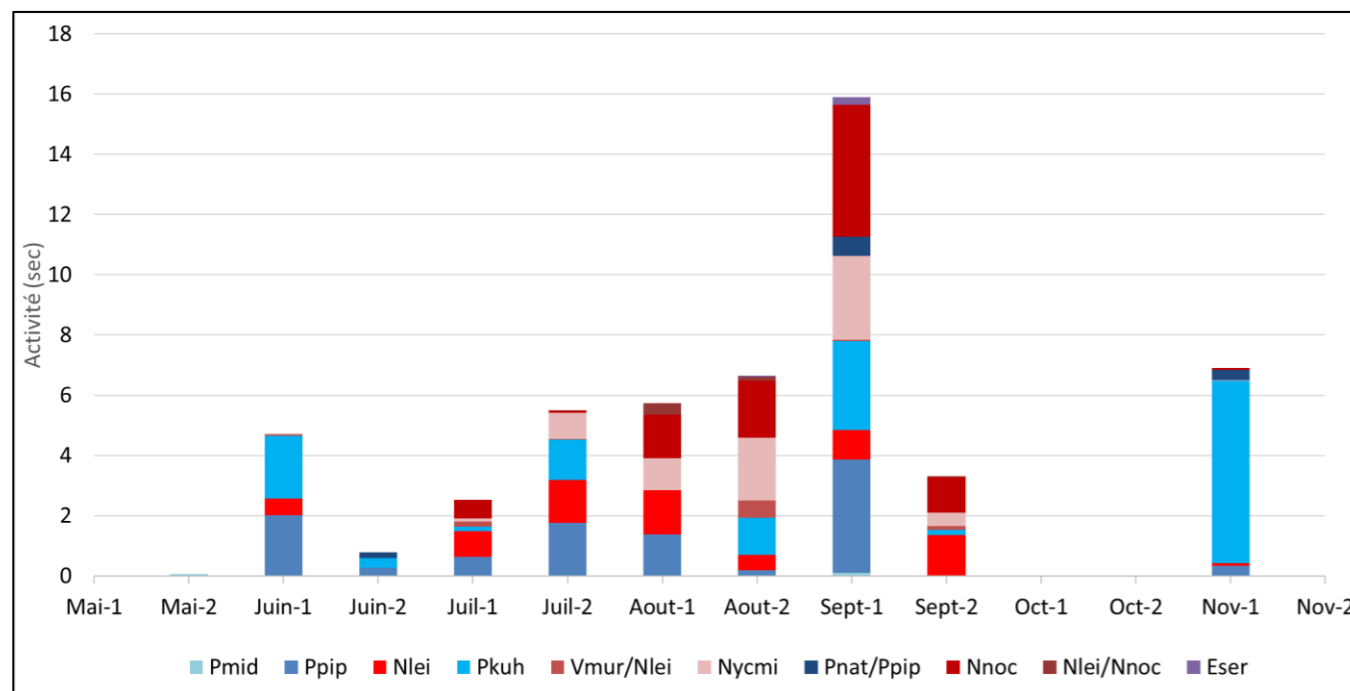
4.3.7 Saisonnalité

Le graphique ci-dessous présente la répartition de l'activité par espèce et par demi-mois. On remarque que l'activité chiroptérologique est de plus en plus importante lorsque l'été avance, puis elle est à son maximum au début du mois de septembre (probablement en lien avec le pic d'activité du 3 septembre) et diminue tout en étant irrégulière au fur et à mesure que l'automne avance.

L'activité des espèces de lisières (en dégradé de bleu) est plus importante en juin et en automne (septembre et novembre). 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 juillet jusqu'à fin septembre, mais le fait qu'elles soient contactées de juin à novembre en hauteur suppose qu'il s'agit d'individus issus de populations locales (et non exclusivement d'individus en transit).

Figure 71 : Activité journalière moyenne (en seconde d'activité) relevée selon les espèces contactées et par demi-mois, corrigé selon le nombre de jours d'enregistrement (E4)



5. CONFRONTATION ENTRE LES CAS DE MORTALITÉ DE CHAUVE-SOURIS ET L'ACTIVITÉ RELEVÉE EN NACELLE D'ÉOLIENNE E4

Le graphique de la page suivante permet une analyse comparée de la date de mortalité estimée des chauves-souris retrouvées en 2020 et de la chronologie d'activité à risque, enregistrée au niveau du module Batcorder autonome de l'éolienne E4 lorsque les pales tournent. 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.

4 cadavres ont été retrouvés sous l'éolienne E4, équipée d'un enregistreur. Au moins 2 cas (voire 3) ont été relevés au sol alors qu'aucune activité à risque n'a été relevée en hauteur. Un seul cas (en septembre) semble corrélé à l'activité importante relevée en hauteur (lié au pic du 3 septembre 2020).

8 cadavres ont été retrouvés sous l'éolienne E2, non équipée d'un enregistreur. Ces derniers semblent assez bien corrélés à l'activité à risque relevée en nacelle d'éolienne E4. Un cas (en juin) semble pourtant déconnecté de l'activité à risque en hauteur.

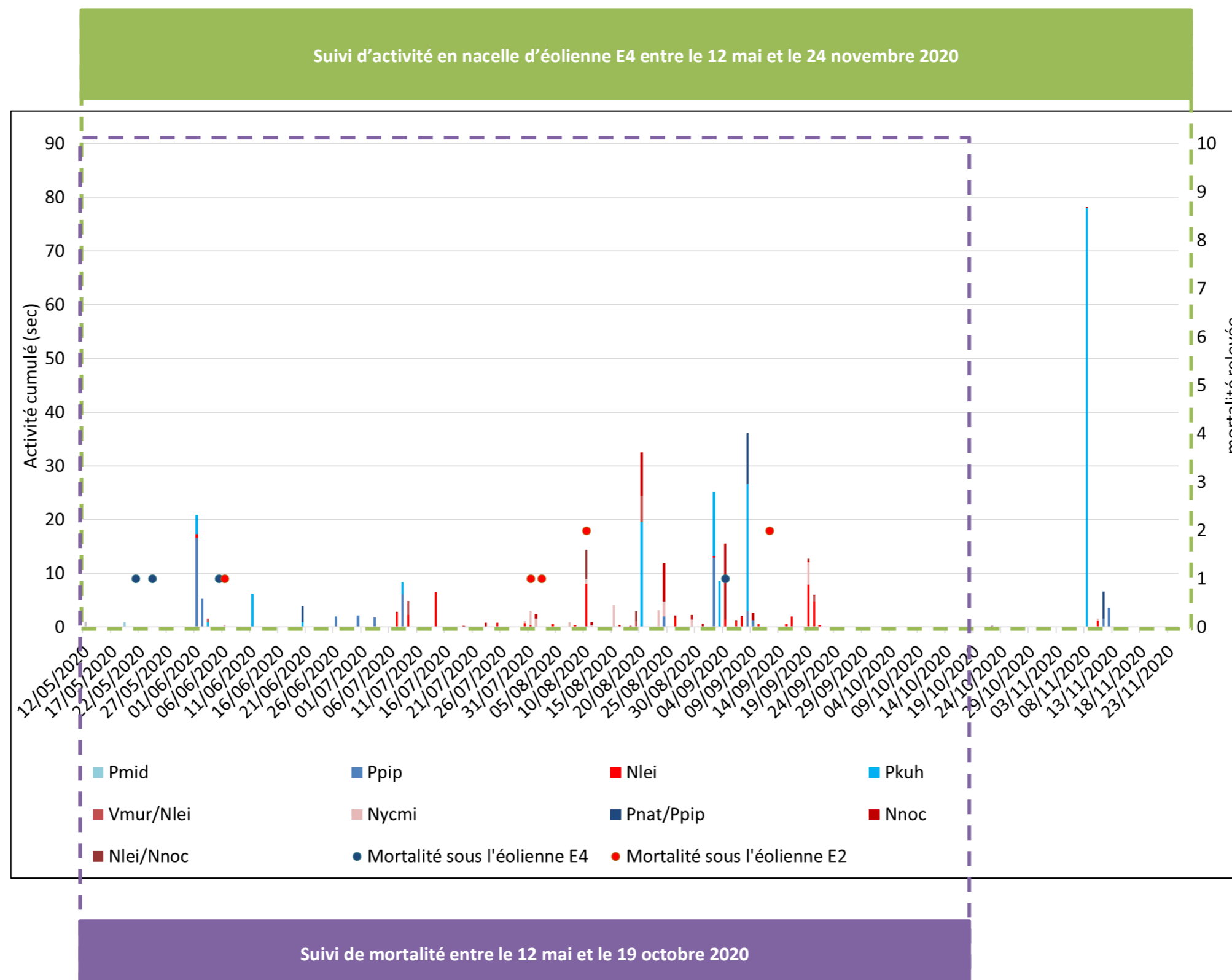
A noter que peu de cadavres semblent liés aux pics d'activité relevés en hauteur (1^{er} juin, 3 septembre). En novembre, il n'est pas possible de savoir si des individus ont été impactés au cours de la nuit de pic du 8 novembre, le suivi de la mortalité s'étant arrêté le 19 octobre.

D'après la figure page suivante, une nuit se caractérise par un niveau d'activité modéré à fort (le 08/11/2020) et 8 nuits sont de niveau modéré (entre 10 et 50 secs d'activité cumulée). Les autres nuits, l'activité est plus faible. A propos des pics d'activité, une partie de l'activité relevée lors de ces pics a eu lieu lorsque les pales ne tournaient pas, c'est le cas notamment pour la nuit du 03 septembre, ce qui explique pourquoi aucun cadavre n'a été retrouvé les jours suivants. Mais, environ la moitié de l'activité de pic du 1^{er} juin (de niveau modéré à fort) a été relevée lorsque les pales d'éoliennes tournaient. Cela pourrait expliquer le cadavre retrouvé le 05 juin sous E4. Pour ce qui est des cadavres retrouvés sous E4 fin mai sans activité associée, il peut s'agir de chiroptères ayant été actifs en limite de rotor et n'ayant donc pas été détectés par le Batcorder.

Compte tenu des différents biais liés au suivi mortalité, il est possible que des individus aient été impactés sur la période d'activité à risque (de fin juin à mi-septembre) sans qu'ils ne soient découverts. En effet, même si la détection est bonne sur ce site ($d = 0.63$), la prédation importante sur le site (disparition des cadavres en 3-4 jours) peut faire disparaître un cadavre avant que le prospecteur vienne sur le site (intervalle moyen entre 2 visites de près de 7 jours). Bien que 100% des surfaces ont été prospectées, il reste possible qu'un cadavre ait été dispersé sans être découvert (biais observateur, végétation le recouvrant, ...).

Au vu de ces éléments, il est donc possible que la mortalité soit plus importante que celle retrouvée au sol.

Figure 72 : Chronologie de l'activité chiroptérologique à risque relevée en nacelle d'éolienne E4 (tour rotor > 0) et de la mortalité constatée en 2020



Ce constat laisse supposer que la mortalité n'est pas toujours liée à l'activité relevée en nacelle. Pour le cas retrouvé sous E2 (en juin) qui ne semble pas corrélé à l'activité à risque en hauteur, il est supposé que l'activité chiroptérologique relevée en nacelle diverge légèrement d'une éolienne à une autre. Ainsi, l'activité à risque a pu être plus importante en nacelle d'E2. En effet, le suivi d'activité a été fait en nacelle d'éolienne E4, tandis que la mortalité a été relevée sous les éoliennes E2 et E4.

Pour ce qui est des quelques cas découverts sous E4 et déconnectés de l'activité à risque relevée en hauteur, plusieurs hypothèses peuvent être émises :

- Une non-détection des individus passant dans ou à proximité du rotor ;
- Un effet lisière lié à une faible distance entre le bas du rotor et la lisière la plus proche.

1/ Non-détection des individus

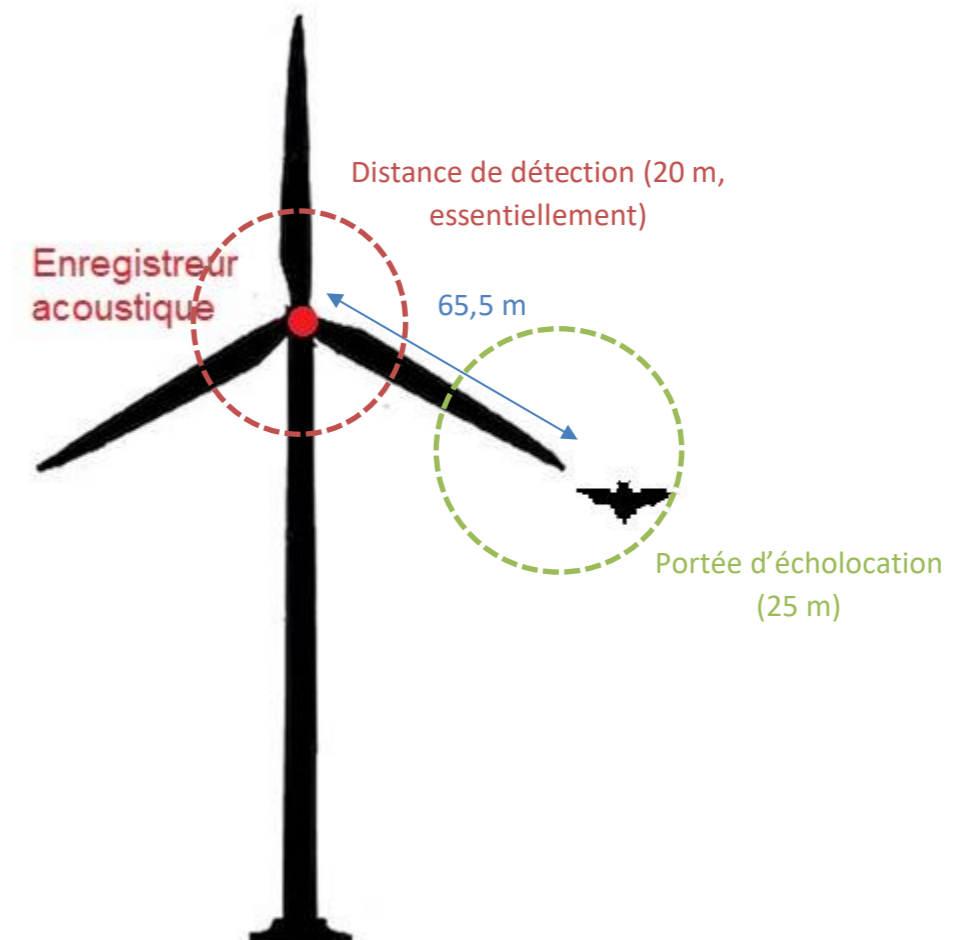
Une hypothèse pourrait être que l'enregistreur n'a pas capté les individus présents dans la zone de risque :

- soit ils étaient présents dans la zone de détection mais un dysfonctionnement de l'enregistreur ou une mauvaise qualité du signal émis n'a pas permis l'enregistrement (signal pas assez intense/fort, signal émis dans une direction opposée à l'enregistreur...) ; dans le cas présent, l'enregistreur a pu couvrir l'ensemble de la période de suivi, sans problèmes techniques.
- soit ils étaient présents dans la zone de détection mais n'émettaient pas,
- soit ils étaient en dehors de la zone de détection :
 - o plus en hauteur
 - o ou plus proche du sol (notamment dans le cas de lisières proche des éoliennes).

Dans le dernier cas, le rotor important des machines (rayon de 65,5 m), la portée d'écholocation des pipistrelles (25 m) et la distance de détection de l'enregistreur (jusqu'à 20 m essentiellement) ne permettent pas de capter tous les signaux de chauves-souris volant en bordure du champ de rotation des pales. La figure ci-dessous permet d'illustrer ce constat.

Il peut aussi s'agir d'individus ne rentrant pas dans le champ de rotation des pales, qui auraient succombés par barotraumatisme, ce qui suppose une distance à l'enregistreur acoustique plus importante et donc potentiellement une non-détection des signaux si la portée d'écholocation est faible.

Figure 73 : Schéma explicatif des notions de distance de détection



2/ Effet lisière

Au vu du cortège d'espèces impacté (essentiellement des espèces de lisières type pipistrelle et plus faiblement des espèces de haut vol type noctule) et de la configuration du parc, plusieurs types de risques de mortalité peuvent être identifiés sur ce parc (cf. Figure page 73) :

- Des risques de mortalité liés à l'activité de plein ciel d'espèces de haut vol (Noctule commune),
- Des risques de mortalité liés à l'activité régulière des espèces de lisières (Pipistrelle commune et Pipistrelle de Kuhl) le long des boisements pour les éoliennes E1 et E4,
- Des risques de mortalité liés à la prise de hauteur ponctuelle des espèces de lisières (pics massifs et ponctuels).

Le fait que la mortalité sous E4 semble parfois déconnectée de l'activité en hauteur pourrait être mis en lien avec la proximité entre le bout des pales et le haut des lisières (éolienne à proximité d'un bosquet). Le tableau suivant détaille l'ensemble de ces éléments. Ces calculs ont été estimés via le théorème de Pythagore sur la base du schéma ci-dessous.

Figure 74 : Schéma de représentation des distances des éoliennes (mât et rotor) aux lisières les plus proches

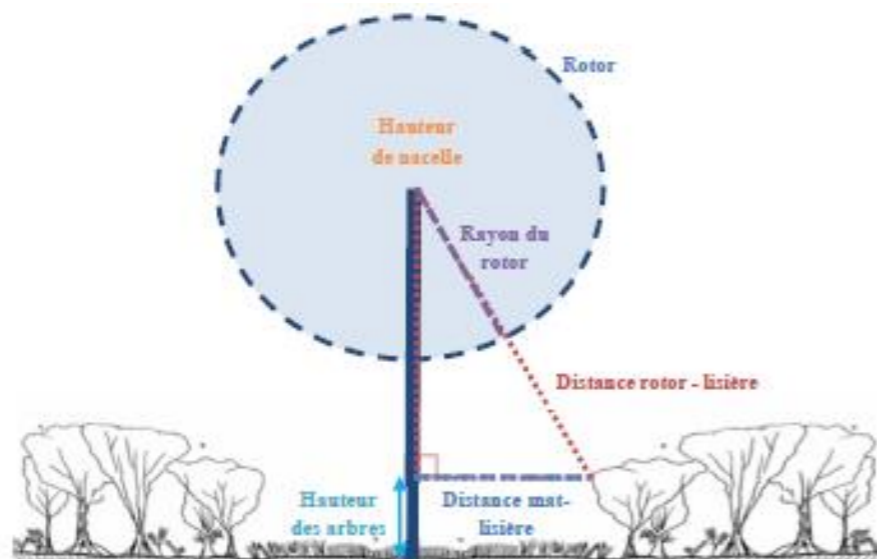


Figure 75 : Détail du calcul de la distance entre le bas du rotor et la lisière la plus proche

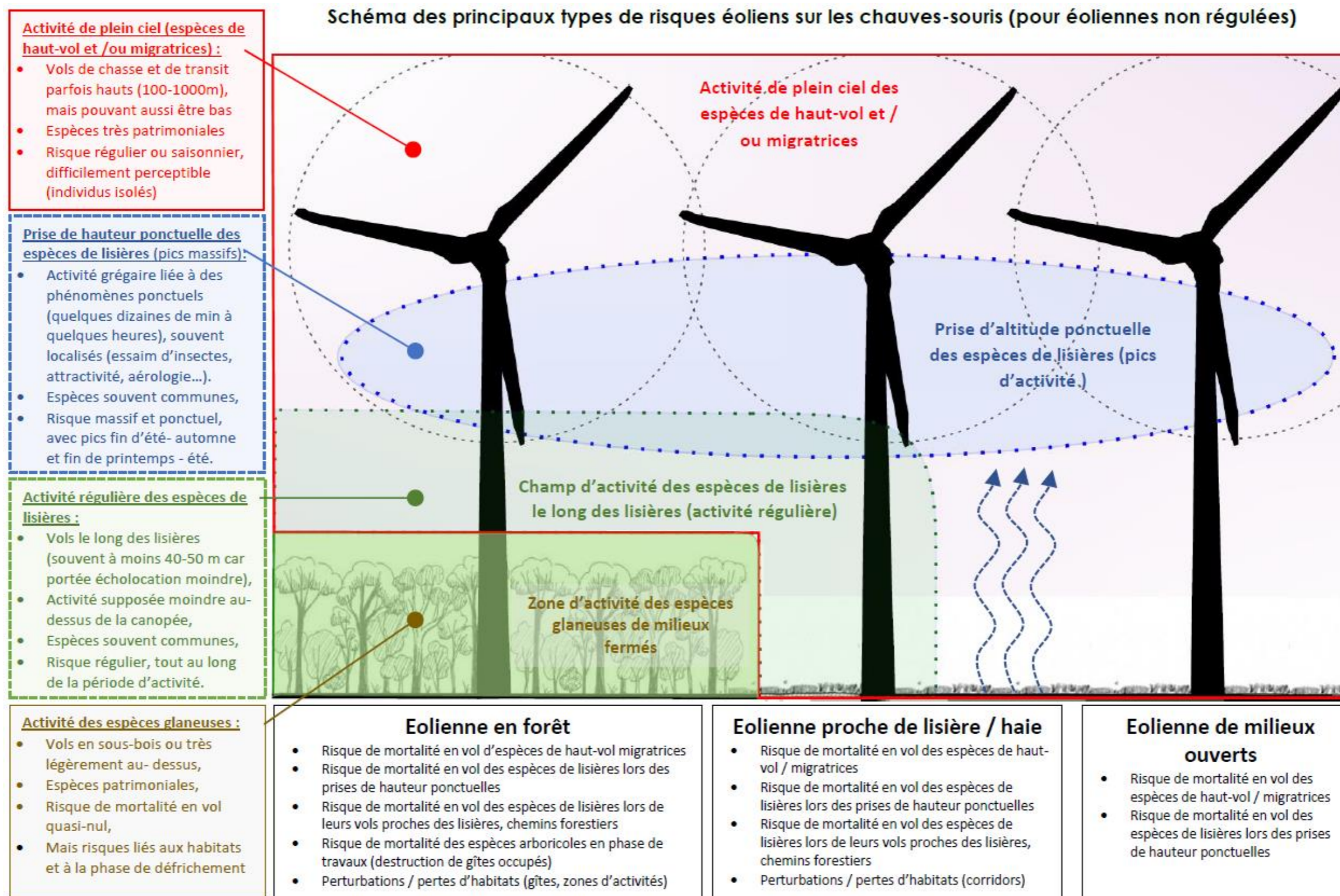
Eolienne	Rayon du rotor (en m)	Hauteur de la nacelle (en m)	Garde au sol (en m)	Hauteur moyenne de la lisière la plus proche (en m)	Distance à la lisière la plus proche (en m)	Distance entre le bas du rotor et la lisière la plus proche (en m)	Nombre de cas de mortalité retrouvés au sol en 2020
E1	65,5	99	33,5	10	146,16	105,62	0
E2				aucune lisière proche			8
E3				aucune lisière proche			0
E4				10	86,39	58,53	4

- Pour le parc éolien de Saint-Ambroix, la hauteur de nacelle des éoliennes est de 99 m et le diamètre du rotor est de 131m. **La garde au sol (distance entre le bas du rotor et le sol) est donc de 33,5 m.**
- Avec une distance entre le mât et la lisière la plus proche d'environ 58,5 mètres (éolienne E4), et une hauteur maximale des arbres de l'ordre de 10 m, **la distance minimale estimée entre rotor et la lisière la plus proche serait de 58,53 mètres.**

D'après une étude de V. Kelm (2013), l'activité des chiroptères est concentrée à moins de 50 mètres des lisières. **Sur le parc éolien de Saint-Ambroix, le rotor ne balaye donc pas le champ d'activité théorique des espèces de lisières (sur le plan oblique).** Ce constat n'est pas surprenant : la typologie des mortalités sur ce parc, c'est-à-dire des pics de mortalités, traduit l'existence de situations à risque lorsque certaines conditions particulières poussent les chauves-souris à s'éloigner des lisières de manière ponctuelle. La proximité de quelques éoliennes du parc avec des haies arbustives semble avoir peu d'importance dans la survenue de situations à risques, comme en témoignent les nombreuses mortalités au niveau de l'éolienne E2 en milieu très ouvert.

Ainsi, sur le parc de Saint-Ambroix, l'effet de lisière peut être exclu pour expliquer les quelques cas de mortalité déconnectés de l'activité relevée en hauteur en 2020. Toutefois, sur le plan vertical, la faible garde au sol des éoliennes du parc (33,5 mètres) implique que le rotor balaye en partie la zone d'activité de ces espèces et crée des risques de mortalité potentiels. En effet, les milieux ouverts peuvent aussi ponctuellement servir de zones de chasses, voire être considérés comme lisières si la hauteur de la culture est importante. Ce phénomène a déjà pu être observé sur un autre site, concerné par des champs de maïs. Lorsque les sols se réchauffent, des ascendances thermiques peuvent se former, qui drainent les insectes en hauteur et donc les chauves-souris. Elles sont donc susceptibles d'augmenter leur hauteur de vol ponctuellement depuis le sol, sans être captées depuis l'enregistreur en nacelle.

Figure 76 : Schéma théorique de l'activité des chiroptères selon le type de vol et problématiques liées aux différents types d'implantation des éoliennes (forêt, lisière ou milieu ouvert)



6. EVALUATION DES IMPACTS DU PARC ÉOLIEN DE SAINT-AMBROIX

6.1. Concernant les chiroptères

6.1.1 Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

La comparaison des résultats des deux méthodes de calculs (moyenne et pondérée) montre une faible différence en 2020.

En 2020, le taux de mortalité, selon nos méthodes de calcul, varie autour de **27 cas de mortalité par éolienne et par an** en moyenne. L'application Shiny a pu calculer qu'il y a environ 80% de chance que le taux de mortalité se situe entre 20 et 60 cas de mortalité par an. Cela correspondrait à entre 80 et 240 mortalités pour l'ensemble du parc éolien pour une année. En considérant la médiane, le taux de mortalité est estimé à **36 cas/éolienne/an**, ce qui concorde avec nos estimations même si nos résultats se situent plutôt dans la fourchette basse. Ainsi, entre nos méthodes de calculs et celles de l'application Shiny, **le taux de mortalité est estimé à entre 27 et 36 cas de mortalité/éolienne/an**. Pour rappel, 11 chauves-souris ont été retrouvées au pied des 4 éoliennes du parc au cours du suivi de la mortalité de 5 mois. 2 autres cadavres ont été retrouvés au cours d'une visite retour-tests pour suivre la disparition des poussins dans le cadre d'un des tests prédation. Ces estimations de taux de mortalité sont soumises à de nombreux biais, mais les résultats obtenus ne semblent pas surestimer la réalité : les estimateurs calculés possèdent des valeurs classiques par rapport à ce qui est retrouvé dans d'autres parcs éoliens. Ce taux de mortalité élevé est donc influencé par le grand nombre de cadavres retrouvés au pied des éoliennes et le délai de près de 7 jours entre deux visites. Ce pas de temps élevé implique qu'un grand nombre de cadavres tombés au sol disparaissent entre deux visites.

D'après les données actuellement disponibles en France (cf. tableau de la page suivante) mais aussi en Europe, cette estimation de la mortalité en 2020 témoignerait **d'une valeur de mortalité par éolienne et par an élevée vis-à-vis des chauves-souris** (sur la base de nos méthodes de calcul). La fourchette de taux de mortalité correspondrait effectivement à des résultats obtenus sous des parcs éoliens dont l'impact peut être qualifié d'élevé (Bouin, Castelnau Pegayrols). Même si cette analyse comparative reste délicate et soumise à de nombreux facteurs locaux (contraintes techniques de recherche, pression de suivi...), **cette estimation ne semble pas révéler la présence d'un niveau de mortalité jugé hors-norme**, d'un niveau équivalent à ce qui a pu être récemment observé sur d'autres parcs éoliens français dont le niveau de mortalité est qualifié de haut. Ces parcs sont situés dans des contextes biogéographiques particuliers (Bouin en littoral atlantique (Dulac, 2006), Castelnau Pégayrols en contexte forestier et ligne de crête (Beucher & Kelm, 2009-2010)), mais plus faibles que ceux obtenus pour le parc de la Leuze en plaine camarguaise de la Crau (GCP, 2010), ou les parcs Drômois en forêt ou bordure de canal (Cornut et Vincent, 2010).

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

Figure 77 : 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 Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2011	0,95 - 0,99	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) 2011
Canet de Salars	12	Prairies bocagères	2011	1,29-1,41	Albespy, Beucher (2015)
Castelnau Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2010	1,3 - 2	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) 2010
Haut Cabardès	11	Forêt de résineux + lisières	2012	1,6 - 1,9	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) 2012
Arfons	81	Ancienne forêt de résineux de moyenne montagne + qq lisières et îlots de boisements mixtes	2010	2,2 - 2,8	EXEN, EKO-LOGIK, LPO 81, ECOTONE 2013
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2008	3,12	ALEPE 2009
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 Pegayrols	12	Forêt de résineux + lisières + qq milieux ouverts	2009	26,8 - 31,1	Beucher, Kelm (EXEN, KJM) 2011
Le Pouzin	7	Bordure de canal	05/05 - 20/10/2010	44 - 76	Cornut & Vincent 2010
Mas de Leuze	13	Plaine camarguaise	17/3 - 27/11/2009	79,3	Aves et GCP 2010
La Répara-Auriples	26	Forêt de résineux et lisières	05/05 - 20/10/2010	79 - 87	Cornut & Vincent 2010

Figure 78 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE)

Site	Période de l'année	Nombre de victimes / éolienne / an (*ou pour la période d'étude)	Référence
EUROPE			
Portugal (12 sites)	2005 à 2010	0	Plusieurs auteurs
Caravelas (Portugal)	2006	0,22	Strix, 2008 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Fumas (Portugal)	2006, 2007	0,8	Alves et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Seladolino (Portugal)	2006	0,8	Alves et al., 2009 et 2010 in Dubourg-Savage et al., 2011
Pinhal Interior - Proença I e II (Portugal)	2006	1,8	Lopes et al., 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

6.1.2 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.

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.

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

- Négligeable : espèce non identifiée précisément sur le site ;
- Très faible : quelques contacts ponctuels durant l'année ;
- Faible : plusieurs contacts ponctuels mais irréguliers durant l'année ;
- Faible à modéré : plusieurs contacts et assez réguliers durant l'année.

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

- Forte pour la Pipistrelle commune ;
- Modérée pour la Noctule commune et la Pipistrelle de Kuhl ;
- Faible à modérée pour la Noctule de Leisler ;

- Faible pour la Pipistrelle de Nathusius et la Sérotine bicolore.
- Très faible pour la Sérotine commune

Cette évaluation du risque d'occurrence de mortalité sur le site se base sur le nombre de cadavres découverts sous les éoliennes ; Etant donné, la prédation existant sur le site et la possibilité que des cadavres n'aient pas été retrouvés par le découvreur, le nombre d'individus réellement tués est supérieur. Par exemple, 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.

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

Figure 79 : Niveau d'intensité des risques de mortalité (en gris les espèces identifiées avec certitude via le suivi d'activité en hauteur et/ou le suivi de la mortalité au sol)

Espèce	Nom scientifique	Sensibilité théorique vis-à-vis de l'éolien	Niveau de fréquentation	Mortalité relevée sur le site éolien	Risque d'occurrence sur le site
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Forte	Faible	2	Modéré
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Forte	Faible	0	Faible à modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Forte	Faible à modéré	9	Fort
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Modérée à forte	Faible à modéré	1	Modéré
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Forte	Négligeable	0	Faible
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Modérée à forte	Négligeable	0	Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Modérée	Très faible	0	Très faible
Chiroptère sp.				1	

➤ 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. Au final, quatre niveaux d'impact (modéré à fort, modéré, faible à modéré, faible) ont été définis comme indiqué dans le tableau suivant en croisant le niveau d'intensité de l'impact avec le niveau d'enjeu écologique.

Figure 80 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010)

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

Figure 81 : Évaluation des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix sur les chauves-souris (en gris 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 sur le site	Niveau d'impact théorique
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Modéré à fort	Modéré	Modéré
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Modéré à fort	Faible à modéré	Modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Modéré	Fort	Modéré à fort
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Très faible	Modéré	Faible à modéré
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Modéré	Faible	Faible à modéré
Sérotine bicolore	<i>Vespertilio murinus</i>	Faible à modéré	Faible	Faible
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Modéré	Très faible	Faible
Chiroptère sp.				

Finalement, il apparaît que l'espèce au niveau d'impact le plus important est la Pipistrelle commune (**niveau d'impact théorique modéré à fort**), suivi par la Noctule commune et la Noctule de Leisler (**niveau d'impact théorique modéré**). Celles-ci sont suivies notamment par la Pipistrelle de Kuhl et la Pipistrelle de Nathusius (niveau d'impact faible à modéré) puis par la Sérotine bicolore et la Sérotine commune, d'un niveau d'impact faible. **L'analyse croisée entre les données mortalité et les données activité laisse supposer que le niveau d'impact spécifique est potentiellement sous-estimé.**

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.

6.2. Concernant les oiseaux

6.2.1 Analyse quantitative des impacts sur les oiseaux

La comparaison des résultats des deux méthodes de calculs (moyenne et pondérée) montre une faible différence en 2020. Le taux de mortalité est estimé à environ 12 à 13 cas de mortalité par éolienne et par an pour la méthode des moyennes et la méthode pondérée. Cela correspondrait à environ 48 à 52 cas de mortalité pour le parc entier et par an. L'application Shiny a pu calculer qu'il y a environ 80% de chance que le taux de mortalité se situe entre 4 et 26 cas de mortalité par an. Cela correspondrait à entre 16 et 104 mortalités pour l'ensemble du parc éolien pour une année. En considérant la médiane, le taux de mortalité est estimé à **14 cas/éolienne/an**.

Pour rappel, 4 oiseaux et une plumée ont été retrouvés au sol sur 5 mois de suivi en 2020 (données brutes). 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, du taux de détection des cadavres, de l'écart important entre 2 visites (permettant théoriquement à de nombreux cadavres de disparaître avant le passage d'une nouvelle visite) et du coefficient surfacique.

Le taux de mortalité semble donc « classique », par rapport à ce qui a été observé sur d'autres parcs français et européens suivis dans les mêmes conditions. Si les résultats restent encore peu nombreux à l'échelle régionale, les évaluations à l'échelle nationale ou européenne montrent généralement un taux de mortalité variant de 0 à 10 oiseaux/éolienne/an. Les parcs que nous avons suivi dans les départements de l'Aveyron, du Tarn, de l'Hérault ou du Cantal montrent des niveaux de mortalité généralement similaires (voire légèrement inférieurs) pour les oiseaux. Les niveaux de mortalité varient considérablement selon les situations locales et notamment selon les milieux. Des taux de mortalité sont en effet bien plus élevés pour des parcs installés sur des sites fréquentés par des espèces sensibles et en forte densité (vautours espagnols, rapaces californiens, laridés de Vendée (parc de Bouin, DULAC 2008...)). À titre de comparaison, sous ces parcs éoliens qui font aujourd'hui référence parmi les plus meurtriers, les taux de mortalité peuvent dépasser les 30 oiseaux/éolienne/an, correspondant à plusieurs centaines de cadavres sur chaque parc selon leur taille.

L'analyse quantitative de la mortalité des oiseaux sur le parc éolien de Saint-Ambroix tend plutôt vers un niveau d'impact faible à modéré en 2020.

6.2.2 Analyse qualitative des impacts sur les oiseaux

5 espèces d'oiseaux ont été impactées dont 2 sont des espèces protégées : le Bruant jaune et le Busard Saint-Martin. Deux autres espèces ont été impactées et sont considérées comme gibier chassable : l'Alouette des champs et la Perdrix grise. Une alouette n'a pas pu être déterminée plus précisément.

Le Bruant jaune est une espèce modérément affectée par l'éolien. Il correspond à la 52^{ème} espèce la plus impactée en Europe (avec 49 cas de mortalité en Europe, T. Dürr 2020). Cette espèce est classée en vulnérable en France et en quasi-menacé en région Centre (pour les oiseaux nicheurs). Un individu a été retrouvé sous l'éolienne E2 le 23 juillet 2020. Sa date de mortalité est estimée au 15 juillet 2020. A cette période, il doit s'agir d'un individu nicheur. La mortalité correspond donc probablement à un vol de prospection alimentaire réalisé en période de reproduction pour l'élevage des jeunes.

Le Busard Saint-Martin fait partie des espèces peu affectées par l'éolien. Elle correspond à la 121^{ème} espèce la plus impactée en Europe (avec 13 cas de mortalité en Europe, T. Dürr 2020). Cette espèce est classée en préoccupation mineure en France et en quasi-menacée en région Centre (pour les oiseaux nicheurs). Un individu a été retrouvé sous l'éolienne E2 le 30 juillet 2020. Sa date de mortalité est estimée au 25 juillet 2020. A cette période, le Busard Saint-Martin est probablement en fin de période de reproduction et d'élevage des jeunes. Les busards s'apprentent à quitter leur site de reproduction pour rejoindre le Sud de la France. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire, mais un individu migrateur précoce n'est pas à exclure.

L'Alouette des champs fait partie des espèces les plus sensibles à l'éolien. Elle correspond à la 8^{ème} espèce la plus impactée en Europe (avec 385 cas de mortalité en Europe, T. Dürr 2020). Cette espèce est classée en quasi-menacée en France et en région Centre (pour les oiseaux nicheurs). Une plumée a été retrouvée sous l'éolienne E3 le 2 juin 2020. A cette période, l'Alouette des champs est probablement un individu nicheur en période de reproduction. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire liés à l'élevage des jeunes. Un autre cas de mortalité correspond probablement à cette espèce (notée en Alouette sp.).

La Perdrix grise est une espèce modérément affectée par l'éolien. Elle correspond à la 46^{ème} espèce la plus impactée en Europe (avec 66 cas de mortalité en Europe, T. Dürr 2020). Cette espèce est classée en préoccupation mineure en France, et quasi-menacée en région Centre. Un individu a été retrouvé sous l'éolienne E1 le 2 juin 2020. A cette période, la Perdrix grise est probablement un individu nicheur en période de reproduction. La majorité des vols effectués concerne donc potentiellement des vols de prospection alimentaire liés à l'élevage des jeunes.

A nouveau, cette évaluation des impacts qualitatifs sur l'avifaune se base sur les cadavres retrouvés (espèce et nombre de cadavres découverts). Dans la mesure où ces espèces ont été retrouvées une seule fois sous les éoliennes, **cela tend vers la perception d'un impact faible à modéré du parc éolien de Saint-Ambroix vis-à-vis de l'activité des oiseaux nicheurs, et d'un impact quasi-inexistant pour les migrateurs.** Finalement, **l'impact qualitatif du parc éolien de Saint-Ambroix sur les populations d'oiseaux est jugé faible pour ces espèces, excepté pour le Bruant jaune dont la valeur patrimoniale justifie un impact jugé faible à modéré.**

7. MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS

7.1. Concernant les chiroptères

7.1.1 Mesure de régulation de l'activité des éoliennes

L'expérience montre que la régulation de l'activité des éoliennes peut être un moyen efficace de réduction du risque de mortalités, tout en limitant la perte de production électrique du parc. L'activité des chauves-souris chute en effet globalement de façon corrélée avec l'augmentation de la vitesse du vent. En limitant l'exploitation du parc sous des seuils de vents faibles, il est alors possible de « protéger » une partie plus ou moins importante de l'activité des chauves-souris (selon les espèces, leurs comportements vis-à-vis du vent, leur taille et leur intensité d'activité sur site). Il s'agit également de la principale possibilité de limiter l'importance des effets des mortalités cumulés sur la dynamique des populations locales dans un contexte de développement éolien dense.

De façon générale, plusieurs types de régulations sont envisageables au niveau des parcs éoliens selon le niveau de risque pressenti et les suivis réalisés :

- A. **Une régulation préventive sous seuil de production** (par vent très faible), il s'agit, soit :
- de faire en sorte que le rotor soit quasiment à l'arrêt lorsque la vitesse de vent n'est pas suffisante pour permettre aux éoliennes de produire de l'électricité,
 - de réduire au maximum la vitesse de rotation des pales d'éoliennes lorsque la vitesse de vent n'est pas suffisante pour permettre aux éoliennes de produire de l'électricité.
- La différence entre ces deux modes de régulation préventive sous seuil de production réside généralement dans l'importance de l'angle de mise en drapeau des pales, paramètre fixé par le constructeur en général.
- B. **Une régulation préventive par convention** basée uniquement sur les retours d'expériences sur d'autres parcs éoliens et non sur les données du site en question. Cette régulation sera mise en place lorsqu'aucun suivi chiroptère en altitude (sur mât de mesure ou en nacelle d'éolienne, à plus de 50 m du sol) n'aura été effectué. Il conviendra alors à terme, de mettre en place le plus rapidement possible une régulation multicritère et proportionnée.
- C. **Une régulation multicritère et proportionnée (ou régulation prédictive)** basée sur les données d'un suivi en continu et à hauteur de rotor pendant au moins une campagne d'activité de référence. Ce type de régulation est proportionné à la typologie des risques identifiée sur le site et vise une protection des chiroptères tout en essayant au maximum d'optimiser la production électrique. Le suivi en continu en altitude réalisé lors de l'état initial est le seul type de suivi permettant une bonne prise en compte des risques de mortalité proportionnée dès la première année d'exploitation.

La mise en place de la régulation (selon le pattern décrit page suivante) devra permettre **de diminuer fortement la vitesse de rotation des pales des éoliennes (mise en drapeau ou autre moyen technique) lorsque la régulation est activée.**

Dans notre cas précis, un suivi de la mortalité couplé à un suivi de l'activité chiroptérologique en hauteur ont été réalisés en 2020. Il est donc logique de s'appuyer sur ces informations locales afin de dimensionner le plan de régulation qui sera mis en place au niveau du parc éolien de Saint-Ambroix.

Actuellement, aucun pattern de régulation visant la protection des chiroptères n'est mis en place sur le parc existant.

7.1.1.1 Mesure de régulation préventive par très faibles vitesses de vent non exploitables par les éoliennes

Le dimensionnement d'un pattern de régulation multicritère et proportionné aux conditions de risques locales n'enlève en rien l'intérêt de la mesure de régulation sous seuil de production. Il s'agira donc dans un premier temps de **faire en sorte d'arrêter ou de réduire fortement la vitesse de rotation des pales des éoliennes par leur mise en drapeau lorsque la vitesse du vent est trop faible pour produire de l'électricité.** La mise en drapeau des éoliennes consiste à modifier l'angle du pitch de 90° pour faire opposition maximum au vent et donc induire l'absence ou la très faible rotation des pales par ces vitesses de vent faibles. C'est en effet lors de ces faibles vitesses de vent que l'activité des chauves-souris est la plus importante en général.

La plupart des études internationales sur l'efficacité des mesures de régulations en faveur des chauves-souris (Behr & von Helversen 2006, Kunz 2007, Baerwald & al. 2009, Arnett & al. 2011, Young & al. 2011, Arnett 2013...) converge en effet vers une perception des risques de mortalité concentrés pour des faibles, voire très faibles vitesses de vent (3-4 m/s). Dans ces conditions, les éoliennes peuvent pourtant tourner sans produire réellement d'électricité.

Une expérience, rapportée par Arnett 2013, a montré l'efficacité de la mise en drapeau sous des seuils de vitesses de démarrage différents. Lors de la mise en drapeau pour des vents inférieurs à 3,5 m/s, 4,5 m/s et 5,5 m/s, la mortalité a diminué respectivement de 36,3%, 56,7% et 73,3% par rapport au témoin. **Cette mesure de régulation préventive** est recommandée par EUROBATS au niveau international, recommandation reprise par les guides de la SFEPM (2016). Elle sera appliquée au niveau du parc de Saint-Ambroix pour la préservation des risques récurrents en phase d'exploitation pour les chiroptères.

Ici, on considérera une vitesse de vent de démarrage à 3 m/s, ce qui est généralement observé pour la majorité des modèles d'éoliennes.

Pour ce qui est de la période de mise en place, l'activité des chiroptères est relevée de début juin à mi-novembre sur la campagne de référence de 2020. Néanmoins, l'activité printanière n'a pas été enregistrée, il s'agira donc de mettre en place cette régulation dès la mi-mars, période de début d'activité des chauves-souris, à mi-novembre.

Il s'agira donc de mettre en place cette mesure de régulation préventive sous seuil de production (mise en drapeau) selon le pattern suivant :

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

La présence d'averses continues limite aussi largement l'activité des chauves-souris. Là encore, ce type de perception dépend du niveau des précipitations, des espèces et des modalités de fréquentation du site. Pour une activité de chasse, la pluie intense limite considérablement l'activité des insectes proies et limite donc les possibilités d'alimentation. Elle contribue aussi à refroidir les chauves-souris qui doivent dépenser plus d'énergie pour se réchauffer. Mais une faible pluie peut permettre encore une certaine activité des insectes et donc des chauves-souris.

Aussi en ce qui concerne la régulation à envisager, nous pouvons retenir la possibilité de ne pas réguler les éoliennes lors de conditions d'averses notables. Nous proposons alors de considérer comme « averses notables » des précipitations à la fois continues dans le temps (pour une durée > 15 min) et marquées en intensité (> 5 mm/h). Autrement dit, les mesures de régulation pourront être levées après 15 minutes de pluie > 5 mm/h.

Cette régulation sous seuil de production (si un seuil à 3m/s est retenu) permet de protéger 84 % de l'activité chiroptérologique relevée en 2020 (122 sec restantes sur un total de 793 sec enregistrées en 2020), toutes espèces confondues. Cette simulation se base sur une valeur seuil de vitesse de vent de 3 m/s.

7.1.1.2 Mesure de régulation prédictive, multicritère et proportionnée aux caractéristiques locales du risque

Pour cette principale mesure prioritaire, le dimensionnement de la régulation est basé sur une déclinaison des différents comportements à risques de mortalité en vol. Le pattern retenu doit alors prendre en compte les conditions les plus défavorables de chacune des problématiques.

➤ Problématique de prise ponctuelle d'altitude par les espèces de lisière

En ce qui concerne la problématique de risques d'impacts liés à la prise ponctuelle d'altitude des espèces de lisières, l'analyse d'activité sur l'éolienne E4 du parc éolien de Saint-Ambroix montre que le parc actuel est confronté à plusieurs pics d'activité ponctuels tout au long de la période d'activité chiroptérologique. Le niveau d'intensité de ces pics peut se révéler important. Cependant, il doit être variable suivant la position des éoliennes et leur exposition aux essaimages d'insectes et effets d'aérologie.

Pour dimensionner ce pattern ciblé sur ce type de comportement des espèces de lisières, il est nécessaire de se baser sur les conditions liées à la formation des principaux pics d'activité concernant ces espèces à l'état initial. Il s'agit principalement du pic du 8 novembre 2020 qui est le plus élevé (niveau d'activité modéré à fort pour les espèces de lisières), mais aussi des pics du 1^{er} juin et du 3 septembre.

En ce qui concerne la période à cibler, ces pics confirment ce qui est observé généralement sur les autres sites. Les pics d'activité sont en effet relevés principalement en fin de printemps/début d'été et fin d'été/début d'automne. Dans le cas présent, le pic du 8 novembre est assez tardif, mais il doit être pris en compte dans la définition du pattern. La période de régulation à retenir s'étendra donc de début mai à mi-novembre.

A propos de la vitesse du vent, elle varie entre 0,6 et 2,4 m/s au cours des 3 nuits de pic identifiées au cours du suivi d'activité. Un seuil de 3 m/s sera retenu pour cette problématique.

Concernant la température, les pics d'activité ont été caractérisés par des températures supérieures à 17°C. Un seuil de 17°C sera retenu pour cette problématique.

En ce qui concerne les heures à risques pour ces pics d'activité, l'analyse témoigne d'un rythme d'activité nocturne variable selon les pics : plutôt de milieu de nuit en juin et en septembre et en tout début de nuit en novembre. Par expérience, le rythme nocturne relevé lors des pics varie sensiblement d'un pic à l'autre mais aussi d'une année à l'autre. Par précaution, en tenant compte de cette variabilité, le plan de

régulation sera donc mis en place dès 15 min après le coucher du soleil jusqu'à 15 min avant le lever du soleil.

Toutes les éoliennes seront à cibler, car elles sont toutes potentiellement concernées par cette problématique de mortalité.

Finalement, le pattern de régulation suivant semble proportionné et suffisamment conservateur pour maîtriser ce type de problématique sur le parc de Saint-Ambroix. L'arrêt des machines est défini selon les conditions suivantes :

- Du **1^{er} mai au 15 novembre**,
- Vitesse de **vent inférieure ou égale à 3 m/s** (à hauteur de moyeu) et,
- Pour des **températures supérieures ou égales à 17°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).

➤ Problématique d'activité régulière des espèces de lisière

Concernant la problématique de mortalité des espèces de lisières dans leur activité « classique » (hors pics), les pipistrelles ont été actives entre mi-mai et mi-novembre. C'est aussi sur cette période que les cas de pipistrelles ont été retrouvés au sol. La confrontation entre les données de mortalité et celle des données d'activité à risque montre aussi que les mortalités ne sont pas forcément liées à des pics d'activité en hauteur, mais potentiellement à une activité régulière proche du sol (non captée par l'enregistreur). De plus, la période printanière n'a pas été suivie. Par précaution, il s'agira d'étendre la période de régulation sur le printemps. L'activité ayant été enregistrée jusqu'à mi-novembre (pic d'activité tardif), il n'est pas exclu que l'activité chiroptérologique soit aussi précoce. Le pattern de régulation concernera donc la période du 15 mars au 15 novembre.

Sur le suivi en continu, plus de 95 % de l'activité des espèces de lisières a lieu par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s.

Globalement, l'activité totale a été enregistrée pour une température minimale de 12°C et pour une température maximale de 32°C. 97% de l'activité des espèces de lisières a été relevée pour des températures supérieures à 15°C. 100% de leur activité est relevée pour des températures supérieures à 12°C.

A propos du rythme nocturne, 94% de l'activité chiroptérologique est relevé entre 1h après le coucher du soleil et 1h avant le lever du soleil. Mais la forte activité relevée en tout début de nuit le 8 novembre, justifie de mettre en place une régulation entre 15 minutes après le coucher du soleil et 15 minutes avant le lever du soleil.

En ce qui concerne les éoliennes à cibler, il est considéré que le niveau de risque est uniforme pour ce type de problématique sur les éoliennes d'Ambroix (même contexte paysager).

Finalement, le pattern de régulation suivant semble proportionné et suffisamment conservateur pour maîtriser ce type de problématique sur le parc éolien d'Ambroix. L'arrêt des machines est défini selon les conditions suivantes :

- 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 minutes après le coucher du soleil à 15 minutes 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).

➤ Problématique des espèces de haut vol, à grand rayon d'action et/ou migratrices

Concernant la problématique de mortalité des espèces de vol haut, les pics d'activité de ce groupe de vol sont assez importants, notamment pour la nuit du 3 septembre, et leur activité est régulièrement contactée en hauteur.

A propos de la période de régulation à retenir pour cette problématique, 2 cadavres de ce groupe de vol ont été retrouvés mi-août et début septembre. D'après le suivi d'activité en hauteur, les espèces de haut vol ont été actives régulièrement en plein ciel entre début juillet et fin septembre essentiellement. La régulation s'étendra donc de mi-juin à mi-octobre, en tenant compte de la variabilité interannuelle (pas de temps de 15 jours de part et d'autre de la période d'activité).

A propos de la vitesse du vent, 87 % de l'activité des espèces de haut vol a lieu par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s. Au cours de la nuit de pic d'activité de noctules, elle varie entre 0,6 et 2,4 m/s. Un seuil de vent de 4 m/s sera retenu.

Globalement, l'activité totale a été enregistrée pour une température minimale de 12°C (12 novembre 2020) et pour une température maximale de 32°C (7 août 2020). Pour ce pic d'activité des espèces de haut vol identifié sur Saint-Ambroix, les températures moyennes relevées sont de 21 à 26°C. Un seuil de température de 12°C sera retenu.

A propos de la plage de régulation nocturne, des contacts de Noctule commune ayant été enregistrés en tout début de nuit et indiquant donc la présence de gîte potentiel autour du parc éolien, il est nécessaire de couvrir cette plage horaire proche du coucher et du lever de soleil (autant l'un que l'autre, afin d'être

cohérent d'un point de vue biologique). Le plan de régulation sera donc mis en place dès 15 min après le coucher du soleil jusqu'à 15 min avant le lever du soleil.

En ce qui concerne les éoliennes à cibler, il est considéré que le niveau de risque en plein ciel est uniforme pour ce type de problématique (vols déconnectés de tous corridors d'habitats au sol). Toutes les éoliennes restent donc potentiellement concernées par ce type de problématique et devront donc être ciblées par la mesure.

Finalement, le pattern de régulation suivant semble proportionné et suffisamment conservateur pour maîtriser ce type de problématique sur le parc éolien de Saint-Ambroix. L'arrêt des machines est défini selon les conditions suivantes :

- Du **15 juin au 15 octobre** et,
- 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 notoire** (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

➤ Pattern de régulation retenu

Finalement, au vu des analyses précédentes, des situations les plus favorables à l'activité des chauves-souris localement, le pattern de régulation le plus approprié est présenté ci-dessous. Il correspondra à un arrêt de l'ensemble des machines selon les conditions suivantes, **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 notoire** (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 notoire** (pluie d'une durée > 15 min et précipitations > 5 mm/h).

La figure ci-dessous et la figure de la page suivante permettent de visualiser l'activité totale relevée en nacelle d'éolienne en 2020 et celle supposée restant à risque si ce pattern de régulation était mis en place. Le pattern de régulation permet donc de protéger plus de 88% de l'activité totale relevée en hauteur. Avec ce pattern, les niveaux d'activité à risque seraient au maximum modérés (pour une nuit), mais faible la plupart du temps.

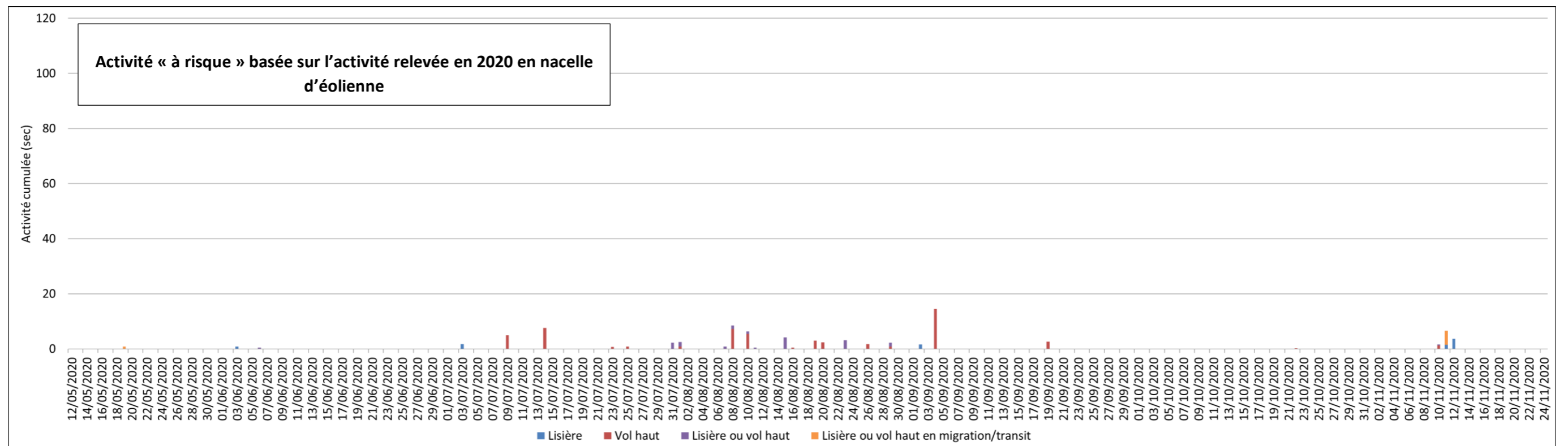
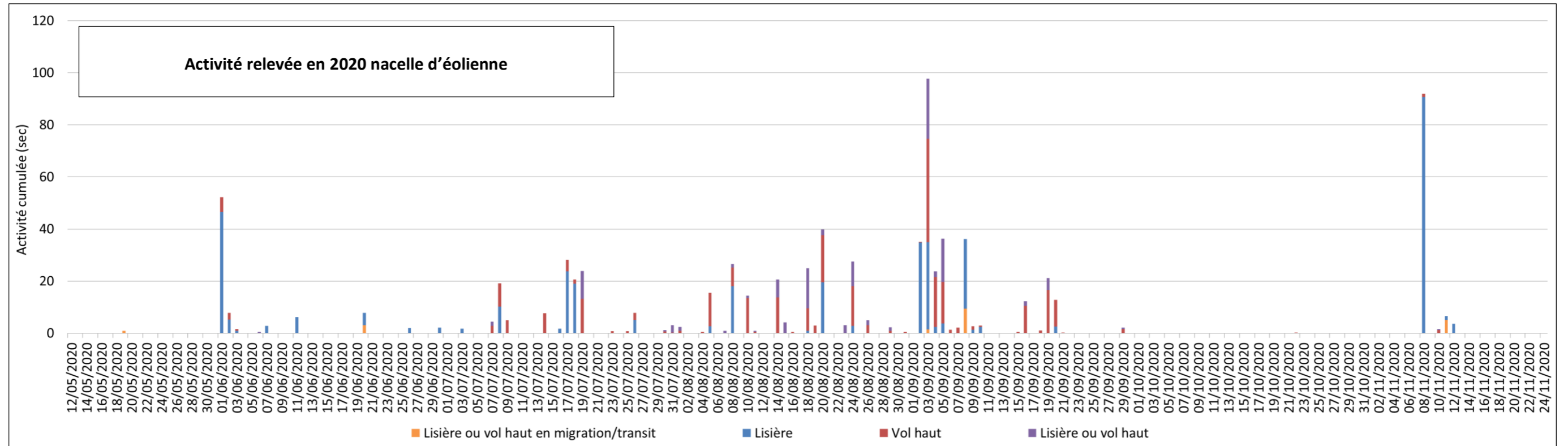
Figure 82 : Tableau de synthèse de l'activité cumulée relevée par espèce ou groupe d'espèces sur le parc et activité cumulée restant théoriquement à risque après régulation (sur la base des données enregistrées en 2020 en nacelle d'éolienne E4)

Espèce	Activité sans régulation (en sec)	Activité restante à risque théoriquement avec le scénario retenu
Pmid	2,3	0,9
Ppip	157,3	8,4
Nlei	109,6	18,1
Pkuh	217,2	7,1
Vmur/Nlei	15,4	3,7
Nycmi	114,7	15,1
Pnat/Ppip	17,6	5,0
Nnoc	146,3	25,8
Nlei/Nnoc	8,8	7,6
Eser	4,7	0
Total général	793,7	91,7

Ce pattern ne concerne pas l'intégralité des situations de vols des chauves-souris. Ainsi, la régulation ne peut pas encore garantir une maîtrise totale des conditions de risque.

En termes de coûts estimatifs de la mesure, au-delà de ceux relevant des suivis – évaluation en temps réels (cf. chapitre suivant), la mesure de bridage des machines n'engendre que peu de frais (achat de module de programmation, de pluviomètres ou autres matériels pour optimiser la régulation...), ou autres que ceux de la perte de production énergétique qu'elle implique. La programmation des paramètres et des seuils de régulation se fait en interne par le responsable d'exploitation.

Figure 83 : Chronologie de l'activité relevée en 2020 avec simulation de la mise en place du pattern de régulation multicritère (graphique du haut : activité de 2020, graphique du bas : activité restant à risque en 2020 après application du pattern de régulation préconisé)



7.2. Concernant les oiseaux

Un Busard Saint-Martin a été impacté en juillet 2020. Ce dernier a fait l'objet d'un rapport d'incident présenté en Annexe 3. Le Busard Saint-Martin est un rapace se reproduisant en majorité dans les milieux cultivés de plaines et fréquente tous les milieux ouverts à la végétation peu élevée, caractéristique des paysages aux alentours du site de Saint-Ambroix.

Afin de mieux appréhender dans quelles conditions le Busard Saint Martin a des comportements à risque vis-à-vis des éoliennes sur le site de Saint-Ambroix, il est proposé d'effectuer 6 visites, entre avril et juillet, c'est-à-dire au cours de la période de reproduction de cette espèce.

Si une mortalité devait être à nouveau constatée, il s'agirait de réfléchir à des mesures de réduction de risque en lien avec les observations effectuées sur le parc.

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 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.

7.3.3 Mesures réglementaires

7.3.3.1 Suivi de la mortalité

Si on veut s'assurer que les mesures mises en place en 2021 soient efficaces pour diminuer l'impact du parc éolien de Saint-Ambroix sur la faune volante, il faudra poursuivre un suivi de mortalité sur ce parc en 2021.

Ce suivi de mortalité devra être effectué sur la base des résultats de mortalité de 2020, mais aussi sur les périodes pour lesquelles les risques de mortalité ne sont pas connus (période printanière et une partie de la période estivale) et qui peuvent être accidentogènes. Ce suivi de mortalité devra se dérouler de début mai à mi-novembre 2021.

La période retenue pour le suivi ciblé sur les chiroptères concorde avec une partie de la période de régulation des éoliennes, mais aussi la période de suivi d'activité en hauteur, afin de faciliter l'interprétation des résultats par la suite. Le suivi de la mortalité couvre également la période de mortalité des oiseaux, et notamment celle du Busard Saint Martin. Le suivi de la mortalité pourra être confronté aux observations avifaunistiques ciblées sur cette espèce.

La prédation étant importante sur le site (disparition des cadavres en 2 jours), la pression de prospection doit être adaptée. La période de plus forte mortalité sera suivie par 2 visites par semaine, soit de début août à mi-septembre, contre 1 visite par semaine le reste de l'année.

Il s'agira donc d'effectuer 35 visites réparties sur 28 semaines. Le planning page suivante permet de visualiser la répartition des visites au cours de l'année 2021.

Il s'agira donc de mettre en relation les résultats de mortalité avec l'activité au niveau d'une nacelle et les conditions climatiques. Ainsi, dans l'hypothèse défavorable de niveaux d'impacts supérieurs aux prévisions, la connaissance des niveaux d'activité en fonction de la vitesse du vent pourra permettre de réorienter le **choix d'un seuil de vitesse de vent ou d'un éventuel autre facteur pour la modification des mesures de régulation**. Et à l'inverse, si des niveaux d'impacts très faibles sont observés, cela permettrait de réfléchir à des mesures de régulations moins restrictives afin d'optimiser le pattern de régulation.

Figure 84 : Planning prévisionnel du suivi de la mortalité pour 2021

		Jan. 2021	Fév. 2021	Mars 2021	Avril 2021	Mai 2021	Juin 2021	Juil. 2021	Août 2021	Sept. 2021	Oct. 2021	Nov. 2021	Dec. 2021
Mortalité	Nombre de visites ciblées sur le suivi de la mortalité oiseaux et chauves souris					1	1	1	1	1	1	1	1
	Réalisation des tests pour calcul des coefficients correcteurs du taux de mortalité (en binome, puis retour test à N+1 et N+3)					3				3			
Chiroptères	Période de suivi en continu à hauteur de nacelle d'éolienne												
	Installation, maintenance et désinstallation de l'enregistreur			1					1				1

7.3.3.2 Suivi d'activité en nacelle

Afin de se mettre en règle vis-à-vis de la législation (DGPR – DGALN – MTES. 2018), un suivi de l'activité en continu en hauteur devra être réalisé en 2021.

Comme évoqué dans les paragraphes précédents, la mise en place d'une régulation des éoliennes à partir de 2021 devrait entraîner une diminution des impacts du parc éolien de Saint-Ambroix sur les chiroptères. Mais afin de vérifier l'efficacité de cette mesure de régulation, il sera également nécessaire d'effectuer en parallèle du suivi de mortalité (cf. paragraphe ci-dessus) un suivi d'activité en nacelle.

Ce dernier couvrira l'ensemble de la période du suivi de la mortalité au sol, mais aussi la période printanière non-suivie en 2020, et la période de régulation des machines. Ce dernier s'étalera donc de mi-mars à mi-novembre. Dans l'idéal, il s'agirait d'équiper la même éolienne pour faciliter les comparaisons interannuelles.

BIBLIOGRAPHIE

- **ADOMEIT U., WILLUTZKI F., BRINKMANN R., NIERMANN I., BEHR O.** (2009) : Caractérisation de l'activité des Chiroptères à proximité des éoliennes à l'aide d'enregistrements stéréoscopiques à infrarouge. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **ADAMS A M., JANTZEN M K., HAMILTON RM., BROCKETT FENTON M.** (2012) – Do you hear what I hear ? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 2012, 3, 992-998.
- **ALBOUY S., DUBOIS Y. & PICQ H.** (1997-2001) Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude). ABIES, LPO Aude, ADEME, 59 p. + annexes.
- **ANDRE Y.** (2005) – Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. (avril 2005 en cours de validation MEDD) – LPO, 21 p.
- **ARTHUR L. & LEMAIRE M.** 2015. — *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition.* Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- **BAERWALD E.F., D'AMOURS G.H., KLUG B.J., BARCLAY R.** (2008) - Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. University of Calgary, Calgary
- **BARATAUD M.** 2015. – Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportement de chasse. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et Biodiversité), 344 p.
- **BARCLAY, R.M.R., BAERWALD, E.F., AND GRUVER, J.C.** (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Can. J. Zool.* 85, 381–387.
- **BEHR, O., NIERMANN, I., MAGES, J., BRINKMANN, R.** (2009): Fachtagung Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen: 06.09.2009; Hannover
- **BEUCHER Y. KELM V., GEYELIN M. PICK D.** (2010) - Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12) ; suivi évaluation post-implantation de l'impact sur les chauves-souris. Bilan de campagne de la première et de la deuxième année d'exploitation (2009 2010).
- **BEUCHER Y., ALBESPY F., MOUGNOT J.** (2012) - Projet éolien de Gelles et Heume l'Eglise (63) Focus sur la Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780). Prospections complémentaires visant la localisation de gîtes et la précision des enjeux. 62 p.
- **BUREAU DE COORDINATION ENERGIE EOLIENNE** (2009) – Méthodes pour l'analyse et la réduction du risque de collision de chiroptères avec des installations éoliennes terrestres. Synthèse de congrès chauves-souris. Hanovre, 9 juin 2009. 5 p.
- **CORNUT J. VINCENT S.** (2010) – Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du Sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme. 39 p.
- **COSSON, M., DULAC, P.** (2004) : Suivi Évaluation de l'impact du parc Éolien de Bouin, 2003 : Comparaison État initial et fonctionnement des Éoliennes. A.D.E.M.E. Pays de la Loire, Région Pays de la Loire, L.P.O., Rochefort, 91 p.
- **DEJEAN S.** (2007) – Clé de détermination des chauves-souris de Midi-Pyrénées – En main- Cren/Gcmp DS. 16 p.
- **DIETZ C., VON HELVERSEN O.** (2004) – Clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe. Version 1. Tuebingen & Erlangen (Allemagne). Traduction JC Louis. 56 p.
- **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

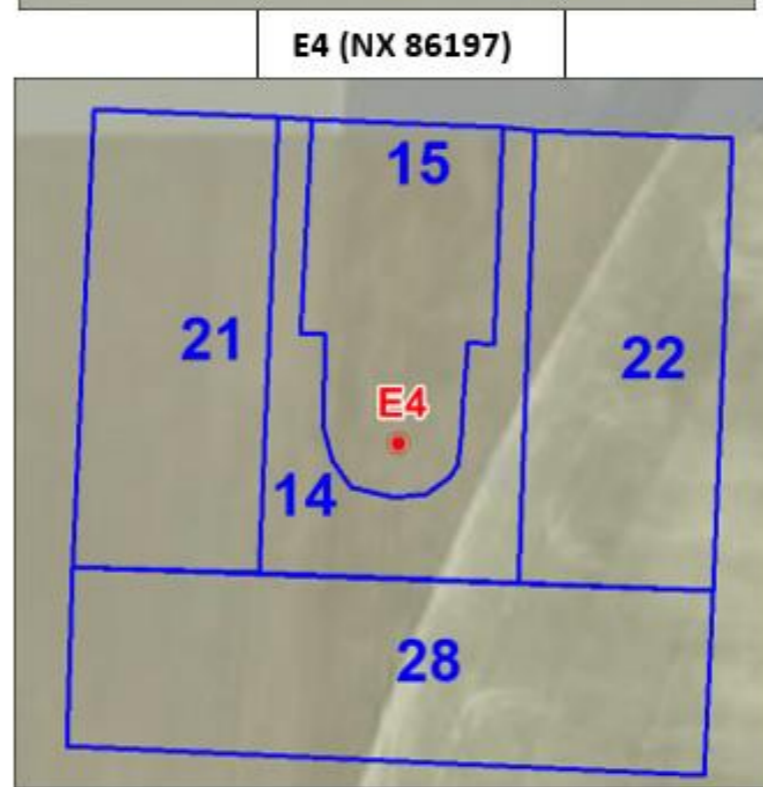
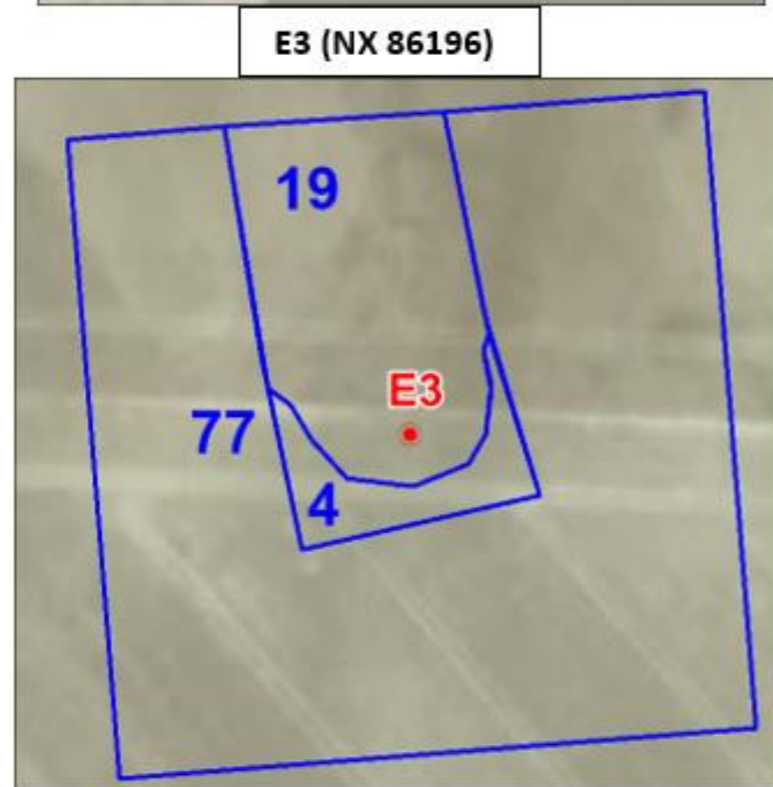
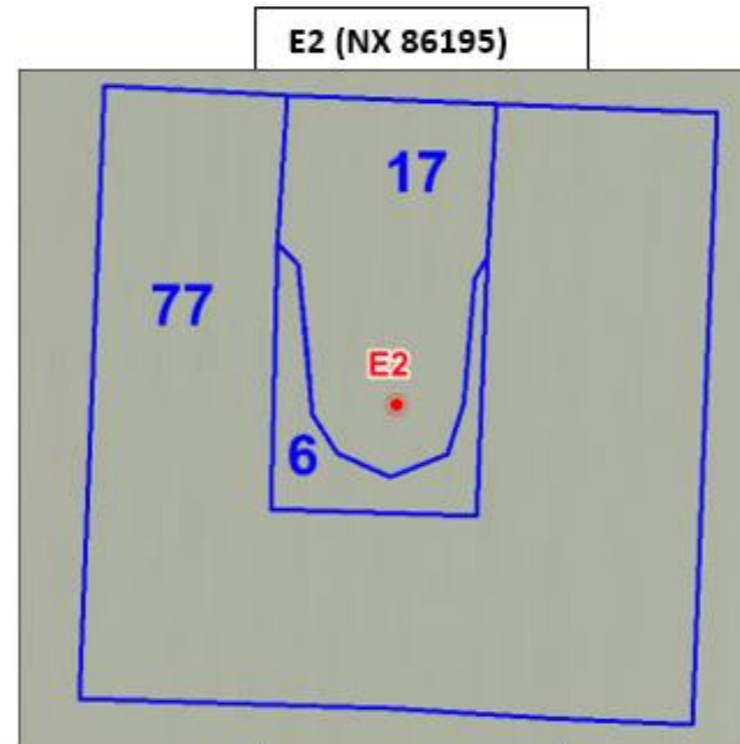
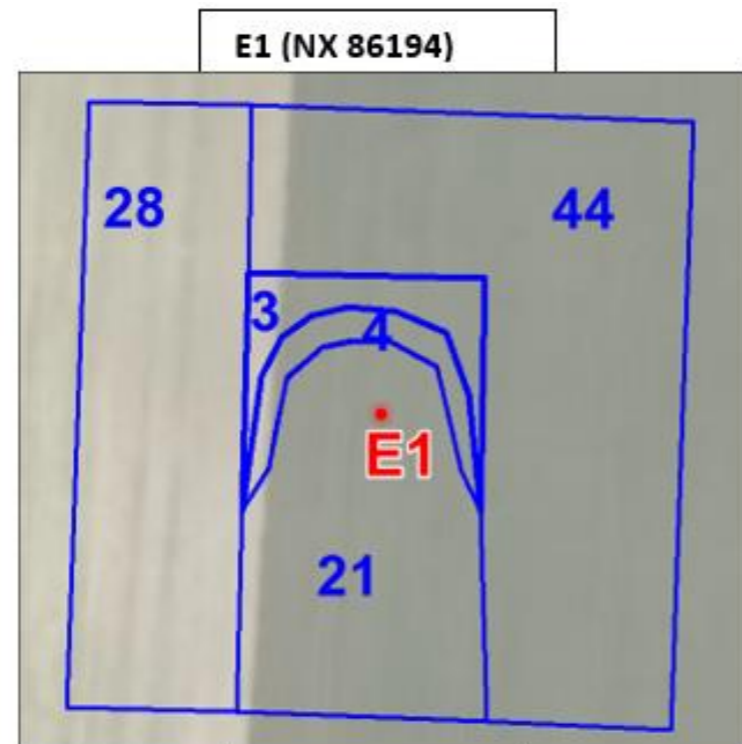
Date	Découvreur	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Oiseau (OIS) ou Chauve-souris (CS)	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol	Sexe	Age	Mesure de l'avant-bras (mm)	Commentaires
26/05/2020	JC	Cadavre	E4	27	NE	CS	21/05/2020	RAS	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Femelle	Adulte	30	
26/05/2020	JC	Cadavre	E4	38	NNO	CS	24/05/2020	Blessure dos	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Femelle	Adulte	31	
02/06/2020	PP/LN	Plumée	E3	52	N	OIS	?		Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau				
02/06/2020	PP/LN	Aile	E1	40	SE	OIS	?		Perdrix grise	<i>Perdix perdix</i>	Intermédiaire				
09/06/2020	JC	Cadavre	E4	39	SE	CS	05/06/2020	?	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Femelle probable	Adulte	30	
09/06/2020	JC	Aile	E2	28	NNO	CS	06/06/2020	fracture	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	?	Juvénile	29	Probable
23/07/2020	RD	Cadavre	E2	1	Est	OIS	15/07/2020		Bruant jaune	<i>Emberiza citrinella</i>	Passereau				
23/07/2020	RD	Cadavre	E3	14	Est	OIS	15/07/2020	une aile à 2m du cadavre	Alouette sp	#N/A	Passereau				
30/07/2020	RD	Cadavre	E2	60	NO	OIS	25/07/2020		Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	Grand rapace	mâle			
04/08/2020	RD	Cadavre	E2	47	NE	CS	31/07/2020	-	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Femelle probable	Adulte	31	
04/08/2020	RD	Cadavre	E2	25	O/NO	CS	02/08/2020	ventre	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Femelle probable	Juvénile	30	
13/08/2020	RD	Cadavre	E2	9	Nord	CS	10/08/2020	-	Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Lisière	Femelle	Juvénile	34	
13/08/2020	RD	Cadavre	E2	29	ouest	CS	10/08/2020	-	Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Vol haut	Femelle	Adulte	52	
03/09/2020	CS	Cadavre	E2	15	NW	CS	01/09/2020		Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Vol haut	Male	ad	54	HORS PROTOCOLE
03/09/2020	CS	Cadavre	E4	38	N	CS	02/09/2020	museau	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	femelle	ad	33	HORS PROTOCOLE
10/09/2020	RD	Cadavre	E4	0	E/SE	CS	04/09/2020	squelette	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	?	Adulte	31	
18/09/2020	RD	Cadavre	E2	9	SO	CS	12/09/2020	-	Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Lisière	Mâle	Adulte	30	
18/09/2020	RD	morceau d'aile (avant bras non entier)	E2	15	NE	CS	12/09/2020	-	Chiroptère sp.	-	Indéterminé	-	-	20 cassé	

Annexe 2 : Fiche de relevé de terrain



FICHE DE TERRAIN MORTALITE
Suivi mortalité du parc éolien de Mareuil (Parc éolien de Saint Ambroix) (2020)

		Chercheur :	Heure début suivi :	Heure d'embauche :	Temps de pause :				
		Date :	Heure fin suivi :	Heure de débauche :	Orages depuis dernière visites ?				
		Durée de prospection	Surface prospectée (%)	Type 1 (%) Très facile	Type 2 (%) Facile	Type 3 (%) Moyen	Type 4 (%) Non prospectable	Assolement : culture, prairie, lande ...	Rq par éolienne (traces prédation, maintenance...)
CONTEXTE	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 ?									



Annexe 3 : Rapport d'incident relatif à la mortalité de Busard Saint-Martin

Rapport d'incident : donnée brute d'une mortalité liée au fonctionnement d'un parc éolien

(article R.512-69 du Code de l'Environnement)

Date : 05/08/20

Cas attendus devant faire l'objet d'un signalement sous forme de rapport d'incident individuel :

Tous les cas de mortalités avérés dans un rayon de 200 m autour d'un parc éolien ou sa proximité immédiate d'espèces protégées et/ou menacées inscrites sur les listes rouges nationales ou régionales (n'ayant pas le statut « LC »).

Les espèces protégées sont visées par :

- ★ *l'arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection*
- ★ *l'arrêté du 23 avril 2007 fixant la liste des mammifères terrestres protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection (notamment chiroptères)*

La liste rouge des espèces menacées en France est disponible sur <http://www.uicn.fr/Liste-rouge-France.html>.

La liste relative à la hiérarchisation des enjeux de conservation des espèces protégées et patrimoniales en Centre-Val de Loire est accessible sur :

<http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/listes-rouges-region-centre-val-de-loire-a1451.html>

NB : Tous les cas de mortalité d'animaux doivent être signalés même lorsqu'il y a un doute sur le lien de causalité avec les éoliennes. Seuls les cas pour lesquels la cause est déterminée avec certitude (animal sans cause traumatique flagrante et « plombé » ou « électrocuté » ...) peuvent ne pas être comptabilisés au titre des mortalités liées au fonctionnement du parc éolien. Toutefois, les informations relatives à ces cas doivent être transmises à titre d'information pour recenser les autres causes de mortalité concernant les espèces protégées et/ou menacées retrouvées sur un parc éolien et à ses abords).

1 . Contexte découverte

- suivi régulier (référence, périodicité)

Suivi réalisé par EXEN : 24 visites entre mi-mai et mi-octobre 2020, avec une visite par semaine (cf. tableau ci-dessous)

	janv.-20	févr.-20	mars-20	avr.-20	mai-20	juin-20	juil.-20	août-20	sept.-20	oct.-20	nov.-20	déc.-20
Suivi de la mortalité sous les éoliennes (nombre de visite par semaine)					1	1	1	1	1	1	1	1

- ~~ou découverte aléatoire (agents de l'opérateur éolien, agents police nature, particuliers, association?...)~~
- coordonnées du découvreur :

Ruddie Delalleau - Technicien écologue chez EXEN
 (RD64, route de Buzeins, "Le Coustat", 12310 VIMENET) Tel : 05 81 63 05 99

- ~~information faite de la police de la nature ? (et qui ?)~~

2 . Eléments du rapport d'incident

Parc éolien concerné

Nom du parc éolien : « Parc éolien de Saint-Ambroix »
 Exploitant du parc éolien : Parc éolien NORDEX XXVI
 Groupe auquel appartient la société exploitant le parc éolien : Parc éolien NORDEX XXVI,
 54 rue de Bitche, 92400 COURBEVOIE

Localisation

Commune : Saint-Ambroix
 Département : Cher (18)

Date de découverte : 30 juillet 2020

Date d'identification de l'espèce : 5 août 2020

Espèce (nom commun, nom scientifique) : Busard-Saint-Martin, *Circus cyaneus*

Sexe (si possible) : Mâle

Âge (si possible) :

Coordonnées du lieu de découverte (lambert 93) : X : 635 497.74 m ; Y : 6 647 625.83 m

Eolienne impliquée

Numéro : E2 (nx 86195)

Equipée d'un système détection/effarouchement : ~~oui~~ non

Si oui, quel dispositif :

NB : transmettre un plan reprenant la numérotation des éoliennes du parc (la même numérotation doit être utilisée depuis le 1^{er} cas d'incident signalé)

Direction par rapport à l'éolienne : Nord-ouest

Distance par rapport à l'éolienne (en mètres) : 60 mètres

Cause probable de la mort (*choc, barotraumatisme, autre, inconnu*) :

Il est fortement souhaitable que le constat vétérinaire soit réalisé afin de déterminer la cause de mortalité probable. La radiographie pour la recherche de plomb est à réaliser systématiquement.

NB : Dans le cas où un traumatisme par choc ne peut pas être directement constaté, il faut rechercher un indice de barotraumatisme si l'état de conservation le permet et mettre à disposition du réseau SAGIR (<http://www.oncfs.gouv.fr/Reseau-SAGIR-ru105>) le cadavre pour réaliser des analyses toxicologiques complémentaires.

Etant donné l'état de décomposition avancé du cadavre (restes de plumes et d'os seulement, sans morceau de chair), il est difficile de préciser les conditions de la mortalité, ou même de rechercher du plomb ou des traces d'empoisonnement. Les prédateurs nécrophages ont déjà bien décomposé le cadavre, d'autant plus que les conditions climatiques de ces dernières semaines ont favorisé la dessiccation et la décomposition du cadavre.

Estimation de la date de la mort (préciser quelques jours, semaines, ou dernière date de passage pour un suivi régulier...) :

Le cadavre a été trouvé dans un champ récemment fauché. L'éolienne E2 a été prospectée lors de la visite précédente du 23 juillet 2020. En revanche, le secteur était en culture lors des visites antérieures, ce qui ne permettait pas de le prospecter. Comme énoncé précédemment, les conditions climatiques très chaudes, ces derniers temps, ont pu accélérer la décomposition du cadavre en plein soleil ; il est donc possible que l'individu ait été impacté entre la visite précédant sa découverte et le jour de sa découverte. Mais il se peut aussi, étant donné l'état de dégradation très avancé du cadavre, que la mortalité soit intervenue plusieurs semaines auparavant. Mais cela dépend bien sûr des conditions climatiques et de la faune nécrophage qui participent à la décomposition plus ou moins rapide d'un cadavre. Il est donc difficile de préciser le jour ou la période de mortalité exacte de ce Busard-Saint-Martin.

Cadavre conservé congelé : Oui

Si oui, lieu de conservation : Sarl EXEN RD64, route de Buzeins, Le Coustat, 12310 VIMENET.
Tél : 05 81 63 05 99

Facteurs complémentaires ayant pu entraîner ou faciliter cette mortalité (*caractéristiques de l'éolienne, de sa situation dans le parc, des conditions de vent ou météo, autres...*)

Le rapport de fin de suivi annuel cherchera à préciser les conditions de risques du Busard Saint-Martin autour des éoliennes.

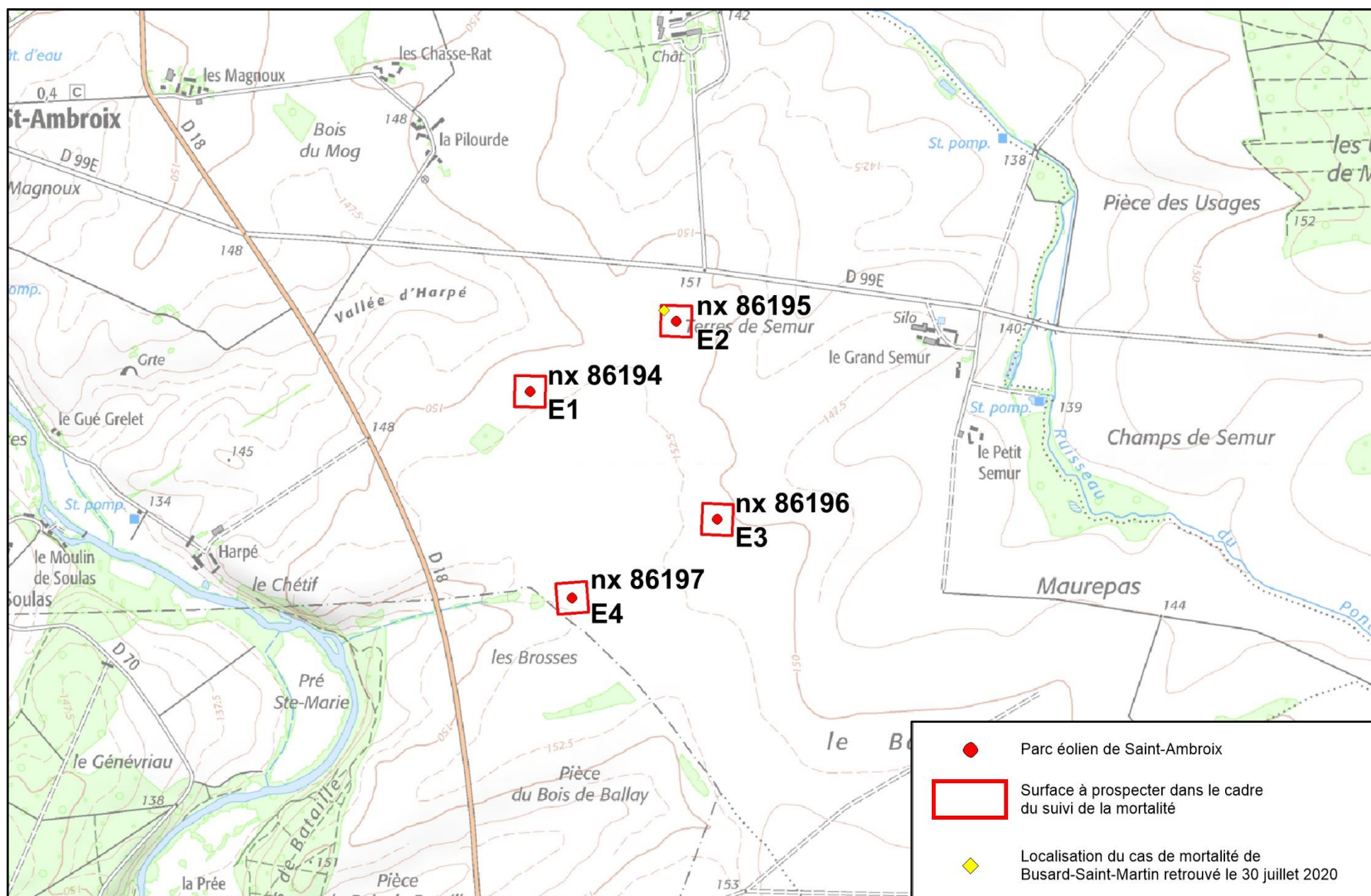
Autres remarques :

3 . Documents à transmettre

Les éléments suivants sont à transmettre :

- Photographies
- Radiographies
- Constat vétérinaire
- Constat agent assermenté

Localisation de la mortalité constatée, configuration et numérotation du parc éolien





Clichés du cadavre du Busard-Saint-Martin au moment de la découverte (30/07/2020)

