



Suivi environnemental post-implantation 2018 ciblé sur les chauves-souris et les oiseaux

Suivi de l'activité des chauves-souris en nacelle
Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux



SARL EXEN
RD64, route de Buzains, 12310 VIMENET
Tel : 05 81 63 05 99
Fax : 05 81 63 05 95
ybeucher@exen.pro

Juin 2019

Parc éolien de la Chaussée de César sud

Suivi environnemental post-implantation 2018 ciblé sur les chauves-souris et les oiseaux

Suivi de l'activité des chauves-souris en nacelle

Suivi de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux

- **Rédaction, relecture** : C. Siccardi, A. Langlois,
- **Analyse des données, interprétations** : C. Siccardi A. Langlois,
- **Organisation, méthodes** : F. Albespy, Y. Beucher, A. Langlois, S. Davrout
- **Recherches de mortalité sur site** : F. Albespy, F. Bonnet, E. Bonichon, S. Davrout, M. Gimalac, L. Nazon, R. Mandon, P. Raoul, C. Respaud, C. Siccardi.
- **Visites de terrain avifaune** : F. Albespy, F. Bonnet, S. Davrout, M. Louis

Juin 2019

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3	4.2.1. <i>Choix d'une méthode standardisée</i>	27
TABLE DES ILLUSTRATIONS	6	4.2.2. <i>Choix des périodes de suivis et fréquence des visites.....</i>	27
1. OBJET.....	8	4.2.4. <i>Choix des éoliennes suivies</i>	29
2. CONTEXTE.....	9	4.2.5. <i>Organisation des parcours de prospection</i>	29
2.1. CONFIGURATION DU PARC EOLIEN ET CONTEXTE PAYSAGER	9	4.2.6. <i>Définition des niveaux de difficulté de prospection</i>	29
3. SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHAUVES-SOURIS EN HAUTEUR	12	4.2.7. <i>Recueil des données et destination des cadavres</i>	31
3.1. METHODOLOGIE	12	4.2.8. <i>Détermination des coefficients correcteurs.....</i>	31
3.1.1. <i>Suivi automatisé en continu (passif) : généralités et organisation.....</i>	12	4.2.8.1 Organisation générale	31
3.1.2. <i>Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E3.....</i>	12	4.2.8.2 Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »).....	32
3.2. LIMITES DE LA METHODOLOGIE	14	4.2.8.3 Tests de disparition (ou « test de persistance »).....	32
3.2.1. <i>Suivi passif (Batcorder depuis la nacelle).....</i>	14	4.2.8.4 Calculs	33
3.2.2. <i>Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces</i>	14	4.2.8.5 Intervalle de confiance.....	33
3.2.3. <i>Une détection divergente selon les espèces.....</i>	15	4.3. BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS.....	34
3.2.4. <i>Autres limites de détection acoustique</i>	16	4.3.1. <i>Bilan des mortalités par éolienne.....</i>	34
3.3. RESULTATS DU SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES.....	18	4.3.2. <i>Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris.....</i>	34
3.3.1. <i>Cortège d'espèces</i>	18	4.3.3. <i>Typologie des cadavres découverts.....</i>	37
3.3.2. <i>Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle E4</i>	19	4.3.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce	37
3.3.3. <i>Influence de la vitesse du vent.....</i>	23	4.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne.....	37
3.3.4. <i>Influence de la direction du vent</i>	24	4.3.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	38
3.3.6. <i>Influence de la température.....</i>	25	4.3.4. <i>Dispersion des cadavres sous les éoliennes</i>	40
3.3.8. <i>Rythme d'activité nocturne.....</i>	26	4.3.5. <i>Taux de mortalité des chauves-souris</i>	41
4. SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX.....	27	4.3.5.1 Planning du suivi de la mortalité et niveau de difficulté de prospection en 2018	41
4.1. OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE.....	27	4.3.5.2 Les formules utilisées	42
4.2. METHODOLOGIE	27	➤ Winkelmann (2005)	42
		➤ Erickson (2000).....	42

➤ Jones (2009).....	42	4.4.5.4 Méthodes de calcul employées	59
➤ Huso (2010).....	43	4.4.5.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyenne »).....	59
4.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	44	4.4.5.6 Calcul de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »).....	61
➤ Taux de détection.....	44	4.4.5.7 Calcul de la mortalité avec l'application Shiny « EolApp »	61
➤ Taux de persistance	44	5. EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE LA CHAUSSEE DE CESAR SUD	62
➤ Coefficient de correction surfacique.....	46	5.1. IMPACT SUR LES CHIROPTERES	62
4.3.5.4 Présentation des 2 méthodes de calcul.....	46	5.1.1. Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens	62
4.3.5.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyenne »)	47	5.1.2. Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères.....	62
4.3.5.6 Calcul de mortalité avec la seconde méthode (méthode « pondérée »).....	48	5.2. IMPACT SUR L'AVIFAUNE.....	65
4.3.5.7 Calcul de mortalité avec l'application Shiny « EolApp »	49	5.2.1. Analyses quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens.....	65
4.4. BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX	50	5.2.2. Analyse qualitative des impacts sur l'avifaune	65
4.4.1. Bilan des mortalités par éolienne.....	50	6. PROPOSITION DE MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS	66
4.4.2. Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux.....	50	6.1. MESURES CONCERNANT LES CHIROPTERES.....	66
4.4.3. Typologie des cadavres découverts.....	52	6.1.1. Limiter la fréquentation des chauves-souris autour des éoliennes	66
4.4.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce.....	52	6.1.2. Veiller à l'absence d'éclairage du parc.....	66
4.4.3.2 Relation espèce / éolienne.....	52	6.1.3. Mesures de régulation de l'activité des éoliennes.....	66
4.4.3.3 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	53	6.1.4. Mesure de suivi de l'activité en continu en nacelle.....	71
4.4.4. Dispersion des cadavres sous les éoliennes	56	6.2. MESURES COMMUNES AUX CHIROPTERES ET AUX OISEAUX	71
4.4.5. Taux de mortalité des oiseaux.....	57	6.2.1. Mesure de suivi de la mortalité au pied des éoliennes.....	71
4.4.5.1 Planning du suivi de la mortalité et niveau de difficulté de prospection en 2018	57	7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	72
4.4.5.2 Les formules utilisées	58	7.1. SUIVI DE MORTALITE DES CHIROPTERES	72
4.4.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	58	7.2. SUIVI DE MORTALITE DES OISEAUX.....	72
➤ Taux de détection.....	58	7.3. SUIVI DE L'ACTIVITE DES CHIROPTERES.....	72
➤ Taux de persistance	58	7.4. NIVEAU D'IMPACT DU PARC EOLIEN DE LA CHAUSSEE DE CESAR SUD SUR LES OISEAUX ET LES CHAUVES-SOURIS...72	
➤ Coefficient de correction surfacique.....	59	7.5. MESURES ET PERSPECTIVES	72
		BIBLIOGRAPHIE.....	73

ANNEXES	74
7.6. ANNEXE 1 : PROFILS ET EXPERIENCES DE L'EQUIPE EXEN	75
7.7. ANNEXE 2 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN	82
7.8. ANNEXE 3 : DONNEES BRUTES DE MORTALITES DECOUVERTES	84
7.8.1. <i>Chiroptères</i>	84
7.8.2. <i>Oiseaux</i>	84

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien sur fond de photographie aérienne	10	Figure 16 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E3	24
Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien sur fond de carte IGN.....	11	Figure 17 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur au niveau de l'éolienne E3 en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité	25
Figure 3 : Zone de couverture acoustique des Batcorders sous les nacelles d'éoliennes.....	13	Figure 18 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E3 (en 2018).....	26
Figure 4 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)	13	Figure 19 : Calendrier de ciblage des périodes de suivi les plus judicieuses dans le contexte local	28
Figure 5 : Synthèse de la plage de fonctionnement du module en continu en éolienne E3, et nombre d'enregistrements	14	Figure 20 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique	29
Figure 6 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie > 30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »).....	15	Figure 21 : Carte de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi mortalité sous les éoliennes de la Chaussée de César sud.....	30
Figure 7 : Liste des espèces de chiroptères par ordre d'émission décroissante, avec distances de détection et coefficient de détectabilité selon qu'elles évoluent en milieu ouvert ou en sous-bois (Barataud, 2015)	15	Figure 22 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris	31
Figure 8 : Analyse comparative des capacités de détection des principaux enregistreurs à ultrasons, selon la distance, l'angle d'émission et les différentes plages de fréquences ultrasonores (Adams & al. 2012)	16	Figure 23 : Clichés d'un échantillon de « cadavres tests » (sur un autre site).....	32
Figure 9 : Tableau recensant l'ensemble des espèces contactées au cours du suivi en continu.....	18	Figure 24 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des cadavres dispersés (sur un autre site)	32
Figure 10 : Proportion d'activité par groupe d'espèces relevées au niveau du point d'enregistrement en continu sur l'éolienne E3 (en haut détail par espèce, en bas par groupe de vol).....	19	Figure 25 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2018 et répartition par éolienne.....	34
Figure 11 : Echelle de représentation du niveau d'activité par nuit en nacelle d'éolienne (basée sur l'expérience EXEN).....	19	Figure 26 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii) par un couple de Nécrophore chasseur (Thanatophilus sinuatus), sous un autre parc	35
Figure 12 : Synthèse des informations relatives aux pics d'activité identifiés en nacelle d'éolienne E3 ...	20	Figure 27 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2018	36
Figure 13 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce relevée en nacelle d'éolienne E3	21	Figure 28 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces de chauves-souris retrouvées sous les éoliennes.....	37
Figure 14 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par groupe d'espèces relevé en nacelle d'éolienne E3.....	22	Figure 29 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2018	37
Figure 15 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E3 (sur la base des données relevées en 2018 en nacelle d'éolienne).....	23	Figure 30 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2018.....	37
		Figure 31 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2018 en fonction du type de vol.....	38
		Figure 32 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (d'après les dates de mortalité estimée) en 2018	39
		Figure 33 : Cliché de la Noctule commune découverte le 7 août 2018	40
		Figure 34 : Graphique de répartition des cadavres de 2018 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne.....	40

<i>Figure 35 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection et nombre total de cadavres de chauves-souris découverts sous les éoliennes)</i>	41	<i>Figure 54 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance</i>	58
<i>Figure 36 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d</i>	44	<i>Figure 55 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul</i>	59
<i>Figure 37 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance</i>	44	<i>Figure 56 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2018 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)</i>	60
<i>Figure 38 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après 1 jours » (exemple)</i>	45	<i>Figure 57 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul</i>	61
<i>Figure 39 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul</i>	47	<i>Figure 58 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2018 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)</i>	61
<i>Figure 40 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2018 (première méthode de calculs, avec coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)</i>	48	<i>Figure 59 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l’ALEPE)</i>	63
<i>Figure 41 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul</i>	48	<i>Figure 60 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour des parcs éoliens en Europe (Source ALEPE)</i> .	63
<i>Figure 42 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2018 des chauves-souris par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)</i>	48	<i>Figure 61 : Niveau d’intensité des risques de mortalité</i>	64
<i>Figure 43 : Bilan des mortalités des oiseaux constatées en 2018 et répartition par éolienne</i>	50	<i>Figure 62 : Grille de calcul des niveaux de risques d’impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFEPM 2010)</i>	64
<i>Figure 44 : Chronologie des mortalités des oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2018 ; les périodes larges correspondent aux périodes de mortalité estimées</i>	51	<i>Figure 63 : Évaluation des impacts du parc éolien de la Chaussée de César sud sur les chauves-souris</i> ...	64
<i>Figure 45 : Chronologie des mortalités d’oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2018</i>	52	<i>Figure 64 : Évaluation des impacts du parc éolien de la Chaussée de César sud sur les oiseaux</i>	65
<i>Figure 46 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d’oiseaux retrouvées sous les éoliennes</i>	52	<i>Figure 65 : Activité totale enregistrée en hauteur par groupe de vol (d’après les données de 2018)</i>	66
<i>Figure 47 : Répartition des mortalités d’oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2018</i>	52	<i>Figure 66 : Synthèse des chronologies d’activité à risque restant selon les patterns de régulation</i>	69
<i>Figure 48 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2018</i>	52		
<i>Figure 49 : Répartition des mortalités d’oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2018</i>	54		
<i>Figure 50 : Cliché du Roitelet à triple bandeaux retrouvée le 5 septembre sous l’éolienne E1</i> .	55		
<i>Figure 51 : Graphique de répartition des cadavres de 2018 par classe de distances vis-à-vis du mât de l’éolienne</i>	56		
<i>Figure 52 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de prospection et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection et nombre total de cadavres d’oiseaux découverts sous les éoliennes)</i>	57		
<i>Figure 53 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d</i>	58		

1. OBJET

En 2017, la société VSB énergies nouvelles a mandaté le bureau d'étude EXEN pour définir un protocole de suivi de la mortalité et de l'activité des chiroptères sur le parc éolien Chaussé de César Sud situé sur la commune de Civray, dans le département 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.

Le parc éolien de Chaussé de César Sud a été mis en service en juillet 2013. La réglementation ICPE mise en place depuis 2011 impose ce dernier type de suivi de la mortalité, à raison d'une année obligatoire durant les 3 premières suivant l'implantation des éoliennes, ainsi que tous les 10 ans suivants. L'arrêté d'autorisation d'exploiter du 15/04/2013 prévoit la réalisation d'un suivi axé sur la mortalité de l'avifaune nicheuse et migratrice et des populations de chiroptères sur une période minimale de 3 ans après l'installation des éoliennes.

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

En ce qui concerne les chiroptères, l'étude d'impact réalisée par le muséum d'histoire naturelle de Bourges en 2005, avait conclu sur des niveaux d'impact faibles à nuls pour les chiroptères. Rappelons que l'étude suivie en 2005 ne prenait pas en compte les recommandations de la SFEPM pour les suivis environnementaux des parcs éoliens, le protocole effectué n'a donc pas pu permettre d'évaluer tous les impacts potentiels du parc.

En ce qui concerne les oiseaux, les études d'impact réalisées entre 2005 et 2013, ne mettaient pas en lumière des enjeux importants sur le site. On pouvait toutefois noter la présence d'espèces patrimoniales comme l'œdicnème criard, la pie grièche écorcheur ou encore la busard saint martin. Suite à ces observations, les rédacteurs de l'étude d'impact ont préconisé l'évitement de certains secteurs afin de préserver l'habitat de ces espèces sensibles.

Le présent document fait le bilan des résultats du suivi de l'activité des chauves-souris et du suivi de mortalité sous les éoliennes pour l'année 2018. 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

2.1. Configuration du parc éolien et contexte paysager

Le parc éolien de la Chaussée de César sud, suivi en 2018, est situé sur la commune de Civray, dans le département du Cher (18).

Le parc se situe dans un contexte majoritairement agricole, entouré de grandes cultures. Le site est situé entre plusieurs lotissements comme le Colombier ou la Maison rouge situé à 650 mètres de l'éolienne E4. Des patchs forestiers sont également présents au centre des cultures proches des éoliennes, moins de 200 mètres de l'éolienne E1 et moins de 300 mètres de l'éolienne E4. Le site est également longé par une haie arboricole qui relie les éoliennes E4, E3, un patch forestier plus au sud du site et le village de Civray au nord du site.

Le parc éolien est composé de 4 machines implantées sous la forme d'une ligne, orientée dans un axe sud-ouest/nord-est. Les éoliennes sont de type Nordex N100/2400 (puissance de 2500 kW, diamètre du rotor 100 m) pour le parc de la Chaussée de César sud.

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

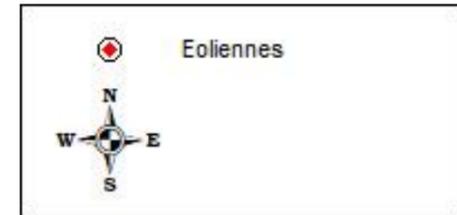
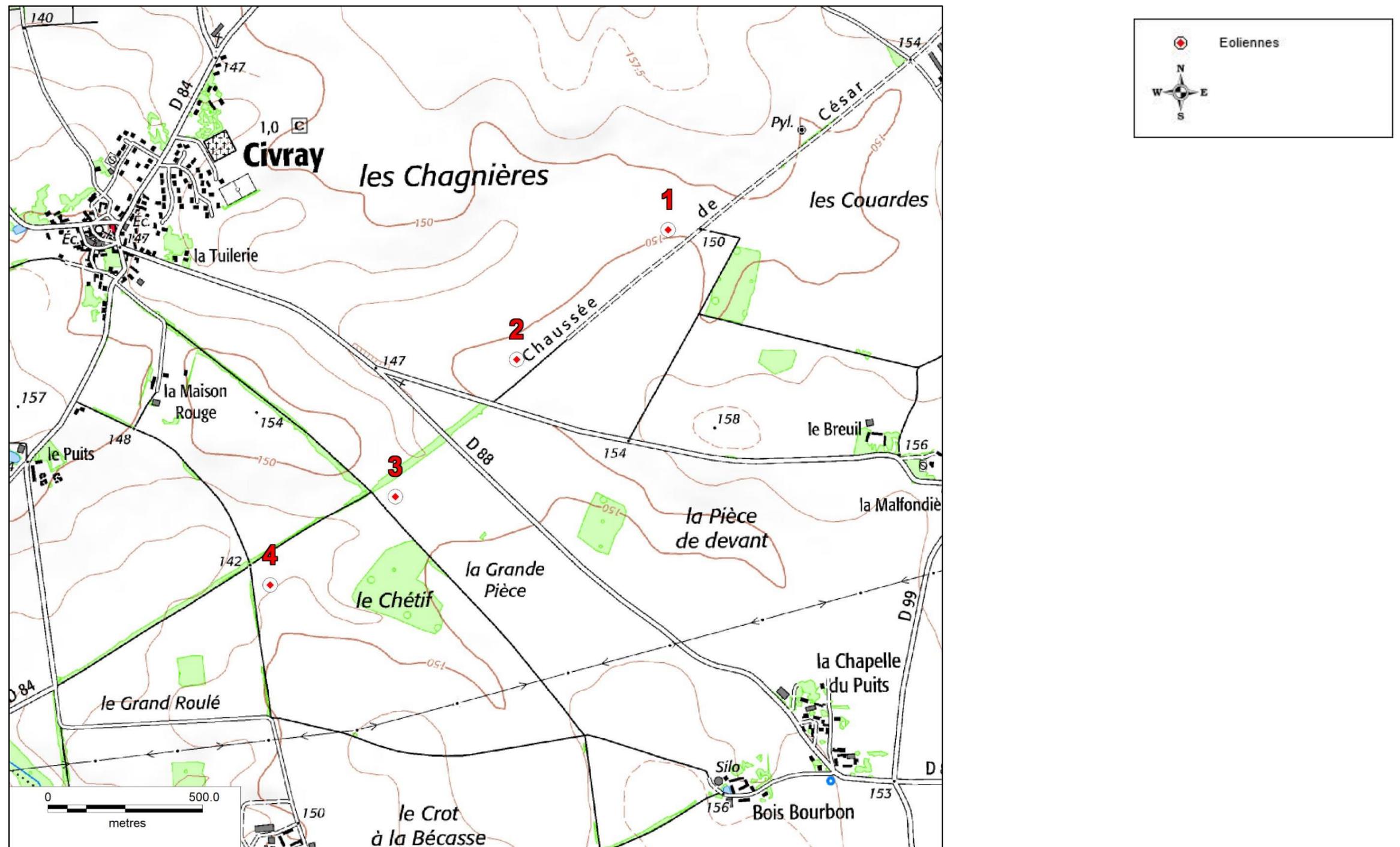


Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien sur fond de carte IGN



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

3.1. Méthodologie

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

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

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

Au-delà de la prise en compte des biais d'échantillonnage temporel ou altitudinal, reste la question de l'échantillonnage géographique. L'activité des chauves-souris s'organise aussi en fonction de la configuration du site, des types de milieux, des corridors de lisières, du contexte topographique et des phénomènes d'aérologie... et donc plus largement des fonctionnalités des différents secteurs pour les chiroptères. Il n'était toutefois pas envisagé d'installer un enregistreur automatique d'ultrasons sur chacune des éoliennes du parc éolien. Le cahier des charges de la société Eoliennes VSB énergies nouvelles prévoyait la mise en oeuvre d'un point d'enregistrement. Ce point sera considéré comme représentatif de l'activité en altitude du secteur (l'activité en hauteur est moins soumise à variation spatialement que l'activité au sol).

L'éolienne choisie en 2018 pour l'installation d'un Batcorder fut l'éolienne E3. Le Batcorder fut installé du 3 mai au 21 novembre 2018.

Le suivi en continu a donc permis de couvrir les périodes printanière, estivale et automnale en 2018, soit une bonne partie de la période d'activité des chiroptères.

3.1.2. Suivi passif depuis la nacelle de l'éolienne E3

Pour suivre l'activité des chauves-souris en parallèle de la mortalité, un détecteur/enregistreur d'ultrasons de type *Batcorder* a été utilisé au niveau de l'éolienne E3. Au-delà de la qualité du matériel et des enregistrements acoustiques, ce type de matériel présente en effet différents modules et paramétrages possibles selon la destination du boîtier, et bénéficie dans tous les cas, de capacités d'autonomie pour des suivis en continu et de contrôles à distance très avantageuses par rapport aux autres systèmes aujourd'hui sur le marché.

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

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

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

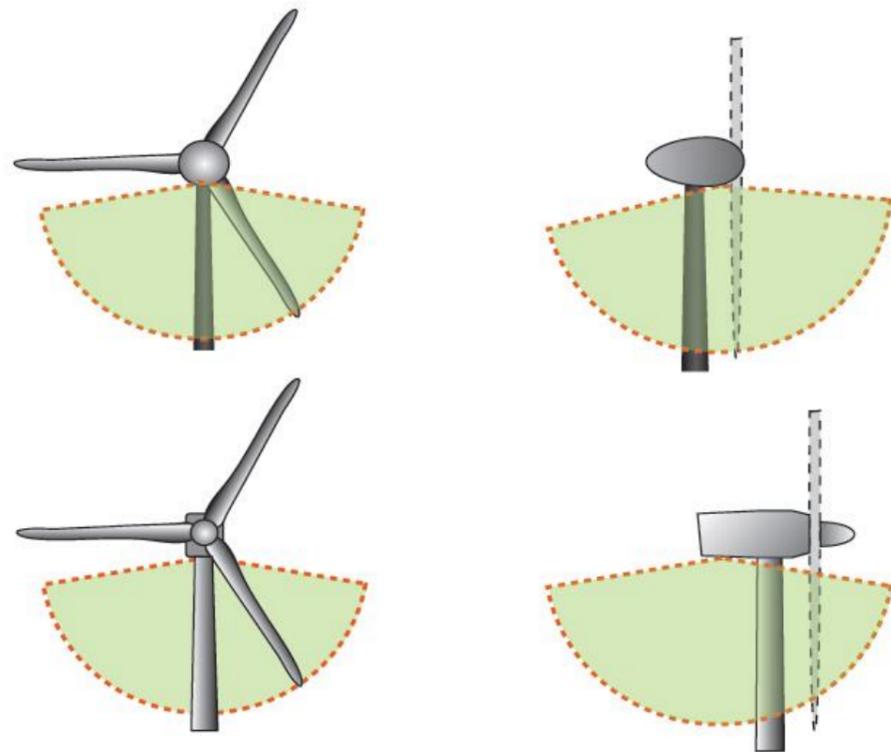
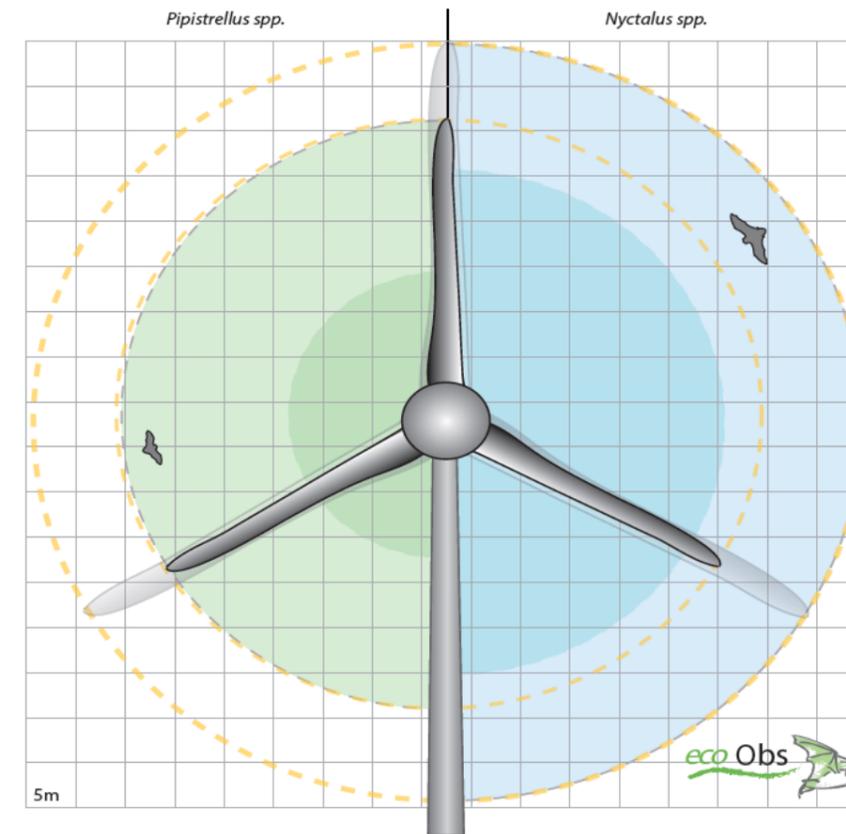


Figure 4 : Distances de détection (min et max) pour des signaux de pipistrelles et noctules (20 et 40 kHz de fréquences)



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.

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 plugins proposent notamment une corrélation rapide des données d'activité des chiroptères avec les données climatiques enregistrées sur l'éolienne.

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

Nom BCBox	Date d'intervention	Type d'intervention	Nombre de séquences enregistrées	Nombre de séquences de chiroptère
BCBox (100m)	03/05/2018	Installation	447	446
	21/11/2018	Désinstallation		

Cela représente un total de 447 données ultrasonores à analyser dont 446 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).

La continuité des enregistrements fut assurée sur l'enregistreur en continu pendant environ 7 mois (202 nuits, soit environ 2828 heures de suivi).

3.2. Limites de la méthodologie

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

3.2.1. Suivi passif (Batacorder depuis la nacelle)

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

Théoriquement, on considère qu'un Batacorder 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 Batacorder au sol (ou en canopée) peut enregistrer des passages d'individus évoluant à haute altitude.

Avec une position à hauteur de moyeu, on peut penser que cette hauteur permet globalement de s'affranchir des risques de contacts de pipistrelles évoluant proches du sol ou le long des lisières (portée d'écholocation de l'ordre de 30 à 40 m). Cela permet théoriquement de distinguer une activité de lisières sous les éoliennes d'une activité de plein ciel. Autrement dit, pour les pipistrelles, les contacts enregistrés au niveau du Batacorder 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 Batacorder autonomes. Pour limiter ce biais, l'ensemble des micros du parc de Batacorder du bureau d'étude EXEN est renvoyé chaque hiver au constructeur Eco-Obs pour un test et un recalibrage.

3.2.2. Difficultés d'identification acoustique de certaines espèces

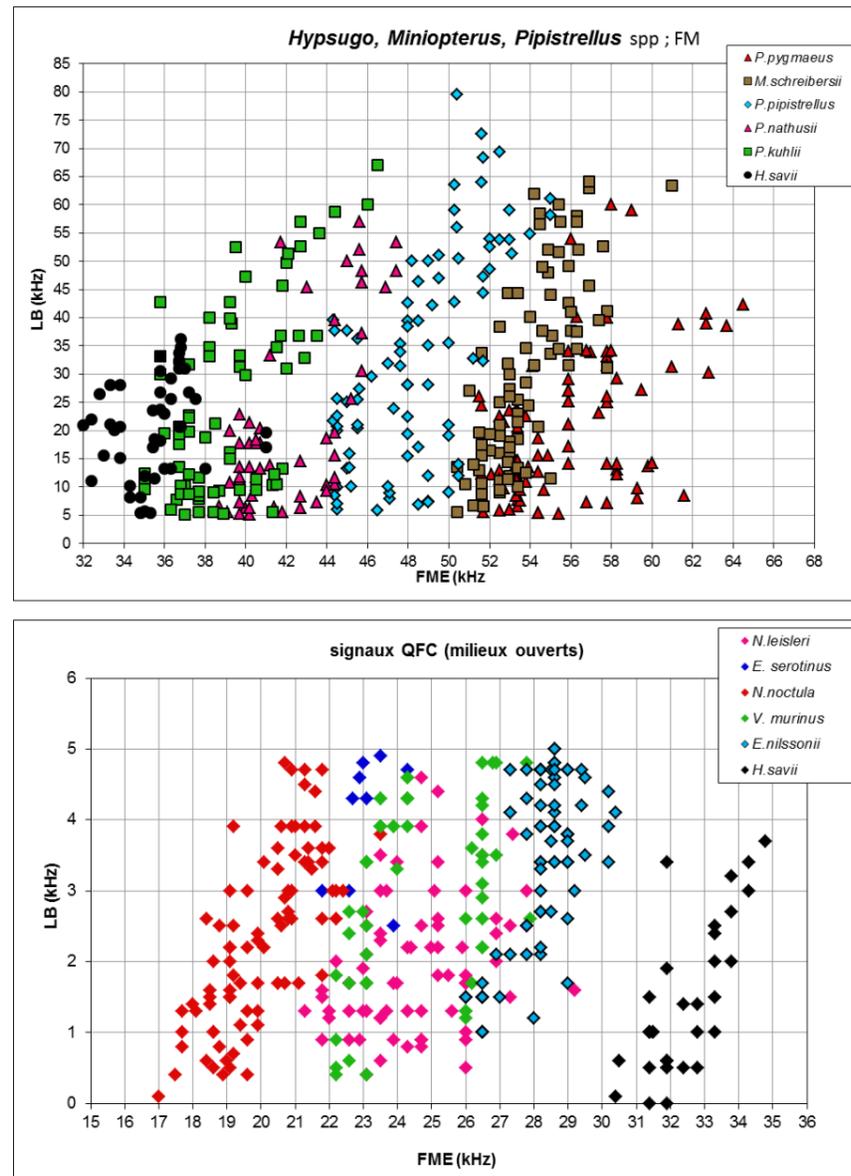
L'identification acoustique des chiroptères est une science encore en évolution et qui bénéficie d'avancées récurrentes ces dernières années. La plupart des espèces peuvent être déterminées précisément.

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

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

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

Figure 6 : Exemple de recouvrements dans les signaux de plusieurs espèces (En haut : le groupe des Fréquences Modulées Aplanie > 30KHz, en bas : le groupe des « Sérotules »)



3.2.3. Une détection divergente selon les espèces

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

Figure 7 : Liste des espèces de chiroptères par ordre d'émission décroissante, avec distances de détection et coefficient de détectabilité selon qu'elles évoluent en milieu ouvert ou en sous-bois (Barataud, 2015)

Intensité d'émission	milieu ouvert			sous-bois		
	Espèces	distance de détection (m)	coefficient de détectabilité	Espèces	distance de détection (m)	coefficient de détectabilité
faible	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	5	5,00	<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	3,10
	<i>Myotis alcaethoe</i>	10	2,50	<i>Myotis nattereri</i>	8	3,10
	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50	<i>Rhinolophus ferr./eur./meh.</i>	10	2,50
	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50	<i>Myotis alcaethoe</i>	10	2,50
	<i>Myotis daubentonii</i>	15	1,70	<i>Myotis mystacinus</i>	10	2,50
	<i>Myotis nattereri</i>	15	1,70	<i>Myotis brandtii</i>	10	2,50
	<i>Myotis bechsteinii</i>	15	1,70	<i>Myotis daubentonii</i>	10	2,50
	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70	<i>Myotis bechsteinii</i>	10	2,50
moyenne	<i>Myotis oxygnathus</i>	20	1,20	<i>Barbastella barbastellus</i>	15	1,70
	<i>Myotis myotis</i>	20	1,20	<i>Myotis oxygnathus</i>	15	1,70
	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	25	1,00	<i>Myotis myotis</i>	15	1,70
	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus pygmaeus</i>	20	1,20
forte	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	30	0,83	<i>Miniopterus schreibersii</i>	20	1,20
	<i>Pipistrellus nathusii</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	25	1,00
	<i>Miniopterus schreibersii</i>	30	0,83	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	25	1,00
	<i>Hypsugo savii</i>	40	0,71	<i>Pipistrellus nathusii</i>	25	1,00
très forte	<i>Eptesicus serotinus</i>	40	0,71	<i>Hypsugo savii</i>	30	0,83
	<i>Plecotus spp.</i>	40	0,71	<i>Eptesicus serotinus</i>	30	0,83
	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50	<i>Eptesicus nilssonii</i>	50	0,50
	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50	<i>Vespertilio murinus</i>	50	0,50
	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31	<i>Nyctalus leisleri</i>	80	0,31
	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25	<i>Nyctalus noctula</i>	100	0,25
	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17	<i>Tadarida teniotis</i>	150	0,17
	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17	<i>Nyctalus lasiopterus</i>	150	0,17

3.2.4. Autres limites de détection acoustique

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

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

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

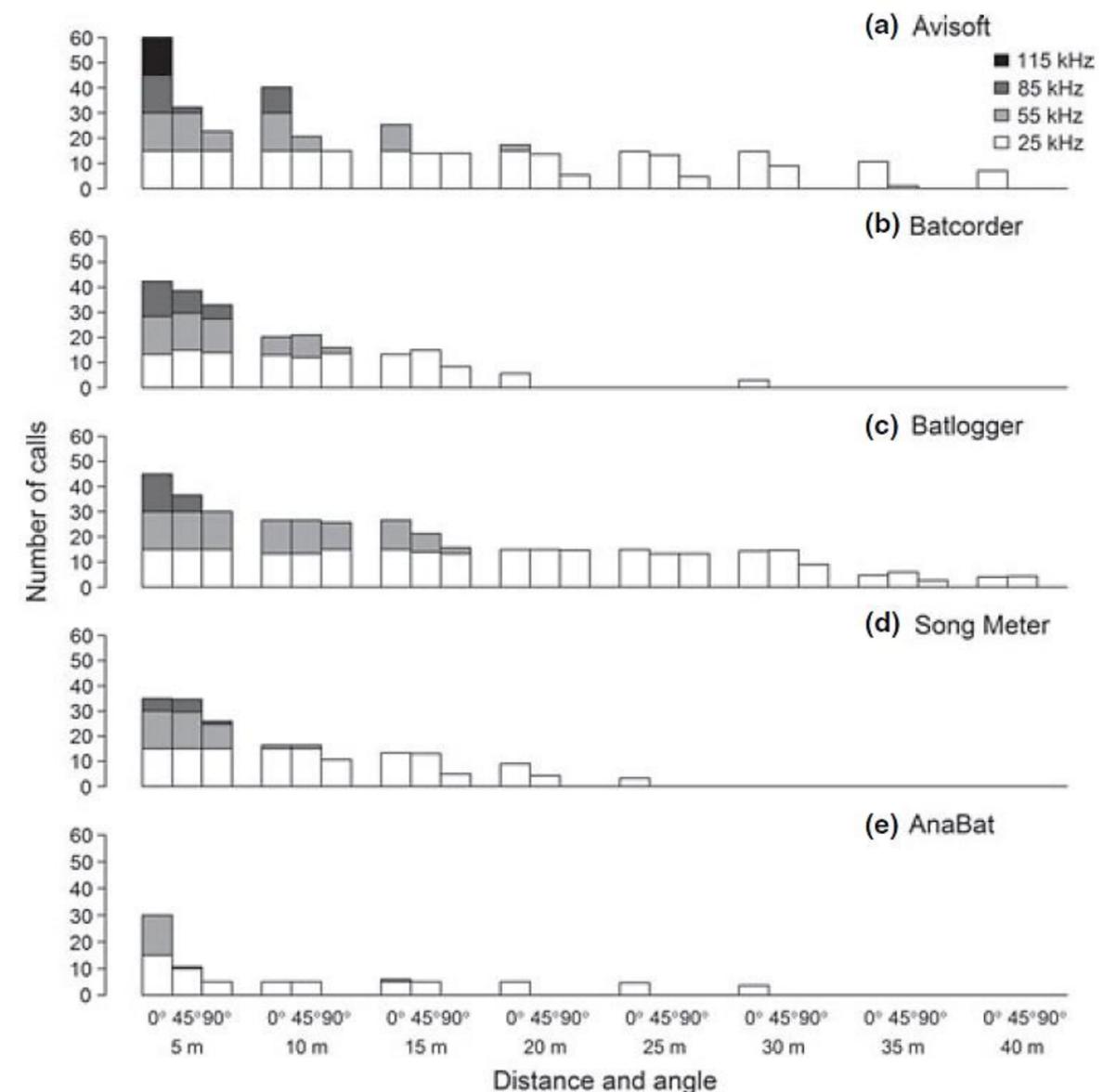
- Les limites liées à la qualité et à la fréquence de recalibrage des micros,
- Leur volume de détection (cône de détection) et à leur caractère directionnel ou multidirectionnel,
- Les paramétrages retenus (filtres des basses ou hautes fréquences, durée d'enregistrement depuis le déclenchement),
- Les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

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

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

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

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



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

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

3.3. Résultats du suivi de l'activité des chiroptères

3.3.1. Cortège d'espèces

Rappelons que le suivi passif de l'activité ultrasonore des chiroptères fut basé sur le fonctionnement d'un enregistreur automatique à ultrasons sur l'éolienne E3.

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 7 mois en 2018 (3 mai au 11 novembre 2018).

Le tableau suivant synthétise le cortège d'espèces détectées à partir de l'enregistreur automatique en continu placé au niveau de la nacelle de l'éolienne E3 en 2018. Il précise les statuts de protection et de conservation de ces différentes espèces. Au total, 7 espèces sont ainsi déterminées avec certitude.

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

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 (2012)	Valeur patrimoniale
Noctule de Leisler	Nyctalus leisleri	Nlei	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré à fort
Noctule commune	Nyctalus noctula	Nnoc	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé	Modéré à fort
Pipistrelle de Kuhl	Pipistrellus kuhlii	Pkuh	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Preoc. Mineure	Très faible
Pipistrelle de Nathusius	Pipistrellus nathusii	Pnat	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Quasi menacé	Modéré
Pipistrelle commune	Pipistrellus pipistrellus	Ppip	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure	Modéré
Barbastelle d'Europe	Barbastella barbastellus	Bbar	P	H2 et H4	2	Quasi menacé	Vulnérable	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Faible à modéré
Vespère de Savi	Hypsugo savii	Hsav	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Données insuffisantes	Faible

Pour une meilleure lisibilité, un regroupement des espèces selon leur comportement de vol est réalisé. 4 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. On notera que ce groupe d'espèces correspond aux espèces évoluant à des hauteurs de vols modérées (moins de 50m) la plupart du temps en suivant les éléments structurants du paysage (lisières de boisement, haies, chemin...). Cependant il est possible de retrouver ponctuellement ce groupe d'espèces plus en hauteur, notamment lors de poursuite en altitude d'essaimages d'insectes présents en hauteur (ascendance thermique ou dynamique). Il arrive donc que ces espèces se retrouvent à des hauteurs de vol plus importantes.

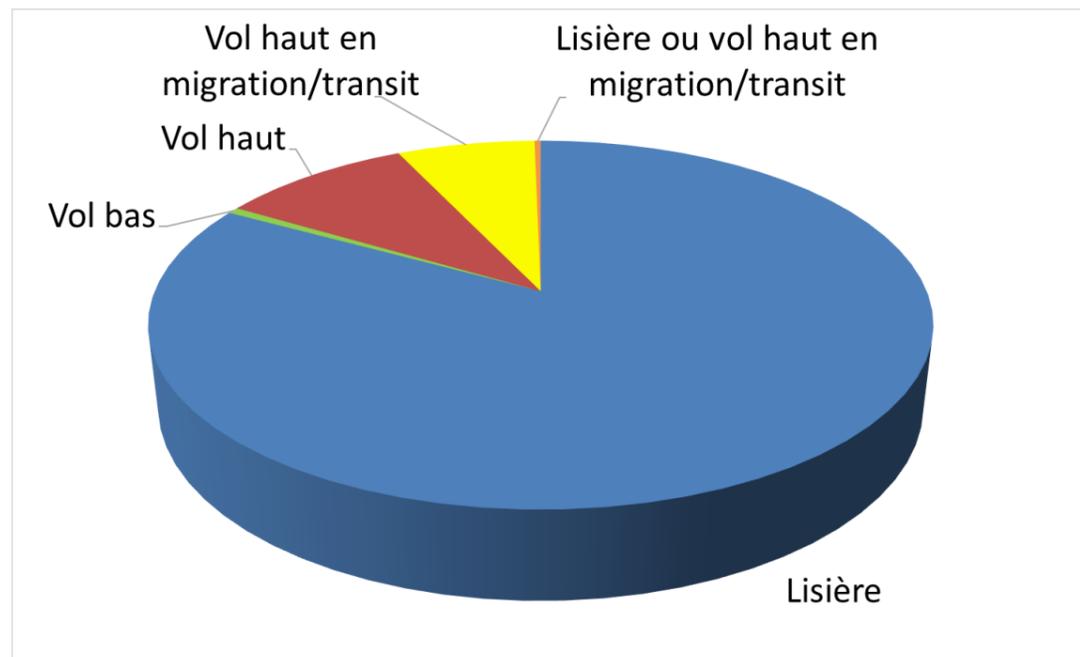
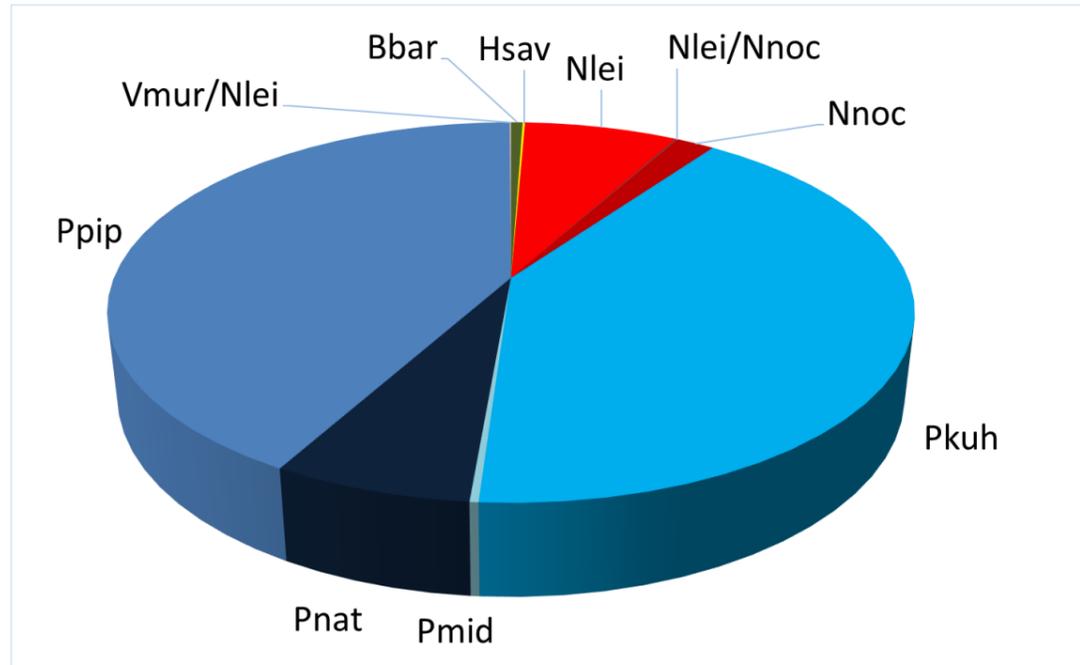
- **Du groupe des espèces de vol haut**, qui comprend l'ensemble des noctules (Noctule de Leisler, Noctule commune), le Vespère de Savi et le groupe des Nyctief (Noctule commune ou Grande noctule ou Molosse de Cestoni). Pour ce dernier groupe, les contacts identifiés en Nyctief sont probablement des contacts de Noctule commune (distribution géographique limitée de la Grande Noctule et du Molosse de Cestoni). Ce groupe d'espèce comprend donc des espèces qui utilisent les secteurs plus ouverts et donc régulièrement des hauteurs de vols plus importantes même lors de vols de chasse.
- **Du groupe des espèces de vol haut en migration/transit** : Ce groupe comprend le minioptère de Schreiber (non contacté sur le suivi en hauteur) et la Pipistrelle de nathusius. Ces espèces chassent en général au niveau du sol, mais n'utilisent pas forcément les structures arborées pour se déplacer, on les contacts alors en plein ciel lors de leur phase de transit, à des hauteurs importantes. Il s'agit également d'espèces migratrices, et présentent donc des activités de transit en hauteur plus importantes en période migration, entre avril et mai, et entre septembre et octobre.

Les graphiques de la Figure 10 témoignent de la proportion par grands groupes d'espèces dans l'activité totale relevée au niveau du Batcorder sur l'éolienne E3. On remarque que le groupe des espèces de lisière (notamment la Pipistrelle de kuhl) est le plus contacté en hauteur.

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

3.3.2. Chronologie de l'activité au niveau de la nacelle E4

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



Le graphique de la Figure 13 Figure 13 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce relevée en nacelle d'éolienne 3 page 21 synthétise la chronologie de l'activité relevée par le module Batcorder à hauteur de nacelle (E3), au cours de la période de suivi. Les résultats sont décomposés par espèce ou groupe d'espèces. L'analyse synthétique de ce type d'histogramme est délicate dans la mesure où elle peut se faire selon diverses approches complémentaires :

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

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

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

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

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

L'activité printanière (jusqu'à mi-mai), estivale (de mi-mai à mi-août), et automnale (à partir de mi-août) sont très hétérogènes au cours du temps.

On peut distinguer trois périodes. La première, du début du suivi à début juillet, avec des activités oscillantes de faible à modéré mais très hétérogène dans le temps avec des nombreuses nuit sans activité. La seconde période du 14 Juillet au 30 Août avec des activités oscillantes entre très faible à modéré mais nettement plus régulière, avec 26 nuits présentant une activité sur les 48 nuits de la période. La troisième période du 12 septembre à la fin du suivi présente une activité hétérogène avec de nombreuses nuit sans activité mais certaines nuits des pics d'activité sont relevés. Un pic considéré comme Modéré à fort le 5 octobre, et un pic considéré comme très fort le 27 septembre.

- **Pic d'activité du 27 septembre 2018**

D'après le référentiel EXEN, le pic d'activité du 27 septembre 2018 est d'un niveau très fort. Celui-ci se caractérise par une forte activité de Pipistrelle commune et une activité modérée de Pipistrelle de kuhl. Quelques contacts de Noctule de leilser ont aussi été enregistrés durant cette nuit de pic. Celui-ci a été relevé par des vents variant entre 0,5 et 4,5 m/s. Les chauves-souris ont été actives majoritairement par vent nord-ouest et plus faiblement par vent de nord, d'ouest, de sud-est et de sud-ouest, et pour des températures situées entre 19 et 22°C. Enfin, ce pic a été enregistré entre 20H30 et 04h30, mais en majorité entre 20h50 et 22H30.

- **Pic d'activité du 5 octobre 2018**

D'après le référentiel EXEN, le pic d'activité du 5 octobre 2018 est d'un niveau modéré à fort. Celui-ci se caractérise par une activité importante de Pipistrelle de kuhl. Quelques contacts de Pipistrelle commune et de Noctule de leilser sont également relevés. Ce pic a été relevé par des vents variant entre 3 et 4 m/s. Les chauves-souris ont été actives par vent de nord-ouest, de nord, d'ouest, de sud-ouest, d'est, de sud et de sud-est et pour des températures situées entre 25°C. Enfin, le rythme nocturne de ce pic s'étale sur une très courte période, en tout début de nuit.

Figure 12 : Synthèse des informations relatives aux pics d'activité identifiés en nacelle d'éolienne E3

Date	Niveau d'activité	Espèces contactées	Vitesse de vent	Direction du vent	Température	Comportement
27/09/2018	Très fort	Pipistrelle de kuhl et Pipistrelle commune (Noctule de Leisler)	Entre 0,5 et 4,5 m/s	NO, (N, O, SE, SO)	Entre 19 et 22 °C	Chasse et social
05/10/2018	Modéré à fort	Pipistrelle de kuhl et Pipistrelle commune (Noctule de Leisler)	Entre 3 et 4 m/s	SO	25 °C	Chasse et social

Figure 13 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par espèce relevée en nacelle d'éolienne E3

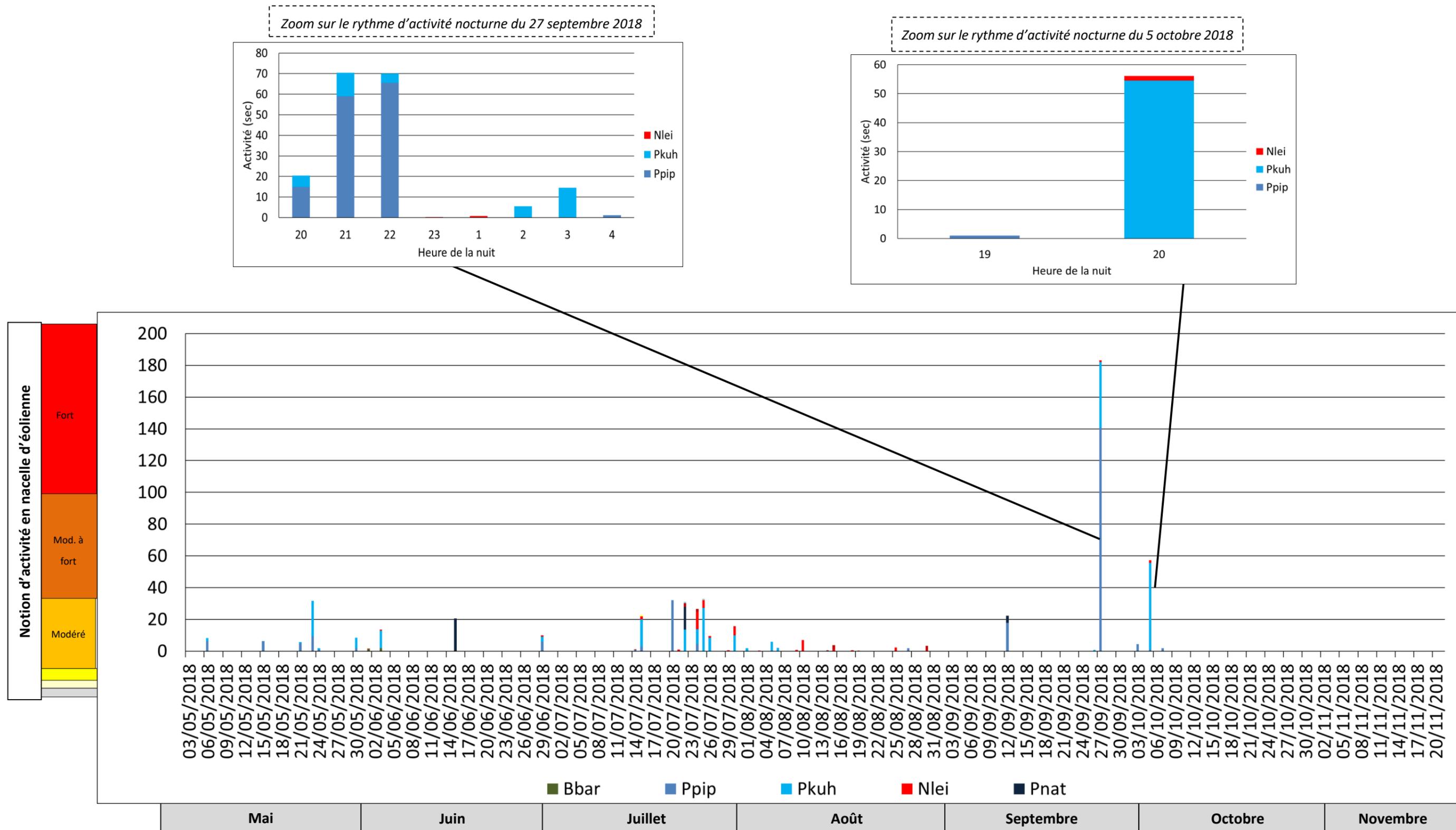
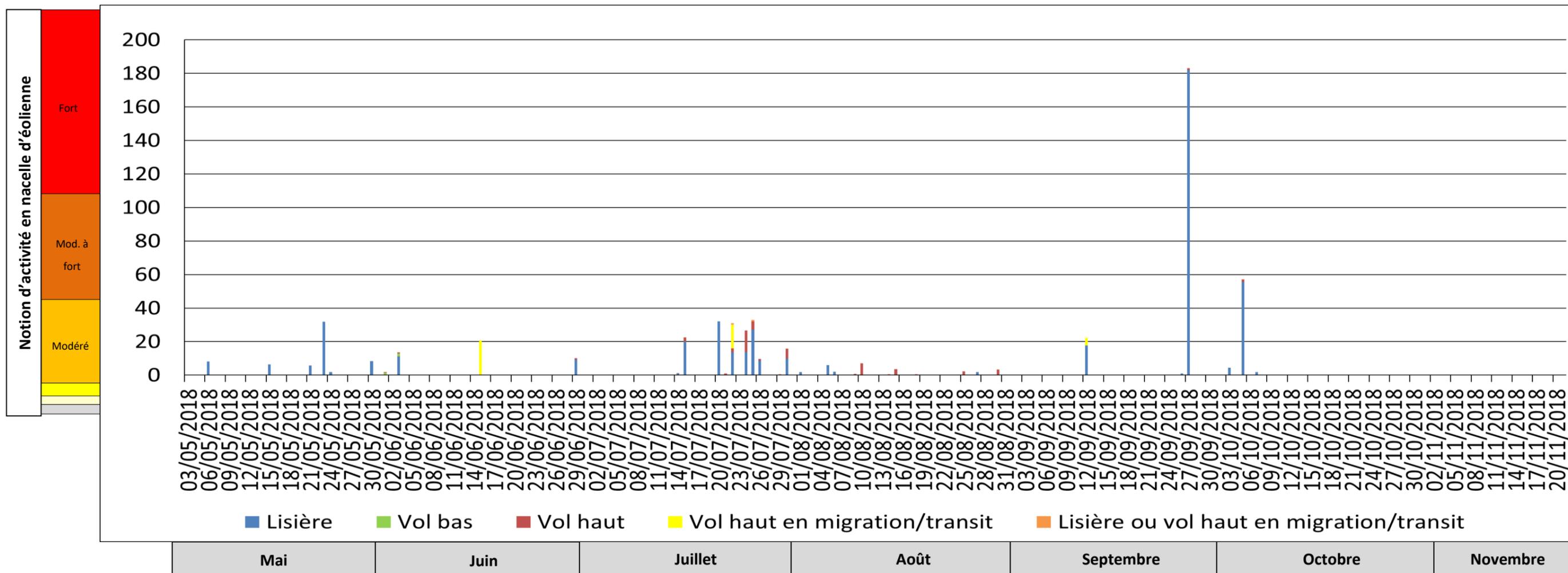


Figure 14 : Graphique de la chronologie de l'activité (en secondes d'activité cumulée par nuit) par groupe d'espèces relevé en nacelle d'éolienne E3



3.3.3. Influence de la vitesse du vent

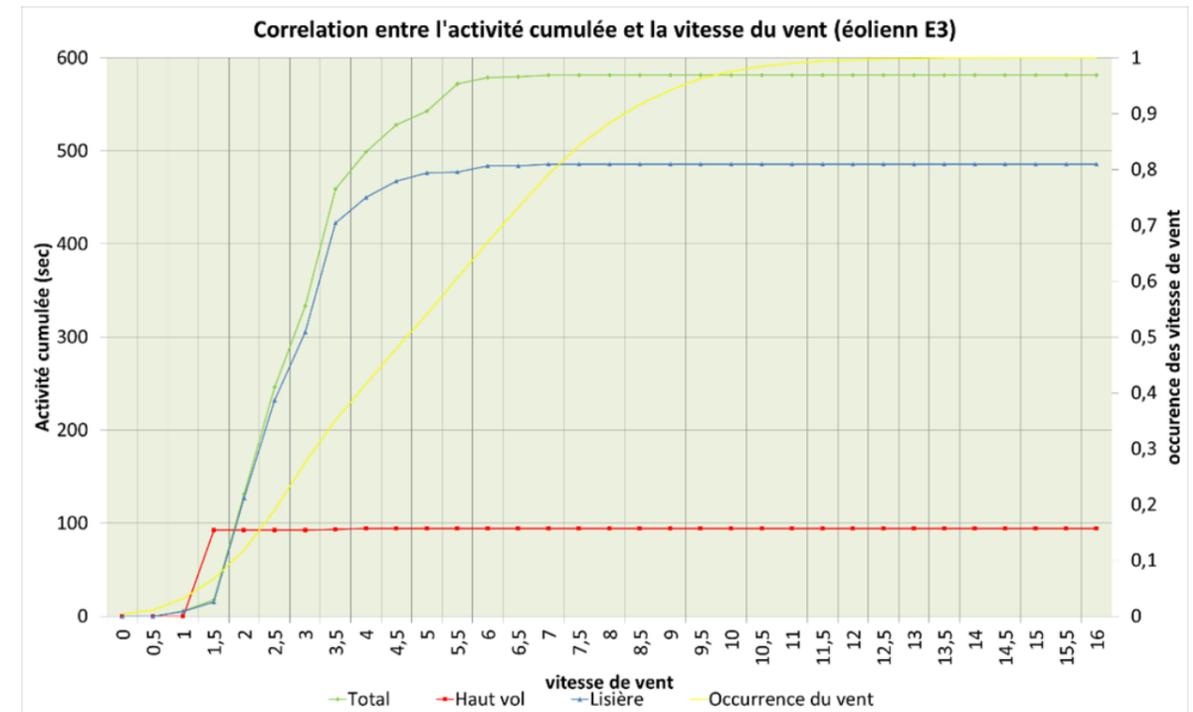
Le principal paramètre avancé à ce jour comme facteur d'influence de l'activité des chauves-souris est la vitesse du vent. L'expérience montre en effet que l'activité des chauves-souris chute de façon corrélée avec l'augmentation de la vitesse du vent. Cela s'explique surtout par le fait que les vents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

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

Dans notre cas précis, le graphique témoigne d'une activité cumulée d'espèces de lisières à un niveau de 485 secondes pour des vents inférieurs à 7 m/s avec un maximum de l'activité entre 2 et 3 m/s. En ce qui concerne les espèces de haut vol, 95 secondes d'activité a lieu aussi par des vitesses de vent inférieures à 4 m/s avec un maximum d'activité aillant lieu pour des vitesses de 2 m/s.

Pour rappel, lors des nuits de pics d'activité, les chauves-souris ont été actives par des vitesses de vent entre 0,5 et 4,5 m/s le 27 septembre 2018, entre 3 et 4 m/s le 5 octobre 2018.

Figure 15 : Corrélation inverse entre la vitesse du vent et l'activité cumulée des chauves-souris au niveau de l'éolienne E3 (sur la base des données relevées en 2018 en nacelle d'éolienne)



3.3.4. Influence de la direction du vent

La direction du vent peut aussi être un facteur d'influence de l'utilisation du site par les chauves-souris. Au niveau de l'éolienne E3, on s'aperçoit que l'activité totale est plus importante pour certaines directions du vent. Ce constat se manifeste au niveau de la Figure 16 ci-contre. Les graphiques représentent l'activité totale enregistrée et l'occurrence du vent relevée sur l'éolienne E3, selon la direction du vent. Précisons que l'occurrence du vent correspond au nombre de fois où chaque direction de vent a été relevée, par période de 10 min, la nuit et au niveau de l'éolienne.

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

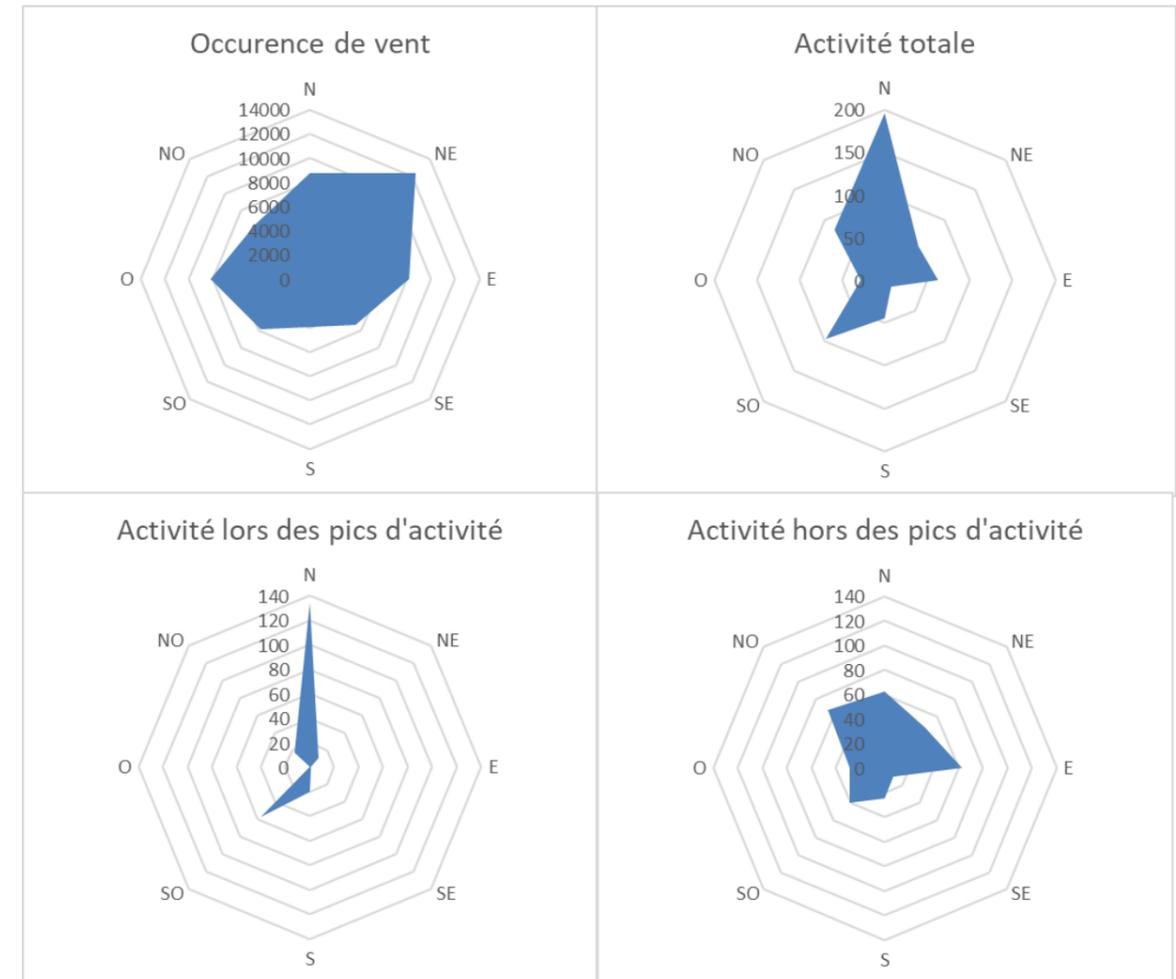
- Dans le cas d'une activité aucunement liée à la direction du vent, la forme des deux graphiques sera similaire ;
- Dans le cas d'une activité plus importante liée à certaines directions de vent (selon l'orientation du vent, des essaimages d'insectes pourraient éventuellement être amenés au niveau du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

On s'aperçoit que l'activité est généralement la plus importante par vent de nord, de nord et de sud-ouest. Mais dans la mesure où les vents dominants proviennent aussi en partie du nord 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. En revanche, on remarque la quasi-absence d'activité par vent de sud-est et d'ouest mais une occurrence moyenne dans cette même direction. Il est possible qu'il existe une influence négative de cette direction sur l'activité.

Au vu du contexte paysager du parc, l'activité importante enregistrée par vent de nord-est ne semble pas à mettre en lien avec la topologie du site, l'hypothèse d'ascendances dynamiques drainant des insectes en hauteur est donc écartée.

Finalement, ce facteur ne semble pas beaucoup influencer l'activité des chauves-souris en hauteur sur ce site.

Figure 16 : Graphique présentant l'activité totale relevée et l'occurrence du vent enregistrée en fonction des directions du vent, en nacelle d'éolienne E3



3.3.6. Influence de la température

La température apparaît également comme un paramètre parfois important à prendre en compte pour expliquer les modalités de fréquentation des chauves-souris.

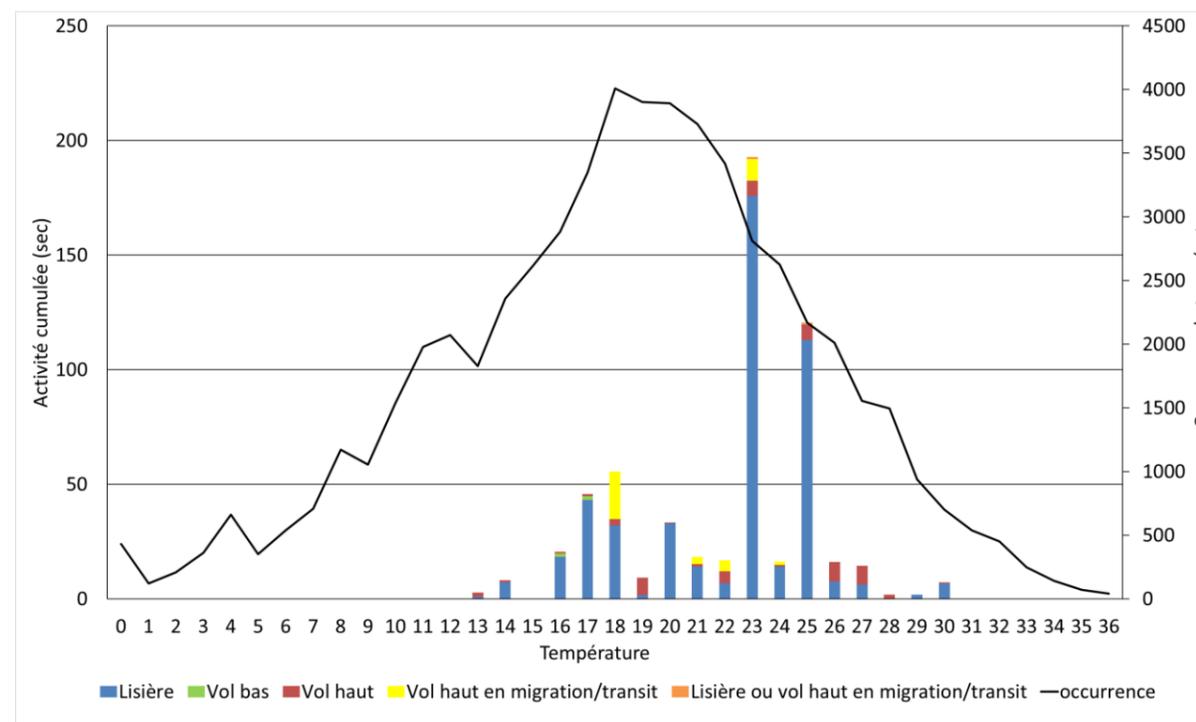
La courbe d'occurrence de la température correspond au nombre de fois où chaque valeur de température a été relevée, par période de 10 min, la nuit et au niveau des éoliennes. De ce fait, il s'agit de comparer la courbe d'occurrence à celle d'activité réelle :

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

Le graphique suivant montre que l'activité des chauves-souris en hauteur est présente à partir d'une température de 13°C. En pourcentage d'activité, plus de 95% de l'activité des chauves-souris s'effectue pour des températures supérieures à 16°C et plus de 80% pour des températures supérieures à 17°C. En 2018, plus de 95% de l'activité des chauves-souris s'effectuait pour des températures supérieures à 15°C pour l'éolienne B4.

Au niveau du site, les températures de 13 à 25°C sont celles qui sont le plus souvent relevées, et c'est aussi par des températures de 23 à 25 °C que l'on observe les activités les plus importantes. Globalement on s'aperçoit que l'activité n'est que peu influencé par la température.

Figure 17 : Décomposition de l'activité cumulée des chauves-souris en hauteur au niveau de l'éolienne E3 en fonction de la température relevée sur cette même éolienne et en parallèle des enregistrements d'activité

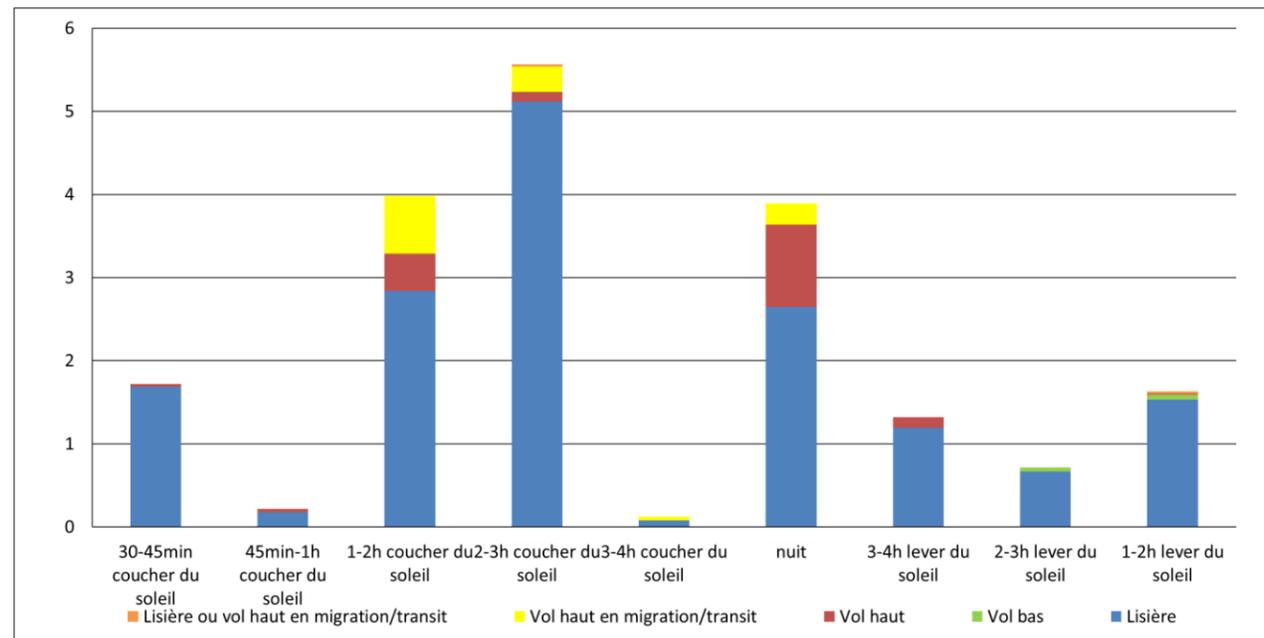


3.3.8. Rythme d'activité nocturne

Sur l'ensemble de la période de suivi, les horaires d'activités des chiroptères sont répartis sur l'ensemble de la nuit pour l'éolienne E3, avec des activités s'étalant de 30 minutes après le coucher du soleil, à 1 heure avant le lever du soleil. On notera quand même une activité légèrement plus importante en début de nuit qu'en fin de nuit. Ce constat est représenté sur le graphique page suivante.

Dans notre cas précis, on peut calculer qu'environ 80% de l'activité est mesurée entre 1h après le coucher du soleil et 2h avant le lever du soleil. De même, environ 95% de l'activité est mesurée entre 1 heure après le coucher du soleil et 1 heure avant le lever du soleil.

Figure 18 : Rythme d'activité nocturne (en seconde d'activité cumulée) par groupe d'espèces mesuré au niveau de l'éolienne E3 (en 2018)



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

4.1. Objectifs du suivi de la mortalité

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

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

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

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

De façon plus générale, idéalement, les résultats du suivi de la mortalité doivent être analysés en parallèle des résultats d'activité des chauves-souris. Le tableau de synthèse général des données brutes de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux retrouvés lors du suivi 2018 est présenté en Annexe 4 page 84.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Choix d'une méthode standardisée

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

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

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

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

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

4.2.2. Choix des périodes de suivis et fréquence des visites

Le choix des périodes de suivi doit logiquement se faire en fonction des enjeux ou des notions de risques qui peuvent être parfois évalués difficilement au niveau de l'étude d'impact pré-implantation. Il s'agit alors de cibler tout particulièrement les périodes du cycle biologique des espèces qui peuvent apparaître comme les plus à risques ou du moins pour lesquels la maîtrise des risques pourrait être la plus délicate.

Aussi, nous nous référons ici aux références bibliographiques nationales et à notre importante expérience de suivis de mortalités pratiqués depuis 2008 en région Occitanie et qui nous permettent d'apprécier que les cadavres d'oiseaux et de chauves-souris sont clairement détectés principalement entre mai et novembre, avec une période plus à risque centrée sur la phase automnale, pour les deux taxons.

Le choix de la pression de suivi, c'est-à-dire le laps de temps entre 2 passages, est un élément fondamental de la qualité de l'étude. En effet, si ce délai de retour est supérieur à la durée moyenne de disparition des cadavres au sol, alors il sera impossible d'être conclusif sur le niveau de mortalité généré par les éoliennes. Concrètement, dans ces conditions, il sera tout simplement impossible d'appliquer les différentes formules mathématiques permettant d'estimer le « taux de prédation ». Or, par expérience, dans la grande majorité des sites étudiés, et selon les saisons, la vitesse de disparition des cadavres est généralement inférieure à une semaine. C'est la raison pour laquelle, la SFEPM, mais aussi nombre de services de la DREAL s'opposent aujourd'hui à tout protocole de suivi de la mortalité qui se base sur un pas de temps de retour de moins de 2 visites par semaine.

Le calendrier de ciblage des périodes de suivi correspond à une pression d'observation de 12 passages.

4.2.4. Choix des éoliennes suivies

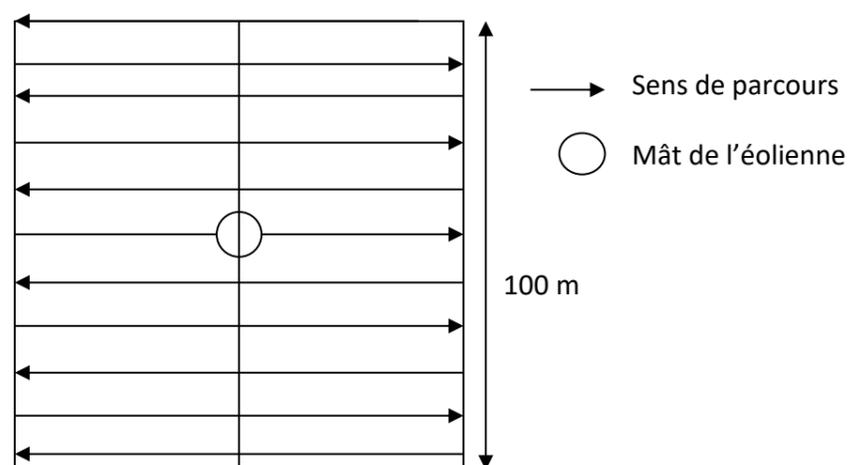
Par expérience, et devant le caractère très hétérogène de l'impact sur la faune volante généré d'une éolienne à une autre, le choix de suivre toutes les éoliennes du parc avec une même pression de suivi était la solution la plus pertinente. C'est ce qui fut retenu, avec, nous le verrons, cependant, quelques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

4.2.5. Organisation des parcours de prospection

Le parcours de prospection (transect) sous chaque éolienne a été préétabli afin d'avoir 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.

La surface de recherche est de forme carrée. Les études de Kerns, Erickson et Arnett (2005) montrent que près de 80 % des carcasses pouvaient être trouvées à l'intérieur de la moitié de la distance mesurée du bout de pale jusqu'au sol. De façon plus générale, les différents suivis de la mortalité montrent logiquement l'existence d'un gradient croissant de la densité des cadavres en s'approchant du mât de l'éolienne. La surface prospectée idéale fut de 10 000 m² (un hectare), représentée par un carré de 100 m de côté, et une distance minimum de 50 m par rapport au mât de l'éolienne (distance supérieure à celle de la projection au sol du champ de rotation des pales d'éoliennes).

Figure 20 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique



Concrètement, avant la première visite de mortalité et à partir de l'implantation des éoliennes et des fonds de carte Ortho fournis par le développeur éolien, nous matérialisons ces carrés de prospection de 1 ha sur un logiciel SIG. Par photo-interprétation, des entités délimitant les boisements, les haies denses, les plans d'eau, etc, sont créés au sein des carrés concernés par ce type d'élément paysager.

Lors de la première visite mortalité, le chercheur matérialise les 4 coins de chaque carré de mortalité, à l'aide de piquets fluos et d'un télémètre laser.

Puis, il vérifie que les zones délimitées sur carte (zones boisées, haies, ...) correspondent à ce qui se trouve sur le terrain et les corrige ou en crée des nouvelles si besoin.

La prospection se fait le long d'un transect de lignes virtuelles espacées de 3 à 10 m chacune selon la typologie des milieux au sein des carrés.

Enfin, lorsque que c'est le même chercheur qui intervient régulièrement, des habitudes de parcours se prennent assez vite après plusieurs passages, ce qui permet progressivement de se repérer plus aisément dans le carré de prospection.

4.2.6. Définition des niveaux de difficulté de prospection

Selon le contexte paysager du parc, la prospection est plus ou moins difficile. 4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

- « Très facilement prospectable » : gravier, terre battue, chemin d'accès (pas de végétation),
- « Facilement prospectable » : végétation éparse ou basse, labour, milieu homogène
- « Moyennement prospectable » : végétation d'une hauteur supérieure à 30 cm et dense, milieu hétérogène, ...
- « Non prospectable » : boisements, cultures, fougères épaisses, ronces denses, genêts...

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

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 21 de la page suivante propose de visualiser les surfaces prospectées ainsi que le pourcentage de prospection associé.

Figure 21 : Carte de l'orientation des carrés et de la surface prospectée lors du suivi mortalité sous les éoliennes de la Chaussée de César sud
(en haut : la moitié nord, en bas : la moitié sud)



4.2.7. 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 C. & HELVERSEN O., 2004), Cahier technique d'identification des chiroptères (MARMET J., 2015)...).

Pour les oiseaux, la phase de détermination se fait par différents ornithologues, sur la base de diverses 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 1 de la page 75.

Figure 22 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris



4.2.8. Détermination des coefficients correcteurs

4.2.8.1 Organisation générale

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

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

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

Deux sessions de détermination de ces coefficients correcteurs ont été réalisées durant la campagne de suivi (le 7 mai et le 7 août 2018).

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

L'objectif de ce test est d'apprécier l'efficacité du chercheur (nombre de cadavres trouvés par rapport au nombre de cadavres déposés), tout en tenant compte du niveau de difficulté de prospection (hauteur de végétation plus ou moins haute, plus ou moins dense, etc).

Dans la pratique, un échantillon de cadavres d'oiseaux (poussins d'élevage) a été dispersé lors d'une journée de recherche de cadavres sous les éoliennes. Ne disposant que de poussins d'élevage de taille comparable, nous considérons qu'un poussin est le cadavre test de petite taille (de même gabarit qu'une chauve-souris ou un passereau). Pour les cadavres de grande taille, 2 cadavres de poussins ont été disposés l'un contre l'autre. Ces cadavres sont de tailles différentes (lot de 2 poussins : cadavre moyen, 1 poussin : petit cadavre) pour permettre d'affiner l'analyse, qu'il s'agisse de l'efficacité du chercheur ou de la vitesse de disparition des cadavres en fonction de ce paramètre de taille. Les résultats de ces différents tests seront développés plus bas.

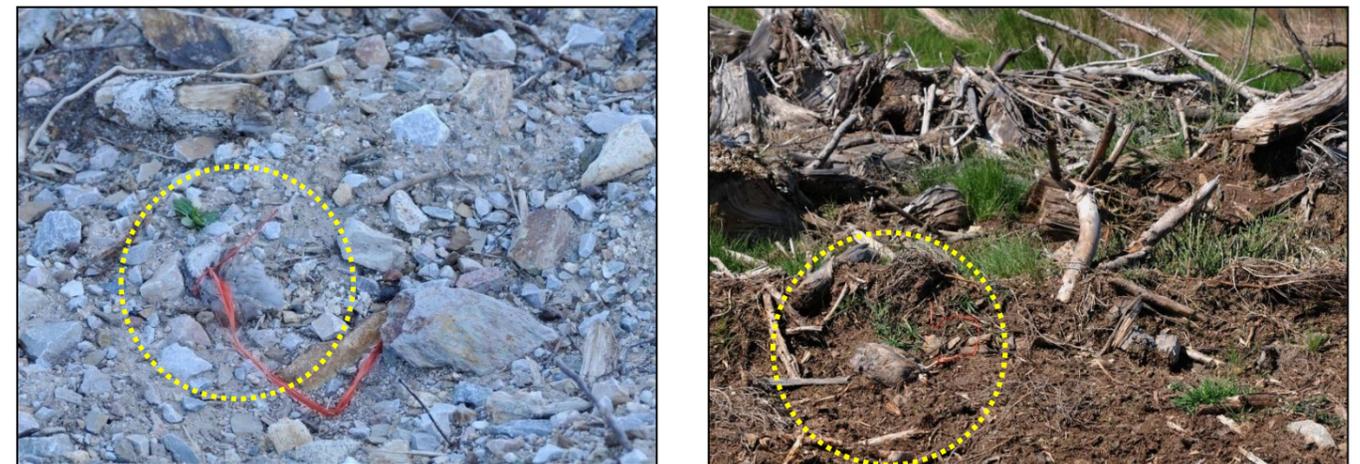
Il faut être 2 personnes pour réaliser les tests, c'est-à-dire une personne qui disperse les cadavres (« disperseur ») et une autre qui les recherche par la suite (« chercheur »). Après avoir préparé les cadavres, le disperseur va les positionner sur la zone test en essayant de répartir le même nombre de cadavres entre les différents niveaux de difficulté de prospection (très facile, facile, moyen). Les limites de la zone test correspondent aux carrés de prospection. Le disperseur note alors sur sa carte de terrain la position de chaque cadavre en précisant le code affecté au cadavre (« P1 », pour premier cadavre de petite taille (ici, 1 poussin), « G2 » pour deuxième cadavre de grande taille (ici, 2 poussins côte à côte)...).

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 cadavres, 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 un cadavre, le disperseur enregistre cette découverte, puis le cadavre-test est retiré de la zone de prospection. En fin de session, les résultats permettent d'apprécier l'efficacité du chercheur, caractérisée par le « taux de détection » (nombre de cadavres découverts / nombre de cadavres déposés).

Figure 23 : Clichés d'un échantillon de « cadavres tests » (sur un autre site)



Figure 24 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des cadavres dispersés (sur un autre site)



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

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

Pour les tests de disparition, un nombre suffisant de cadavres-tests (poussins d'élevage) sont déposés sous l'ensemble du parc éolien, répartis équitablement entre les différents niveaux de difficulté de prospection la même journée. 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 toutes les éoliennes du parc.

Les cadavres-tests sont localisés précisément sur une carte de terrain, et pour chaque code affecté (P1, P2, G1, G2, ...) des informations sont données pour aider à trouver les cadavres-tests (Kern, cercle en pierre...).

Le lendemain du test, une visite est effectuée pour constater les éventuels effets de la prédation. Pour chaque cadavre-test, nous notons s'il est encore présent ou non. Cette démarche est la même au cours des différentes visites de prédation.

En effectuant ce travail à plusieurs reprises, on peut alors apprécier l'action des nécrophages par unité de temps.

4.2.8.4 Calculs

Nous verrons que 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. Nous développerons un peu plus les particularités de chacune des formules par la suite (cf. chapitre 4.3.5.2 page 42). 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. Mais 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.

4.2.8.5 Intervalle de confiance

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

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 concernées, quels statuts biologiques ou de patrimonialité ?...). Autrement dit, au-delà de l'approche statistique du nombre de mortalités estimées, l'analyse fine des données brutes est tout aussi essentielle dans le processus de maîtrise des impacts éoliens.

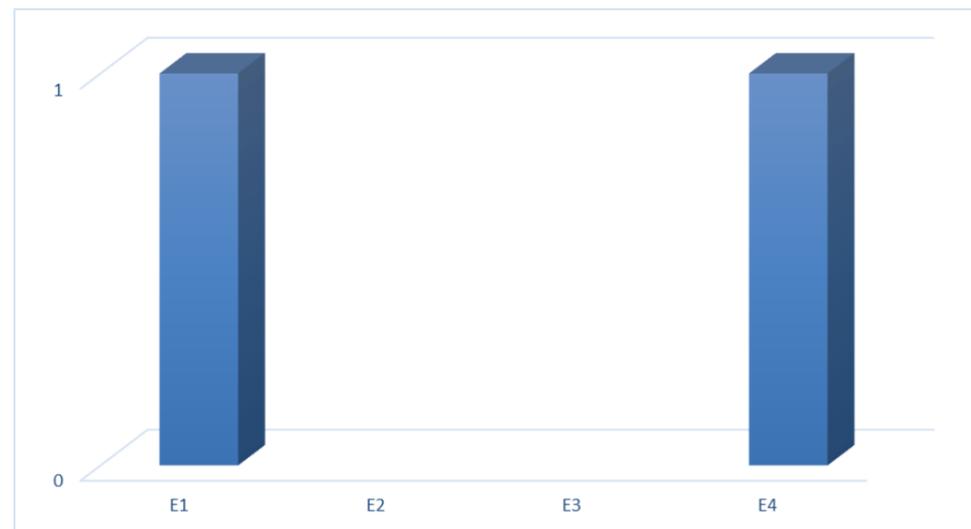
4.3. Bilan de la mortalité des chauves-souris

4.3.1. Bilan des mortalités par éolienne

2 chauves-souris furent retrouvées sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 8 mai et le 28 mai, puis entre 7 août et le 25 septembre 2018.

Les deux cadavres de chauve-souris ont été retrouvés sous deux éoliennes différentes.

Figure 25 : Bilan des mortalités de chauves-souris constatées en 2018 et répartition par éolienne



4.3.2. Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris

Le premier graphique de la Figure 27 page 36 représente la chronologie des découvertes de cadavres de chauves-souris sur l'ensemble du parc éolien en 2018.

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 2018 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'une chauve-souris tombée la nuit précédant la visite) et 3-4 jours (en période de 2 visites par semaine),
- Entre 0 (cas d'une chauve-souris tombée la nuit précédant la visite) et 6-7 jours (en période d'une seule visite par semaine),
- Parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

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

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

- L'aspect général du cadavre (raideur cadavérique, état de déshydratation des chairs, yeux vitreux, décomposition, putréfaction des chairs,...)
- La fréquentation d'insectes nécrophages et nécrophiles. Sans aller à une datation précise, nous distinguons grossièrement sur les cadavres les phases de :
 - Colonisation par les diptères les plus précoces, et les premières pontes quelques minutes après la mort ; pupes non écloses -> la mort date de moins de 8-20h, c'est-à-dire la nuit précédant la découverte pour un suivi matinal.
 - L'évolution des pontes des diptères ; présence d'asticots -> mort antérieure à 8-20h, c'est-à-dire que la mort a pu se produire deux ou trois nuits en arrière.
 - Les phases plus tardives, de l'ordre du jour ou quelques jours après la mort, de colonisation des coléoptères et hyménoptères, avec notamment la présence de Silphes non 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 page 47 synthétise cette estimation corrigée de la date des mortalités. La différence est peu significative sur une large échelle de temps, mais elles pourront avoir certains intérêts pour d'éventuelles confrontations a posteriori entre ces mortalités et les conditions climatiques par exemple.

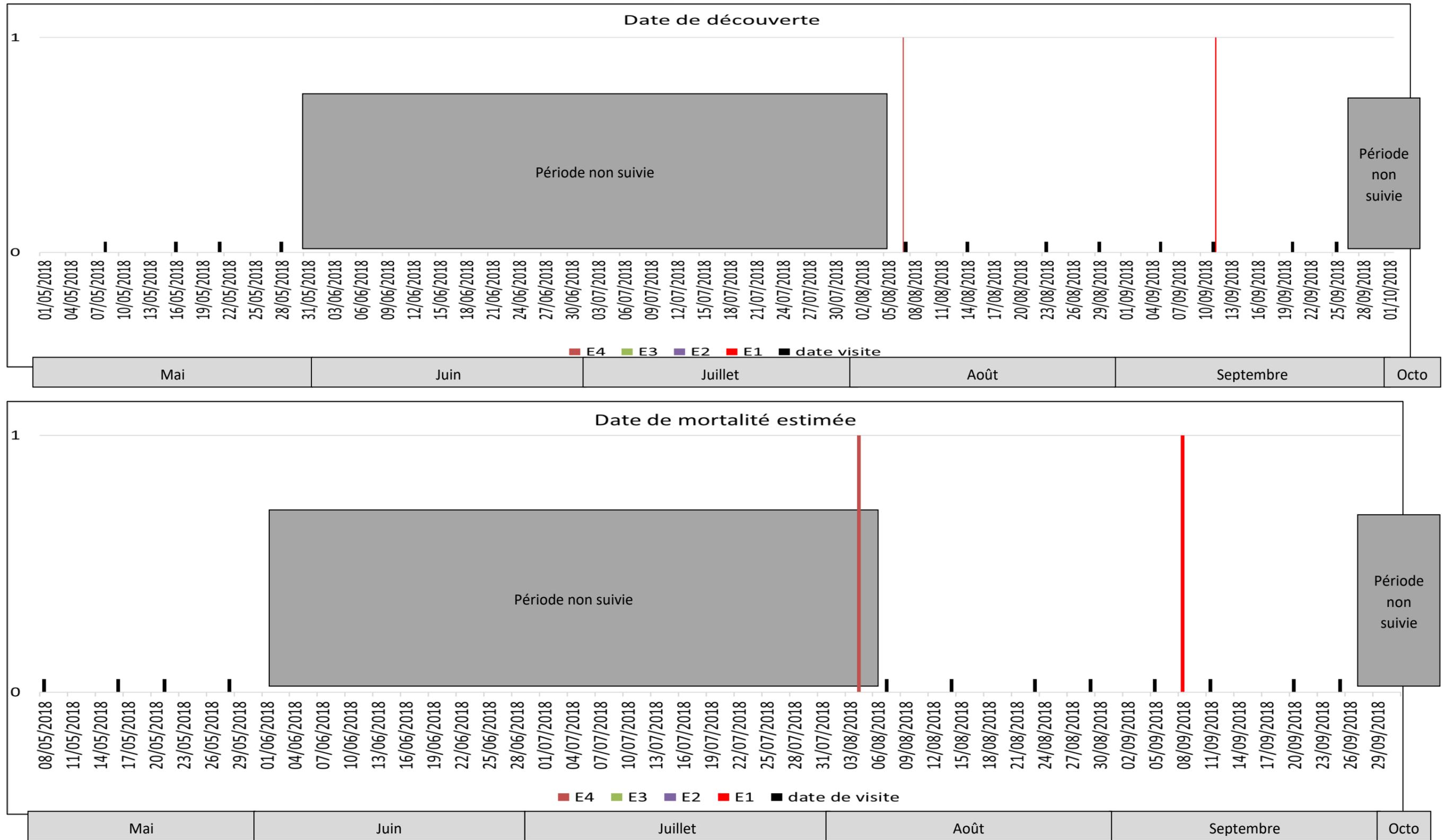
Précisons que, comparativement à d'autres parcs éoliens suivis dans la région avec la même méthodologie, les mortalités constatées sous ceux des Ormes ont apparemment été peu concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage même si l'état de dégradation de certains cadavres était avancé.

*Figure 26 : 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 27 : Chronologie des mortalités de chauves-souris (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2018



En ce qui concerne les rapports entre chronologie des mortalités et les éoliennes, les 2 cas de mortalité sont apparus sous différentes éoliennes entre août et septembre 2018. La première mortalité découvertes l'a été à la première visite de la reprise des prospections en août. La seconde mortalité a été découverte début septembre.

4.3.3. Typologie des cadavres découverts

4.3.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. Ce fut le cas en 2018 sur certains cadavres mais la plupart étaient bien conservés au moment de la détermination. Dans notre cas précis, tous les cadavres ont fait l'objet de plusieurs analyses biométriques.

Deux espèces ont été retrouvées sous les éoliennes du parc de Chaussée de César Sud. La Pipistrelle commune et la Noctule commune.

La Noctule commune est l'espèce dont les statuts de conservation sont les moins favorables (Vulnérable au niveau national et Quasi-menacée au niveau régional). La Pipistrelle commune n'a pas des statuts de conservation défavorables à l'échelle mondiale, européenne ou départementale, mais est classée Quasi menacée au niveau national.

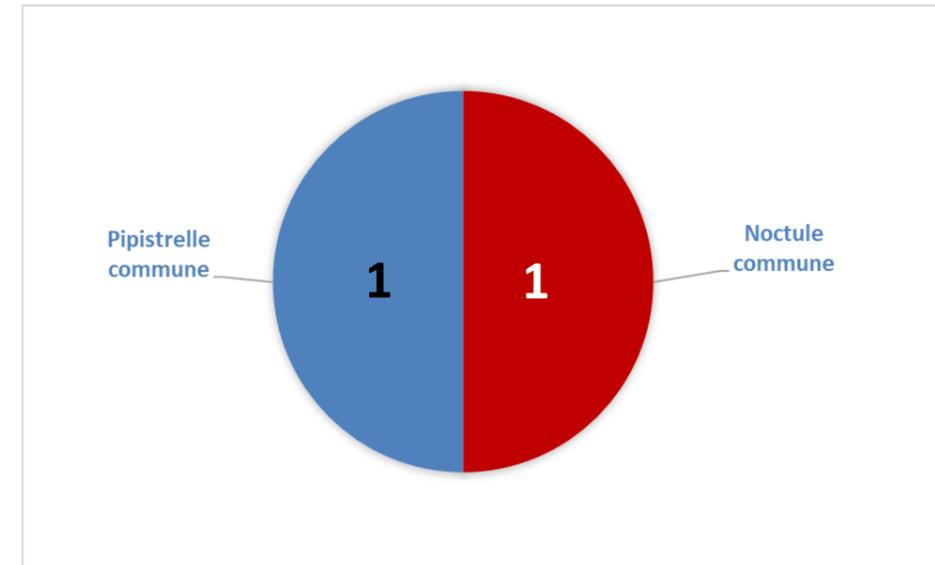
Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes.

Figure 28 : 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			Statut de conservation			
			Protéc. Fr.	Protéc. U.E.	Conv Berne	Liste rouge UICN (Mondiale)	Liste rouge UICN (Europe)	Liste rouge nationale (Nov 2017)	Centre (2012)
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Nnoc	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Vulnérable	Quasi menacé
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Ppip	P	H4	2	Préoc. Mineure	Préoc. Mineure	Quasi menacé	Preoc. Mineure

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

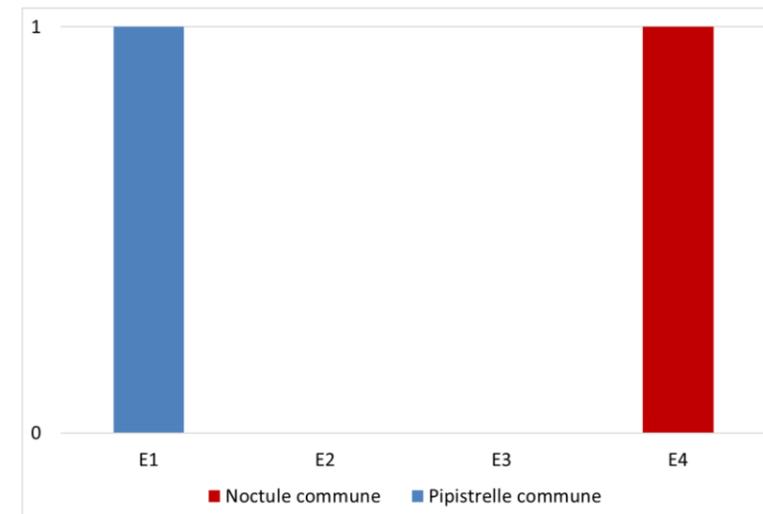
Figure 29 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (effectifs constatés) en 2018



4.3.3.2 Relation espèce / éolienne et type de vol / éolienne

Le graphique suivant précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

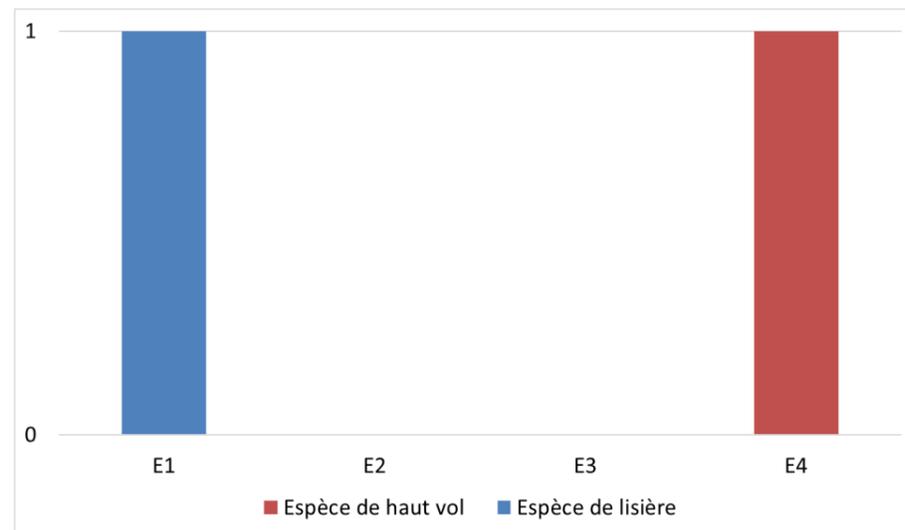
Figure 30 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2018



Le graphique suivant 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 la Pipistrelle commune est typiquement une espèce de lisière (longeant 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).

Figure 31 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2018 en fonction du type de vol



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

La figure suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2018. 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 :

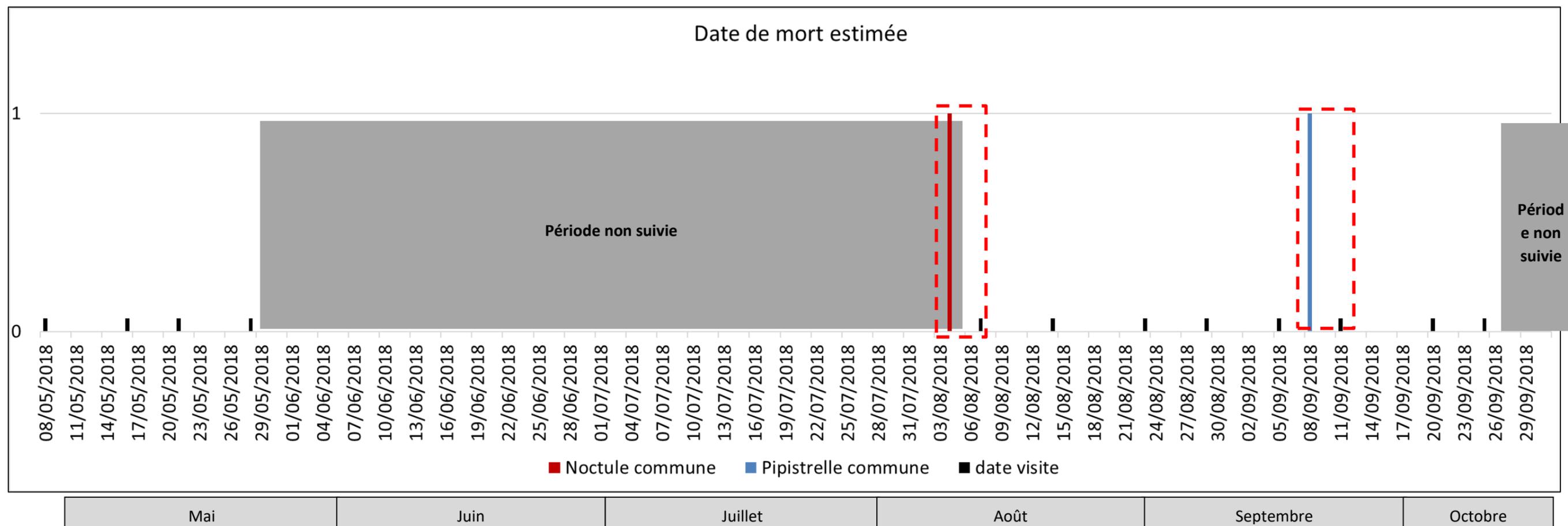
- La mortalité dite « régulière » correspond à une mortalité étalée sur la période de suivi et qui apparaît par hasard due à une activité régulière (mais très faible) des chiroptères en hauteur,
- Les pics de mortalité sont quant à eux brefs dans le temps et correspondent à plusieurs cas de mortalité 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 mortalité pour les chiroptères (conditions orageuses, essaimages d'insectes...).

▪ Pic de mortalité

Sur le suivi de mortalité, seul 2 cadavres ont été retrouvés, et à un mois d'intervalle, on ne peut donc pas parler de pic de mortalité sur le site. Rappelons tout de même que le suivi n'as pas permis de couvrir toute la période d'activité des chiroptères, et il est donc possible que des mortalités aient eu lieu lors des périodes non suivies.

Généralement, on considère que selon les espèces, la période de fin d'été/début d'automne peut aussi bien correspondre à une phase de pariades (regroupements pour accouplements) qu'à une phase de transits automnaux vers des secteurs d'hibernation. Ces types de comportements peuvent théoriquement être propices à des déplacements à une altitude plus élevée que lors des déplacements habituels (chasse, transit). Cependant, on ne peut pas écarter les comportements de chasse habituels, lors des dernières nuits chaudes.

Figure 32 : Répartition des mortalités de chauves-souris par espèce (d'après les dates de mortalité estimée) en 2018
(en pointillé rouge, les pics de mortalité constatés)



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

➤ Noctule commune (1 cas de mortalité)

En ce qui concerne la Noctule commune, 1 cas de mortalité a été découvert début août. Le sexe de l'individu n'a pas pu être identifié au vu de l'état de décomposition du cadavre. A cette période de l'année, les individus impactés pouvaient soit être en transit automnal, soit être en chasse au niveau du rotor. Les 2 hypothèses sont possibles.

Figure 33 : Cliché de la Noctule commune découverte le 7 août 2018



➤ Pipistrelle commune (1 cas de mortalité)

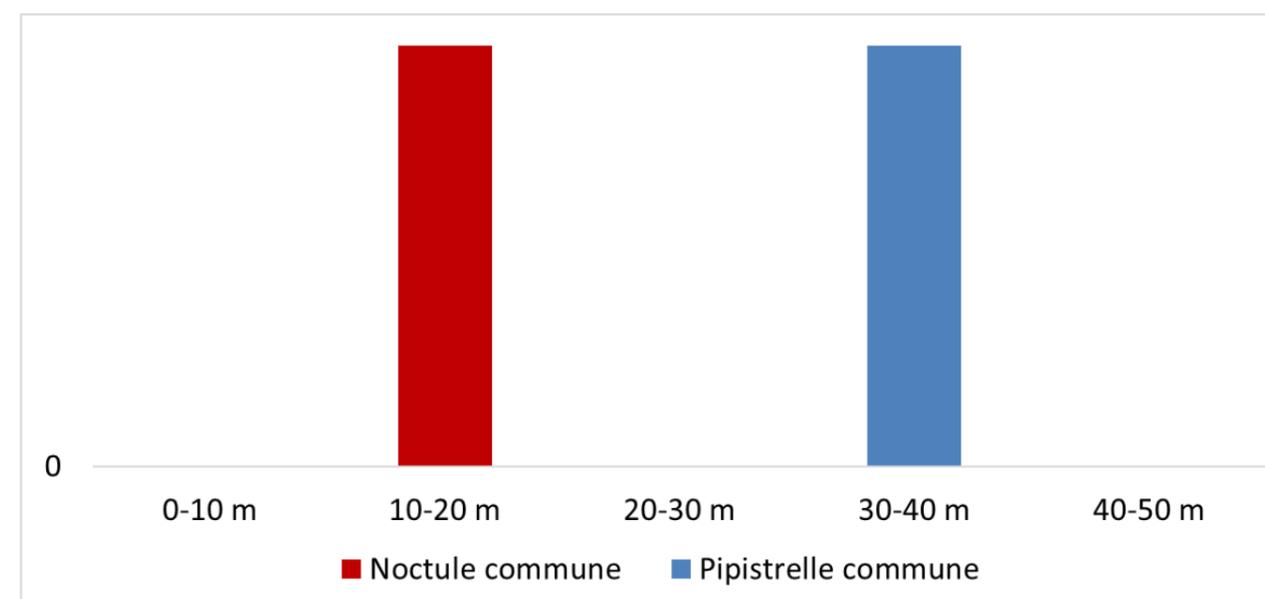
1 individu de Pipistrelle commune a été trouvé début août. Il s'agit d'un individu indéterminé. Les individus impactés pouvaient soit être en transit automnal, soit en chasse au niveau du rotor.

4.3.4. Dispersion des cadavres sous les éoliennes

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

La figure suivante permet de voir la distance au mât des cadavres retrouvés lors du suivi de mortalité de 2018.

Figure 34 : Graphique de répartition des cadavres de 2018 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



La distance moyenne de dispersion pour les 2 cadavres est de 24 mètres, ce qui est faible par rapport au mât de l'éolienne. Le nombre de données est trop faible pour pouvoir tirer des conclusions sur le type de mortalité occasionnée. En général, 2 hypothèses peuvent expliquer la majorité de la mortalité sur les parcs éoliens : l'influence des lumières (spots lumineux situés au-dessus des portes pour accéder aux éoliennes) et/ou la faible distance entre le bas du rotor et la canopée, autrement dit « l'effet lisières ». Ces 2 éléments sont importants à garder en tête pour le reste de l'analyse

4.3.5. Taux de mortalité des chauves-souris

4.3.5.1 Planning du suivi de la mortalité et niveau de difficulté de prospection en 2018

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

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

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

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

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

Figure 35 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection et nombre total de cadavres de chauves-souris découverts sous les éoliennes)

	Végétation			Mortalité CS
	Type 1	Type 2	Type 3	
7-mai	77,33	2,67	20,00	
16-mai	81,33	0,00	26,67	
21-mai	77,33	0,00	26,67	
28-mai	81,33	0,00	26,67	
7-août	81,33	424,00	26,67	1
14-août	81,33	214,67	6,67	
23-août	81,33	430,67	13,33	
29-août	72,00	222,67	26,67	
5-sept.	81,33	424,00	20,00	
11-sept.	53,33	238,67	0,00	1
20-sept.	81,33	450,67	0,00	
25-sept.	94,67	326,67	0,00	
Moyenne	24,38	70,63	4,99	2,00
Pondérée	24,38	70,63	4,99	2,00

4.3.5.2 Les formules utilisées

➤ **Winkelman (2005)**

Cette équation est celle conseillée par le protocole LPO (ANDRE, 2005) 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.

➤ **Erickson (2000)**

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

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés.

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

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

a : Coefficient de correction surfacique

Nous appliquerons un coefficient surfacique à cette formule par la suite selon la prospection effectuée sur le terrain (cf. paragraphe « Coefficient de correction surfacique » page 46).

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

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés.

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

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

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

a : Coefficient de correction surfacique

➤ **Jones (2009)**

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

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

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés.

a : Coefficient de correction surfacique

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

\hat{I} : Intervalle effectif.

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

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

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

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

\hat{I} : Intervalle effectif.

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

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

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

➤ **Huso (2010)**

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts.

a : Coefficient de correction surfacique

4.3.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2018, deux tests ont été menés le 7 mai et le 7 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.

➤ **Taux de détection**

Figure 36 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb CS déposée	Nb CS découverte	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	21	16	0,76
Type 1	Moyenne	Moyenne	5	5	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	12	9	0,75
Type 3	Moyenne	Moyenne	4	2	0,50
Moyen	E4	07/05/2018	6	4	0,67
Type 1	E4	07/05/2018	2	2	1,00
Type 2	E4	07/05/2018	2	1	0,50
Type 3	E4	07/05/2018	2	1	0,50
Moyen	E1	07/08/2018	15	12	0,80
Type 1	E1	07/08/2018	3	3	1,00
Type 2	E1	07/08/2018	10	8	0,80
Type 3	E1	07/08/2018	2	1	0,00

	d	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,80	24,38	70,63	4,99
Période 1	0,80	24,38	70,63	4,99

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, et de façon plus générale à la difficulté de prospection, nous avons pondéré les calculs en fonction de ces 3 niveaux de difficulté vus précédemment.

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

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

$$d = 1 * (24,38/100) + 0,75 * (70,63/100) + 0,50 * (4,99/100) = 0,80$$

➤ **Taux de persistance**

Figure 37 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Jour de dépôt						Tm	p	
				1	9	14	16	21	22			25
Moyen		Moyenne	22	22	4	4	4	4	1	0	4,68	0,39
Type 1		Moyenne	6	6	0	0	0	0	0	0	1,00	0,25
Type 2		Moyenne	11	11	3	3	3	3	1	0	6,55	0,45
Type 3		Moyenne	5	5	1	1	1	1	0	0	5,00	0,40
Moyen	toutes	07/05/2018	12	12	3	3	3	3	0	0		
Type 1	toutes	07/05/2018	4	4	0	0	0	0	0	0		
Type 2	toutes	07/05/2018	4	4	2	2	2	2	0	0		
Type 3	toutes	07/05/2018	4	4	1	1	1	1	0	0		
Moyen	toutes	07/08/2018	10	10	1	1	1	1	1	0		
Type 1	toutes	07/08/2018	2	2	0	0	0	0	0	0		
Type 2	toutes	07/08/2018	7	7	1	1	1	1	1	0		
Type 3	toutes	07/08/2018	1	1	0	0	0	0	0	0		

	Tm	p	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	4,68	0,39			
Pondérée	5,12	0,40	24,38	70,63	4,99

- Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

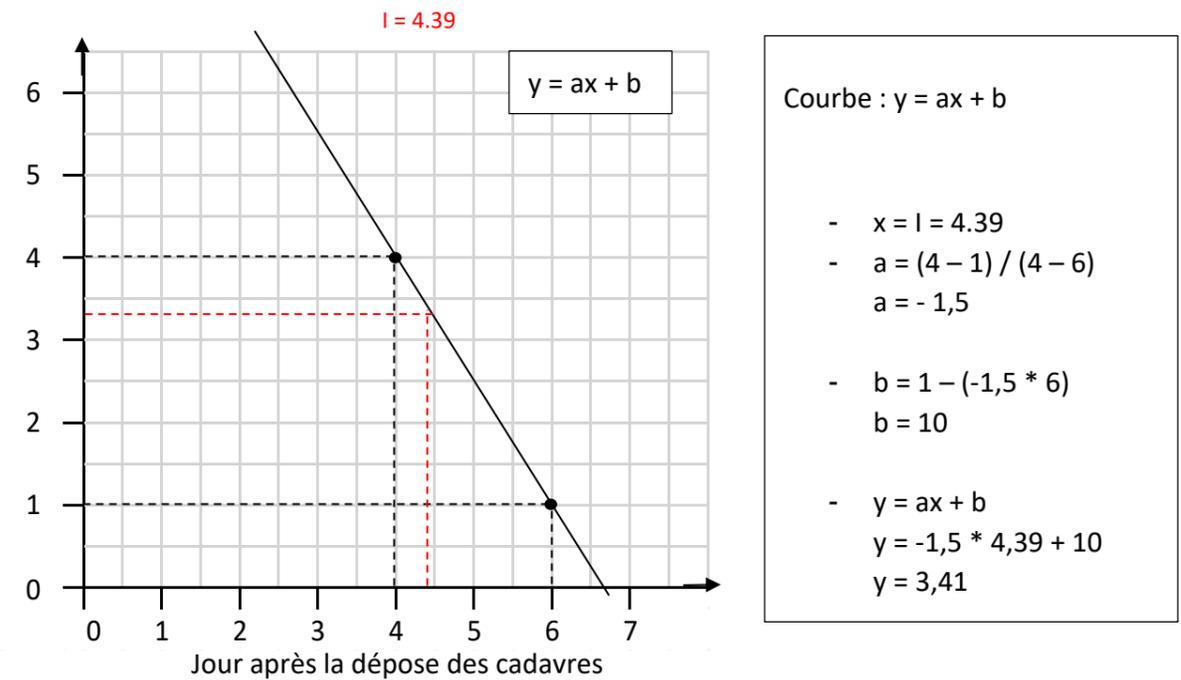
« p », utilisé pour la formule de Winkelman (+ Erikson adaptée), caractérise un taux de persistance sur la base de l'intervalle de temps de retours moyen entre deux visites au cours de la campagne de suivi (I).

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2018 (cf. Figure 35 page 41). Le tableau suivant détaille ce calcul. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de **I = 7 jours**.

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
Total	10	70
Intervalle pondéré (tot)		7,00
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	2	10
6	2	12
7	3	21
8	0	0
9	3	27
10	0	0

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 34 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Le schéma suivant montre les étapes de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours ».

Figure 38 : Schéma de calcul du « nombre de cadavre encore présent après I jours » (exemple)



De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après } I \text{ jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{8,5}{22} = 0,39$$

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction des niveaux de difficulté de prospection 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 = 0,38**.

- 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 4,68**.

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

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction des niveaux de difficulté de prospection 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 égale à 4,68**. Nous retiendrons qu'en moyenne les cadavres disparaissent en 8 jours.

➤ **Coefficient de correction surfacique**

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

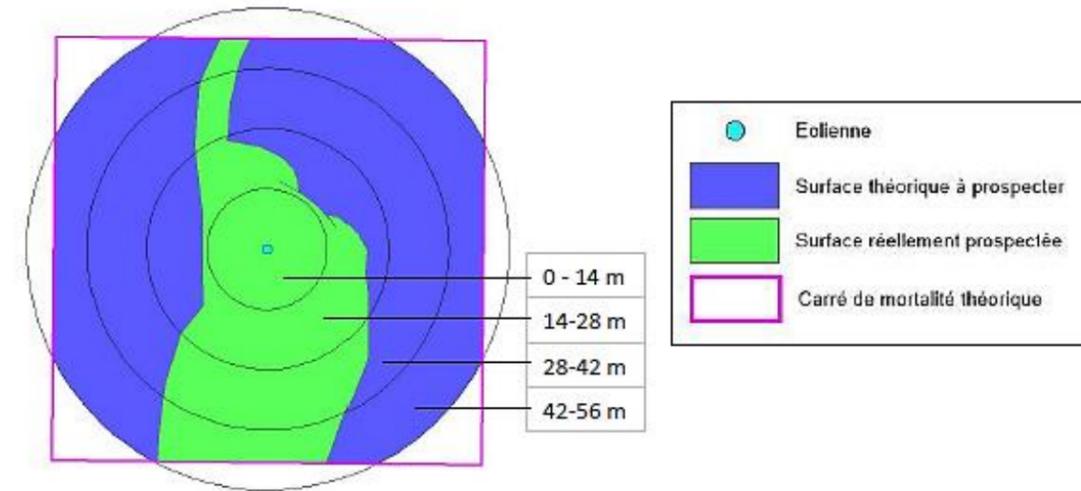
Arnett (2005) propose un mode de calcul du coefficient surfacique qui prend en compte à la fois la dispersion des cadavres découverts sous les éoliennes et la proportion de surfaces prospectées par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne. Cette estimation est basée sur la formule suivante,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

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

Avec :

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

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



Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2018 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

	Surface à prospecter par éolienne	Nombre d'éolienne suivie	Surface à prospecter totale	Surface réellement prospectée (toute éolienne confondues, en ha)	Pourcentage prospecté	Nombre de cadavre de chauve-souris
42-56	0,4308	4	1,7232	0,82	47,74	0
28-42	0,3077	4	1,2308	0,73	59,16	1
14-28	0,1846	4	0,7384	0,46	62,07	0
0-14	0,0615	4	0,246	0,19	77,11	1

a = 1.49

4.3.5.4 Présentation des 2 méthodes de calcul

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 les niveaux de difficulté de prospection (p et tm notamment)
 - Le taux de détection est quant à lui issu d'une pondération entre les taux de détection sur chacun des niveaux de difficulté de prospection et le pourcentage de prospection de ces niveaux.

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

4.3.5.5 Calculs de mortalité avec la première méthode de calcul (méthode des « moyenne »)

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

Figure 39 : Paramètres de calcul des équations selon la première méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	2,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,80	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,39	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	4,68	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	7,00	Pas de temps du suivi
î	9,36	î = - log(0.01) * tm
ê	1,00	ê = Min(I/î) / I
a	1,49	Coefficient de correction surfacique

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

Winkelmann :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{2}{0.39 \times 0.80} \times 1.49 = 9.68$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{7 \times (2 - 2 \times 0.39)}{4.68 \times 0.80} \times 1.49 = 5.57$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{7 \times 2}{4.68 \times 0.80} \times 1.49 = 5.59$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}} \times a = \frac{2}{0.80 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 7 / 4.68)}} \times 1.49 = 7.90$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I/tm})}{I} \times \hat{e}} \times a = \frac{2}{0.80 \times \frac{4.68 \times (1 - e^{-7/4.68})}{7} \times 1} \times 1.49 = 7.21$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 7 mai au 28 mai 2018, et du 7 août au 25 septembre 2018 et pour les 7 éoliennes suivies du parc éolien. Ces résultats sont basés sur 3 mois, soit une partie de la période d'activité du cycle biologique des chiroptères. Même si ce raisonnement dépend bien sûr des espèces, on considère en effet que la phase d'activité des chiroptères s'étale en moyenne sur 8 mois/an (4 mois d'hibernation) sur le site de de la Chaussée de César sud

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 4 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**

- On divise par 3 (3 mois) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- On multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères)
- On multiplie par 7 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an** (pour la période d'activité moyenne des chiroptères).

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 3,83 cas de mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette qui oscille entre 3,25 et 4,61 (5,65 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 40 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2018 (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	9,68	5,57	5,59	7,90	7,21	7,19	6,57
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	2,42	1,39	1,40	1,98	1,80	1,80	1,64
Mortalité par éolienne et par mois	0,81	0,46	0,47	0,66	0,60	0,60	0,55
Mortalité par éolienne et pour une année	5,65	3,25	3,26	4,61	4,21	4,20	3,83
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	22,59	13,00	13,05	18,43	16,82	16,78	15,33

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

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

Figure 41 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
C	2,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,80	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,40	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	5,12	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	7,00	Pas de temps du suivi
î	10,23	$\hat{I} = -\log(0.01) * tm$
ê	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{I}) / l$
a	1,49	Coefficient de correction surfacique

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

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. **Le tableau aboutit à un résultat moyen de l'ordre de 4,57 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette qui oscille entre 2,97 et 4,33 (5,43 pour la formule de Winkelmann) mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 42 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2018 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	9,31	5,10	5,12	7,41	6,87	6,76	6,12
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	2,33	1,27	1,28	1,85	1,72	1,69	1,53
Mortalité par éolienne et par mois	0,78	0,42	0,43	0,62	0,57	0,56	0,51
Mortalité par éolienne et pour une année	5,43	2,97	2,99	4,33	4,01	3,94	3,57
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	21,72	11,89	11,94	17,30	16,02	15,78	14,29

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

La plateforme Shiny « Eolapp » n'était pas disponible au moment de la rédaction de l'étude, les résultats de l'application ne pourront donc malheureusement donc pas être intégrés dans ce rapport.

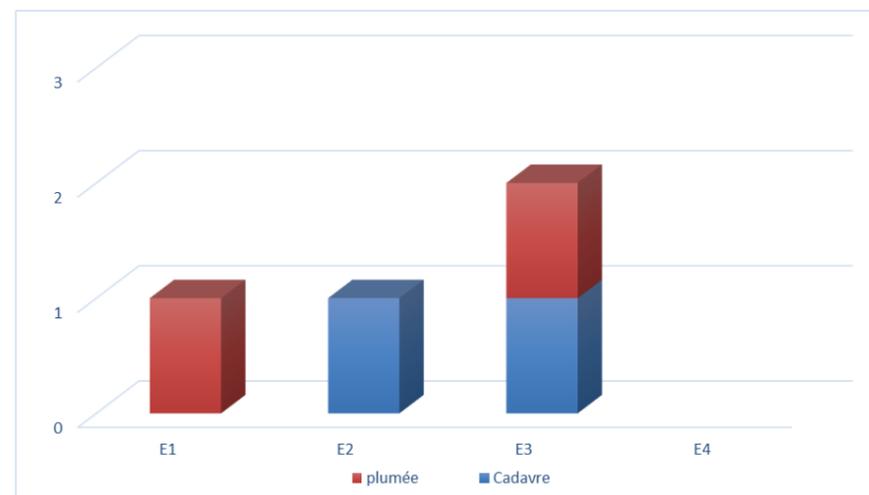
4.4. Bilan de la mortalité des oiseaux

4.4.1. Bilan des mortalités par éolienne

2 cadavres et 2 plumées d'oiseaux furent retrouvés sous les éoliennes au cours de la campagne de suivi menée entre le 7 mai et le 25 mai 2018 puis entre le 7 août et le 25 septembre 2018.

On note que 3 des 4 éoliennes du parc ont été à l'origine de mortalités avérée ou probable en 2018, avec le plus de mortalités constatées sous l'éolienne E3 (1 cadavres et 1 plumées).

Figure 43 : Bilan des mortalités des oiseaux constatées en 2018 et répartition par éolienne



4.4.2. Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux

Le premier graphique de la Figure 44 page 51 représente la chronologie des découvertes de cadavres d'oiseaux sur l'ensemble du parc éolien en 2018.

Le délai qui s'écoule entre la mort des oiseaux 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 2018 sur une à deux visites de terrain par semaine sur deux périodes (en mai, en août et septembre) le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier :

- Entre 0 (cas d'un oiseau tombé la nuit précédant la visite) et 3-4 jours (en période de 2 visites par semaine),
- 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.

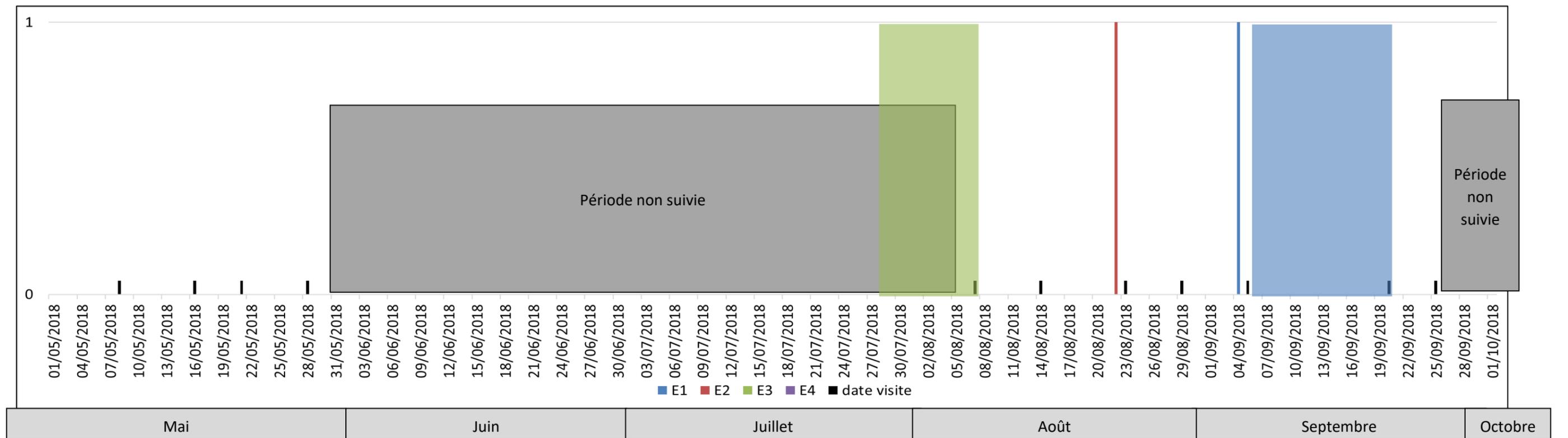
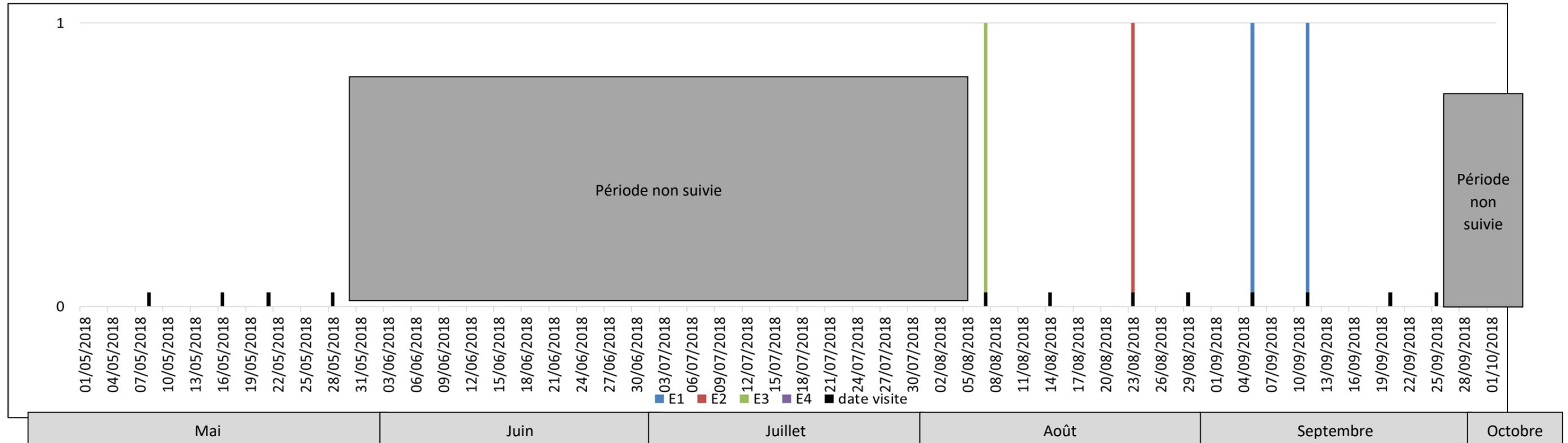
Si on veut tenter d'analyser même grossièrement cette chronologie des mortalités avec différents facteurs d'influence, nous cherchons à estimer la date de la mortalité de chaque cadavre en fonction de son état au moment de la découverte. Quand il est trouvé, chaque cadavre fait en effet l'objet d'une 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. : 4.3.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités de chauves-souris).

Cette estimation reste approximative pour la présente étude, le niveau de précision nécessaire pour la suite des analyses étant aussi assez grossier. Ainsi, il convient de rester prudent sur toute analyse trop fine issue de la chronologie estimée des mortalités. Le deuxième graphique de la page 51 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 la Chaussée de César sud ont apparemment été peu concernées par les effets de cette entomofaune nécrophage ; même si un cadavre a été prédaté, les plumes restantes ont permis d'identifier le genre de l'espèce impactée

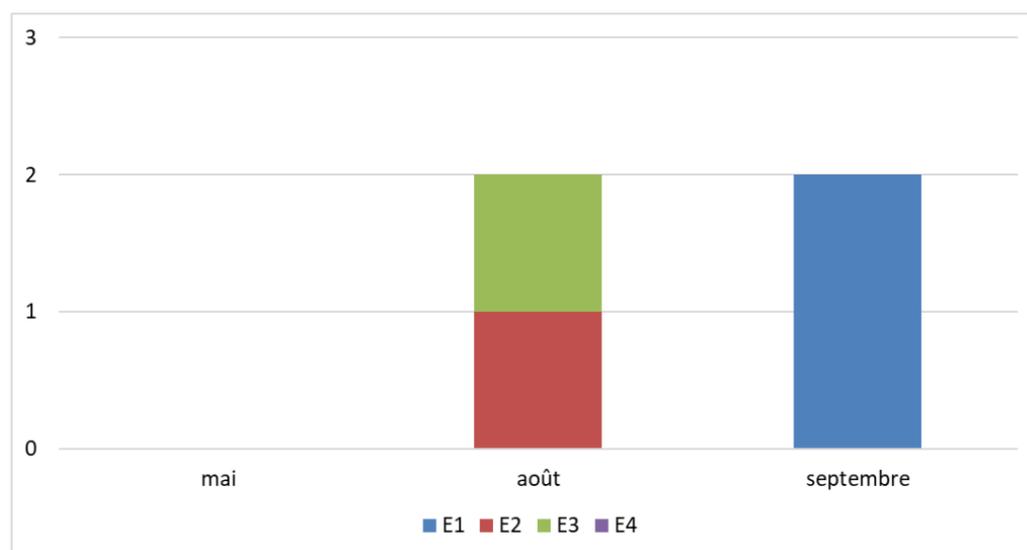
Figure 44 : Chronologie des mortalités des oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne en 2018 ; les périodes larges correspondent aux périodes de mortalité estimées pour les plumées (non précises car difficilement estimables)



En ce qui concerne les rapports entre les cas de mortalité et leur chronologie, et les éoliennes, nous ne relevons pas de regroupement de mortalité.

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 45 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2018



4.4.3. Typologie des cadavres découverts

4.4.3.1 Proportion des mortalités estimées par espèce

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres au moment de leur découverte. Les plumées ont permis de déterminer le groupe d'espèce de l'individu.

Le cortège d'espèces impactées en 2018 est assez diversifié puisque parmi les 2 cadavres et les 2 plumées découverts, au 4 espèces différentes sont représentées. Ces 4 espèces correspondent à :

- Des espèces présentes localement tout au long de l'année mais possible migratrices aussi (Pipit des arbres)
- Au moins une espèce migratrice (Roitelet à triples bandeau).

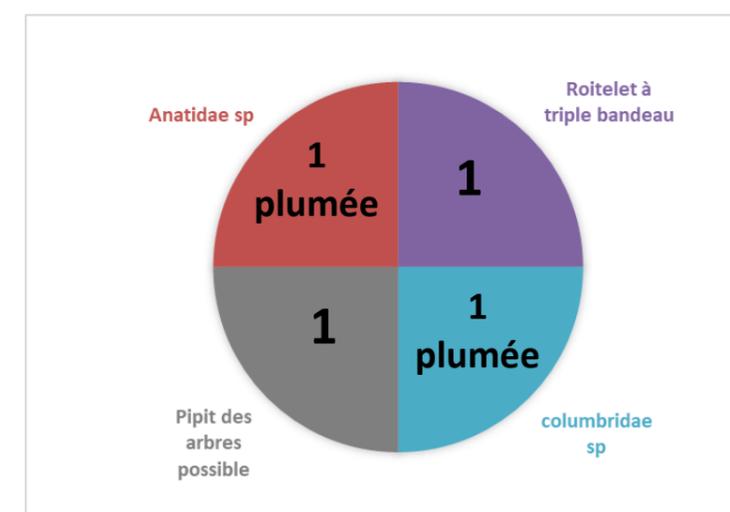
Le tableau ci-dessous présente les statuts de protection et de conservation des espèces retrouvées sous les éoliennes. Parmi les 4 espèces identifiées, 2 d'entre elles sont protégées, les 2 autres espèces n'ont pas pu être déterminé suffisamment finement pour en connaître le statut.

Figure 46 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux retrouvées sous les éoliennes

Nom Français	Nom Latin	Type	Statut de protection			Statut de conservation		
			Protec. Fr.	Protec. UE	Conv. Berne	Listes rouges nationales	Liste Rouge Régionale LR (oiseaux nicheurs)(dec 2015)	Liste Rouge Régionale LR (oiseaux hivernants)
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapillus</i>	Passereau	P	-	2-3	Préoc. mineure	Préoc. mineure	-
Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	Passereau	P	-	2	Préoc. mineure	Préoc. mineure	-
Colubridé Sp.	<i>Columba sp.</i>	Intermédiaire						
Anatidae Sp.	<i>Anas Sp.</i>	Oiseau d'eau						

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

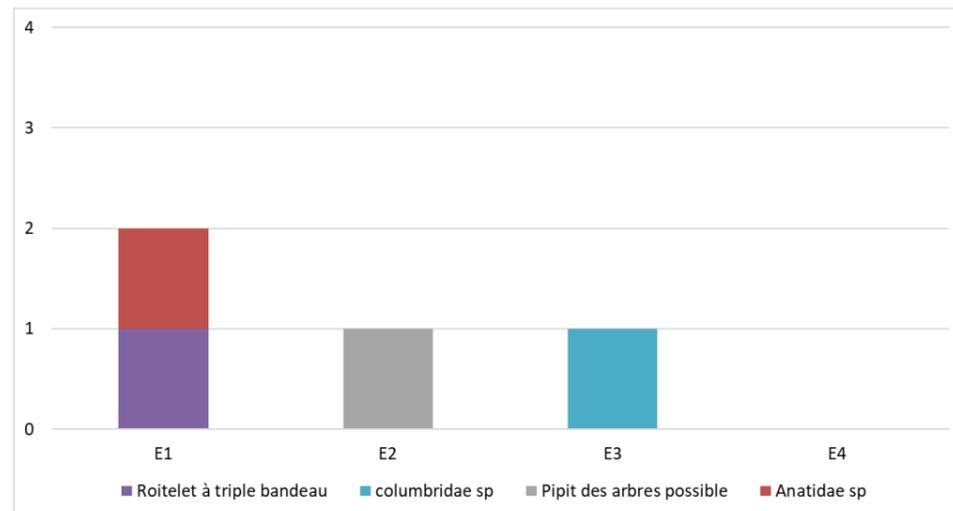
Figure 47 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2018



4.4.3.2 Relation espèce / éolienne

Le graphique suivant précise la répartition des cadavres des différentes espèces par éolienne.

Figure 48 : Histogramme de la répartition des espèces impactées par éolienne en 2018



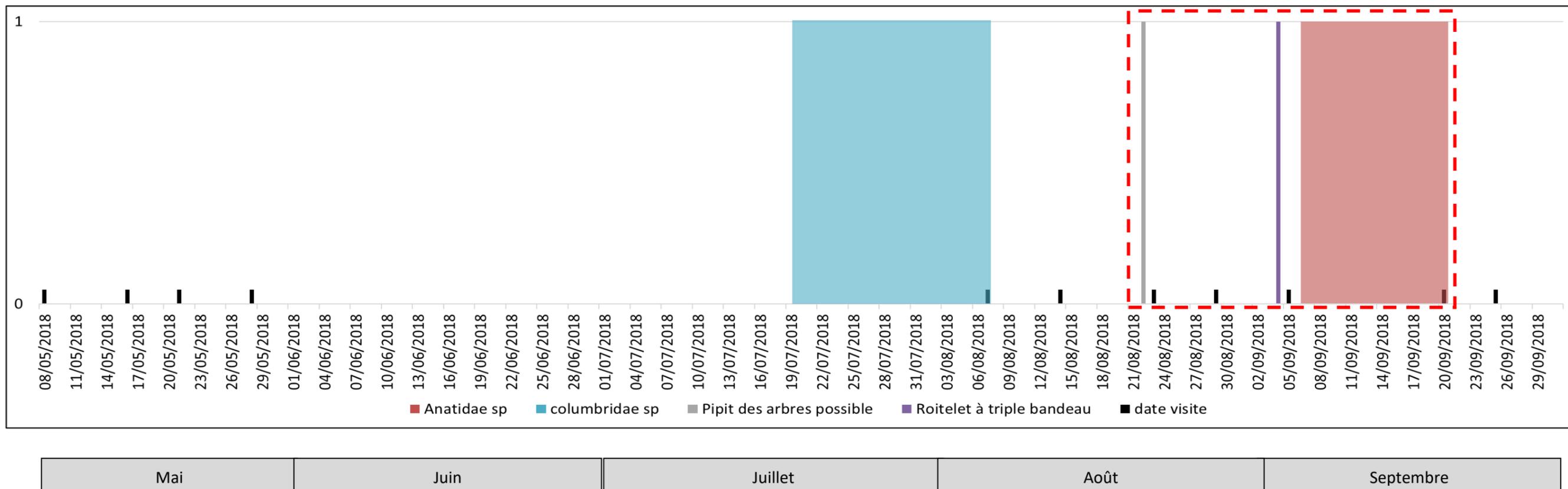
On note que l'éolienne E1 est la plus accidentogène avec 2 cas de mortalité, qui correspondent à une plumée d'anatidé et à un Roitelet triple bandeaux. Le Pipit des arbres possible a été retrouvé sous l'éolienne E2, et le columbidé sp. a été découvert sous l'éolienne E3.

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

La figure page suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2018. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

Un pic de mortalités a été relevé au cours du suivi en août avec 8 cas de mortalité successifs.

Figure 49 : Répartition des mortalités d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) en 2018
(en pointillé rouge, les pics de mortalité constatés)



➤ **Roitelet à triple bandeaux (1 cadavre)**

1 cadavre de Roitelet à triple bandeau (*Regulus ignicapillus*) a été découverte en 2018 sous les éoliennes du parc de la Chaussée de César sud. Il a été retrouvé le 4 septembre (sous E1). Cette espèce est protégée, et est classé préoccupation mineure à l'échelle nationale et à l'échelle régionale.

A cette période de l'année, il pourrait s'agir d'individus migrateurs. En effet, la dispersion des jeunes a lieu en août et la migration post-nuptiale se traduit par un passage de début septembre à mi-novembre.

Figure 50 : Cliché du Roitelet à triple bandeaux retrouvé le 5 septembre sous l'éolienne E1



➤ **Pipit des arbres (1 cadavre)**

1 cadavre de Pipit des arbres (*Anthus trivialis*) a été retrouvée le 22 août sous l'éolienne E2. Cette espèce est protégée, et est classée en préoccupation mineure à l'échelle nationale et régionale.

A cette période de l'année, il pourrait s'agir soit d'un jeune qui se disperse, soit d'un migrateur ; en effet, des mouvements sont également notés dès fin juillet, et jusqu'en novembre, surtout en septembre et octobre.

➤ **Columbidé (1plumée)**

Une plumée de columbidé a été découvert le 7 août 2018 sous l'éolienne E3. La plupart des espèces de ce groupe ne sont pas protégées, et leurs statuts de conservation ne sont pas défavorables à l'échelle régionale ou nationale.

A cette période, il peut s'agir d'un individu nicheur ou migrateur.

➤ **Anatidé (1 plumée)**

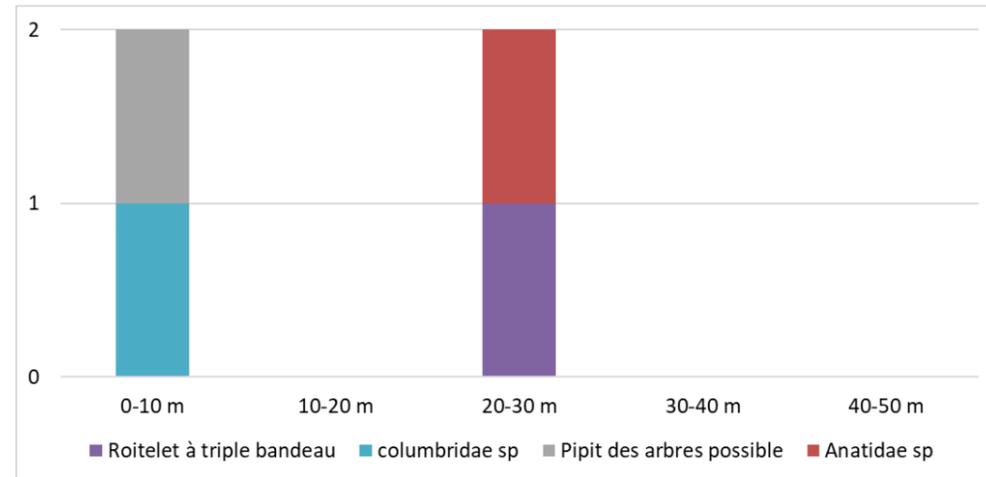
Une plumée d'anatidé a été découverte le 20 septembre 2018 sous l'éolienne E1. Ignorant l'espèce dont-il s'agit, il est délicat d'en déterminer les statuts de conservation et de protection.

A cette période, il peut s'agir d'un individu nicheur ou migrateur.

4.4.4. Dispersion des cadavres sous les éoliennes

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

Figure 51 : Graphique de répartition des cadavres de 2018 par classe de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne



La distance moyenne de dispersion pour les 2 oiseaux et les 2 plumées est d'environ 16 m ; environ la moitié des cadavres a été retrouvée proche du mât et l'autre plus loin. On peut alors plutôt supposer qu'environ la moitié des mortalités a été occasionnée à des hauteurs de vols correspondant à la partie basse du champ de rotation des pales d'éoliennes (faible dispersion) et l'autre moitié dans la partie haute du rotor ou par fortes vitesses du vent (forte dispersion) ; Pour le cas des plumées (retrouvée à 3 m et à 30 du mât), il se peut que le prédateur ait déplacé les cadavres pour les manger plus loin.

4.4.5. Taux de mortalité des oiseaux

4.4.5.1 Planning du suivi de la mortalité et niveau de difficulté de prospection en 2018

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

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

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

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

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

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

	Végétation			Mortalité OIS	
	Type 1	Type 2	Type 3		
7-mai	77,33	2,67	20,00		
16-mai	81,33	0,00	26,67		
21-mai	77,33	0,00	26,67		
28-mai	81,33	0,00	26,67		
7-août	81,33	424,00	26,67	1	
14-août	81,33	214,67	6,67		
23-août	81,33	430,67	13,33	1	Plumée
29-août	72,00	222,67	26,67		
5-sept.	81,33	424,00	20,00	1	Plumée
11-sept.	53,33	238,67	0,00		
20-sept.	81,33	450,67	0,00	1	
25-sept.	94,67	326,67	0,00		
Moyenne	24,38	70,63	4,99	4,00	
Pondérée	41,88	44,82	13,31	1,00	

4.4.5.2 Les formules utilisées

Les formules utilisées sont identiques à celles du calcul du taux de mortalité des chauves-souris (cf. 4.3.5.2 page 42).

4.4.5.3 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2018, deux tests ont été menés le 7 mai et le 7 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.

➤ **Taux de détection**

Figure 53 : Tableau des résultats du test de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb OIS déposé	Nb OIS découvert	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	29	21	0,72
Type 1	Moyenne	Moyenne	6	6	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	17	12	0,71
Type 3	Moyenne	Moyenne	6	3	0,50
Total	E4	07/05/2018	9	7	0,78
Type 1	E4	07/05/2018	3	3	1,00
Type 2	E4	07/05/2018	3	2	0,67
Type 3	E4	07/05/2018	3	2	0,67
Total	E1	07/08/2018	20	14	0,70
Type 1	E1	07/08/2018	3	3	1,00
Type 2	E1	07/08/2018	14	10	0,71
Type 3	E1	07/08/2018	3	1	0,00

	d	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,77	24,38	70,63	4,99
Pondérée	0,77	24,38	70,63	4,99

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

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

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

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

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

Ici d = 0,77

➤ **Taux de persistance**

Figure 54 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Jour de dépôt											Tm	p
				1	9	14	16	21	22	25	26	27	28	29		
Moyen		Moyenne	24	24	4	4	4	4	1	0	0	0	0	0	4,38	0,38
Type 1		Moyenne	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	0,25
Type 2		Moyenne	11	11	3	3	3	3	1	0	0	0	0	0	5,09	0,45
Type 3		Moyenne	5	5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	4,00	0,40
Moyen	toutes	07/05/2018	12	12	3	3	3	3	0	0	0	0	0	0		
Type 1	toutes	07/05/2018	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Type 2	toutes	07/05/2018	4	4	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0		
Type 3	toutes	07/05/2018	4	4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0		
Moyen	toutes	07/08/2018	12	12	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Type 1	toutes	07/08/2018	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Type 2	toutes	07/08/2018	7	7	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0		
Type 3	toutes	07/08/2018	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

	Tm	p	Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	4,38	0,38			
Pondérée	4,04	0,40	24,38	70,63	4,99

-Paramètre p (formules de Winkelman + Erickson adaptée)

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

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 à 25 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours.

De ce fait,

$$p = \frac{\text{Nombre de cadavres encore présents après I jours}}{\text{Nombre de cadavres déposés au départ}} = \frac{4}{24} = 0,38$$

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

Pour la seconde méthode de calcul, nous avons pondéré p en fonction de cette hauteur de végétation et des 3 types de végétation vu précédemment, de la même manière que ce qui a été réalisé pour le calcul du paramètre d. Ainsi, on obtient une valeur de **p égale à 0,40**.

- 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 4,38**.

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 égale à 4,04**.

➤ **Coefficient de correction surfacique**

Le coefficient de correction surfacique a été défini de la même façon que pour les chiroptères. Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres découverts en 2018 en fonction des surfaces prospectées (en hectare).

Pour rappel, la plumée n'est pas prise en compte dans le calcul du taux de mortalité.

	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
42-56	0,4308	4	1,72	0,82	47,74	0
28-42	0,3077	4	1,23	0,73	59,16	0
14-28	0,1846	4	0,74	0,46	62,07	1
0-14	0,0615	4	0,25	0,19	77,11	1

a = 1,45

4.4.5.4 Méthodes de calcul employées

Les méthodes de calcul employées sont identiques à celles du calcul du taux de mortalité des chauves-souris (cf. 4.3.5.4 Présentation des 2 méthodes de calcul page 46).

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

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

Figure 55 : 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	0,77	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,38	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	4,38	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
I	7,00	Pas de temps du suivi
î	8,75	î = - log(0.01) * tm
ê	1,00	ê = Min(I/î) / I
a	1,45	Coefficient de correction

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 :

$$N = \frac{C}{p \times d} \times a = \frac{4}{0.38 \times 0.77} \times 1.45 = \mathbf{20.21}$$

Erickson adaptée :

$$N = \frac{I \times (C - C \times p)}{tm \times d} \times a = \frac{7 \times (4 - 4 \times 0.38)}{4.38 \times 0.77} \times 1.45 = \mathbf{12.08}$$

Erickson réelle :

$$N = \frac{I \times C}{tm \times d} \times a = \frac{7 \times 4}{4.48 \times 0.77} \times 1.45 = \mathbf{12.13}$$

Jones :

$$N = \frac{C}{d \times \hat{e} \times e^{(-0.5 \times I / tm)}} \times a = \frac{4}{0.77 \times 1 \times e^{(-0.5 \times 7 / 4.48)}} \times 1.45 = \mathbf{16.87}$$

Huso :

$$N = \frac{C}{d \times \frac{tm \times (1 - e^{-I / tm})}{I} \times \hat{e}} \times a = \frac{4}{0.77 \times \frac{4.48 \times (1 - e^{-7 / 4.48})}{7} \times 1} \times 1.45 = \mathbf{15.20}$$

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre de chauves-souris mortes sur la période allant du 7 mai au 28 mai 2018, et du 7 août au 25 septembre 2018 et pour les 7 éoliennes suivies du parc éolien. Ces résultats sont basés sur 3 mois, soit une partie (estivale et période automnale) de la période d'activité du cycle biologique 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 3 (3 mois) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- on multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux, soit toute l'année)
- on multiplie par 7 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an**.

La formule de Winkelmann surestime très souvent le taux de mortalité. Elle ne sera donc pas prise en compte dans le calcul de la moyenne. Finalement, le tableau page suivante synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 15,30 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette qui oscille entre 12,08 et 16,87 (15,07 pour la formule de Winkelmann) mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 56 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2018 (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	20,21	12,08	12,13	16,87	15,20	15,30	14,07
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	5,05	3,02	3,03	4,22	3,80	3,82	3,52
Mortalité par éolienne et par mois	1,68	1,01	1,01	1,41	1,27	1,27	1,17
Mortalité par éolienne et pour une année	20,21	12,08	12,13	16,87	15,20	15,30	14,07
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	80,85	48,33	48,51	67,48	60,78	61,19	56,27

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

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

Figure 57 : Paramètres de calcul des équations selon la seconde méthode de calcul

Paramètres	Valeurs	Explications
c	4,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,77	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,40	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	4,04	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	7,00	Pas de temps du suivi
\hat{i}	8,08	$\hat{i} = -\log(0.01) * tm$
\hat{e}	1,00	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{i}) / l$
a	1,45	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 15,05 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette qui oscille entre 13,08 et 18,03 (18,86 pour la formule de Winkelmann) mortalités selon les formules utilisées avec prise en compte de la dispersion des cadavres dans le coefficient surfacique.

Figure 58 : Résultats des calculs du taux de mortalité 2018 des oiseaux par la seconde méthode de calcul (coefficient surfacique pondéré par la dispersion des cadavres)

	Winkelmann	Erickson		Jones	Huso	Moyenne	Moyenne (Sans Winkelman)
		adaptée	réelle				
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	18,86	13,08	13,14	18,03	15,96	15,81	15,05
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	4,71	3,27	3,28	4,51	3,99	3,95	3,76
Mortalité par éolienne et par mois	1,57	1,09	1,09	1,50	1,33	1,32	1,25
Mortalité par éolienne et pour une année	18,86	13,08	13,14	18,03	15,96	15,81	15,05
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	75,43	52,33	52,54	72,12	63,82	63,25	60,21

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

La plateforme Shiny « Eolapp » n'était pas disponible au moment de la rédaction de l'étude, les résultats de l'application ne pourront donc malheureusement donc pas être intégrés dans ce rapport.

5. EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DE LA CHAUSSEE DE CESAR SUD

5.1. Impact sur les chiroptères

5.1.1. Analyse quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

D'après nos méthodes de calcul (méthode des moyennes et méthode pondérée), le taux de mortalité est estimé à environ 3 à 4 chauves-souris par éolienne et par an (soit 12 à 16 chauves-souris pour le parc entier et par an). Ces taux de mortalité sont modérés par rapport à ce qui a été observé sur d'autres parcs français et européens suivis.

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

En 2018, 2 cadavres ont été découverts et sur une courte période 3 mois de suivi uniquement, l'estimation de la mortalité annuelle (environ 3 à 4 cas de mortalités par éolienne et par an) peut être qualifiée de modérée par rapport à d'autres parcs moins impactant.

Finalement, du point de vue quantitatif, l'impact du parc éolien de la Chaussée de César sud peut être qualifié de faible à modéré par rapport à d'autres parcs suivis en France ou en Europe.

5.1.2. Analyse qualitative des impacts sur les chiroptères

➤ Niveau des risques

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

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

- Des résultats du suivi de la mortalité ;
- Des résultats du suivi automatisé (permettant de préciser le statut local de l'espèce et les modalités de fréquentation du site) ;
- Des données bibliographiques (base de données mortalité, éléments d'écologie liés aux comportements de vol) renseignant sur la sensibilité des espèces ;

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

Trois 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.

Figure 59 : Taux de mortalité de chiroptères calculés pour différents suivis des parcs éoliens référencés en France (mise à jour du tableau de l'ALEPE)

Site	Département	Contexte de milieux	Année de suivi	Nombre de victimes / éolienne / an	Référence
Lou Paou	48	Forêt de résineux + lisières + qq larges clairières	2010	0	ALEPE 2010
Rézentières	15	Prairies naturelles de moyenne montagne	2013	0-3	Beucher, Albespy, Mougnot 2014
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 60 : 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 - Seladinho (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

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 ;
- Modéré : activité pouvant être élevée ponctuellement et espèce contactée régulièrement sur le site

site

- Modéré à forte : activité pouvant être élevée ponctuellement et espèce contactée régulièrement sur le site

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

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

- Faible à modéré pour la Noctule commune.
- Modéré à fort pour la Pipistrelle 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, 3 cadavres de Noctule de commune ont été retrouvés mais il est possible qu'en réalité un nombre plus important d'individus aient été impactés, et l'activité relevé lors du suivi en hauteur.

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

Figure 61 : Niveau d'intensité des risques de mortalité

Espèce	Nom scientifique	Sensibilité théorique vis-à-vis de l'éolien	Niveau de fréquentation	Mortalité constatée sur le parc de Bois de la Serre	Risque d'occurrence sur le site
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Forte	Faible	1	Faible à modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Forte	Modéré à forte	1	Modéré à forte

➤ Evaluation des impacts du parc éolien de la Chaussée de César sud

Les niveaux d'impact attendus sont évalués proportionnellement à leur intensité et aux niveaux d'enjeux. Au final, cinq niveaux d'impact (Très Fort, Fort, Moyen, Faible, Très 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 62 : Grille de calcul des niveaux de risques d'impacts éoliens pour les chauves-souris (inspiré du protocole SER/SFPEM 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 63 : Évaluation des impacts du parc éolien de la Chaussée de César sud sur les chauves-souris

Espèce	Nom scientifique	Niveau de patrimonialité	Risque d'occurrence sur le site	Niveau d'impact théorique
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Fort	Faible à modéré	Modéré
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Modéré	Modéré à forte	Modéré

Finalement, il apparaît que les espèces au niveau d'impact théorique les plus importants sont la Noctule commune et la Pipistrelle commune.

5.2. Impact sur l'avifaune

5.2.1. Analyses quantitative et comparaisons avec d'autres parcs éoliens

D'après nos méthodes de calcul (méthode des moyennes et méthode pondérée), le taux de mortalité est estimé à environ 14 à 15 oiseaux par éolienne et par an (soit entre 56 et 60 oiseaux pour le parc entier et par an). Ces taux de mortalité sont assez importants 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. Ainsi, le taux de mortalité peut être considéré comme plutôt « classique » par rapport à ce qui a été observé sur d'autres parcs éoliens.

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

Les parcs que nous avons suivi dans les départements de l'Aveyron, du Tarn, de l'Hérault ou du Cantal montrent des niveaux de mortalité généralement plus faibles pour les oiseaux. Le parc éolien de la Chaussée de César sud comporte 4 éoliennes, de ce fait, le nombre total de mortalités causées par ce parc serait modéré (entre 56 et 60 oiseaux/éolienne/an).

En 2018, le parc éolien de la Chaussée de César sud aurait donc généré **un niveau modéré sur les oiseaux en termes de taux de mortalité/éolienne/an.**

Le paragraphe suivant se concentrera plus sur les espèces impactées et le niveau d'impact par espèce.

5.2.2. Analyse qualitative des impacts sur l'avifaune

Au moins 4 espèces d'oiseaux ont été impactées, il s'agit du Roitelet à triples bandeaux, du Pipit de arbres, d'une espèce de colombidé, et d'une espèce d'anatidé. 2 de ces 4 espèces sont protégées et les statuts de protection des deux autres ne sont pas connus. Les deux espèces déterminées ont des statuts de conservation assez favorables étant classé préoccupation mineure au niveau national et régional.

Le Roitelet à triple bandeaux fait partie des espèces les plus sensibles à l'éolien. Il correspond à la 1^{ère} espèce la plus impactée en France (d'après les tableaux de T. Dürr 2019). Cette espèce est protégée, et ses statuts de conservation ne sont pas défavorables (Préoccupation mineure à l'échelle nationale et

régionale). 1 cadavre a été retrouvé le 5 septembre. A cette période de l'année, il pourrait s'agir d'individus migrateurs. En effet, la dispersion des jeunes a lieu en août et la migration post-nuptiale se traduit par un passage de début septembre à mi-novembre.

Le Pipit des arbres est une espèce assez peu impactée par l'éolien. Il correspond à la 49^{ème} espèce la plus impactée en France (d'après les tableaux de T. Dürr 2019). Cette espèce est protégée, et ses statuts de conservation ne sont pas défavorables (préoccupation mineure à l'échelle nationale et régionale). Un cadavre a été découvert le 23 août 2018. A cette période de l'année, il peut s'agir d'un individu migrateur.

Figure 64 : Évaluation des impacts du parc éolien de la Chaussée de César sud sur les oiseaux

Espèce	Nom scientifique	Niveau de patrimonialité	Mortalité constatée sur le parc de Bois de la Serre	Niveau d'impact théorique
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapillus</i>	Faible	1	Faible
Pipit des arbres	<i>Anthus trivialis</i>	Faible	1	Faible
Colubridé Sp.	<i>Columba sp.</i>	Faible	1	Faible
Anatidae Sp.	<i>Anas Sp.</i>	Faible	1	Faible

Finalement, il apparaît que les espèces au niveau d'impact théorique sur les oiseaux soit considéré comme faible sur le parc éolien de la Chaussée de César sud.

6. PROPOSITION DE MESURES DE REDUCTION DES IMPACTS

6.1. Mesures concernant les chiroptères

6.1.1. Limiter la fréquentation des chauves-souris autour des éoliennes

Il s'agira d'éviter autant que possible d'éviter la végétalisation des plateformes sous les éoliennes afin d'éviter les 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. 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). 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.

6.1.2. Veiller à l'absence d'éclairage du parc

Parmi les autres 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). Ce point est d'autant plus important à respecter que beaucoup des espèces contactées sur site ont l'habitude de venir chasser autour de lampadaires (pipistrelles, noctules...).

Cette mesure pourra être mise en place soit par l'installation de cellules à détection de mouvement qui devront être réglées de façon à ce que les chiroptères ne déclenchent pas l'allumage des spots, soit par la mise en place d'interrupteurs. Dans l'idéal, il s'agirait de réduire au maximum la distance de détection de mouvement, mais aussi le halo lumineux, pour avoir une lumière qui éclaire seulement l'escalier et la porte de service. 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).

6.1.3. Mesures de régulation de l'activité des éoliennes

L'expérience montre que la régulation de l'activité des éoliennes peut être un moyen particulièrement efficace de réduction du risque de mortalités, tout en limitant la perte de production électrique du parc. Ici, nous proposons une régulation multicritère et proportionnée basée sur les données du suivi en hauteur sur l'année de référence (2018). Ce type de régulation est proportionné aux risques présents 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 est le seul type de suivi permettant une prise en compte des risques de mortalité proportionnés.

Sur la base des données d'activité recueillies en hauteur en 2018 et des données de fonctionnement de l'éolienne E3, l'activité à risque est estimée à 581 secondes d'activité cumulée en 2018, ce qui est important

Figure 65 : Activité totale enregistrée en hauteur par groupe de vol (d'après les données de 2018)

Type de vol	Activité cumulée
Lisière	482,362
Vol haut	54,81403
Vol haut en migration/transit	39,419
Lisière ou vol haut en migration/transit	1,744
Vol bas	3,23479
Total général	581,57382

A partir des analyses précédentes, il s'agit de définir un pattern de régulation qui permet de réduire les impacts sur les chiroptères. Selon les retours d'expériences accumulées aux cours des années de suivis de parcs éoliens, les seuils d'activités permettant une protection optimale des chiroptères sont de 100 secondes d'activité cumulée pour les espèces du groupe « Vol haut » (Noctules...), et 50 secondes d'activité cumulée pour les espèces du groupe « Lisière » (Pipistrelle...).

A propos de la période de mise en œuvre de la régulation, celle-ci s'étalera du 1^{er} mai au 15 octobre. Elle permet à la fois de tenir compte de la période d'activité à risque des chiroptères (du 06 mai au 7 octobre en 2018) et de la variabilité interannuelle qui peut modifier ces dates selon les années. Les paramètres de régulation seront également proportionnés selon les activités relevées en 2018 et selon la mortalité relevée sur le parc. Différents scénarios de régulation seront donc proposés avec des paramètres différenciés.

Pour ce qui est des plages de fonctionnement nocturne, elles seront proportionnées différemment selon les périodes de régulation. Au maximum, la régulation sera effective à partir de 1 heure après le coucher du soleil et jusqu'à 1 heure avant le lever du soleil.

Afin de diminuer les risques d'impact sur les chiroptères, plusieurs simulations ont été testées sur la base des données d'activité et de météo de 2018.

- **Scénario n°1**

Aux vues des analyses précédentes, le bureau d'études EXEN a testé un premier scénario de pattern de régulation basé selon les conditions suivantes :

- Vent < 3 m/s,
- Température > 10°C,
- Toute la nuit,
- Du 1^{er} mai au 15 octobre,
- Pour toutes les éoliennes,
- Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

Ce premier scénario propose un premier seuil de vent à 3 m/s. La *Figure 66* page 69 permet de visualiser l'activité à risque restante si ce pattern de régulation était mis en œuvre (sous forme de chronologie et de tableau par groupe de vol pour 2018). Avec ce scénario n°1, l'activité à risque restante de 2018 diminuerait uniquement de 57 % par rapport à celle estimée en 2018 (581 secondes d'activité cumulée). L'activité restante à risque des espèces de lisière atteint encore 178 secondes cumulées. On notera que le pic d'activité du 27 septembre 2018 est « protégé » par la régulation. Des mini-pics (nuit du 5 octobre) ainsi qu'une activité régulière (notamment de mi-juillet à fin-août) continuent à persister également.

- **Scénario n°2**

Pour ce second scénario, le bureau d'études EXEN a testé les conséquences de l'augmentation de la vitesse du vent, sur l'activité à risque restante, par rapport au scénario 1. Celui-ci est défini selon les conditions suivantes :

- Vent < 5 m/s,
- Température > 10°C,
- Toute la nuit,
- Du 1^{er} mai au 15 octobre,
- Pour toutes les éoliennes,
- Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

Avec ce pattern n°2, l'activité à risque restante de 2018 diminuerait de 93 % par rapport à celle estimée en 2018 (581 secondes d'activité cumulée). Cette régulation modérément forte permet, selon les données d'activité de 2018, de protéger une proportion non négligeable de l'activité des chiroptères. Il est cependant possible de diminuer les paramètres afin de maximiser la rentabilité énergétique du parc.

- **Scénario n°3**

Au vu des deux scénarios précédant, le bureau d'études EXEN a testé des paramètres de régulation plus précis concernant les vitesses de vents et les périodes de prises en compte de ces paramètres. Ce dernier est défini selon les conditions suivantes :

- Pour la période allant du 1^{er} mai au 10 juin :
 - Vent < 3,5 m/s,
 - Température > 10°C,
 - Toute la nuit,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

- - Pour la période allant du 11 juin au 17 août :
 - Vent < 4 m/s,
 - Température > 10°C,
 - Toute la nuit,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

- - Pour la période allant du 18 août au 15 septembre :
 - Vent < 5 m/s,
 - Température > 10°C,
 - Toute la nuit,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

- - Pour la période allant du 16 septembre au 15 octobre :
 - Vent < 3,5 m/s,
 - Température > 10°C,
 - Toute la nuit,
 - Du 21 septembre au 15 octobre,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

Avec ce pattern n°3, l'activité à risque restant de 2018 diminuerait de 84 % par rapport à celle estimée en 2018. On notera que l'ensemble des pics d'activité ainsi que l'activité régulière sont protégés par ce pattern. Par rapport au premier pattern de régulation, l'activité restante à risque des espèces de lisières est nettement diminuée est atteint maintenant 42 secondes cumulées. On atteint donc grâce à ce pattern les valeurs seuils de protection exposé ci-dessus.

- **Scénario n°4**

Pour ce dernier scénario, le bureau d'études EXEN a testé un pattern proportionné selon les différentes périodes d'activité relevées lors du suivi en hauteur. Il est défini selon les paramètres suivants :

- Pour la période allant du 1^{er} mai au 10 juin :
 - Vent < 3,5 m/s,
 - Température > 10°C,
 - De 1 heure après le coucher du soleil à 1 heure avant le lever du soleil,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

- - Pour la période allant du 11 juin au 17 juillet :
 - Vent < 4 m/s,
 - Température > 10°C,
 - De 30 minutes après le coucher du soleil à 1 heure avant le lever du soleil,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

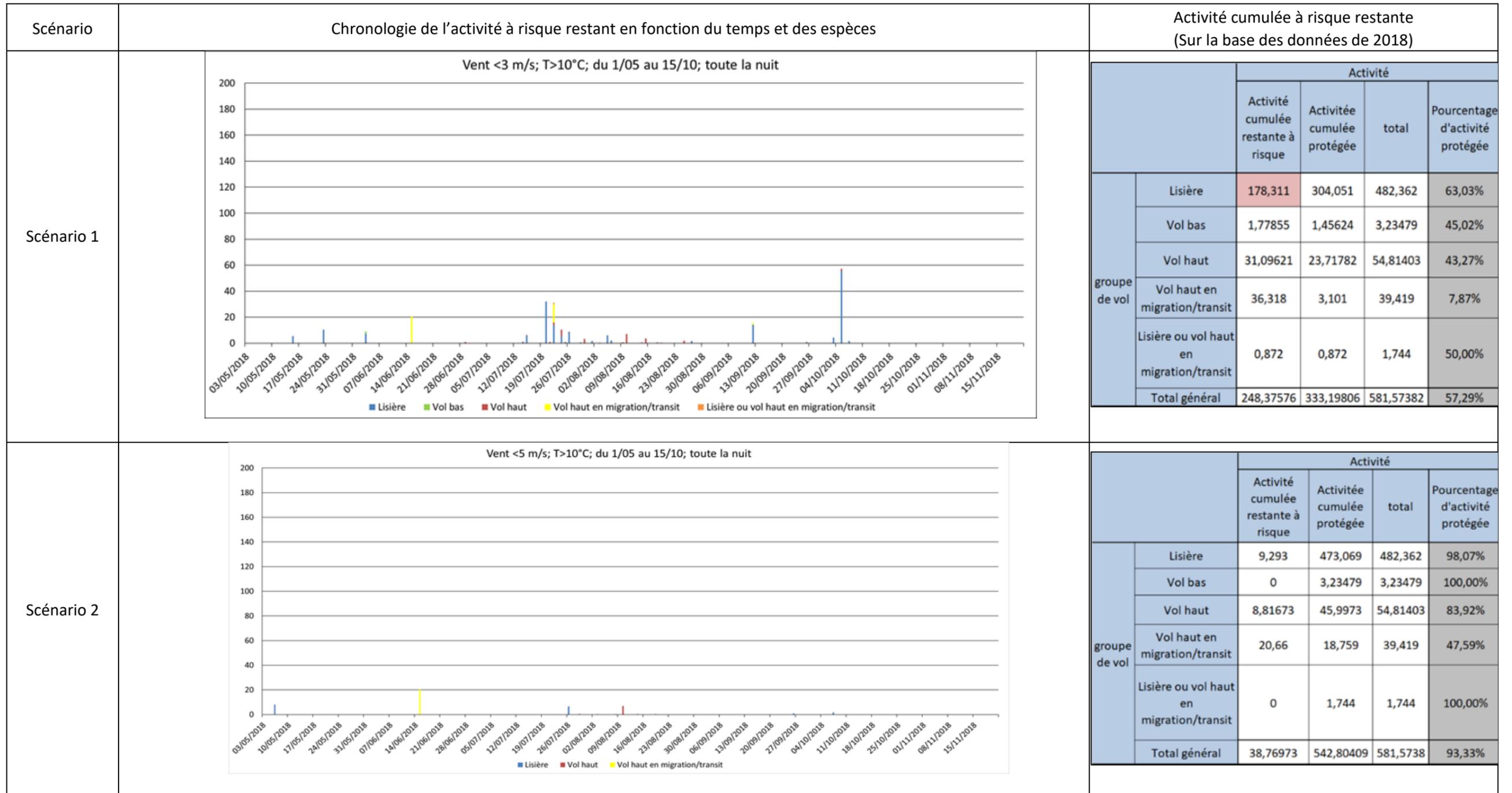
- - Pour la période allant du 18 juillet au 15 septembre :

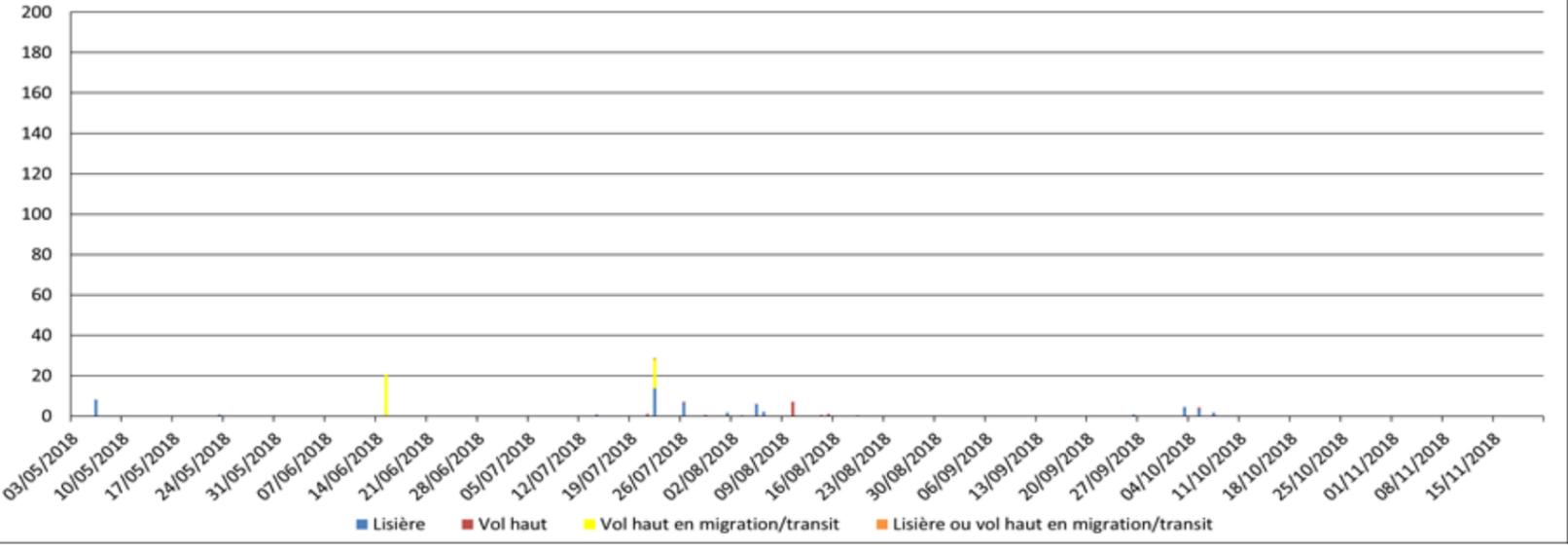
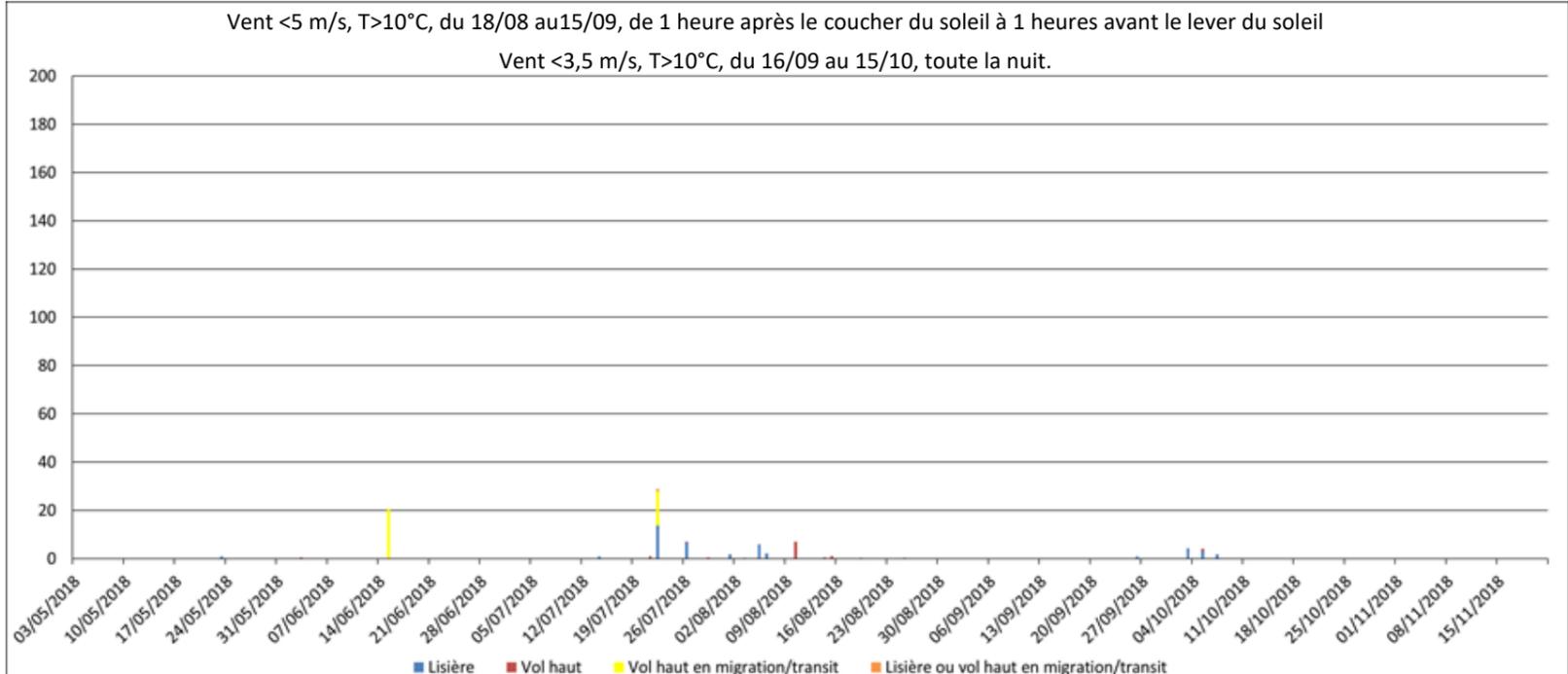
- Vent < 5 m/s,
 - Température > 10°C,
 - De 1 heure après le coucher du soleil à 1 heure avant le lever du soleil,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.
-
- Pour la période allant du 16 septembre au 15 octobre :
 - Vent < 3,5 m/s,
 - Température > 10°C,
 - Toute la nuit,
 - Du 21 septembre au 15 octobre,
 - Pour toutes les éoliennes,
 - Uniquement s'il n'y a pas de précipitation notable.

Avec ce pattern n°4, les résultats d'activité protégés ne sont pas différents de ceux du pattern n°3. Il permet donc de maximiser encore la rentabilité du parc. Seulement, ces résultats sont basés sur l'activité relevé en 2018, ce qui n'exclue pas une variabilité inter annuelle, et dans le cas d'un suivi de mortalité de vérification il sera alors impossible de dire si la mortalité relevée est dû aux horaires de régulation ou aux paramètres de vent et de température.

Finalement, le bureau d'études EXEN préconise de retenir le pattern n°3, qui permet à la fois de tenir compte des conditions d'apparition de pics d'activité en hauteur, et plus générale, des différents types de risques identifiés sur ce site

Figure 66 : Synthèse des chronologies d'activité à risque restant selon les patterns de régulation



<p>Scénario 3</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th colspan="4">Activité</th> </tr> <tr> <th>Activité cumulée restante à risque</th> <th>Activité cumulée protégée</th> <th>total</th> <th>Pourcentage d'activité protégée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">groupe de vol</td> <td>Lisière</td> <td>42,106</td> <td>440,256</td> <td>482,36</td> <td>91,27%</td> </tr> <tr> <td>Vol bas</td> <td>0</td> <td>3,23479</td> <td>3,2348</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>Vol haut</td> <td>12,14241</td> <td>42,67162</td> <td>54,814</td> <td>77,85%</td> </tr> <tr> <td>Vol haut en migration/transit</td> <td>34,929</td> <td>4,49</td> <td>39,419</td> <td>11,39%</td> </tr> <tr> <td>Lisière ou vol haut en migration/transit</td> <td>0,872</td> <td>0,872</td> <td>1,744</td> <td>50,00%</td> </tr> <tr> <td>Total général</td> <td>90,04941</td> <td>491,5244</td> <td>581,57</td> <td>84,52%</td> </tr> </tbody> </table>			Activité				Activité cumulée restante à risque	Activité cumulée protégée	total	Pourcentage d'activité protégée	groupe de vol	Lisière	42,106	440,256	482,36	91,27%	Vol bas	0	3,23479	3,2348	100,00%	Vol haut	12,14241	42,67162	54,814	77,85%	Vol haut en migration/transit	34,929	4,49	39,419	11,39%	Lisière ou vol haut en migration/transit	0,872	0,872	1,744	50,00%	Total général	90,04941	491,5244	581,57	84,52%
		Activité																																									
		Activité cumulée restante à risque	Activité cumulée protégée	total	Pourcentage d'activité protégée																																						
groupe de vol	Lisière	42,106	440,256	482,36	91,27%																																						
	Vol bas	0	3,23479	3,2348	100,00%																																						
	Vol haut	12,14241	42,67162	54,814	77,85%																																						
	Vol haut en migration/transit	34,929	4,49	39,419	11,39%																																						
	Lisière ou vol haut en migration/transit	0,872	0,872	1,744	50,00%																																						
	Total général	90,04941	491,5244	581,57	84,52%																																						
<p>Scénario 4</p>	<p>Vent <3,5 m/s, T>10°C, du 01/05 au 10/06, de 1 heures après le coucher du soleil à 1 heure avant le lever du soleil Vent <4 m/s, T>10°C, du 11/06 au 17/08, de 30 minutes après le coucher du soleil à 1 heures avant le lever du soleil Vent <5 m/s, T>10°C, du 18/08 au 15/09, de 1 heure après le coucher du soleil à 1 heures avant le lever du soleil Vent <3,5 m/s, T>10°C, du 16/09 au 15/10, toute la nuit.</p> 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2"></th> <th colspan="4">Activité</th> </tr> <tr> <th>Activité cumulée restante à risque</th> <th>Activité cumulée protégée</th> <th>total</th> <th>Pourcentage d'activité protégée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6">groupe de vol</td> <td>Lisière</td> <td>42,106</td> <td>440,256</td> <td>482,362</td> <td>91,27%</td> </tr> <tr> <td>Vol bas</td> <td>0</td> <td>3,23479</td> <td>3,23479</td> <td>100,00%</td> </tr> <tr> <td>Vol haut</td> <td>12,87494</td> <td>41,93909</td> <td>54,81403</td> <td>76,51%</td> </tr> <tr> <td>Vol haut en migration/transit</td> <td>34,929</td> <td>4,49</td> <td>39,419</td> <td>11,39%</td> </tr> <tr> <td>Lisière ou vol haut en migration/transit</td> <td>0,872</td> <td>0,872</td> <td>1,744</td> <td>50,00%</td> </tr> <tr> <td>Total général</td> <td>90,78194</td> <td>490,79188</td> <td>581,57382</td> <td>84,39%</td> </tr> </tbody> </table>			Activité				Activité cumulée restante à risque	Activité cumulée protégée	total	Pourcentage d'activité protégée	groupe de vol	Lisière	42,106	440,256	482,362	91,27%	Vol bas	0	3,23479	3,23479	100,00%	Vol haut	12,87494	41,93909	54,81403	76,51%	Vol haut en migration/transit	34,929	4,49	39,419	11,39%	Lisière ou vol haut en migration/transit	0,872	0,872	1,744	50,00%	Total général	90,78194	490,79188	581,57382	84,39%
		Activité																																									
		Activité cumulée restante à risque	Activité cumulée protégée	total	Pourcentage d'activité protégée																																						
groupe de vol	Lisière	42,106	440,256	482,362	91,27%																																						
	Vol bas	0	3,23479	3,23479	100,00%																																						
	Vol haut	12,87494	41,93909	54,81403	76,51%																																						
	Vol haut en migration/transit	34,929	4,49	39,419	11,39%																																						
	Lisière ou vol haut en migration/transit	0,872	0,872	1,744	50,00%																																						
	Total général	90,78194	490,79188	581,57382	84,39%																																						

6.1.4. Mesure de suivi de l'activité en continu en nacelle

Comme évoqué dans les paragraphes précédents, la mise en place d'une régulation des éoliennes à partir de 2019 devrait entraîner une diminution des impacts du parc éolien de la Chaussée de César sud sur les chiroptères. Mais afin de vérifier l'efficacité de cette mesure de régulation, il sera nécessaire d'effectuer en parallèle du suivi de mortalité (cf. paragraphe suivant) un suivi d'activité en nacelle.

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.

La période retenue pour le suivi s'étalera du 01 mai au 31 octobre 2019. Cette période couvrira également la période de régulation des machines.

6.2. Mesures communes aux chiroptères et aux oiseaux

6.2.1. Mesure de suivi de la mortalité au pied des éoliennes

Aux vues des impacts qualitatifs concernant les chiroptères et les oiseaux, et si on veut s'assurer que les mesures mises en place en 2019 soient efficaces pour diminuer l'impact du parc éolien de la Chaussée de César sud sur la faune volante, il faudrait poursuivre un suivi de mortalité sur ce parc en 2019.

Ce suivi de mortalité devra être effectué sur la base des résultats de mortalité de 2018, c'est-à-dire une période de suivi de 5 mois et demi aux périodes ciblées pour les chiroptères et pour les oiseaux. Ce suivi de mortalité devra se dérouler de mi-mai (semaine 20) à fin octobre 2019 (semaine 44), à raison d'une visite par semaine.

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Un suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris a été réalisé sur le parc éolien de la Chaussée de César sud par le bureau d'étude EXEN, missionné par la société VSB énergie nouvelles. Le suivi s'est déroulé en mai et d'août à septembre.

Parallèlement à ce suivi des mortalités, un suivi d'activité des chiroptères a été réalisé au niveau d'une nacelle d'éolienne (suivi en continu au niveau de l'éolienne E3 de mai à novembre).

7.1. Suivi de mortalité des chiroptères

Finalement, à propos de la mortalité des chiroptères, nous retiendrons principalement des résultats de ce suivi les points suivants :

- 2 cas de mortalité découverts en 2018 dont 1 cas de Noctule commune, 1 cas de Pipistrelle Commune,
- Des périodes considérées comme potentiellement à risque (d'après le suivi d'activité en nacelle) mais non suivies par le suivi de mortalité,
- Un taux de mortalité qualifié de faible à modéré par rapport à ce qui est observé sur d'autres parcs éoliens en France ou en Europe (environ 3 à 4 chauves-souris par éolienne et par an).

7.2. Suivi de mortalité des oiseaux

En ce qui concerne le suivi de mortalité des oiseaux en 2018, nous pouvons retenir les points suivants :

- 4 cas de mortalité d'oiseaux découverts en 2018 (dont 2 plumés),
- 4 espèces retrouvées : le Roitelet à triples bandeaux (1 cas), le Pipit des arbres (1 cas), une espèce de columbidé (1cas), une espèce d'anatidé (1 cas),
- Les espèces impactées devaient être nicheuses à proximité immédiate du site ou migratrices,
- Un taux de mortalité qualifié de faible à modéré par rapport à ce qui est observé sur d'autres parcs éoliens en France ou en Europe (entre 14 et 15 oiseaux par éolienne et par an).

7.3. Suivi de l'activité des chiroptères

En ce qui concerne l'activité des chiroptères, elle a été mesurée du 3 mai au 11 novembre sur l'éolienne E3. Un total de 202 nuits de suivi a été réalisé. Lors de ce suivi, nous pouvons retenir les points suivants :

- Une activité très hétérogène et très faible en fin de période printanière/début de période estivale,
- Des pics d'activité importants fin septembre et début octobre, caractérisés par des séquences de chasse laissant penser à une exploitation d'essaimages d'insectes en hauteur et quelques cris sociaux laissant penser à une compétition alimentaire,

- Une diversité d'espèce moyenne mais avec principalement de la Pipistrelle de Kuhl, de la Pipistrelle commune, de la Noctule de leisler et la Noctule commune.

7.4. Niveau d'impact du parc éolien de la Chaussée de César sud sur les oiseaux et les chauves-souris

En ce qui concerne l'avifaune, l'impact quantitatif est estimé à faible. Au niveau qualitatif, 2 espèces protégées ont été impactées, mais leur statut de conservation ne sont pas défavorables.

En ce qui concerne les chiroptères, l'impact quantitatif est jugé modéré. Concernant l'impact d'un point de vue qualitatif, la Noctule commune serait l'espèce dont les populations seraient les plus touchées (risque modéré), de la Pipistrelle commune.

Rappelons que le protocole du suivi de mortalité effectué en 2018 n'a été effectué que sur 3 mois, et que les périodes de plus forte activité de chiroptères n'ont pas été suivi par les visites de recherche de mortalité. Il est donc probable que l'impact du parc éolien de la Chaussée de César sud soit plus important que ce qui a pu être calculé dans ce rapport.

En définitive, le parc éolien de la Chaussée de César sud entraîne un impact d'un point de vue qualitatif et quantitatif concernant les chiroptères, et de moindre mesure sur l'avifaune en 2018.

7.5. Mesures et perspectives

Devant les impacts mesurés par les suivis réalisés en 2018, le bureau d'étude EXEN préconise la réalisation de plusieurs mesures au niveau du parc éolien de la Chaussée de César sud à partir de 2019 :

- **L'entretien** des abords des éoliennes afin de ne pas créer d'habitat qui pourrait attirer les chiroptères,
- **La poursuite de l'extinction des spots lumineux** aux entrées des éoliennes toujours dans le même objectif,
- La mise en place d'une **régulation** des machines,
- Un **suivi de mortalité** en 2019 permettant de contrôler l'efficacité des mesures de régulation (définition des seuils de régulation, période de régulation, éoliennes à réguler...),
- Parallèlement à ce suivi de mortalité, un **suivi de l'activité en hauteur** est préconisé pour vérifier l'efficacité de la régulation. Il s'agira de vérifier si même avec de l'activité en hauteur (conditions à risque pour les chiroptères), peu de mortalité sera observée. Dans l'idéal, il s'agira d'équiper la même éolienne (E3). Il s'agira aussi éventuellement de modifier les paramètres de régulations à la hausse ou à la baisse selon les impacts relevés en 2019.

BIBLIOGRAPHIE

- **ADOMEIT U., WILLUTZKI F., BRINKMANN R., NIERMANN I., BEHR O.** (2009) : Caractérisation de l'activité des Chiroptères à proximité des éoliennes à l'aide d'enregistrements stéréoscopiques à infrarouge. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **ADAMS A M., JANTZEN M K., HAMILTON RM., BROCKETT FENTON M.** (2012) – Do you hear what I hear ? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 2012, 3, 992-998.
- **ALBOUY S., DUBOIS Y. & PICQ H.** (1997-2001) Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude). ABIES, LPO Aude, ADEME, 59 p. + annexes.
- **ANDRE Y.** (2005) – Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. (avril 2005 en cours de validation MEDD) – LPO, 21 p.
- **ARTHUR L. & LEMAIRE M.** 2015. — *Les Chauves-souris de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Deuxième édition.* Muséum national d'Histoire naturelle, Paris ; Biotope, Mèze, 544 p. (Hors collection ; 38).
- **BAERWALD E.F., D'AMOURS G.H., KLUG B.J., BARCLAY R.** (2008) - Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. University of Calgary, Calgary
- **BARATAUD M.** 2015. – Écologie acoustique des chiroptères d'Europe, identification des espèces, étude de leurs habitats et comportement de chasse. Biotope, Mèze ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris (collection Inventaires et Biodiversité), 344 p.
- **BARCLAY, R.M.R., BAERWALD, E.F., AND GRUVER, J.C.** (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Can. J. Zool.* 85, 381–387.
- **BEHR, O., NIERMANN, I., MAGES, J., BRINKMANN, R.** (2009): Fachtagung Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen: 06.09.2009; Hannover
- **BEUCHER Y. KELM V., GEYELIN M. PICK D.** (2010) - Parc éolien de Castelnau-Pégayrols (12) ; suivi évaluation post-implantation de l'impact sur les chauves-souris. Bilan de campagne de la première et de la deuxième année d'exploitation (2009-2010).
- **BEUCHER Y., ALBESPY F., MOUGNOT J.** (2012) - Projet éolien de Gelles et Heume l'Eglise (63) Focus sur la Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780). Prospections complémentaires visant la localisation de gîtes et la précision des enjeux. 62 p.
- **BUREAU DE COORDINATION ENERGIE EOLIENNE** (2009) – Méthodes pour l'analyse et la réduction du risque de collision de chiroptères avec des installations éoliennes terrestres. Synthèse de congrès chauves-souris. Hanovre, 9 juin 2009. 5 p.
- **CORNUT J. VINCENT S.** (2010) – Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du Sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme. 39 p.
- **COSSON, M., DULAC, P.** (2004) : Suivi Évaluation de l'impact du parc Éolien de Bouin, 2003 : Comparaison État initial et fonctionnement des Éoliennes. A.D.E.M.E. Pays de la Loire, Région Pays de la Loire, L.P.O., Rochefort, 91 p.
- **DEJEAN S.** (2007) – Clé de détermination des chauves-souris de Midi-Pyrénées – En main- Cren/Gcmp DS. 16 p.
- **DIETZ C., VON HELVERSEN O.** (2004) – Clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe. Version 1. Tuebingen & Erlangen (Allemagne). Traduction JC Louis. 56 p.
- **DUBOURG-SAVAGE M-J.,** (2005) : Impact des éoliennes sur les Chiroptères, de l'hypothèse à la réalité, *Arvicola XVI n°2*, SFPEM.
- **DUBOURG-SAVAGE M-J, BACH ET AL.** (2005): Report of the Intersessional Working Group on Wind Turbines and Bat Populations. Eurobats10th Meeting of the Advisory Committee Bratislava, Slovak Republic, 25 – 27 April 2005
- **DULAC, P.** (2008) : Évaluation de l'impact du parc éolien de Bouin (Vendée) sur l'avifaune et les chauves-souris Bilan des 5 années de suivi. Ligue pour la Protection des Oiseaux délégation Vendée / ADEME Pays de la Loire / Conseil Régional des Pays de la Loire, La Roche-sur-Yon - Nantes, 106 pages.
- **DÜRR, T.** (2014). Relevé des cadavres de chiroptères. Statistique du bureau de l'environnement du Land de Brandebourg. Bilan de mars 2014.
- **EXEN** (2018). Parc éolien du Plateau de Savernat (03) Suivi environnemental post-implantation 2017 ciblé sur les chauves-souris et sur les oiseaux. 90 p.
- **HORN, J., ARNETT, E., KUNZ, T.** (2008) : Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. *Journal of Wildlife Management* 72(1):123-132. 2008
- **KUNZ, T., ARNETT, E.B, WALLACE P, ERICKSON, W.P., HOAR, A.R., JOHNSON G.D., LARKIN, R.P., STRICKLAND, THRESHER, R.W., TUTTLE, M.D.** (2007): Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ* 2007; 5(6): 315–324.
- **LEKUONA, J.** (2001) : Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. Informe Técnico. Dirección General de Medio Ambiente. Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. Gobierno de Navarra.
- **MARMET J.** (2014) Cahier technique d'identification des chiroptères (2014)...
- **MEEDDAT** (2010) - Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. Actualisation 2010. 188p + annexes techniques.
- **NIERMANN I., BRINKMANN R., BEHR O., KORNER-NIEVERGELT F., MAGES J.** (2009) : Recherche systématique de cadavres –conditions méthodologiques, méthodes d'analyses statistique et résultats. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **NORE T.** 1999. Vingt ans de marquage des nichées de buses variables *Buteo buteo* dans le centre de la France, *Alauda* 67, p307-318
- **ROCAMORA G., & YEATMAN-BERTHELOD D.,** (coord), 1999, Oiseaux menacés et à surveiller en France, SEOF, LPO.
- **SANE F. CHRISTOPHE F., MERLY S. (ALEPE)** (2012) - Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : bilan des 3 années de suivi (2008-2009-2010). 110 p.
- **THIOLLAY J.M. ET BRETAGNOLLE V.** (2004). Rapaces nicheurs de France, Distribution, effectifs et conservation. Delachaux et Niestlé, Paris, 176 p.
- **ULDRY V.** (2013) – Comparaison entre deux détecteurs d'ultrasons automatiques (Batcorder et Batlogger) dans le domaine de l'éolien. 36 p.

ANNEXES

7.6. Annexe 1 : Profils et expériences de l'équipe EXEN

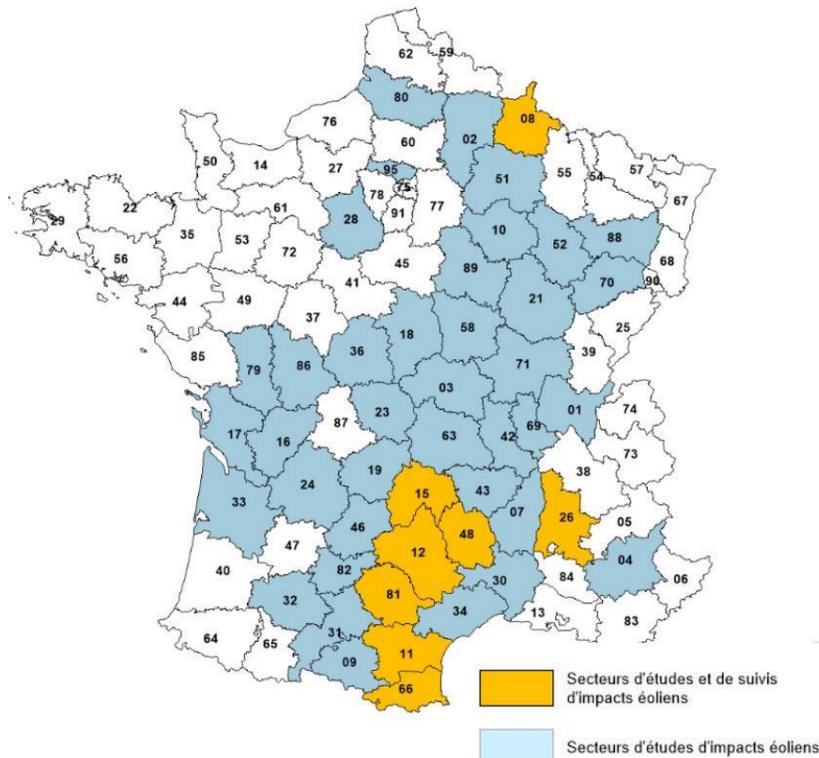
EXEN est un bureau d'étude d'écologues spécialisés depuis 2003 dans les rapports entre le développement des énergies renouvelables et la faune sauvage. Notre équipe comprend 11 ingénieurs écologues, 4 techniciens écologues et 1 assistante de gestion. Historiquement ciblés sur l'éolien, nous avons développé nos compétences grâce à la confiance renouvelée de développeurs qui ont mesuré

l'intérêt de faire le choix d'une approche professionnelle et objective pour les accompagner dans leurs projets. Nos références sont présentées sur le portail Internet d'EXEN www.sarlexen.fr. Y figurent non seulement de nombreuses missions d'étude d'impact avant implantation dans des milieux très variés (plus d'une centaine en 2011), mais également plusieurs suivis évaluation post-implantation sur plusieurs années dont les résultats font désormais référence au niveau

international (110 éoliennes suivies en France en 2012, concernant tant les oiseaux que les chauves-souris). Cette expérience de suivis *in situ* parmi les plus riches de France nous fait bénéficier à la fois d'une appréciation concrète de la sensibilité des espèces et de la pertinence des mesures d'intégration mises en place.

A l'échelle internationale, les compétences d'EXEN sont aussi reconnues au travers d'un partenariat que nous entretenons au quotidien avec des homologues Franco - Allemands du bureau d'étude KJM Conseil et Corieaulys, spécialisés eux aussi dans les rapports entre éolien et biodiversité depuis les années 2000. Notre partenariat permet les avantages ... :

- d'une mise en commun des expériences, des références bibliographiques, de techniques et matériels, des réseaux de partenaires réciproques. Les données mises en commun sont d'autant plus nombreuses et précieuses que le développement éolien allemand est plus précoce et important qu'en France... ;



- d'une organisation souple pour intervenir rapidement sur un même site et mutualiser à tour de rôle les visites thématiques ;
- d'une ouverture d'esprit sur le choix de la méthodologie de suivi la plus pertinente ;
- d'un regard croisé aussi bien pour une appréciation objective des enjeux que pour des propositions de mesures pertinentes.

Plus largement, notre partenariat s'inscrit dans une volonté de participer à l'amélioration des connaissances scientifiques des impacts éoliens sur l'avifaune en Europe, notamment à travers une professionnalisation des expertises. Il vise ainsi une approche à la fois :

- globale (regard croisé, mutualisation des connaissances...);
- objective (raisonnement scientifique, usage de références et démonstrations chiffrées) ;
- désengagée (indépendance, notamment vis-à-vis des associations naturalistes) ;
- professionnelle (méthodes et outils d'ingénierie efficaces et innovants, proximité, réactivité, respect des délais, SIG, rapport qualité prix ...).

Au jour le jour, nous perfectionnons notre expertise tant sur le fond que sur la forme, dans le respect des règles déontologiques de la profession, et notamment du Code déontologique élaboré par l'Association Française des Ingénieurs Ecologues (A.F.I.E.).

Gage de reconnaissance de notre place parmi les acteurs du développement éolien intégré, nous avons été missionnés en 2009 par le MEEDDM¹ pour coordonner la réactualisation des volets liés à la « Biodiversité » du Guide Méthodologique de l'étude d'impact sur l'environnement de parcs éoliens (MEEDDM 2010). Le Guide ainsi que les fiches techniques associées sont disponibles à l'adresse suivante :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=10866 .

Nous participons aussi activement aux colloques et séminaires internationaux relatifs aux rapports entre éolien et biodiversité (Berlin 2008, Hanovre 2009, Reims 2010, Corogne 2010, Paris 2011, Dusseldorf 2012, Bourges 2012...), pour valoriser le partage et la mise en réseau des connaissances.

¹ MEEDDM : Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer

L'équipe d'EXEN

L'équipe est constituée de 15 écologues, ingénieurs (11), et techniciens (4) et d'une assistante de direction. L'équipe est également appuyée par des salariés saisonniers pour les suivis de mortalités.

Si les parcours de formation et les spécialités naturalistes sont très diversifiés, selon ses compétences et sensibilités, chacun d'entre nous peut être amené à intervenir sur chaque projet entre les investigations de terrain, le traitement des données ou la rédaction des rapports. Toutefois, chaque affaire est prise en charge par un cadre Chargé d'affaire référent, interlocuteur privilégié du donneur d'ordre, qui assure le suivi du déroulement du projet, et veille au respect de nos engagements en termes de consultations, méthodologie, ou échéances...

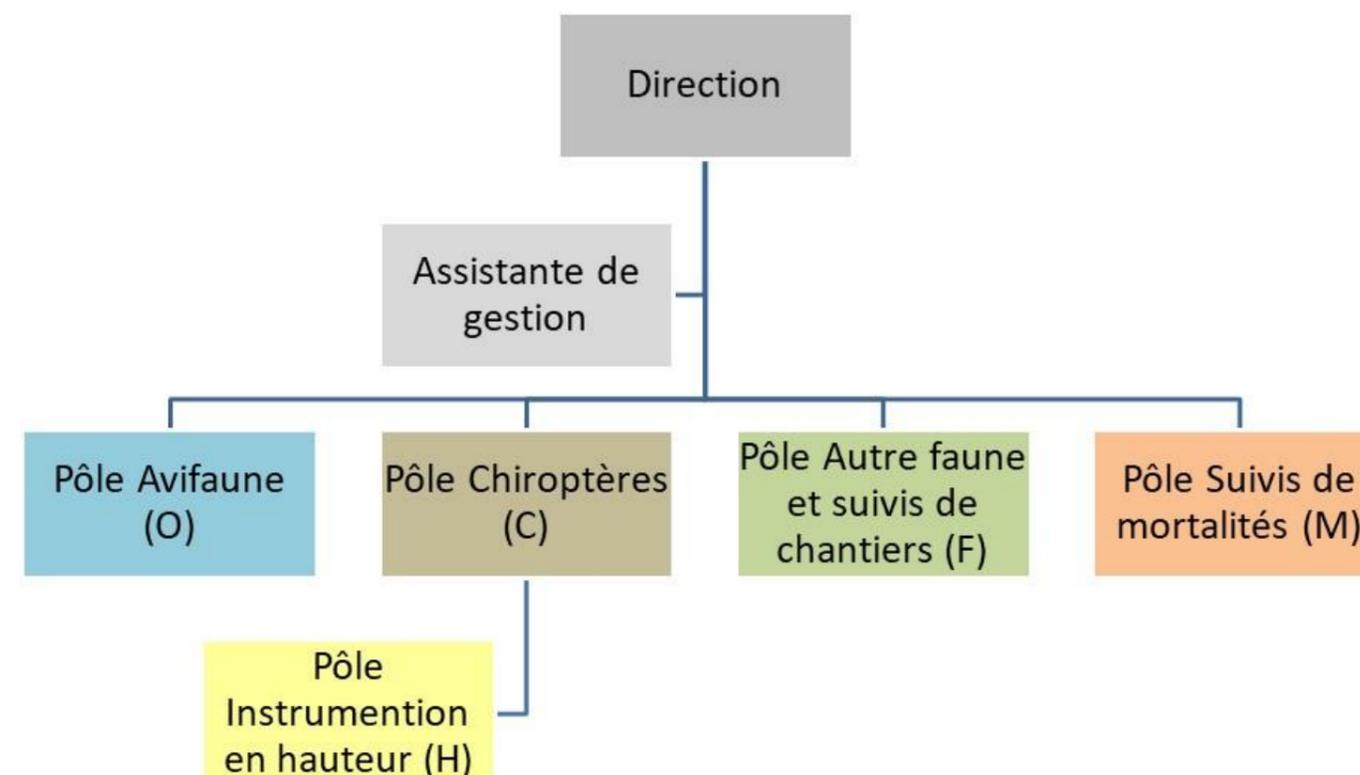
L'équipe est organisée en 5 pôles thématiques (cf. organigramme ci-contre). Chacun peut dépendre de plusieurs pôles selon ses compétences et fonctions dans l'entreprise. Le profil de chacun est proposé au niveau des pages suivantes, avec précision des principaux pôles de compétence pour chacun, sur la base de jeu de couleurs correspondant.

Cette organisation en pôle vise à entretenir la cohésion d'équipe et la cohérence des investigations par thèmes (partage des observations de terrain, protocoles et méthodes d'inventaires, évolution des modèles de rapports, veille technologique et réglementaire...). Le responsable de pôle est garant de cette cohérence thématique. Il réunit les membres de son équipe tous les mois. L'ensemble de l'équipe se réunit également chaque mois pour faciliter une cohésion plus transversale de l'ensemble des salariés.

Notre choix de dédier un pôle à part entière à l'instrumentation en hauteur souligne notre engagement depuis plus de 10 ans à être parfaitement autonomes et réactifs sur la gestion d'outils de mesures d'activité des chiroptères en continu (nacelle d'éolienne, mât de mesure, arbres, suivi de cavités...).

Cette orientation précoce vers les travaux en hauteur induit une réflexion constante sur les notions de sécurité, démarche dont l'ensemble de l'équipe profite également (formations SST, manèges extincteurs...).

Organigramme EXEN



Direction

Yannick BEUCHER

Ing. écologue-cordiste, chiroptérologue / ornithologue.
Fondateur- gérant. 15 ans d'expérience.



C O M H

- **Profil** : Ing. Agronome VetAgro Sup. Clermont Ferrand, 1998, « Environnement et territoires », Maîtrise d'Ecologie (Université d'Aix Marseille II, 1995), mention assez bien.
- **Expérience avant EXEN** :
 - Ing. Eau / Environnement Chambre d'Agriculture 64 (1999-2001)
 - Ing. Environnement-agriculture. Bureau d'étude GAUDRIOT (2001-2003)
- **Fonctions chez EXEN** : Gestion du personnel, sécurité, relations commerciales, gestion comptable, contrôle qualité des productions, méthodes de terrain, R&D et innovations techniques, relationnel, communication et représentation.
- **Autre fonction** : co-coordonateur du Groupe Technique Eolien de la SFPEM.
- **Spécialités naturalistes** : chauves-souris, oiseaux.
- **Formations professionnelles** :
 - Niveau 1 bioacoustique des chauves-souris (ATEN , formé par M. Barataud, Y. Tupinier , 2007) ,
 - Niveau 2 bioacoustique des chauves-souris (CPIE Pays d'Azay) (formé par T. Disca, 2012).
 - Apprenti capture chiroptères : formation CEN MP 2014, en cours de pratique.
 - Evolution et travail en hauteur, (CCI Aveyron 2009, recyclage 2013 et 2017),
 - Vérificateur équipement EPI, (Hauteur et Sécurité 2013),
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2013, recyclage 2015-17-19),
 - Maniement des extincteurs (CCI Aveyron, 2019).

Hélène CARADEC

Assistante de direction.
8 ans d'expérience.



- **Profil** : Licence Lettres Modernes avec mention. Paris la Sorbonne.
- **Expérience avant EXEN** :
 - 2011-2018 : Secrétaire administrative ATED, ADMR.
 - 2005 : Chargée de partenariats FOX INTERNATIONAL CHANNELS France
 - 2003-2005 : Attachée de presse. NATIONAL GEOGRAPHIC CHANNEL
 - 2000-2003 : Chargée relations presse. CANALSATELLITE outre-mer / Afrique
- **Fonctions chez EXEN** :
 - Gestion administrative, suivi des facturations, appui à la gestion des ressources humaines, gestion des contrats, sécurité (document unique)...
 - Secrétariat, accueil téléphonique, gestion de planning, prise de RDV, organisation des déplacements, suivi du parc de véhicules...
- **Formations professionnelles** :
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron prévue 2019).
 - Maniement des extincteurs (CCI Aveyron, 2019)

Ecologues - responsables de pôles naturalistes

Justine MOUGNOT

Ing. écologue - ornithologue / chiroptérologue.

Chargée d'affaires. **Responsable du Pôle Avifaune.** 7 ans d'expérience.

Management production, protocoles scientifiques, encadrement, gestion administrative



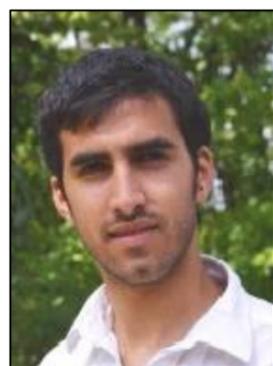
C O M

- **Profil** : Master II pro de Biodiversité, écologie, environnement (Université J. Fournier de Grenoble), mention bien.
- **Expérience avant EXEN** : i
 - 2011 : Service civique Suivi des populations de Gravelots à collier interrompus. Station de Bague de Trouvel.
 - 2010 : Diagnostic écologique des roselières de Haute Normandie pour PNA Butor étoilé. Observatoire avifaune de la maison estuaire du Havre.
 - 2009 : Inventaires de chauves-souris communes et orthoptères par ultrasons. MNHN Paris 2010,
- **Fonctions chez EXEN** : **Responsable Pôle Avifaune.** Inventaires, organisation et traitement des données, rédaction des rapports, relectures,
- organisation et encadrement du pôle, gestion administrative.
- **Spécialités naturalistes** : oiseaux, chauves-souris, orthoptères.
- **Formations professionnelles** :
 - Niveau 2 de bioacoustique des chauves-souris (approche Barataud, formée par Y.Tupinier, T. Disca). 2012.
 - Evolution et travail en hauteur, (Hauteur et Sécurité 2013).
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2013, recyclage 2015-17-19).

Arnaud RHODDE

Ing. écologue. Ornithologue / entomologue

Chargé d'affaires. **Responsable du pôle Petite faune et suivis de chantiers.** 5 ans d'expérience



O F M

- **Profil** : Master II Gestion de la Biodiversité Aquatique et Terrestre (Université P.Sabatier, Toulouse, 2014).
- **Expérience avant EXEN** :
 - 2015 : Chargé d'études faune chez BIOTOPE PACA, Hyères (83).
 - 2014 : Assistant chargé d'étude faune, ETEN (82).
- **Fonctions chez EXEN** : Encadrement du pôle, méthodes d'inventaires et analyses du volet Petite faune et Suivis de chantiers. Chargé d'études faune. Inventaires, traitement et analyse des données, rédaction des rapports, gestion d'affaires.
- **Spécialités naturalistes** : oiseaux, rhopalocères, odonates, orthoptères (réfèrent entomofaune), herpétofaune.
- **Formations professionnelles** :

Frédéric ALBESPY

Ing. écologue - biostatisticien / cartographe / chiroptérologue.

Chargé d'affaires. **Responsable du Pôle Chiroptères.** 8 ans d'expérience.

Management production, protocoles scientifiques, encadrement.



C O M

- **Profil** : Master II de Télédétection + Master II de biostatistique (Université de Toulouse 3), mention bien et assez bien. (2008 – 2010)
- **Expérience avant EXEN** : Biostatisticien à ONCFS / Tour du Valat (2008), suivi de propagation du virus de la grippe aviaire chez les sarcelles d'hiver.
- **Fonctions chez EXEN** : Inventaires, organisation et traitement des données, traitements statistiques, rédaction des rapports, relectures, réfèrent informatique / cartographie, organisation et encadrement du pôle.
- **Spécialités naturalistes** : chauves-souris, oiseaux.
- **Formations professionnelles** :
 - Formé aux méthodes d'inventaires naturalistes réserve de St Quentin en Yvelines (2009)
 - Niveau 1 bioacoustique des chauves-souris (2011) et niveau 2 (2012) (approche Barataud, formé par M. Barataud, Y. Tupinier, T. Disca). CPIE Pays d'Azay.
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2013, recyclage 2015-17-19).

Aurélié LANGLOIS

Ing. écologue-biostatistique. Chiroptérologue.

Chargée d'affaires. **Responsable Pôle suivis des mortalités.** 3 ans d'expérience.



C M

- **Profil** : Master II Gestion de la Biodiversité (Université P. Sabatier, Toulouse, 2016), mention bien
- **Expérience avant EXEN** :
 - 2015 : stage au CEN de Midi-Pyrénées, Toulouse (31) –plan de gestion
- **Fonctions chez EXEN** : Organisation et traitement des données chiroptères et suivis de mortalités, traitements statistiques, rédaction des rapports, encadrement du pôle, méthodes et analyses des suivis de mortalités.
- **Spécialités naturalistes** : chiroptères.
- **Formations professionnelles** :
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2017-2019).
 - Apprentie capture chiroptères : formation théorique CEN MP 2016.
 - Niveaux 1 et 2 bioacoustique des chauves-souris (2017). CPIE Pays d'Azay.

Ecologues

Mathieu LOUIS

Ing. écologue - ornithologue / chiroptérologue.

Chargée d'affaires. Référent bioacoustique des chiroptères. 8 ans d'expérience.



C O F M

- **Profil** : Master II de Gestion et Evolution de la Biodiversité (Université Lille 1).
- **Expérience avant EXEN** :
 - 2010-2014 : chargé d'études environnement chez ENVOL ENVIRONNEMENT.
 - Stage 2010 amphibien au CPIE Chaine des Terrils.
- **Fonctions chez EXEN** : Inventaires (avifaune, chiroptères, autre faune), traitement et analyse des données, rédaction des rapports, gestion d'affaires.
- **Spécialités naturalistes** : chiroptères (réf. acoustique), oiseaux, amphibiens, reptiles
- **Formations professionnelles** :
 - Formation ornithologique (GON Pas de Calais 2013-2014)
 - Niveaux 2 de bioacoustique des chauves-souris (formé par Y. Tupinier, M. Barataud). 2014, CPIE Pays d'Azay.
 - Evolution et travail en hauteur, (Hauteur et Sécurité 2014)
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2015, 2017, 2019),
 - Formation reptiles, NMP 2018.

Laurie NAZON

Technicienne écologue - ornithologue / entomologue.

Chargée de gestion BDD avifaune. 8 ans d'expérience.



O F M

- Profil** : BTS Gestion et Protection de la Nature.
- **Expérience avant EXEN** : Suivi des nichées de grands vautours, bagage en Aveyron / Lozère (LPO Grands Causse 2010)
 - **Fonctions chez EXEN** : Gestion de base de données Avifaune. Inventaires ornithologiques, et autre faune, spécialité grands rapaces, saisie de données, organisation BDD format SINP.
 - **Spécialités naturalistes** : grands rapaces, oiseaux, odonates, orchidées.
 - **Formations professionnelles** :
 - Méthodes d'inventaire d'Odonates, (CPIE Pays d'Azay 2011)
 - Evolution et travail en hauteur, (Hauteur et Sécurité 2013, recyclage 2017).
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2013, recyclage 2015-17-19).

Fanny BONNET

Ing. écologue. Chiroptérologue / ornithologue

Chargée d'affaires. 6 ans d'expérience.



C O F M

- **Profil** : Master professionnel Écologie et Éthologie. Université Jean Monnet, Saint-Etienne
- **Expérience avant EXEN** :
 - 2015-16 : Assistante de recherche chiroptérologue. Sarapiqi, Costa Rica. Institut d'écologie évolutive. Université d'Ulm (All.).
 - 2014-15 : Assistante de recherche chiroptérologue. Barro Colorado nature, Panama. Université d'Ulm (All.) et Smithsonian Tropical Research Institut (Panama).
 - 2013 : service civique animation Natura 2000. Syndicat mixte des caps d'Erquy Frehel, Plévenon, Bretagne.
- **Fonctions chez EXEN** : Inventaires, traitement et analyse des données, rédaction des rapports, gestion d'affaires.
- **Spécialités naturalistes** : chiroptères (acoustique, capture), oiseaux, herpétofaune.
- **Formations professionnelles** :
 - Captures chiroptères : forte expérience au Costa Rica et Panama.
 - Niveau 2 de bioacoustique des chauves-souris (formée par M. Barataud, Y. Tupinier). CPIE Pays d'Azay. 2017
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron prévu 2017).

Sylvain DAVROUT

Ing. écologue. Ornithologue / entomologue

Chargé d'affaires. 3 ans d'expérience.



O F M

- **Profil** : Master pro Écologie. Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité (IEGB). Université de Montpellier.
- **Expérience avant EXEN** :
 - 2016 : Chargé d'étude faune. Bureau d'étude ECOSPHERE, Mérignac (33).
 - 2015 : Ingénieur de recherche MNHN, CEFE CNRS Montpellier. Suivis télémétrie GPS de l'Aigle de Bonelli et du Vautour fauve.
- **Fonctions chez EXEN** : Inventaires, traitement et analyse des données, rédaction des rapports, gestion d'affaires.
- **Spécialités naturalistes** : avifaune, référent Grands rapaces, entomofaune
- **Formations professionnelles** :
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2018),
 - Formation Orthoptères, LPO Aquitaine 2018.

Cédric SICCARDI

Ing. écologue. Chiroptérologue / entomologue / herpétologue.
Chargé d'affaires. Référent bioacoustique des chiroptères. 3 ans d'expérience.



- **Profil :** Master Biodiversité et Développement durable, Perpignan 2015
- **Expérience avant EXEN :**
 - 2016-17 : Chiroptérologue, études acoustiques, projets éoliens et divers. CALIDRIS.
 - 2016: Chiroptérologue. Recherche de gîtes en bâtis. LPO Drome.
 - 2015: stagiaire chiroptérologue, recherche et suivi de colonies de Rhinolophes Euryales, LPO Anjou.
- **Fonctions chez EXEN :**
 - Inventaires, traitement et analyse des données, rédaction des rapports, gestion d'affaires.
- **Spécialités naturalistes :** chiroptères (co-référent acoustique, capture), entomofaune, herpétofaune.
- **Formations professionnelles :**
 - Capture chiroptères : habilitation de capture 2016. Forte expérience.
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron prévue 2019).
 - Formations Travail en hauteur (prévue 2019),
 - Maniement des extincteurs (CCI Aveyron, 2019).

Sandra DERVAUX

Ing. écologue. Chiroptérologue / herpétologue.
Chargé d'affaires. 4 ans d'expérience.



- **Profil :** Licence pro. Espaces Naturels, Biologie appliquée aux Ecosystèmes exploités. UPPA 64. Mention assez bien.
- **Expérience avant EXEN :**
 - 2018 : Chargée d'étude environnement mammalogue-chiroptérologue. Cabinet Barbanson environnement (34).
 - 2017 : Tech. Mammalogue-chiroptérologue. ECOMED Marseille (13).
 - 2016 : Service civique Ambassadeur de Biodiversité. LPO Loire (42).
- **Fonctions chez EXEN :**
 - Inventaires, traitement et analyse des données, rédaction des rapports, gestion d'affaires.
- **Spécialités naturalistes :** chiroptères, herpétofaune.
- **Formations professionnelles :**
 - Niveau 1 et 2 de bioacoustique des chiroptères (formation prévue 2019)
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron prévue 2019).

Alix THUROW

Apprentie Ing. écologue. Chiroptérologue.



- **Profil :** Master pro Écologie. Ingénierie en Ecologie et Gestion de la Biodiversité (IEGB). Université de Montpellier. 2018-19
- **Expérience avant EXEN :**
 - 2018 : Stage de Master 1. Suivi de l'activité nocturne d'une population de Grandes noctules par GPS-métrie. EXEN
 - 2017 : Stage chargée d'étude environnement (1 mois). Bureau d'étude Ecotope.
- **Fonctions chez EXEN :**
 - Apprentie ingénieure écologue chiroptérologue.
- **Spécialités naturalistes :** chiroptères, micromammifères.
- **Formations professionnelles :**
 - Niveau 1 et 2 de bioacoustique des chiroptères (formation prévue 2019)
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron prévue 2019).

Ecologues cordistes

Pierre PETITJEAN

Technicien écologue – cordiste. Ornithologue / herpétologue / chiroptérologue.
Responsable du Pôle instrumentation en hauteur. 6 ans d'expérience.



C O M H

- **Profil :** BTS Gestion et Protection de la Nature.
- **Expérience avant EXEN :** Paysagiste, naturaliste amateur.
- **Fonction chez EXEN :** Gestion et maintenance du parc d'enregistreurs à ultrasons en suivis passifs (sur arbres, mâts de mesures, nacelles d'éoliennes). Encadrement de l'équipe de cordistes. Gestion des formations travail en hauteur. Inventaires de terrain avifaune, petite faune, chiroptères. Evaluation Indice de Biodiversité Potentielle (IBP). Pose et suivis de gîtes artificiels, nichoirs. Rédaction de rapports de suivis (IBP, microhabitats arboricoles et suivi des gîtes / nichoirs).
- **Spécialités naturalistes :** oiseaux, herpétofaune, chauves-souris, flore.
- **Formations professionnelles :**
 - Evolution et travail en hauteur, (Hauteur et Sécurité 2013, recyclage H&S 2017, EXEN 2018),
 - Vérificateur équipement EPI, (Hauteur et Sécurité 2013),
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2013, recyclage 2015-17-19),
 - Evolution et travail en éolienne, évacuation d'urgence (ALPIC 2015),
 - Formation / habilitation électrique CCI 2017,
 - Niveau 1 bioacoustique des chauves-souris (2014) et niveau 2 (2014) (approche Barataud, formé par M. Barataud, Y. Tupinier.). CPIE Pays d'Azay,
 - Maniement des extincteurs (CCI Aveyron, 2019).

Julien CAYLET

Tech. écologue – cordiste. Ornithologue.
3 ans d'expérience



O M H

- **Profil :** BTS Production aquacole
- **Expérience avant EXEN :** restaurateur, naturaliste amateur.
- **Fonction chez EXEN :** Gestion et maintenance du parc d'enregistreurs à ultrasons en suivis passifs (sur arbres, mâts de mesures, nacelles d'éoliennes). Inventaires de terrain avifaune. Relevés de suivis de chantiers. Participations aux relevés IBP et suivis de mesures de gîtes / nichoirs artificiels.
- **Spécialités naturalistes :** oiseaux, poissons.
- **Formations professionnelles :**
 - Evolution et travail en hauteur, (Hauteur et Sécurité 2017, recyclage EXEN 2018)
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2017, recyclage 2019),
 - Habilitation électrique BO (CCI 12, 2017),
 - Evacuation d'urgence en éolienne,
 - Maniement des extincteurs (CCI Aveyron, 2019).

Emilien BONICHON

Tech. écologue – cordiste. Ornithologue.
1 an d'expérience



O M H

- **Profil :** Formation CQP1 ouvrier cordiste (2017). Brevet supérieur fusilier-commando (2013). Aguerissement centre national d'entraînement commando (2007).
- **Expérience avant EXEN :** parachutiste, fusilier-commando, armée de l'air. Chef de groupe et de section.
- **Fonction chez EXEN :** Gestion et maintenance du parc d'enregistreurs à ultrasons en suivis passifs (sur arbres, mâts de mesures, nacelles d'éoliennes). Tests de relevés de données à distances (BATmode, GSM-Batcorder). Participations aux relevés IBP et suivis de mesures de gîtes / nichoirs artificiels.
- **Spécialités naturalistes :** apprenti ornithologue.
- **Formations professionnelles :**
 - Evolution et travail en hauteur, (formation cordiste, recyclage EXEN 2018)
 - Sauveteur Secouriste du travail (CCI Aveyron 2018),
 - Habilitation électrique BO (CCI 12, 2018),
 - Evacuation d'urgence en éolienne (2018),

7.7. Annexe 2 : Fiche de relevé de terrain

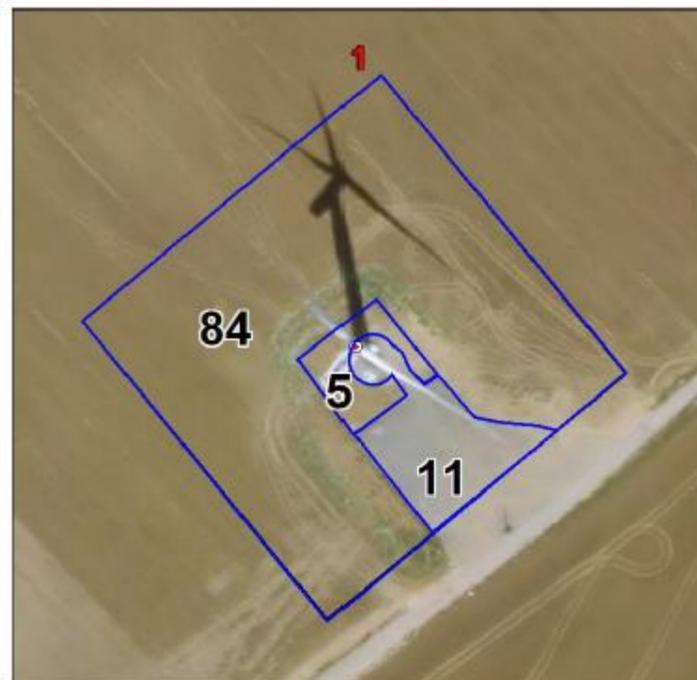


FICHE DE TERRAIN MORTALITE

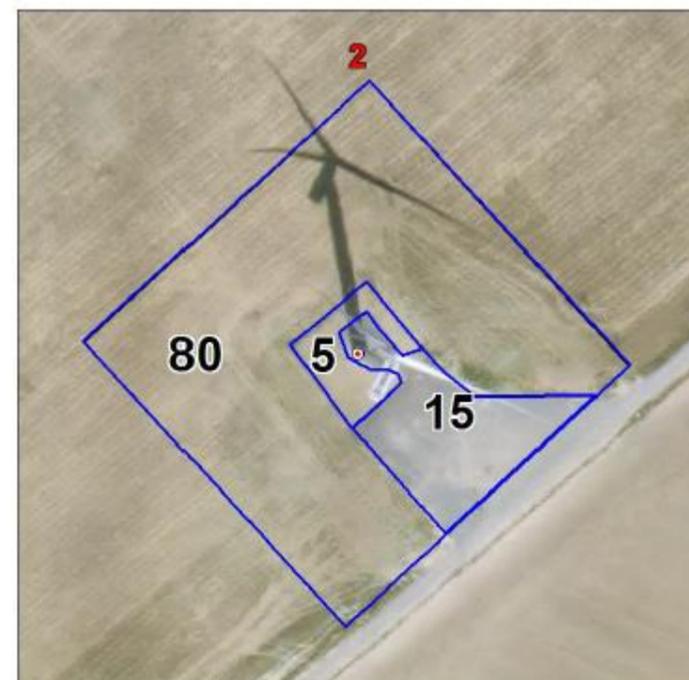
Suivi mortalité du parc éolien de CHAUSSEE DE CESAR SUD 2018

Chercheur :		Heure début suivi :		Météo (%couvert, pluie...)				
Date :		Heure fin suivi :		Vent (direction, force...)			Orages depuis dernière visites ?	
CONTEXTE	Durée de prospection	Surface prospectée (%)	Type 1 (%) Gravier	Type 2 (%) <30cm	Type 3 (%) >30cm	Type 4 (%) Non prospectable	Assolement Culture (Blé, Mais...), prairie, paturage, Garrigue...	Rq par éolienne (traces prédât, maintenance...)
	E1							
	E2							
	E3							
	E4							
DECOUVERTES IN PROTOCOLE	Oiseau ou Chauve-souris (OIS ou CS)							
	Numéro éolienne							
	Distance au mat							
	Direction/ mat							
	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 ?								

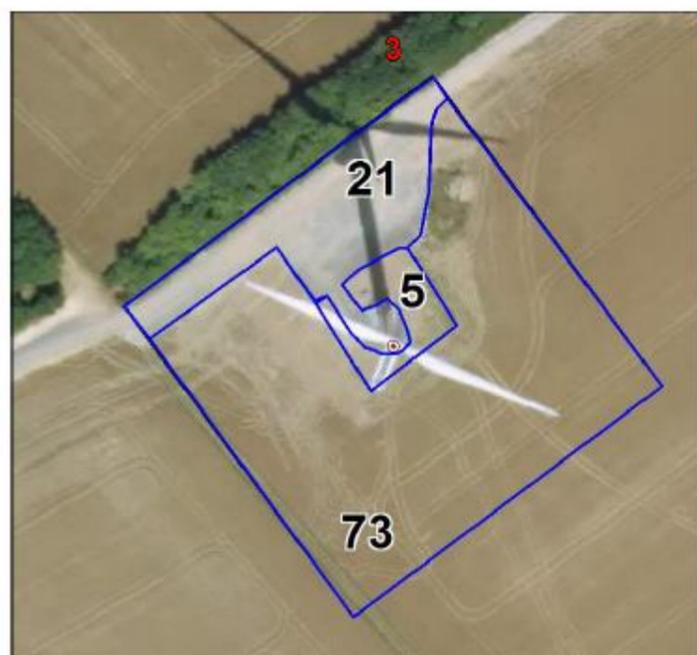
E1



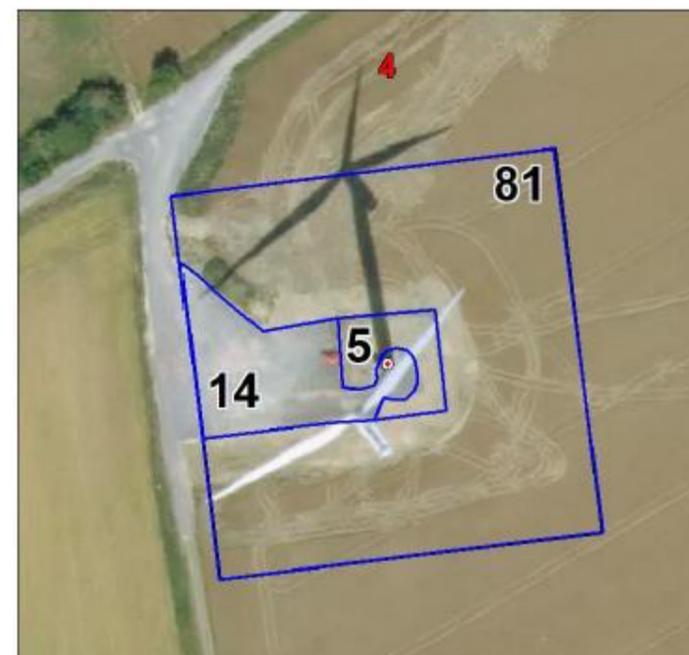
E2



E3



E4



7.8. Annexe 3 : Données brutes de mortalités découvertes

7.8.1. Chiroptères

Date	Découvreur	Eolienne	Distance du mat (m)	Direction du mat	Ois ou CS	Date mort estimée	Espèce	Nom latin	Age	AB (mm)
07/08/2018	EB	E4	13	SSE	CS	04/08/2018	Noctule commune	Nyctalus noctula	Ad	55,5
11/09/2018	EB	E1	35	ESE	CS	08/09/2018	Pipistrelle commune	Pipistrellus pipistrellus	Ad	31,5

7.8.2. Oiseaux

Date	Découvreur	Plumée / cadavre	Eolienne	Distance du mat (m)	Direction du mat	Ois ou CS	Date mort estimée	Espèce	Nom latin
07/08/2018	EB	Plumée	E3	3	O	OIS	05/08/2018	columbridae sp	columbridae sp
23/08/2018	SD	Cadavre	E2	5	N	OIS	22/08/2018	Pipit des arbres possible	
05/09/2018	EB	Cadavre	E1	27	S	OIS	04/09/2018	Roitelet à triple bandeau	
20/09/2018	PR	Plumée	E1	30	SE	OIS	18/09/2018	Anatidae sp	Anatidae sp