



Parc éolien des Useroles (21)

Suivi environnemental post-implantation en 2022

Suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris

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



Avril 2023

Parc éolien des Useroles (21)

Suivi environnemental post-implantation en 2022

Suivi de la mortalité des oiseaux et des chauves-souris

- **Recherches de mortalité sur site** : H. Bonnet, E. Bonichon, D. Cornet, M. Fraikin, A. Langlois, E. Lasserre, C. Metge, X. Nardou, V. Perrot, M. Traubat
- **Organisation, méthodes** : Y. Beucher, A. Langlois, J. Mougnot, X. Nardou
- **Analyse des données, interprétations** : E. Mourey, X. Nardou
- **Rédaction, relecture** : E. Mourey, X. Nardou

Avril 2023

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3	2.3.2 Taux de mortalité des chauves-souris.....	19
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	4	2.4 BILAN DE LA MORTALITE DES OISEAUX.....	20
1 OBJET.....	5	2.4.1 Bilan des mortalités par éolienne en 2022-2023.....	20
2 SUIVI DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS ET DES OISEAUX.....	8	2.4.2 Chronologies constatées et corrigées des mortalités d'oiseaux issues des relevés au sol.....	20
2.1 OBJECTIFS DU SUIVI DE LA MORTALITE.....	8	2.4.3 Typologie des découvertes dans le cadre du suivi de la mortalité au sol.....	22
2.2 METHODOLOGIE.....	8	2.4.4 Typologie des signalements d'autres collisions potentielles (signalements Biodiv-Wind).....	23
2.2.1 Choix d'une méthode standardisée.....	8	2.4.5 Relation espèce / éolienne.....	23
2.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites.....	8	2.4.6 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations.....	25
2.2.3 Choix des éoliennes suivies.....	10	2.4.7 Interprétation par espèce.....	26
2.2.4 Organisation des parcours de prospection.....	10	2.4.8 Taux de mortalité des oiseaux.....	28
2.2.4.1 Protocole standardisé (non utilisé pour le suivi 2022-2023 sur le parc éolien des Useroles).....	10	2.4.8.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2022-2023.....	28
2.2.4.2 Protocole allégé.....	11	2.4.8.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules).....	29
2.2.5 Recueil des données et destination des cadavres.....	13	❖ Paramètre p (formule d'Erickson adaptée).....	30
2.2.6 Détermination des coefficients correcteurs.....	14	❖ Paramètre Tm (formules de Erickson + Jones + Huso).....	30
2.2.6.1 Organisation générale.....	14	2.4.8.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL.....	32
2.2.6.2 Test de l'efficacité du chercheur (ou « test de détection »).....	14	2.4.8.4 Estimation de la mortalité avec l'application EolApp.....	32
2.2.6.3 Tests de disparition (ou « test de persistance »).....	15	2.4.8.5 Estimation de la mortalité avec l'application GenEst.....	33
2.2.7 Calculs.....	16	2.4.8.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2022-2023.....	33
2.2.7.1 Les formules utilisées.....	16	3 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC EOLIEN DES USEROLES.....	34
2.2.7.2 EolApp (Besnard et Bernard, 2018).....	18	3.1 ANALYSES QUANTITATIVES.....	34
2.2.7.3 GenEst (Simonis et al, 2018).....	18	3.2 ANALYSES QUALITATIVES DES IMPACTS SUR L'AVIFAUNE.....	34
2.2.8 Evaluation des impacts du parc éolien des Useroles.....	18	4 CONCLUSION.....	36
2.3 BILAN DE LA MORTALITE DES CHAUVES-SOURIS.....	19	5 BIBLIOGRAPHIE.....	37
2.3.1 Suivi de la mortalité en 2022-2023.....	19	ANNEXES.....	39
		ANNEXE 1 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN.....	40
		ANNEXE 2 : DONNEES BRUTES DES RELEVÉS DE MORTALITE EXEN.....	42

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien des Useroles sur fond de carte IGN.....	6	Figure 30 : Répartition des découvertes d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) à l'occasion du suivi mortalité au sol de 2022-2023	25
Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien des Useroles sur fond d'orthophoto aérienne	7	Figure 31 : Cliché du cadavre d'Alouette des champs retrouvé le 8 février 2022 sous l'éolienne E5.....	26
Figure 3 : Calendrier prévisionnel du suivi de la mortalité et pression de suivi en 2022-2023	9	Figure 32 : Cliché du cadavre de Mésange bleue retrouvé le 9 mars 2022 sous l'éolienne E1	26
Figure 4 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique.....	10	Figure 33 : Cliché du cadavre d'Etourneau sansonnet retrouvé le 9 mars 2022 sous l'éolienne E1	26
Figure 5 : Carte de l'orientation des carrés et surface prospectée lors du suivi de 2022-2023 sous les éoliennes.....	12	Figure 34 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de cadavres retrouvés sous les éoliennes(simulation))	28
Figure 6 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris	13	Figure 35 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d.....	29
Figure 7 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (Pipistrellus kuhlii) par un couple de Nécrophore chasseur (Nicrophorus investigator), sous un autre parc.....	14	Figure 36 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance	29
Figure 8 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection (sur un autre site)	15	Figure 37 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours)	30
Figure 9 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées (sur un autre site) .	15	Figure 38 : Schéma des différents cercles concentriques pour le calcul du coefficient surfacique	31
Figure 10 : Grille de calcul pour la définition du risque d'occurrence de la mortalité (Sensibilité*Nombre de mortalité brutes).....	18	Figure 39 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a	31
Figure 11 : Grille de calcul pour la définition du niveau d'impact théorique (Patrimonialité*Risque d'occurrence).....	18	Figure 40 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations	32
Figure 12 : Clichés de la Noctule de Leisler découverte le 23 août 2022 sous l'éolienne E2	19	Figure 41 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2022-2023.....	32
Figure 24 : Bilan des découvertes issues des relevés au sol dans le cadre du suivi EXEN 2022-2023 et répartition par éolienne	20	Figure 42 : Paramètres à renseigner dans l'application EolApp.....	32
Figure 25 : Chronologie des découvertes d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne, issues des relevés au sol du suivi mortalité d'EXEN en 2022-2023.....	21	Figure 43 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance).....	33
Figure 26 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2022-2023.....	22	Figure 44 : Evaluation des niveaux d'impacts théoriques sur l'avifaune en 2022-2023	35
Figure 27 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité.....	22		
Figure 28 : Répartition des découvertes par espèce d'oiseaux (effectifs constatés dans le cadre du suivi au sol) à l'occasion du suivi 2022-2023.....	23		
Figure 29 : Histogramme de la répartition des espèces découvertes dans le cadre du suivi de la et autres collisions découvertes par les vidéos SafeWind (symbolisée par *) par éolienne en 2022-2023.....	23		

1 OBJET

Le bureau d'étude EXEN accompagne H2Air dans la mise en œuvre des suivis environnementaux post-implantation du parc éolien des Useroles (8 éoliennes de type Nordex 117) situé sur les communes de Poiseul-la-Ville-et-Laperrière et Billy-lès-Chanceaux en Côte-d'Or (21).

Un an après la mise en service du parc éolien des Useroles en avril 2019, deux milans royaux ont été retrouvés sous les éoliennes E2 et E6 en période de migration pré-nuptiale (mars 2020). Suite à ces mortalités, via l'arrêté préfectoral du 27 août 2020, plusieurs mesures ont été mises en place sur le parc éolien, dont un suivi comportemental du Milan royal en 2020 (Biotope), la mise en place d'outils vidéo de réduction automatisée de risques de collision de rapaces SafeWind (SDA) et une étude de vérification de l'efficacité du bridage dynamique (biomonitoring). Les résultats de ces études ont montré que le dimensionnement, le paramétrage et l'opérationnalité du système vidéo étaient insuffisants pour couvrir tous les risques liés au Milan royal.

Ainsi, il a été demandé au bureau d'études EXEN de réaliser en 2022-2023 une étude plus spécifiquement ciblée sur l'efficacité du système SafeWind pour sa mise en œuvre sur le parc éolien d'Useroles et en rapport avec les enjeux liés au Milan royal, combiné à un suivi de la mortalité.

Ce rapport présente les résultats du suivi de la mortalité ciblé sur les oiseaux de grande taille réalisé en 2022-2023.

Figure 1 : Carte de localisation du parc éolien des Useroles sur fond de carte IGN

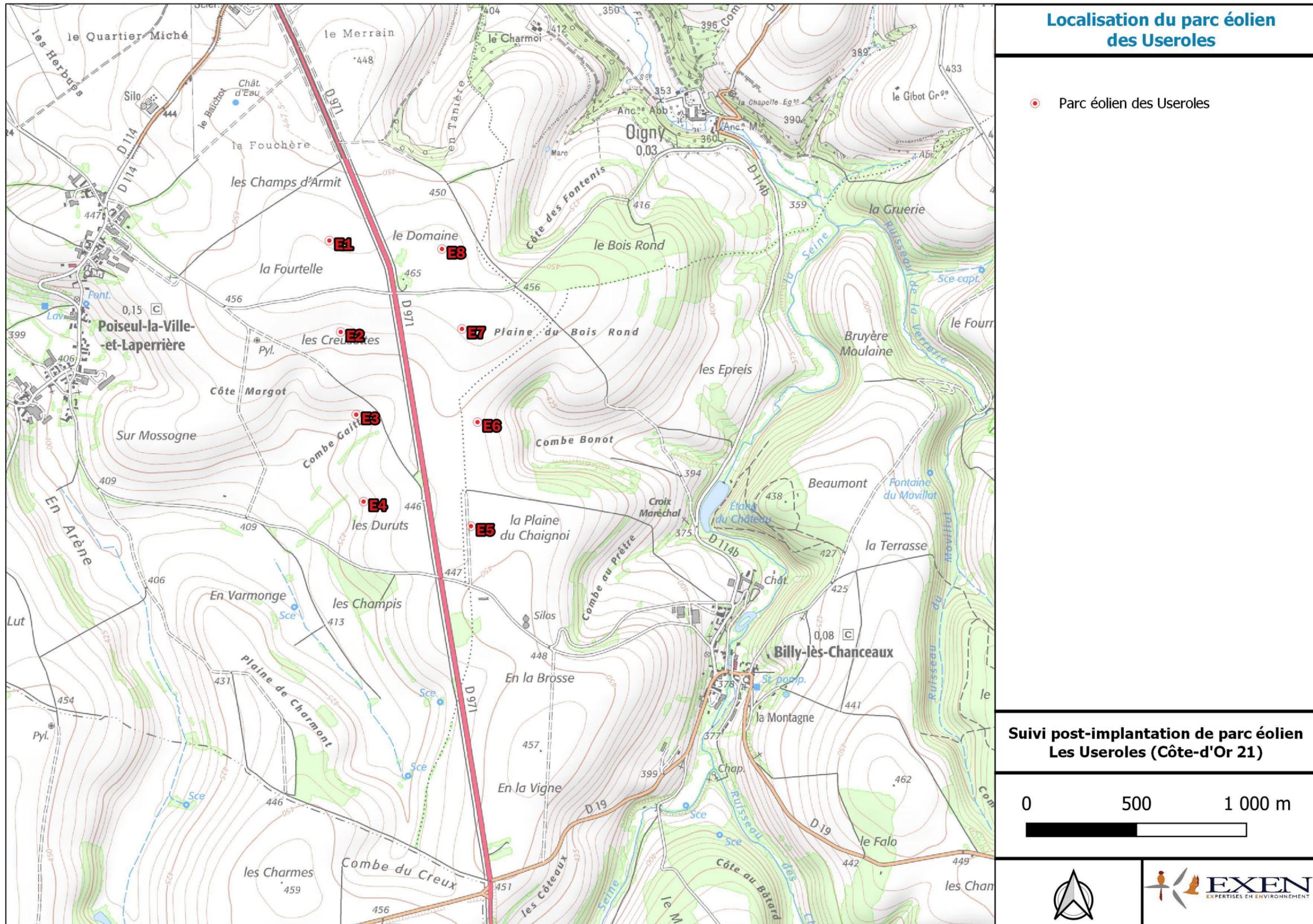
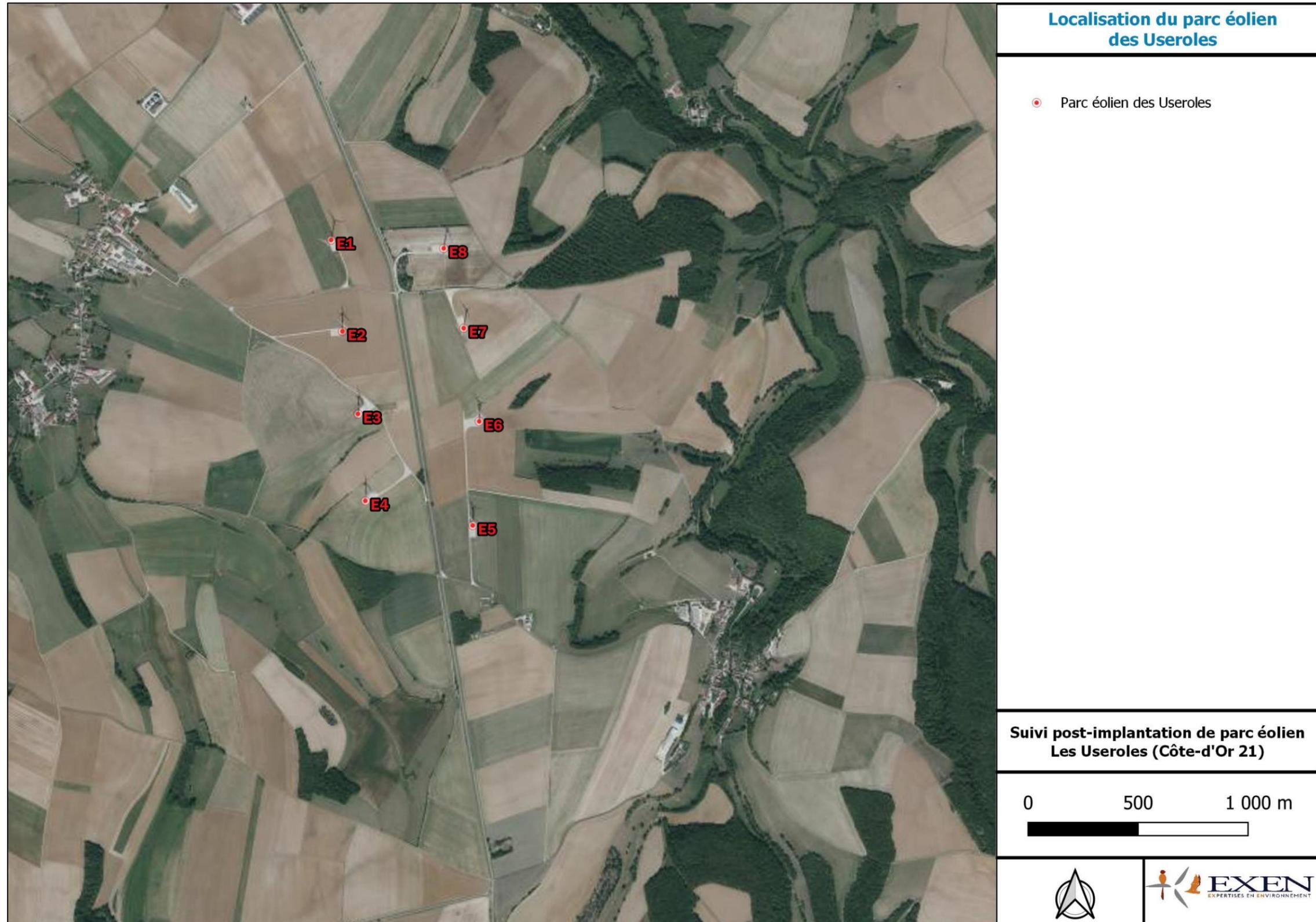


Figure 2 : Carte de localisation du parc éolien des Useroles sur fond d'orthophoto aérienne



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

2.1 Objectifs du suivi de la mortalité

Afin de déterminer l'efficacité des outils vidéo mis en place sur le parc éolien des Useroles, un suivi de la mortalité a été réalisé en 2022. Ce dernier est ciblé principalement sur les oiseaux de grande taille, car le SDA a pour objectif de limiter la mortalité des grandes espèces, dont notamment le **Milan royal**.

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

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

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

2.2 Méthodologie

2.2.1 Choix d'une méthode standardisée

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

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

La méthode standardisée développée par WINKELMAN (1989) est adaptée au suivi de la mortalité des chauves-souris et oiseaux. Cette méthode a été reprise et adaptée dans le cadre d'autres suivis (ERICKSON et al. 2002, ERICKSON 2003, KERNS et KERLINGER 2004, COSSON et DULAC 2004, ARNETT 2005, BEUCHER et KELM 2010...) et représente notre cadre de travail. À partir de cette base

méthodologique, la configuration du site éolien, l'assolement et notre recul vis-à-vis de ce protocole nous permettent de cibler et d'ajuster plus spécifiquement le suivi du parc (choix des périodes de suivi, choix des cadavres test, délimitation des transects de recherche...).

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

2.2.2 Choix des périodes de suivis et fréquence des visites

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

Dans notre cas précis, **le suivi de la mortalité a été réalisé sur une période d'un an afin de couvrir tout le cycle de vie des oiseaux (migrations, reproduction, hivernage) et notamment du Milan royal, potentiellement présent toute l'année sur ce site. Le suivi s'étale donc de février 2022 à février 2023.**

Ce suivi représente donc 52 passages au total avec une visite par semaine (cf. figure suivante). Cette pression de suivi dépasse largement les standards nationaux précisés dans le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres d'avril 2018, que ce soit sur la période couverte (ici de février 2022 à février 2023, soit un cycle annuel complet, contre une période minimale s'étalant de mi-mai à fin octobre dans le cadre du protocole ministériel) ou sur le nombre de passages (52 passages prévus en 2022-2023 contre 20 à minima dans le cadre du protocole ministériel). Ces passages ont ciblé spécifiquement les rapaces et oiseaux de grande taille, selon le protocole de suivi de la mortalité « allégé ».

Figure 3 : Calendrier prévisionnel du suivi de la mortalité et pression de suivi en 2022-2023

	Fév. 2022					Mars 2022					Avril 2022					Mai 2022					Juin 2022					Juil. 2022					Août 2022					Sept. 2022					Oct. 2022					Nov. 2022					Dec. 2022					Jan. 2023				
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	5							
Suivi de la mortalité des oiseaux (et des chiroptères) ; 1 passage hebdomadaire tout au long de l'année	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Réalisation des tests pour calcul des coefficients correcteurs du taux de mortalité						1	1																																																					

2.2.3 Choix des éoliennes suivies

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

2.2.4 Organisation des parcours de prospection

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

2.2.4.1 Protocole standardisé (non utilisé pour le suivi 2022-2023 sur le parc éolien des Useroles)

Les carrés de prospection sont définis pour faire en sorte qu'une surface d'un rayon d'au moins 58.5 m autour des mâts des éoliennes soit couverte, correspondant au moins à la zone de survol des pales (pales de 58,5 m dans le cas présent). Cette surface est aussi conforme avec les prescriptions nationales du protocole de suivi environnemental publié des parcs éoliens terrestres en avril 2018. Concrètement, nous choisissons de réaliser les transects de prospection sur des carrés échantillons de 117 m de côté, permettant donc de couvrir 1,4 ha sous chaque éolienne.

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

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

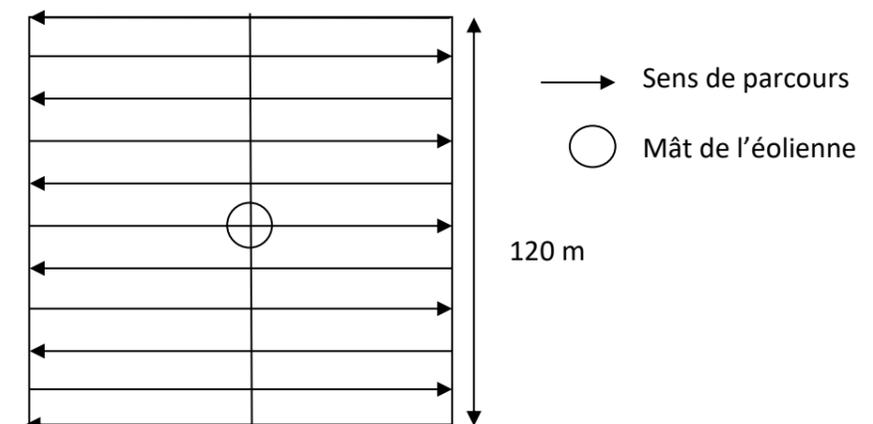
Pour une surface de prospection standard de 1,0 ha sous chaque éolienne (carrés de 100 m de côtés), il faut compter de 20 min à 30 min selon le type de végétation au sol. Pour une zone de prospection correspondant à 50 % du carré, la durée de prospection sera proportionnelle, soit d'environ 15 min. Il convient donc d'adapter son allure à cette durée de prospection faisant référence pour l'ensemble des observateurs afin de limiter le biais « observateur » au maximum.

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

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

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

Figure 4 : Schéma représentatif du transect de prospection théorique



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

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

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

2.2.4.2 Protocole allégé

Ici, l'ensemble des visites ont été effectuées sous le protocole allégé, spécifiquement ciblé sur la recherche des rapaces et grandes espèces. Les prospections ont été réalisées, comme pour un protocole classique, sur des carrés de 1 hectare. Cependant, les transects sont plus espacés, les grands cadavres étant généralement visibles de loin sur végétation rase. Il s'agit de faire des prospections rapides, pouvant parfois être réalisées aux jumelles si la hauteur de la végétation et la visibilité le permettent.

Figure 5 : Carte de l'orientation des carrés et surface prospectée lors du suivi de 2022-2023 sous les éoliennes

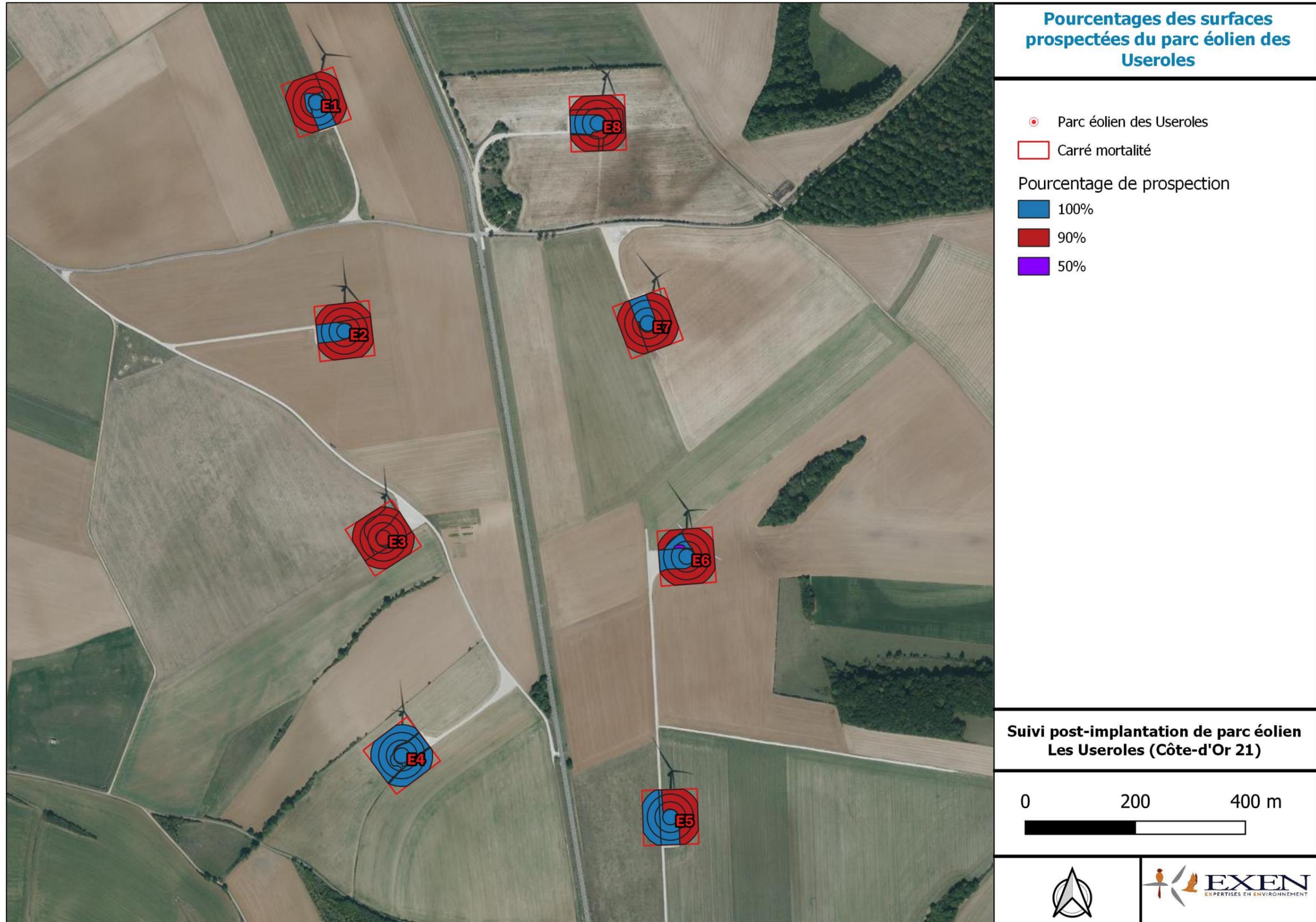


Figure 6 : Clichés des principaux critères utilisés pour la détermination des chauves-souris

2.2.5 Recueil des données et destination des cadavres

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

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

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

Tous les cadavres prélevés sont conservés dans un congélateur. En fin de campagne annuelle, l'ensemble des cadavres est rassemblé. Chacun d'entre eux fait alors l'objet d'une deuxième analyse à l'aide de 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. Le tableau de synthèse général des données brutes de la mortalité des chauves-souris et des oiseaux retrouvés lors du suivi 2022-2023 est présenté en Annexe 2.



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

Comme le protocole d'étude était basé en 2022-2023, le décalage entre la date de la découverte et la date de la mortalité effective pourra varier :

- entre 0 (cas d'un animal tombé la nuit précédant la visite) et 7 jours (1 visite par semaine),
- parfois plus pour les cadavres qui n'auraient été trouvés qu'après plusieurs passages des équipes de chercheurs.

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

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

- l'aspect général du cadavre (raideur cadavérique, état de déshydratation des chairs, yeux vitreux, décomposition, putréfaction des chairs, ...)
- la fréquentation d'insectes nécrophages et nécrophiles. Sans aller à une datation précise, nous distinguons grossièrement sur les cadavres les phases de :
 - colonisation par les diptères les plus précoces, et les premières pontes quelques minutes après la mort ; pupes non écloses -> la mort date de moins de 8-20h, c'est-à-dire la nuit précédant la découverte pour un suivi matinal.
 - l'évolution des pontes des diptères ; présence d'asticots -> mort antérieure à 8-20h, c'est-à-dire que la mort a pu se produire deux ou trois nuits en arrière.
 - les phases plus tardives, de l'ordre du jour ou quelques jours après la mort, de colonisation des coléoptères et hyménoptères, avec notamment la présence de Silphes non fouisseurs tels que le Bouclier sinué (*Thanatophilus sinuatus*) intervenant au stade de putréfaction (digestion extra orale des cadavres) ou du Nécrophore chasseur (*Nicrophorus investigator*) qui creuse des galeries sous les cadavres et les enterre progressivement. L'état d'avancement de l'enfouissement précise aussi un délai de plusieurs heures (ou jours).
- et l'analyse comparative que nous pouvons faire du processus de décomposition des cadavres tests dispersés sur le site et suivis au cours des sessions de test de la campagne de suivi.

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

Figure 7 : Cliché d'exemple d'enfouissement d'une Pipistrelle de Kuhl (*Pipistrellus kuhlii*) par un couple de Nécrophore chasseur (*Nicrophorus investigator*), sous un autre parc



2.2.6 Détermination des coefficients correcteurs

2.2.6.1 Organisation générale

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

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

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

Deux sessions de détermination de ces coefficients correcteurs ont été réalisées durant la campagne de suivi (5-6 avril et 17 octobre 2022).

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

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

Habituellement, deux tests de détection sont effectués au cours du suivi de la mortalité, répartis sur des saisons différentes, c'est ce qui a été réalisé ici.

Ces tests de détection sont faits grâce à des peluches de taille et de couleur différente afin de mimer des cadavres de chauves-souris et d'oiseaux. Les peluches souris miment les chauves-souris, les peluches oiseaux (petite autruche et moineaux) miment les passereaux et les peluches de grande taille (type rapace) miment les rapaces (cf. Figure 8). Autrement dit, les coefficients correcteurs utilisés pour calculer le taux de mortalité des chiroptères se baseront sur les résultats de test liés aux souris. Pour les oiseaux, ils se baseront sur les résultats de test liés aux petites peluches d'oiseaux (type passereaux) et ceux liés aux plus grands oiseaux (type rapace). Au total et pour chaque test de détection, 10 peluches souris, 7 peluches oiseaux et 3 gros gabarits de peluches oiseaux sont dispersés (soit un total de 10 peluches pour mimer les chauves-souris et 10 peluches pour mimer les oiseaux). Les résultats de ces différents tests seront développés plus bas.

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

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

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

Figure 8 : Clichés des peluches utilisées pour la réalisation des tests de détection (sur un autre site)



Figure 9 : Clichés témoignant de la difficulté de perception des peluches dispersées (sur un autre site)



Il faut être 2 personnes pour réaliser les tests, c'est-à-dire une personne qui disperse les peluches (« disperseur ») et une autre qui les recherche par la suite (« chercheur »). Le disperseur va les positionner sur la zone test. Evidemment, le chercheur n'est pas présent sur la zone au moment de la

dispersion. Les limites de la zone test correspondent aux carrés de prospection. Les peluches sont dispersées sur l'ensemble du carré et dans les différents types de végétation. Le disperseur note alors sur carte de terrain la position de chaque peluche en précisant le code affecté à celle-ci (« G1 » pour première peluche de grande taille, « P2 » pour seconde peluche de petite taille ...).

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

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

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

2 tests ont été effectués au cours de la période de suivi. Ces derniers avaient pour objectif d'évaluer la vitesse de disparition des cadavres, régulièrement, afin d'adapter la fréquence de prospection au sol en conséquence.

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

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

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

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

Ne disposant actuellement que de poussins d'élevage de taille comparable, nous considérons qu'un poussin est le cadavre test de petite taille (chauves-souris ou passereaux). Pour les cadavres de grande taille, 2 cadavres de poussins ont été disposés l'un contre l'autre.

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

Les visites retour-tests sont réalisées de la façon suivante : une visite le lendemain de la dispersion des cadavres (Retour test 1), puis 3-4 jours après la dispersion (Retour test 2), puis au bout de 7-9 jours après la dispersion (Retour test 3). Les retours-tests suivant sont espacés entre eux de 6-7 jours. Ces retours-tests sont réalisés jusqu'à ce que l'ensemble des cadavres-test aient disparu. Les retours-tests 1 à 3 sont rapprochés car souvent les poussins disparaissent dans la semaine. Il est donc important de revenir sur site régulièrement pour avoir une idée précise de la vitesse de disparition des cadavres-tests.

2.2.7 Calculs

Dans notre cas précis, l'ensemble des visites du suivi de la mortalité ont été réalisées en protocole « allégé ». Le calcul du taux de mortalité ne pourra donc être fait que sur les rapaces.

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

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

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

2.2.7.1 Les formules utilisées

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

- le taux de persistance d'un cadavre (c'est-à-dire la probabilité que l'observateur trouve le cadavre après un laps de temps donné),
- l'efficacité de l'observateur (c'est-à-dire la probabilité qu'un cadavre tombé sur le sol sans être prédaté soit découvert par l'observateur).

- Erickson (2000)

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

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés,

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

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

a : Coefficient de correction surfacique.

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

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

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés,

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

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

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

a : Coefficient de correction surfacique.

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

- Jones (2009)

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

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

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres comptés,

a : Coefficient de correction surfacique,

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

\hat{I} : Intervalle effectif,

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

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

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

- Huso (2010)

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

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

D'où :

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

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

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

C : Le nombre de cadavres effectivement découverts,

a : Coefficient de correction surfacique,

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

\hat{I} : Intervalle effectif,

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

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

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

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

2.2.7.2 EolApp (Besnard et Bernard, 2018)

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

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

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

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

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

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

2.2.7.3 GenEst (Simonis et al, 2018)

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

Tout comme EolApp, cette application permet d'obtenir une médiane et des intervalles de confiance à 80 % ou 95 % pour les estimations de mortalité ainsi obtenues.

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

2.2.8 Evaluation des impacts du parc éolien des Useroles

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

Pour l'impact qualitatif défini par espèce, celui-ci se base sur le croisement entre le risque d'occurrence de la mortalité et le niveau de patrimonialité de l'espèce considérée (cf. Figure 11).

Le risque d'occurrence de la mortalité est défini sur la base du croisement entre la sensibilité de l'espèce à l'éolien (définie elle-même sur la liste de T. DÜRR 2022) et le nombre de mortalités retrouvées au cours du suivi (cf. Figure 10).

Figure 10 : Grille de calcul pour la définition du risque d'occurrence de la mortalité (Sensibilité*Nombre de mortalités brutes)

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

Figure 11 : Grille de calcul pour la définition du niveau d'impact théorique (Patrimonialité*Risque d'occurrence)

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

2.3 Bilan de la mortalité des chauves-souris

2.3.1 Suivi de la mortalité en 2022-2023

Un seul cadavre de chauve-souris fut retrouvé sous les éoliennes du parc des Useroles, au cours de la campagne de suivi menée entre le 8 février 2022 et le 1 février 2023. Pour 52 visites de recherches réalisées au cours de cette période de 12 mois, cela représente une moyenne de 0,08 chauve-souris découverte par mois pour l'ensemble du parc (soit 8 éoliennes).

Celui-ci a été retrouvé le 23 août sous l'éolienne E2 (soit en période de régulation des machines). Il s'agit d'une **Noctule de Leisler** (*Nyctalus leisleri*). Cette espèce est protégée et est classée en quasi-menacée en France, elle fait aussi partie des espèces prioritaires du PNA Chiroptères (2016-2025).

À cette période de l'année, cette mortalité peut être liée à des déplacements automnaux et/ou lors de comportements de chasse.

2.3.2 Taux de mortalité des chauves-souris

L'ensemble des visites réalisées au cours de l'année 2022-2023 ont été faites en protocole allégé, qui ne ciblait que les rapaces et autres oiseaux de grande taille. Ainsi, il n'est pas possible d'estimer un taux de mortalité pour les chauves-souris.

Figure 12 : Clichés de la Noctule de Leisler découverte le 23 août 2022 sous l'éolienne E2



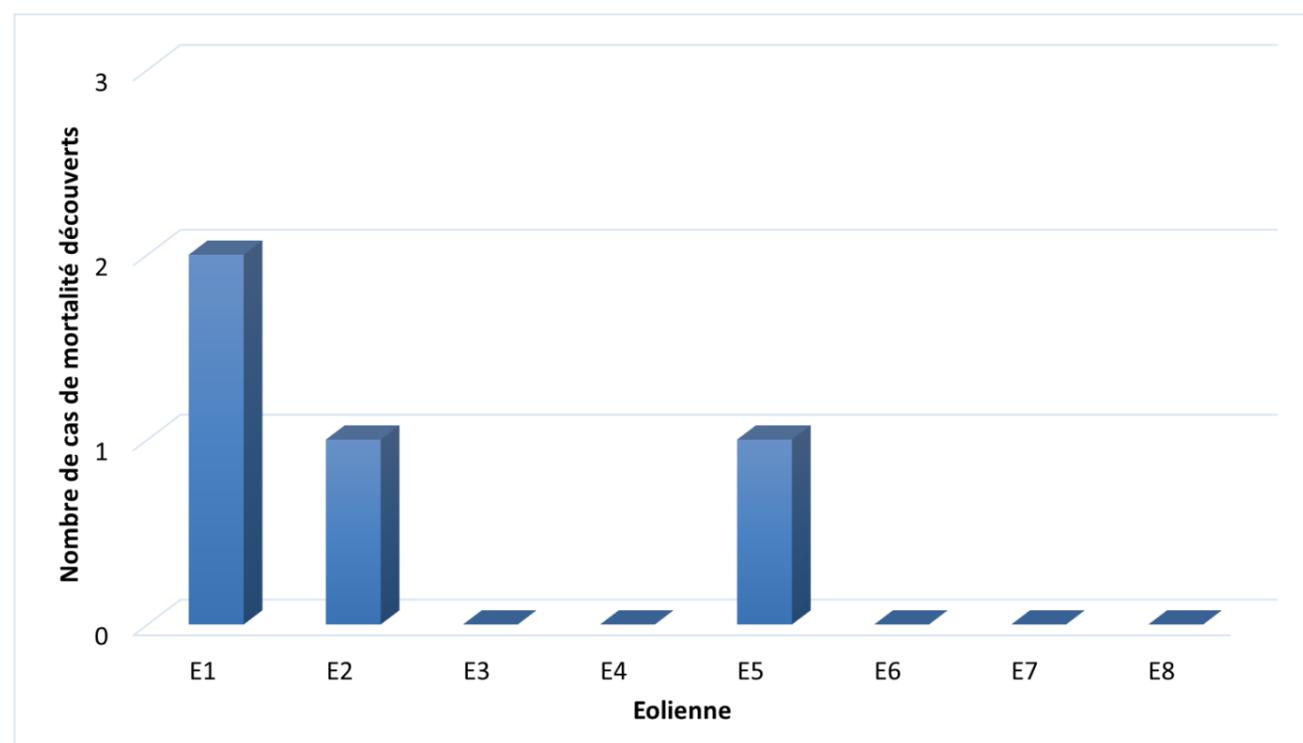
2.4 Bilan de la mortalité des oiseaux

2.4.1 Bilan des mortalités par éolienne en 2022-2023

Au cours de la campagne de suivi menée entre le 8 février 2022 et le 1^{er} février 2023, **4 cadavres d'oiseaux** furent retrouvés sous les éoliennes.

En plus de ces découvertes effectuées par EXEN, **quatre collisions** d'oiseaux ont été signalées par BiodivWind suite à l'analyse des vidéos de détection du système SafeWind (système de détection en temps réel de l'avifaune et de régulation automatisée des éoliennes qui équipe l'ensemble des 8 éoliennes du parc éolien). Cela concerne 2 cas au niveau de l'éolienne E1, un au niveau de l'éolienne E4 et un au niveau de l'éolienne E7. Celles-ci n'ont fait l'objet d'aucune découverte particulière au sol (ni cadavre, ni plumée).

Figure 13 : Bilan des découvertes issues des relevés au sol dans le cadre du suivi EXEN 2022-2023 et répartition par éolienne



Pour 52 visites de recherches réalisées au cours de cette période de 12 mois, cela représente une moyenne de 0,5 oiseaux découverts par mois pour l'ensemble du parc éolien (soit 8 éoliennes).

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

Le premier graphique de la Figure 14 représente la chronologie des découvertes sur l'ensemble du parc éolien en 2022-2023.

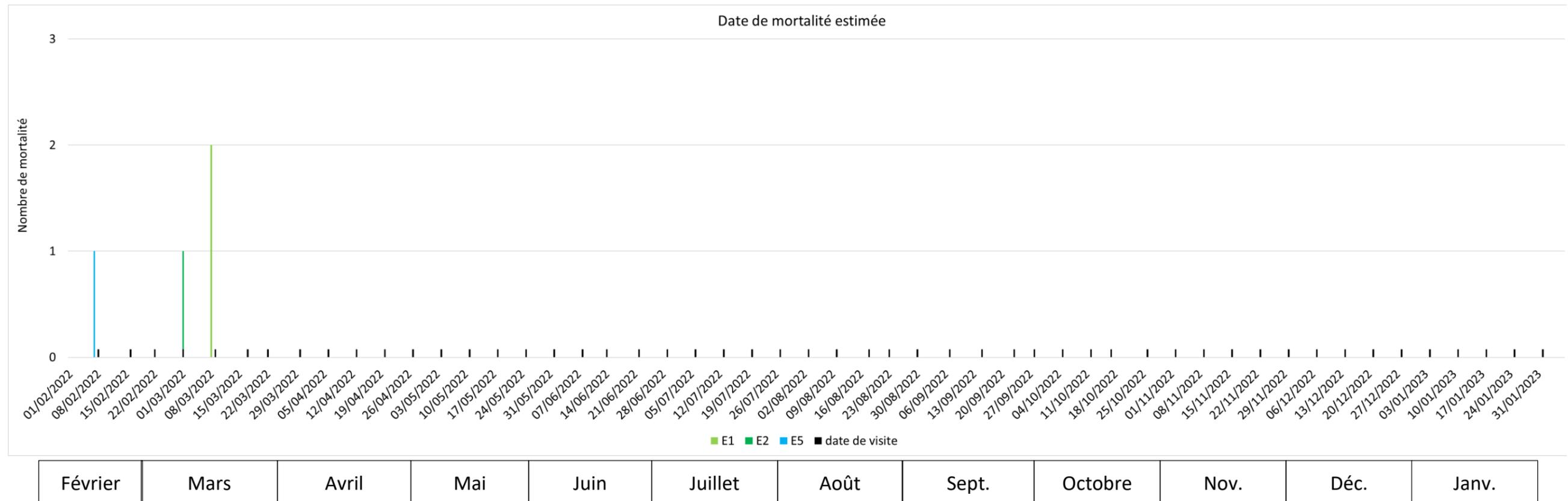
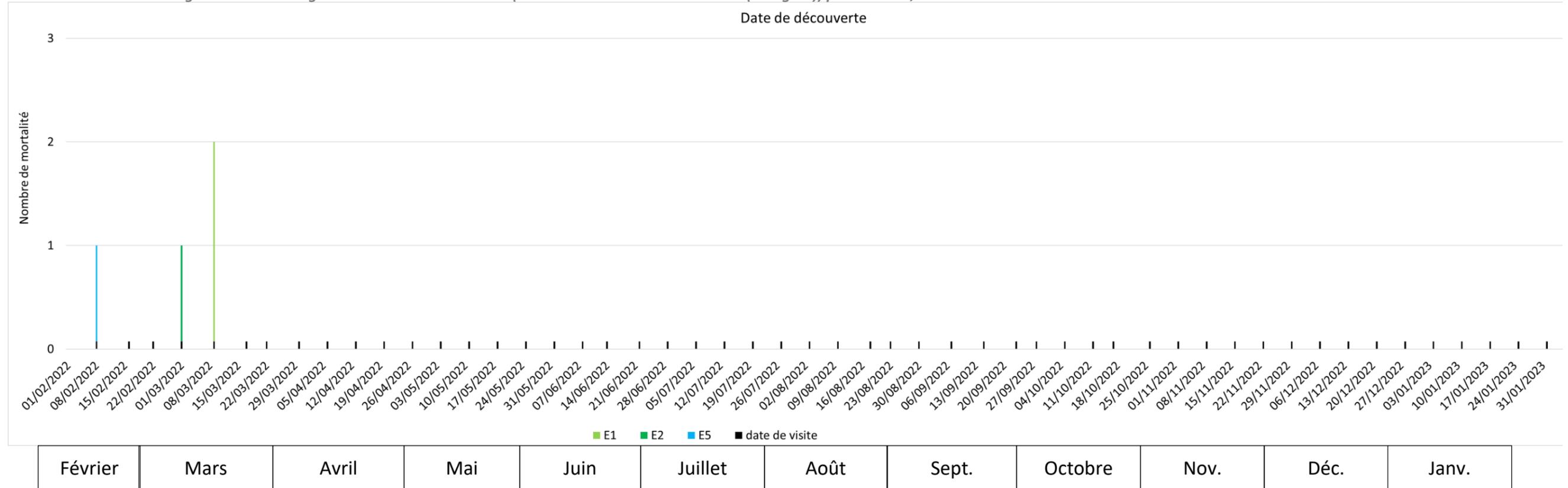
Le délai qui s'écoule entre la mort des oiseaux et la date des découvertes dépend du pas de temps de retour entre deux visites et de l'efficacité du chercheur (cf. Recueil des données et destination des cadavres page 13).

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

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

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

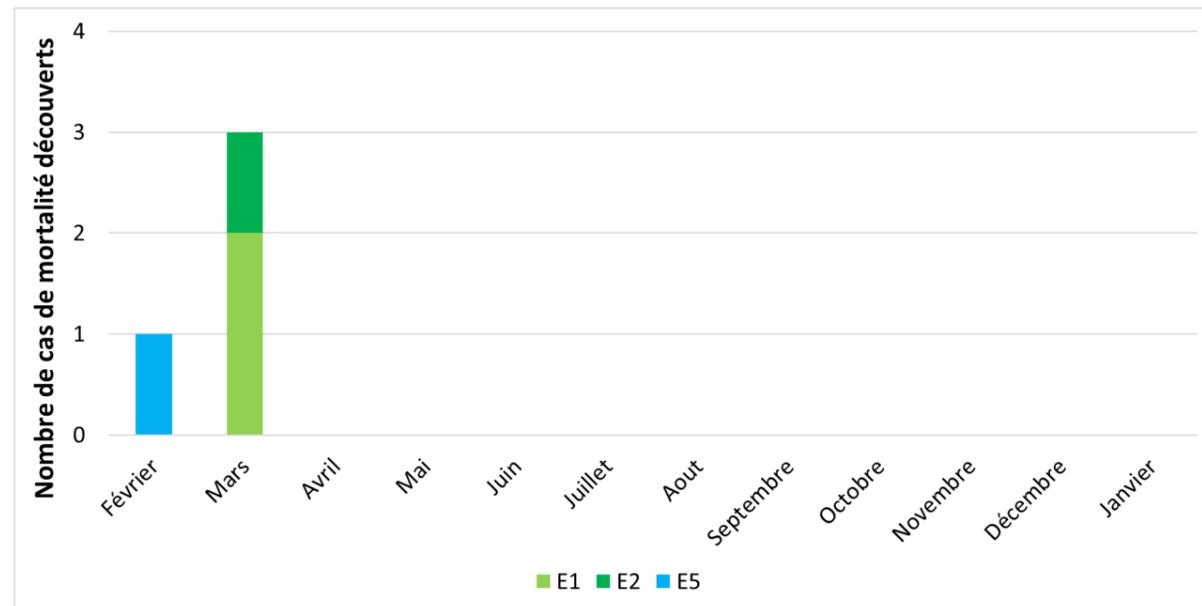
Figure 14 : Chronologie des découvertes d'oiseaux (mortalités constatées et estimées (corrigées)) par éolienne, issues des relevés au sol du suivi mortalité d'EXEN en 2022-2023



Des cas de mortalité sont notés dans la première moitié de la période de suivi, entre février et mars pour les mortalités découvertes sous les éoliennes. Pour les impacts constatés par SafeWind, les deux cas sous l'éolienne E1 ont été repérés en mai et juillet, celui sous E4 en août et celui sous E7 en décembre. Certains cas de mortalité sont assez rapprochés entre eux (notamment en mars). Ces derniers sont également concentrés sous la même éolienne (E1).

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

Figure 15 : Chronologie des mortalités d'oiseaux estimées (corrigées) par mois en 2022-2023



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

3 espèces ont été retrouvées sous les éoliennes lors du suivi de la mortalité réalisé en 2022-2023, il s'agit de l'Alouette des champs, de l'Etourneau sansonnet et de la Mésange bleue. 3 espèces supplémentaires ont été impactées par les éoliennes (connues grâce aux vidéos SafeWind) mais n'ont pas été retrouvées lors des visites suivantes. Il s'agit de deux Faucons crécerelle, d'une Buse variable et d'un Milan noir probable.

La détermination des espèces n'est pas toujours aisée selon l'état des cadavres ou plumées au moment de leur découverte. Ce fut le cas en 2022-2023 pour la collision du milan qui n'a été observé que via les caméras de l'éolienne E1. Le cadavre n'a pas été retrouvé lors des visites suivantes et n'a donc pas pu aboutir à l'identification certaine de l'espèce. Il s'agit tout de même certainement d'un Milan noir (voir chapitre 2.4.7). Les autres cas de mortalité ont pu être identifiés à l'espèce.

Le cortège d'espèces potentiellement impactées en 2022-2023 est assez diversifié puisque parmi les 8 découvertes effectuées dans le cadre des visites mortalité, 6 espèces différentes sont représentées.

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

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

Figure 16 : Tableau représentant les statuts de protection et de conservation des espèces d'oiseaux correspondant aux découvertes effectuées sous les éoliennes dans le cadre du suivi de la mortalité

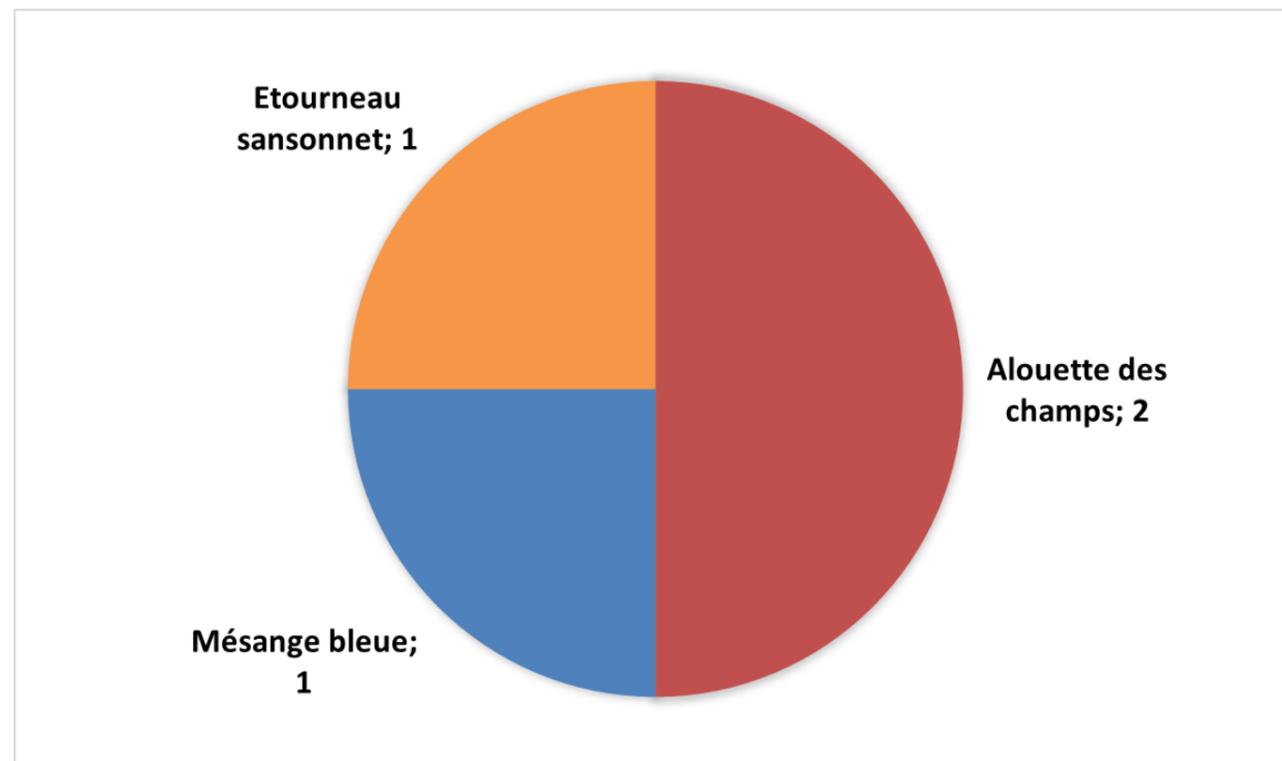
Espèce	Nom scientifique	Type	Statut de protection			Statut de conservation		Niveau de patrimonialité
			Protec. Fr.	Protec. U.E.	Conv Berne	Liste rouge nationale (2016)	Liste Rouge Régionale Bourgogne (oiseaux nicheurs) (nov 2015)	
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau	GC	O.2.2	3	Quasi menacée	Quasi menacée	Faible à modéré
Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Passereau	P	-	2	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Faible
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	Grand rapace	P	-	-	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Faible
Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	Passereau	GN	O.2.2	2	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Très faible
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	Petit rapace	P	-	-	Quasi menacée	Préoc. mineure	Faible à modéré
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	Grand rapace	P	O.1	2	Préoc. mineure	Préoc. mineure	Modéré

Deux tiers de ces espèces sont protégés, 1 est classée en nuisible et 1 est classée en chassable. Le Milan noir est l'espèce présentant la plus forte patrimonialité, du fait qu'il soit inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux. L'Alouette des champs et le Faucon crécerelle ont des statuts de conservation défavorables, au niveau national et régional pour l'Alouette des champs (quasi-menacée) et au niveau national pour le Faucon crécerelle (quasi-menacé).

Le graphique suivant synthétise la proportion des effectifs retrouvés par espèce lors du suivi de la mortalité au sol. 3 espèces supplémentaires ont été impactées au cours de l'année mais n'ont pas été retrouvés au sol (2 faucons crécerelle, 1 buse variable et 1 milan noir probable). C'est finalement l'Alouette des champs et le Faucon crécerelle qui ont été les plus impactés avec 2 cas de mortalité chacun. Les autres espèces ont été retrouvées une seule fois dans l'environnement des éoliennes.

En 2020, deux milans royaux avaient été découverts sous les éoliennes du parc des Useroles.

Figure 17 : Répartition des découvertes par espèce d'oiseaux (effectifs constatés dans le cadre du suivi au sol) à l'occasion du suivi 2022-2023



2.4.4 Typologie des signalements d'autres collisions potentielles (signalements Biodiv-Wind)

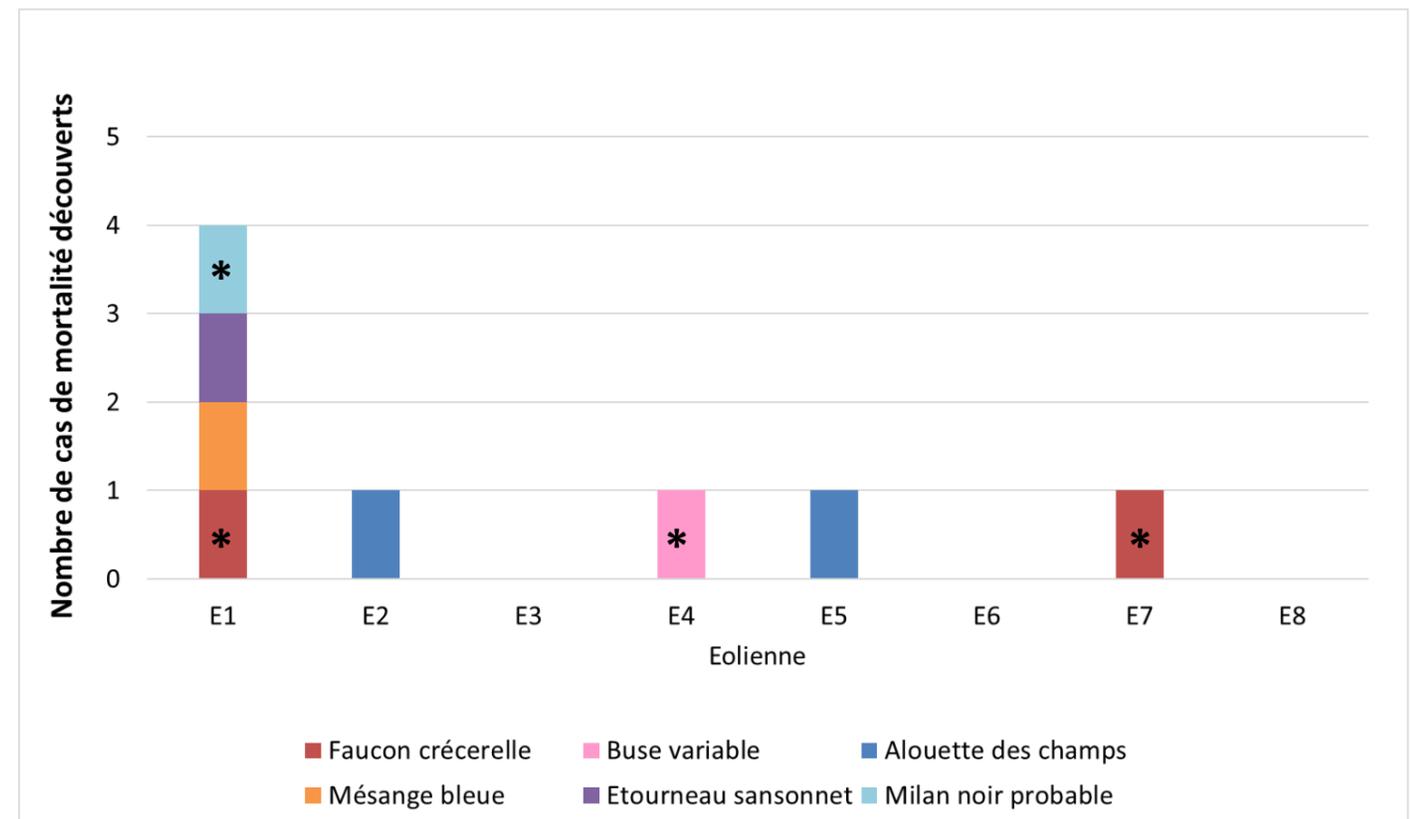
Comme mentionné précédemment, quatre collisions d'oiseaux ont également été pro-activement signalées par Biodiv-Wind suite à l'analyse des vidéos de détection du système SafeWind :

- Le 30/05/2022 : au niveau de l'éolienne E1, un **Faucon crécerelle**, coupé en deux, non retrouvé lors des visites suivantes (1^{er} juin et 8 juin) ;
- Le 23/07/2022 : au niveau de l'éolienne E1, un **Milan noir probable**, non retrouvé lors des visites suivantes (27 juillet et 3 août) ;
- Le 25/08/2022 : au niveau de l'éolienne E4, une **Buse variable**, non retrouvée lors des visites suivantes (30 août et 7 septembre) ;
- Le 21/12/2022 : au niveau de l'éolienne E7, un **Faucon crécerelle**, coupé en deux, non retrouvé lors des visites suivantes (28 décembre et 4 janvier).

2.4.5 Relation espèce / éolienne

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

Figure 18 : Histogramme de la répartition des espèces découvertes dans le cadre du suivi de la et autres collisions découvertes par les vidéos SafeWind (symbolisée par *) par éolienne en 2022-2023



L'Alouette des champs a été impactée à 2 reprises, sous des éoliennes différentes (E2 et E5), tout comme le Faucon crécerelle (E1 et E7). Le Milan noir probable a été retrouvé sous l'éolienne E1 alors que les deux milans royaux trouvés en 2020 avaient été retrouvés sous les éoliennes E2 et E6. Ainsi, bien que l'éolienne E1 ait causé le plus de mortalités, il ne semble pas y avoir de lien entre espèces et éoliennes pour les cas de mortalité.

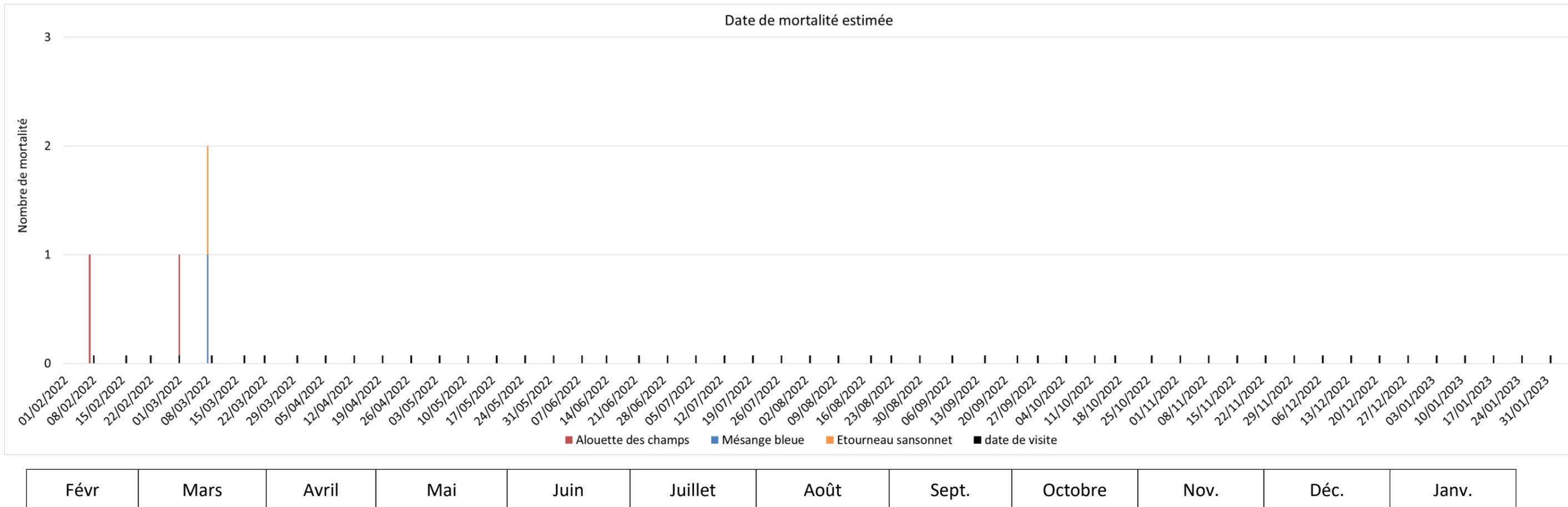
2.4.6 Chronologie des mortalités, phénologies des espèces et tentatives d'interprétations

Plusieurs cas de mortalité sont concentrés en février/mars, correspondant selon les espèces à la période de migration printanière ou au début de la période de nidification.

La figure suivante représente les dates estimées (corrigées) des mortalités par espèce en 2022-2023. Il s'agit de rechercher l'expression de certaines explications phénologiques (migration, vol de parade, dispersion des jeunes...) ou comportementales spécifiques (chasse, transit, migration...).

On s'aperçoit que les mortalités sont retrouvées sur la première moitié de la période de suivi, correspondant autant à la période nuptiale que de migration pré-nuptiale. Les individus non retrouvés au sol ont été impactés en mai (période de nidification), juillet (nidification ou migration selon l'espèce de milan), août (nidification) et décembre (période internuptiale).

Figure 19 : Répartition des découvertes d'oiseaux par espèce (effectifs constatés) à l'occasion du suivi mortalité au sol de 2022-2023



2.4.7 Interprétation par espèce

➤ Alouette des champs

Deux cadavres d'Alouette des champs (*Alauda arvensis*) ont été découverts le 8 février et le 1^{er} mars 2022, respectivement au niveau des éoliennes E5 et E2.

A cette période de l'année, il est probable qu'il s'agisse d'individus migrateurs pré-nuptiaux. En effet, la migration s'étale de février à mi-avril dans cette partie de la France. La période de nidification débute en mars.

Figure 20 : Cliché du cadavre d'Alouette des champs retrouvé le 8 février 2022 sous l'éolienne E5



➤ Mésange bleue

Un cadavre de Mésange bleue (*Cyanistes caeruleus*) a été découvert le 9 mars 2022 sous l'éolienne E1.

A cette période de l'année, il est probable qu'il s'agisse d'un individu migrateur. En effet, la migration chez cette espèce débute mi-février et s'étale jusqu'à la mi-avril, avec un pic de passages mi-mars dans cette partie de la France.

Figure 21 : Cliché du cadavre de Mésange bleue retrouvé le 9 mars 2022 sous l'éolienne E1

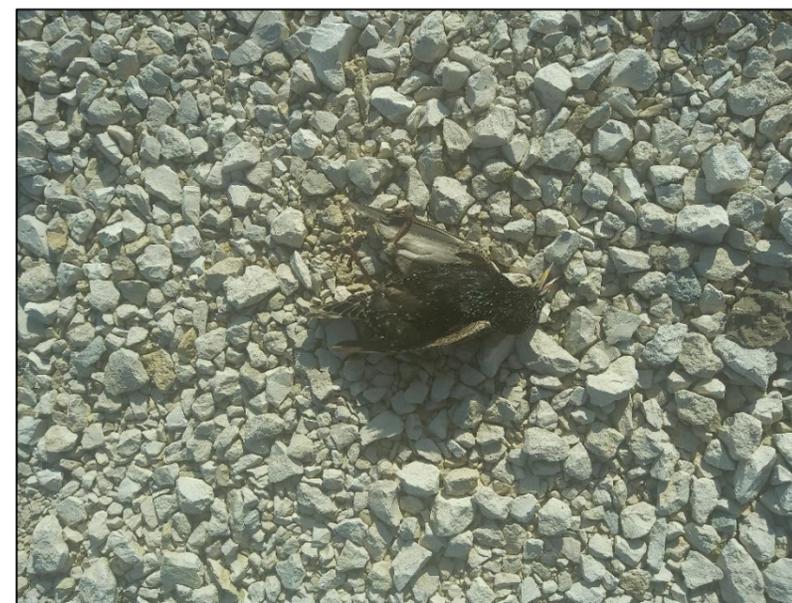


➤ Etourneau sansonnet

Un cadavre d'Etourneau sansonnet (*Sturnus vulgaris*) a été découvert le 9 mars 2022 sous l'éolienne E1.

A cette période de l'année, il est probable qu'il s'agisse d'un individu migrateur. En effet, les mouvements migratoires printaniers ont lieu de mi-février à début avril chez cette espèce en Bourgogne.

Figure 22 : Cliché du cadavre d'Etourneau sansonnet retrouvé le 9 mars 2022 sous l'éolienne E1



➤ **Faucon crécerelle**

Deux cas de collision de Faucon crécerelle (*Falco tinnunculus*) ont été détectés par les caméras du système vidéo SafeWind installé sur les éoliennes du parc des Useroles. La première collision a eu lieu sur l'éolienne E1 le 30 mai 2022. Aucun cadavre n'a été retrouvé lors des visites suivantes (la visite suivante a eu lieu deux jours plus tard). A cette période de l'année, il s'agit d'un individu nicheur. D'après les vidéos, l'oiseau aurait décollé de la nacelle quelques secondes avant la collision. La deuxième détection de collision a eu lieu le 21 décembre 2022 sous l'éolienne E7. Il n'a pas non plus été retrouvé lors des visites suivantes. A cette période de l'année, il s'agit d'un individu local, en période internuptiale.

Cette espèce est particulièrement sensible à la collision avec les pales des éoliennes du fait de son vol stationnaire, parfois à haute altitude, lors de ses comportements de chasse. Ici, il semblerait que les individus étaient en transit ou en phase de décollage depuis la nacelle de l'éolienne.

➤ **Buse variable**

Un cas de collision de Buse variable (*Buteo buteo*) a été détecté le 25 août 2022 au niveau de l'éolienne E4. Aucun cadavre n'a été retrouvé au sol lors des visites de suivi de la mortalité suivantes. A cette période de l'année, il s'agit certainement d'un individu nicheur.

➤ **Milan noir probable**

Un cas de collision de Milan (*Milvus sp.*) a été détecté par les caméras SafeWind le 23 juillet 2022, au niveau de l'éolienne E1. Le système vidéo a détecté l'individu et la régulation a été enclenchée immédiatement. Le signal a mis 6 secondes à être pris en compte par l'éolienne. Le cadavre n'a pas été retrouvé par la suite mais les éléments de la vidéo laissent penser qu'il s'agit d'un Milan noir (couleur, arrivée d'un second individu, etc.). De plus, le rapport du suivi comportemental ciblé sur le Milan royal en 2020 (Biotope, 2021) avait conclu à une présence d'individus en migration pré-nuptiale, dont des individus en chasse, et à une absence de nidification aux alentours du site. Ainsi, il s'agit certainement ici plutôt d'un Milan noir que d'un Milan royal.

Le Milan noir (*Milvus migrans*) est présent en Bourgogne en période de nidification. Ici, cela peut concerner un individu nicheur mais également un individu migrateur. En effet, les milans noirs débutent leur migration postnuptiale dès mi-juillet avec des rassemblements d'individus au niveau de zones favorables à l'alimentation. Le Milan noir fait partie des espèces sensibles à l'éolien, avec 170 cas de mortalités relevés en Europe (T. Dürr, 2022).

2.4.8 Taux de mortalité des oiseaux

L'ensemble des visites réalisées au cours de l'année 2022-2023 ont été faites en protocole allégé, qui ne ciblait que les rapaces et autres oiseaux de grande taille. Ainsi, il n'est pas possible d'estimer un taux de mortalité pour les passereaux et oiseaux de taille intermédiaire. Dans ce chapitre, seules les mortalités de rapaces seront prises en compte pour calculer un taux de mortalité.

Les quatre cas de mortalité de rapaces rencontrés ont été connus grâce au système vidéo SafeWind, et aucun cadavre n'a été retrouvé au sol suite à ces collisions. Ces cas de mortalité sont donc hors protocole, ils ne peuvent pas être pris en compte dans le calcul du taux de mortalité.

Le calcul du taux de mortalité des rapaces sera donc calculé ici à partir d'une simulation de cas de mortalité. Car, comme l'attestent ces quatre cas de mortalité, il est possible qu'aucun cadavre n'ait été trouvé lors des visites du suivi de mortalité, mais que des mortalités aient bien eu lieu sans être découvertes.

2.4.8.1 Planning du suivi de la mortalité et évolution du type de végétation en 2022-2023

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

4 niveaux de difficulté de prospection ont donc été créés :

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

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

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

Figure 23 : Tableau récapitulatif des proportions (%) de chaque niveau de difficulté de prospection parmi les secteurs prospectables et de la mortalité constatée pour chaque visite (en fin de tableau : moyenne des proportions de chaque niveau de difficulté de prospection sur la période de suivi et nombre total de cadavres retrouvés sous les éoliennes(simulation))

Date des visites	Période	Végétation			Mortalité cadavre oiseaux
		Type 1	Type 2	Type 3	
8-févr.	Période 1	21,53	71,21	7,26	
16-févr.	Période 1	20,65	75,47	3,88	
22-févr.	Période 1	20,65	75,47	3,88	
1-mars	Période 1	21,53	36,42	42,05	
9-mars	Période 1	43,42	34,74	21,84	
17-mars	Période 1	21,53	55,32	23,15	
22-mars	Période 1	20,74	74,82	4,43	
30-mars	Période 1	43,42	28,95	27,63	
06-avr	Période 1	35,17	51,31	13,52	
13-avr	Période 1	27,43	50,43	22,14	
20-avr	Période 1	37,34	33,33	29,33	
27-avr	Période 2	37,34	7,58	55,08	
04-mai	Période 2	35,17	16,65	48,19	
11-mai	Période 2	29,04	22,78	48,19	
18-mai	Période 2	20,65	26,91	52,44	
25-mai	Période 2	20,65	26,41	52,94	
01-juin	Période 2	20,65	28,54	50,81	
08-juin	Période 2	20,74	5,87	73,39	
14-juin	Période 2	20,65	0,63	78,72	
22-juin	Période 2	20,65	0,00	79,35	
29-juin	Période 2	20,65	3,50	75,84	
06-juil	Période 2	20,65	38,55	40,80	
13-juil	Période 2	20,65	45,06	34,29	
20-juil	Période 3	20,65	61,33	18,02	
27-juil	Période 3	21,97	65,91	12,12	1
03-août	Période 3	21,94	65,96	12,10	
10-août	Période 3	21,63	67,00	11,38	
18-août	Période 3	20,75	75,35	3,90	
23-août	Période 3	21,63	62,50	15,88	
30-août	Période 3	20,63	71,38	8,00	
07-sept	Période 3	20,86	74,71	4,43	
15-sept	Période 3	66,79	18,04	15,16	
23-sept	Période 3	32,78	62,06	5,16	
28-sept	Période 3	20,63	66,25	13,13	
05-oct	Période 3	20,63	75,50	3,88	
12-oct	Période 3	20,63	75,50	3,88	
17-oct	Période 3	20,63	75,50	3,88	
26-oct	Période 3	20,63	75,50	3,88	
02-nov	Période 3	20,63	75,50	3,88	
09-nov	Période 3	20,63	75,50	3,88	
16-nov	Période 3	20,63	75,50	3,88	
23-nov	Période 3	20,63	75,50	3,88	
30-nov	Période 3	20,63	75,50	3,88	
07-déc	Période 3	20,63	75,50	3,88	
14-déc	Période 3	20,63	75,50	3,88	
21-déc	Période 3	20,63	75,50	3,88	
28-déc	Période 3	20,63	75,50	3,88	
04-janv	Période 3	20,63	75,50	3,88	
11-janv	Période 3	20,63	75,50	3,88	
18-janv	Période 3	100,00	0,00	0,00	
25-janv	Période 3	20,63	59,38	20,00	
01-févr	Période 3	20,63	75,50	3,88	
Moyenne		25,80	53,23	20,97	1,00
Période 1		28,49	53,41	18,10	0,00
Période 2		23,96	18,54	57,50	0,00
Période 3		25,55	67,51	6,94	1,00

Simulation

2.4.8.2 Calculs des coefficients correcteurs (paramètres de formules)

En 2022, deux tests ont été menés le 6 avril et le 17 octobre pour apprécier les coefficients correcteurs nécessaires au calcul du taux de mortalité.

▪ Taux de détection

Figure 24 : Tableau des résultats des tests de découverte et calcul du coefficient de détection d

Type végétation	Eolienne	Date test	Nb de peluches déposées	Nb de peluches découvertes	Taux de détection (d)
Moyen	Moyenne	Moyenne	20	17	0,85
Type 1	Moyenne	Moyenne	8	8	1,00
Type 2	Moyenne	Moyenne	9	6	0,67
Type 3	Moyenne	Moyenne	3	3	1,00
Total	E8	06/04/2022	10	9	
Type 1	E8	06/04/2022	5	5	
Type 2	E8	06/04/2022	5	4	
Type 3	E8	06/04/2022	0	0	
Total	E1	17/10/2022	10	8	
Type 1	E1	17/10/2022	3	3	
Type 2	E1	17/10/2022	4	2	
Type 3	E1	17/10/2022	3	3	

	d	Pourcentage de prospection		
		Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	0,82	25,80	53,23	20,97
Période 1	0,82	28,49	53,41	18,10
Période 2	0,94	23,96	18,54	57,50
Période 3	0,77	25,55	67,51	6,94

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

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

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

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

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

Le taux de détection est de 0,82. **Autrement dit, 82% des peluches dispersées ont été retrouvées.**

▪ Taux de persistance

Figure 25 : Tableau des résultats des tests de persistance ainsi que le calcul du coefficient de persistance et de la durée moyenne de persistance

Type végétation	Eolienne	Date test	Dépôt	Jour de dépôt						Tm	p_moy en
				1	3	8	9	15	22		
Moyen		Moyenne	40	37	12	5	5	3	0	2,73	0,16
Type 1		Moyenne	17	17	4	1	1	0	0	1,82	0,09
Type 2		Moyenne	18	15	6	3	3	3	0	3,50	0,20
Type 3		Moyenne	5	5	2	1	1	0	0	3,00	0,24
Moyen	Toutes	05/04/2022	20	18	6	4	4	3	0		
Type 1	Toutes	05/04/2022	10	10	3	1	1	0	0		
Type 2	Toutes	05/04/2022	9	7	3	3	3	3	0		
Type 3	Toutes	05/04/2022	1	1	0	0	0	0	0		
Moyen	Toutes	17/10/2022	20	19	6	1	1	0	0		
Type 1	Toutes	17/10/2022	7	7	1	0	0	0	0		
Type 2	Toutes	17/10/2022	9	8	3	0	0	0	0		
Type 3	Toutes	17/10/2022	4	4	2	1	1	0	0		

	Tm	p	Pourcentage de prospection		
			Type 1	Type 2	Type 3
Moyenne	2,73	0,16			
Période 1	2,93	0,17	28,49	53,41	18,10
Période 2	2,81	0,20	23,96	18,54	57,50
Période 3	3,04	0,18	25,55	67,51	6,94

■ Paramètre p (formule d'Erickson adaptée)

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

Dans notre cas précis, cet intervalle I moyen entre deux visites est calculé précisément en fonction du planning de suivi de l'année 2022-2023. On obtient un intervalle moyen de l'ordre de **I = 7,02**.

Figure 26 : Proportion de chaque intervalle de visites et définition de l'intervalle pondéré (en jours)

Total			Période 1		
Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total	Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0	1	0	0
2	0	0	2	0	0
3	0	0	3	0	0
4	0	0	4	0	0
5	4	20	5	1	5
6	2	12	6	1	6
7	35	245	7	5	35
8	9	72	8	4	32
9	1	9	9	0	0
10	0	0	10	0	0
Total	51	358	Total	11	78
Intervalle pondéré (tot)		7,02	Intervalle pondéré (tot)		7,09

Période 2

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	1	6
7	10	70
8	1	8
9	0	0
10	0	0
Total	12	84
Intervalle pondéré (tot)		7,00

Période 3

Durée intervalle (en jours)	Nombre d'intervalles	Total
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	3	15
6	0	0
7	20	140
8	4	32
9	1	9
10	0	0
Total	28	196
Intervalle pondéré (tot)		7,00

En considérant que la diminution du nombre de cadavres est linéaire entre les retours tests de 1 et 22 jours, on estime le nombre de cadavres restant à I jours. Ainsi, on obtient une valeur de **p = 0,16**.

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

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

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

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

Dans notre cas précis, **Tm est égal à 2,73. Autrement dit, il faut environ 2-3 jours pour que les cadavres disparaissent.**

■ Coefficient de correction surfacique

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

Arnett (2005) propose un mode de calcul du coefficient surfacique qui prend en compte à la fois la dispersion des cadavres découverts sous les éoliennes et la proportion de surfaces prospectées par classes de distances vis-à-vis du mât de l'éolienne. Cette estimation est basée sur la formule suivante, revue par CORNU & VINCENT 2010. Il s'agit de subdiviser la surface prospectable en cercles centrés sur l'éolienne et dont les rayons respectifs sont de 14, 28, 42, 56, 70 et 84 m, de sorte de la surface considérée soit proche des 1,44 ha de prospection réalisée. La proportion de surface prospectée sur chacune des tranches de cercle est calculée et pondérée par le nombre de cadavres retrouvés sur ces tranches.

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

Avec

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

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

Figure 27 : Schéma des différents cercles concentriques pour le calcul du coefficient surfacique

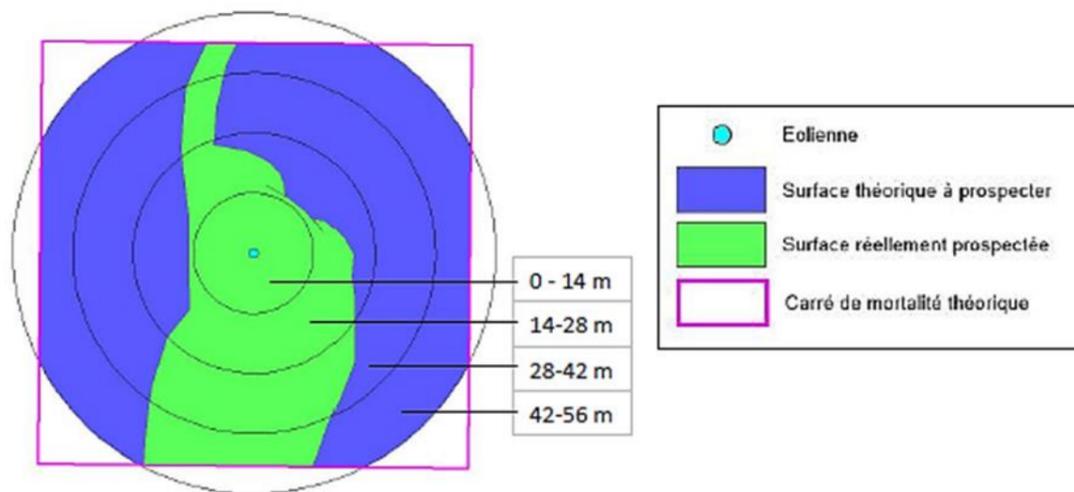


Figure 28 : Tableau détaillant les valeurs utilisées pour le calcul du coefficient surfacique a

	Surface à prospecter par éolienne	Nombre d'éolienne suivie	Surface à prospecter totale	Surface réellement prospectée (toute éolienne confondues, en ha)	Pourcentage prospecté	Nombre de cadavre d'oiseaux
42m - 56m	0,4308	8	3,45	2,59	75,08	0
28m - 42m	0,3077	8	2,46	2,30	93,25	0
14m - 28m	0,1846	8	1,48	1,39	94,39	1
0m - 14m	0,0615	8	0,49	0,49	99,55	0

a (OIS)	1,06
----------------	------

Simulation

Le tableau suivant détaille la base de calculs pour la dispersion des cadavres (ici, simulation) découverts en 2022-2023 en fonction des surfaces prospectées (en hectare) pour les oiseaux.

2.4.8.3 Estimation de la mortalité avec nos tableurs EXCEL

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

Figure 29 : Paramètres de calcul utilisés dans les équations

Paramètres	Valeurs	Explications
C	1,00	Nombre de cadavres découverts sous les éoliennes suivies
d	0,82	Valeur du taux de détection globale tout type de recouvrement confondu
p	0,17	Valeur du taux de persistance globale tout type de recouvrement confondu
tm	2,93	Valeur du temps de séjour moyen (en jours) des cadavres sur le terrain globale tout type de recouvrement confondu
l	7,09	Pas de temps du suivi
î	5,86	$\hat{i} = -\log(0.01) * tm$
ê	0,83	$\hat{e} = \text{Min}(l/\hat{i}) / l$
a	1,06	Coefficient de correction surfacique

Tous ces résultats correspondent aux différentes estimations du nombre d'oiseaux de grande taille morts sur la période allant du 8 février 2022 au 1^{er} février 2023 et pour les 8 éoliennes du parc suivies. Ces résultats sont basés sur l'intégralité du parc éolien et sur 12 mois.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne,

- On divise ces résultats par 8 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne pour la période de suivi**
- On divise par 12 (12 mois) → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par mois**
- On multiplie par 12 → on aura une estimation de la **mortalité par éolienne et par an** (pour la période d'activité des oiseaux, c'est-à-dire tout au long de l'année).
- On multiplie par 8 → on aura une estimation de la **mortalité pour le parc entier et par an**.

Finalement, le tableau suivant synthétise les résultats pour chacune des formules utilisées. Il aboutit à un **résultat moyen de l'ordre de 0,52 mortalités par éolienne et par an**, avec une fourchette oscillant entre 0,38 et 0,52 mortalités par éolienne et par an selon les formules utilisées.

Figure 30 : Résultats des calculs de taux de mortalité pour le suivi 2022-2023

	Erickson		Jones	Huso	Moyenne
	adaptée	réelle			
Mortalité pour les éoliennes suivies pour la période de suivi	3,15	3,15	4,28	3,64	4,40
Mortalité par éolienne pour la période de suivi	0,39	0,39	0,54	0,46	0,55
Mortalité par éolienne et par mois	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
Mortalité par éolienne et pour une année	0,39	0,39	0,54	0,46	0,55
Mortalité pour l'année et pour le parc éolien entier	3,15	3,15	4,28	3,64	4,40

2.4.8.4 Estimation de la mortalité avec l'application EolApp

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

Figure 31 : Paramètres à renseigner dans l'application EolApp

Paramètres	Valeur
Intervalle de temps entre les passages	7,02
Nombre de peluches déposées pour l'étude de détection	20
Nombre de peluches découvertes pour l'étude de détection	17
Pourcentage de la surface prospectée	0,86

Figure 32 : Sortie de l'application EolApp (IC : Intervalle de confiance)

Formule	Médiane	IC à 95%		IC à 80%	
		IC 2.5	IC 97.5	IC 0.10	IC 0.90
Erickson	3,30	0,00	13,72	0,00	9,15
Huso	3,63	0,00	14,44	0,00	9,77
Winkelmann	9,69	0,00	58,14	0,00	34,45
Jones	4,59	0,00	23,18	0,00	14,03
Moyenne par éolienne	0,48	0,00	2,14	0,00	1,37

En considérant les 3 modèles, il y a 95% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0 et 2,14 cas de mortalité. De même, il y a 80% de chance que le nombre réel d'oiseaux impactés se situe entre 0 et 1,37 cas de mortalité. La médiane quant à elle est de 0,66 mortalités par éolienne et sur la période suivie.

Pour ramener ces résultats par an et par éolienne :

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

On aboutit à un résultat à un intervalle de confiance de **95%** de l'ordre de **0 à 2,14 mortalités par éolienne et par an**. A un intervalle de confiance de **80%**, le résultat est de l'ordre de **0 à 1,37 mortalités par éolienne et par an**. La médiane est quant à elle de **0,48 mortalités par éolienne et par an**.

2.4.8.5 Estimation de la mortalité avec l'application GenEst

L'application GenEst aboutit sur un résultat médian de **0,42 cas par éolienne et par an**, soit 3,36 cas pour le parc entier par an. A un intervalle à **90%**, la mortalité est estimée à entre **0,12 et 1,04 cas par éolienne et par an**, soit entre 1 et 8,33 cas pour le parc entier et par an.

2.4.8.6 Comparaison entre les différents calculs du taux de mortalité des oiseaux en 2022-2023

Avec nos tableurs EXCEL, la mortalité réelle d'oiseaux est estimée à **0,44 cas par éolienne et par an** en 2022-2023, sur le parc des Useroles. Avec l'application EolApp, le taux de mortalité est estimé à **0,48 cas par éolienne et par an**. Avec l'application GenEst, celui-ci est estimé à **0,42 cas par éolienne et par an**.

Les résultats obtenus sont donc **comparables entre eux**. Nous retiendrons que le **taux de mortalité des rapaces est estimé à environ 0-1 cas par éolienne et par an, soit entre 0 et 8 cas pour le parc entier et par an**.

3 EVALUATION DES IMPACTS DU PARC ÉOLIEN DES USEROLES

3.1 Analyses quantitatives

Pour rappel, le suivi de la mortalité sur le parc éolien des Useroles était ciblé spécifiquement sur les rapaces et oiseaux de grande taille. Il a donc été réalisé en protocole allégé (avec des transects de prospection plus espacés que pour un protocole classique), protocole qui ne permet pas le calcul du taux de mortalité pour les petites espèces (chauves-souris, passereaux et assimilés). Le taux de mortalité a été calculé uniquement pour les grands oiseaux.

Les quatre cas de mortalité de rapaces rencontrés en 2022-2023 ont été détectés par les caméras SafeWind présentes sur les éoliennes et n'ont pas été retrouvés au sol. Ces cas de mortalité sont donc hors protocole et n'ont pas été pris en compte pour le calcul du taux de mortalité. Ainsi, ce calcul a été réalisé à partir d'un cas de mortalité simulé.

Pour rappel, le taux de mortalité est ainsi estimé à **entre 0 et 1 cas de mortalité par éolienne et par an, soit entre 0 et 8 cas pour le parc entier et par an.**

Il n'est pas possible ici de comparer ce taux de mortalité avec d'autres parcs éoliens car il n'est ciblé que sur les rapaces. Il semble cependant relativement faible avec aucun cas de mortalité découvert au sol. Les quatre cas de mortalité connus n'auraient pas été repérés sans les données des caméras SafeWind. L'absence de découverte de ces mortalités peut s'expliquer par un taux de prédation plutôt élevé, avec une disparition des cadavres au bout de 2,73 jours en moyenne, mais aussi du fait qu'ils aient pu tomber à plus de 58,5 m de l'éolienne ou dans des surfaces non prospectables.

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...)).

Finalement, du point de vue quantitatif, l'impact du parc éolien des Useroles sur les rapaces peut être qualifié de faible.

3.2 Analyses qualitatives des impacts sur l'avifaune

Au total, 6 espèces d'oiseaux ont fait l'objet de découvertes à l'occasion du suivi 2022-2023, il s'agit de : l'Alouette des champs, la Buse variable, l'Etourneau sansonnet, le Faucon crécerelle, la Mésange bleue et du Milan noir.

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

L'Alouette des champs fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Elle correspond à la 10^{ème} espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 395 cas de mortalité recensés). Deux cas ont été découverts, le premier le 8 février et le second le 1^{er} mars 2022, respectivement au niveau des éoliennes E5 et E2. A cette période de l'année, il s'agit certainement d'individus migrants ou internuptiaux. Cette espèce chassable possède des statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale (classée en quasi-menacé) et à l'échelle régionale (classée en quasi-menacé). **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible à modéré du parc éolien sur cette espèce.**

La Buse variable fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Elle correspond à la 3^{ème} espèce la plus impactée en Europe (T. Dürr, 2022). Un cas de collision a été détecté par BiodivWind suite à l'analyse des vidéos de détection du système vidéo SafeWind le 25 août 2022, au niveau de l'éolienne E4. A cette période de l'année, il s'agit certainement d'un individu nicheur. Cette espèce est protégée mais ses statuts de conservation ne sont pas défavorables au niveau national et régional (classé en préoccupation mineure). **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible du parc éolien sur cette espèce.**

L'Etourneau sansonnet fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Il correspond à la 16^{ème} espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 222 cas de mortalité). Un cas a été découvert le 9 mars sous l'éolienne E1. A cette période de l'année, il est probable qu'il s'agisse d'un individu migrant. Cette espèce classée en nuisible ne possède pas de statuts de conservation défavorables à l'échelle nationale et à l'échelle régionale (classée en préoccupation mineure). **Ainsi, nous estimons un impact théorique très faible du parc éolien sur cette espèce.**

Le Faucon crécerelle fait partie des espèces sensibles à l'éolien. Il correspond à la 6^{ème} espèce la plus impactée en Europe (T. DÜRR 2022, 673 cas de mortalité). Deux collisions ont été repérées par BiodivWind suite à l'analyse des vidéos de détection du système vidéo SafeWind le 30 mai 2022 sur l'éolienne E1 et le 21 décembre 2022 sur l'éolienne E7, et aucun cadavre n'a été trouvé au sol par la suite. Pour le premier cas de collision, il est possible, d'après les vidéos, que la collision ait eu lieu après le décollage de l'individu qui était posé sur la nacelle de l'éolienne. A cette période de l'année, il s'agit d'un individu nicheur. Concernant le deuxième cas de collision, l'individu semblait être en transit. A cette période de l'année, il s'agit d'un individu local en période internuptiale. Cette espèce protégée possède un statut de conservation défavorable à l'échelle nationale (classée en quasi-menacé) mais pas à l'échelle régionale (classée en préoccupation mineure). **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible à modéré du parc éolien sur cette espèce.**

La Mésange bleue est peu sensible à l'éolien, avec 21 cas de mortalité relevés en Europe pour cette espèce (T. Dürr, 2022). Un cas de mortalité a été découvert le 9 mars sous l'éolienne E1. Au vu de la date de découverte, il s'agit certainement d'un individu migrateur. Cette espèce est protégée mais ses statuts de conservation ne sont pas défavorables à l'échelle nationale comme régionale. **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible du parc éolien sur cette espèce.**

Un Milan noir probable est entré en collision avec l'éolienne E1 le 23 juillet 2022. Cette collision a pu être connue grâce à BiodivWind suite à l'analyse des vidéos des détections du système vidéo SafeWind. Le cadavre n'a pas été retrouvé au pied de l'éolienne. Le Milan noir fait partie des espèces sensibles à l'éolienne avec 170 cas de mortalité relevés en Europe (T. Dürr, 2022). Il s'agit de la 23^{ème} espèce la plus impactée. Il est protégé et inscrit à l'annexe I de la Directive Oiseaux, mais ses statuts de conservation ne sont pas défavorables à l'échelle nationale et régionale. **Ainsi, nous estimons un impact théorique faible à modéré du parc éolien sur cette espèce.**

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

Figure 33 : Evaluation des niveaux d'impacts théoriques sur l'avifaune en 2022-2023

Nom de l'espèce	Sensibilité	Nombre de mortalités	Risque d'occurrence (sensibilité * nb de mortalités)	Patrimonialité	Niveau d'impact théorique (risque d'occurrence * patrimonialité)
Alouette des champs	Faible à modéré	2	Faible à modéré	Faible à modéré	Faible à modéré
Buse variable	Modéré	1	Faible à modéré	Faible	Faible
Etourneau sansonnet	Faible	1	Faible	Très faible	Très faible
Faucon crécerelle	Modéré	2	Faible à modéré	Faible à modéré	Faible à modéré
Mésange bleue	Faible	1	Faible	Faible	Faible
Milan noir	Modéré à fort	1	Faible à modéré	Modéré	Faible à modéré

4 CONCLUSION

Un suivi de la mortalité a été réalisé entre février 2022 et février 2023 sur le parc éolien des Useroles par le bureau d'étude EXEN.

Un cadavre de **chiroptère** a été retrouvé sous les éoliennes des Useroles en 2022. Il s'agit de la Noctule de Leisler. Etant donné que le suivi de la mortalité a été réalisé sous un protocole allégé, ne ciblant que les oiseaux de grande taille, il n'est pas possible de calculer un taux de mortalité pour les chauves-souris. Au vu du faible nombre de cas de mortalité retrouvés, ce suivi peut tout de même témoigner d'une certaine efficacité du plan de régulation mis en place sur le parc éolien. Comme pour les chauves-souris, il n'a pas été possible de calculer un taux de mortalité pour les **oiseaux de petite taille**, dont 4 cadavres ont été retrouvés sous les éoliennes. Les impacts qualitatifs pour ces passereaux vont de très faible (Etourneau sansonnet) à faible à modéré (Alouette des champs). Il faut cependant rester prudent sur ces niveaux d'enjeu étant donné qu'il est probable que d'autres cas de mortalité soient intervenus au cours de l'année et n'aient pas été détectés du fait du protocole allégé.

En ce qui concerne les **rapaces**, aucun cas de mortalité n'a été trouvé au sol mais 4 cas de collision ont été repérés par BiodivWind après analyse des données vidéo du système SafeWind (2 faucons crécerelles, 1 buse variable et 1 milan noir probable). Pour l'un de ces cas, la défaillance de maîtrise des risques est liée à un problème informatique dans la chaîne de communication entre l'envoi de l'ordre d'arrêt du SDA et sa réception et déclenchement de la mesure par le SCADA. Les autres cas sont plus liés aux limites du SDA et de son paramétrage, et ce, notamment pour le Faucon crécerelle dont la petite taille et les comportements de vols parfois proche des éoliennes limitent l'efficacité de détection et de réactivité du SDA.

Un taux de mortalité a été estimé à partir d'une simulation de mortalité de rapaces, car les 4 cas de mortalités repérés sur les vidéos n'ont pas été retrouvés sous les éoliennes, ils sont donc considérés hors protocole. Les calculs aboutissent à un taux de mortalité d'environ 0 à 1 oiseau de grande taille par éolienne, soit 0 à 8 oiseaux de grande taille pour le parc entier des Useroles. Ce taux reste faible et prend bien en compte les 4 cas de mortalité repérés grâce au système SafeWind. En effet, le taux de prédation est particulièrement élevé sur le parc éolien des Useroles, avec une vitesse moyenne de disparition des cadavres d'environ 3 jours. Cela peut expliquer que les mortalités n'aient pas été retrouvées lors des visites suivant la collision (plus de 2 jours entre la collision et la visite suivante).

Par ailleurs, le système vidéo SafeWind enregistre en continu les détections diurnes d'oiseaux de grande taille (rapaces, grands voiliers ou encore oiseaux d'eau). Ainsi, il est probable que la majorité des collisions des grands oiseaux aient été signalées et que la mortalité réelle de ces espèces soit égale au nombre de collisions répertoriées par le système vidéo.

Enfin, une collision concerne un Faucon crécerelle qui aurait décollé de la nacelle d'une éolienne avant de percuter une pale d'éolienne. Suite à ces observations, des techniciens Nordex sont allés vérifier

l'absence de nidification dans l'éolienne concernée. Il semblerait que les individus ne se servent des nacelles uniquement comme de perchoirs.

L'objectif du suivi réalisé en 2022-2023 était d'évaluer l'efficacité du système vidéo présent sur les éoliennes vis-à-vis des grands rapaces, et notamment du Milan royal, dont deux mortalités avaient été relevées en période pré-nuptiale de 2020. Aucun milan royal n'a été retrouvé sous les éoliennes du parc éolien des Useroles en 2022-2023 alors que le SDA était fonctionnel et le taux de mortalité des rapaces est qualifié de faible pour cette période. En considérant que les conditions d'exploitation du parc par l'espèce sont comparable entre avant et après mise en place de l'outil de réduction automatisé des risques de collision, on peut considérer que cet outil SDA a eu un effet significatif pour réduire le risque de collision de rapaces, et notamment des grands rapaces.

5 BIBLIOGRAPHIE

- **ADOMEIT U., WILLUTZKI F., BRINKMANN R., NIERMANN I., BEHR O.** (2009) : Caractérisation de l'activité des Chiroptères à proximité des éoliennes à l'aide d'enregistrements stéréoscopiques à infrarouge. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **ARNETT E.B., SCHIRMACHER M.R., HUSO M.M.P. & HAYES J.P.**, 2009. Patterns of bat fatality at the Casselman Wind Project in south-central Pennsylvania. An annual report submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative and the Pennsylvania Game Commission. Bat Conservation International, Austin, Texas, USA, 60 p.
- **ADAMS A M., JANTZEN M K., HAMILTON RM., BROCKETT FENTON M.** (2012) – Do you hear what I hear ? Implications of detector selection for acoustic monitoring of bats. *Methods in Ecology and Evolution* 2012, 3, 992-998.
- **ALBOUY S., DUBOIS Y. & PICQ H.** (1997-2001) Suivi ornithologique des parcs éoliens du plateau de Garrigue Haute (Aude). ABIES, LPO Aude, ADEME, 59 p. + annexes.
- **ANDRE Y.** (2005) – Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. (avril 2005 en cours de validation MEDD) – LPO, 21 p.
- **ARTHUR L., LEMAIRE M.** (2009) – Les chauves-souris de France, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénope) ; Muséum national d'Histoire naturelle, Paris, 544 p.
- **BAERWALD E.F., D'AMOURS G.H., KLUG B.J., BARCLAY R.** (2008) - Barotrauma is a significant cause of bat fatalities at wind turbines. University of Calgary, Calgary
- **BARCLAY, R.M.R., BAERWALD, E.F., AND GRUVER, J.C.** (2007). Variation in bat and bird fatalities at wind energy facilities: assessing the effects of rotor size and tower height. *Can. J. Zool.* 85, 381–387.
- **BEHR, O., NIERMANN, I., MAGES, J., BRINKMANN, R.** (2009): Fachtagung Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen: Akustische Erfassung der Fledermausaktivität an Windenergieanlagen: 06.09.2009; Hannover
- **BERGEN F.** (2001), Untersuchungen zum Einfluss der Errichtung und des Betriebs von Windenergieanlagen auf Vogel im Binnenland. 283 p.
- **BEUCHER Y.** (2007), Suivi évaluation de l'impact sur les oiseaux du parc éolien de Ségur (12). Campagne 2007, première année d'exploitation. 66p.
- **BEUCHER Y. KELM V., GEYELIN M. PICK D.** (2010) - Parc éolien de Castelnaud-Pégayrols (12) ; suivi évaluation post-implantation de l'impact sur les chauves-souris. Bilan de campagne de la première et de la deuxième année d'exploitation (2009 2010).
- **BEUCHER Y., ALBESPY F., MOUGNOT J.** (2012) - Projet éolien de Gelles et Heume l'Eglise (63) Focus sur la Grande Noctule *Nyctalus lasiopterus* (Schreber, 1780). Prospections complémentaires visant la localisation de gîtes et la précision des enjeux. 62 p.
- **BOUZIN M., WALEAU A.** (2017) Parcs éoliens de Murat, de la Salesse et du Haut Languedoc – Bilan du suivi de la mortalité – Années 2015 & 2016. 80 p.
- **BOUZIN M.** (2015) Parc éolien de Fraïsse-sur-Agout (34) – SAS Parc éolien de Fontfroide et SAS Parc éolien de Roc de l'Ayre. Bilan du suivi de la mortalité. Année 2015. 40 p.
- **BUREAU DE COORDINATION ENERGIE EOLIENNE** (2009) – Méthodes pour l'analyse et la réduction du risque de collision de chiroptères avec des installations éoliennes terrestres. Synthèse de congrès chauves-souris. Hanovre, 9 juin 2009. 5 p.
- **CORNUT J. VINCENT S.** (2010) – Suivi de la mortalité des chiroptères sur deux parcs éoliens du Sud de la région Rhône-Alpes. LPO Drôme. 39 p.
- **COSSON, M., DULAC, P.** (2004) : Suivi Évaluation de l'impact du parc Éolien de Bouin, 2003 : Comparaison État initial et fonctionnement des Éoliennes. A.D.E.M.E. Pays de la Loire, Région Pays de la Loire, L.P.O., Rochefort, 91 p.
- **Dachverband der deutschen Natur- und Umweltschutzverbände (DNR)** (2005). Pour une exploitation de l'énergie éolienne respectueuse de la nature et de l'environnement en Allemagne (onshore). Traduction du Bureau de coordination énergie éolienne/ Koordinierungsstelle Windenergie e.V. 166 p.
- **De LUCAS M., JANSS G.F.E., FERRER M.**(2007) – Birds and wind farms, Risk assessment and mitigation. Quercus publishing compagny. 275p.
- **DEJEAN S.** (2007) – Clé de détermination des chauves-souris de Midi-Pyrénées – En main-Cren/Gcmp DS. 16 p.
- **DIETZ C., Von HELVERSEN O.** (2004) – Clé d'identification illustrée des chauves-souris d'Europe. Version 1. Tuebingen & Erlangen (Allemagne). Traduction JC Louis. 56 p.
- **DUBOURG-SAVAGE M-J.**, (2005) : Impact des éoliennes sur les Chiroptères, de l'hypothèse à la réalité, Arvicola XVI n°2, 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.
- **DURR Tobias** (2016) Synthèse de bilan de suivi de la mortalité sous les éoliennes d'Allemagne et d'Europe, bilan de décembre 2016.
- **EXO, K.-M., O. HÜPPOP et S. GARTHE.** 2003. « Birds and offshore wind farms: a hot topic in marine ecology », *Wader Study Group Bull.* 100:50-53
- **GEROUDET P. & CUISIN M.** (2000)- Les rapaces d'Europe diurnes et nocturnes. Editions Delachaux et Niestlé. 446p.
- **GENSBOL B.** (2004) – Guide des rapaces diurnes, Europe, Afrique du Nord et Moyen Orient – Coll° Les guides du naturaliste – Ed° Delachaux et Niestlé. Paris. 403 p.
- **GISCLAR D., WALEAU A.** (2018) Evaluation de l'impact du parc éolien de Bois de Merdelou sur l'Avifaune et les Chiroptères. 2018 – Année 1 39 p.
- **Groupe Chiroptères de la SFPEM**, 2016. – Suivi des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de Chiroptères, Version 2.1 (février 2016). Société Française pour l'Étude et la Protection des Mammifères, Paris, 17 pages
- **HORN, J., ARNETT, E., KUNZ, T.:** (2008) : Behavioral Responses of Bats to Operating Wind Turbines. *Journal of Wildlife Management* 72(1):123-132. 2008
- **HÖTKER H.** (2006). NABU. The impact of repowering of wind farms on birds and bats. 38p.
- **HÖTKER H., THOMSEN K-M, JEROMIN H.** (2006). Impacts on biodiversity of exploitation of renewable energy sources : the example of birds and bats. NABU Michael-Otto-Institut. 65 p.

- **HUSO M.**, 2010. An estimator of wildlife fatality from observed carcasses. *Environmetrics*. 19 p.
- **KINGSLEY et WHITTAM** (2007) – Les éoliennes et les oiseaux : Revue de la documentation pour les évaluations environnementales. 93p.
- **KORN M., STÜBING S.** (2003) - Regionalplan Oberpfalz-Nord – Ausschlusskriterien für Windenergieanlagen im Vorkommensgebiet gefährdeter Großvogelarten. Stellungnahme des Büros für faunistische Fachfragen. 56p.
- **KORNER-NIEVERGELT F., KORNER-NIEVERGELT P., BEHR O., NIERMANN I., ROBERT BRINKMANN R. & HELLRIEGEL B.**, 2011. A new method to determine bird and bat fatality at wind energy turbines from carcass searches. *Wildlife Biology*. 17 : 350-363.
- **KINGSLEY A., WHITTAM B.** (2007), - Les éoliennes et les oiseaux, revue de la littérature pour les évaluations environnementales. Version provisoire du 2 avril 2007. Etudes d'Oiseaux Canada pour Environnement Canada/ Service Canadien de la Faune. 93 p.
- **Kunz, T., Arnett, E.B, Wallace P, Erickson, W.P., Hoar, A.R., Johnson G.D., Larkin, R.P., Strickland, Thresher, R.W., Tuttle, M.D.** (2007): Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ* 2007; 5(6): 315–324.
- **LEKUONA, J.** (2001) : Uso del espacio por la avifauna y control de la mortalidad de aves y murciélagos en los parques eólicos de Navarra durante un ciclo anual. Informe Técnico. Dirección General de Medio Ambiente. Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. Gobierno de Navarra.
- **MADDERS M. & WHITFIELD D.P** (2006) – Upland raptors and the assessment of wind farm impacts. Art. 148 43-56 of *Ibis*, British Ornithologists' Union. 14 p.
- **MARMET J.** (2014) Cahier technique d'identification des chiroptères (2014)...
- **MAUREL C., TALHOET S.** (2018) Parc éolien de Bois de Merdelou. Suivi des mouvements de vautours et de l'Aigle royal. Avril-décembre 2017. 30 p.
- **MEEDDAT** (2010) - Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. Actualisation 2010. 188p + annexes techniques.
- **MULLARNEY K., SVENSSON L., ZETTERSTRÖM D., GRANT P. J** (2004) - Le guide ornitho — Delachaux et Niestlé – Paris - 398 p.
- **NEOMYS, CPEPESC-Lorraine et COL** (2012) – Définition et cartographie des enjeux avifaunistiques et chiroptérologiques vis-à-vis des éoliennes en Lorraine. 70p.
- **Niermann, I., Brinkmann, R., Korner-Nievergelt, F. & Behr, O.** 2011. Systematische Schlagopfersuche – Methodische Rahmenbedingungen, statistische Analyseverfahren und Ergebnisse. - In: Brinkmann, R., Behr, O., Niermann, I. & Reich, M. (Eds.); Entwicklung von Methoden zur Untersuchung und Reduktion des Kollisionsrisikos von Fledermäusen an Onshore-Windenergieanlagen. Cuvillier Verlag, Göttingen, Germany, Umwelt und Raum. 4 : 40-115.
- **NIERMANN I., BRINKMANN R., BEHR O., KORNER-NIEVERGELT F., MAGES J.** (2009) : Recherche systématique de cadavres –conditions méthodologiques, methodes d'analyses statistique et résultats. Extrait d'une traduction des Synthèses des conférences tenues à Hanovre, le 09 juin 2009.
- **ROCAMORA G., YEATMAN-BERTHELOT D.** (1999) - Oiseaux menacés et à surveiller en France. Liste rouge et priorités. Société d'Etudes ornithologiques de France / Ligue pour la protection des oiseaux. Paris. 560p.
- **SANE F. CHRISTOPHE F., MERLY S. (ALEPE)** (2012) - Contrôle de l'impact post-implantation du parc éolien de Lou Paou sur les habitats, l'avifaune et les chiroptères : bilan des 3 années de suivi (2008-2009-2010). 110 p.
- **THIOLLAY JM., BRETAGNOLLE V.** (2004) – Rapaces nicheurs de France ; distribution, effectifs, conservation. - Coll° Les guides du naturaliste - Ed° Delachaux et Niestlé. Paris. 175 p.
- **ULDRY V. (2013)** – Comparaison entre deux détecteurs d'ultrasons automatiques (Batcorder et Batlogger) dans le domaine de l'éolien. 36 p.
- **WALEAU A.** (2018) Evaluation de l'impact du parc éolien de Puech del Vert sur l'Avifaune et les chiroptères. 2018-année 1. 40 p.
- **WHITFIELD D.P. & MADDERS M.** (2006) – A review of the impacts of wind farms on hen harriers *Circus cyaneus* and an estimation of collision avoidance rates. Natural research information note 1 (revised). Aberdeen. 32 p.
- **WHITFIELD D.P. & MADDERS M.** (2005) – Flight height in the hen harrier *Circus cyaneus* and its incorporation in wind turbine collision risk modelling. Natural research information note 2. Aberdeen. 13 p.

ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE DE RELEVÉ DE TERRAIN

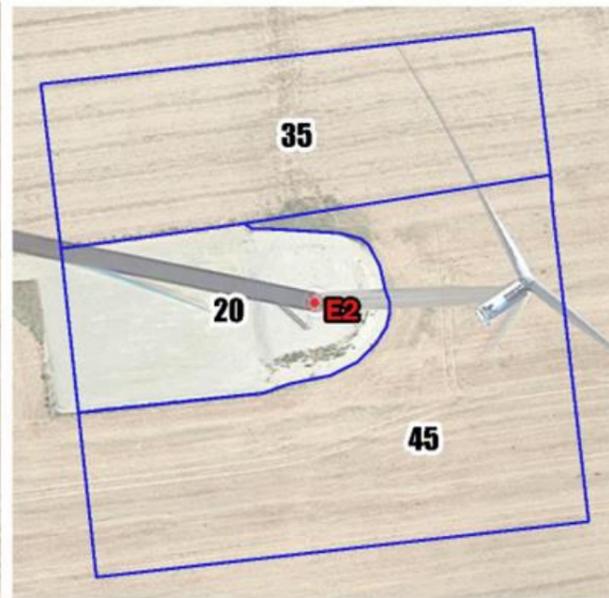
FICHE DE TERRAIN MORTALITÉ Suivi mortalité du parc éolien de Useroles (2022)

		Chercheur :		Heure d'embauche :		Heure début suivi :		Temps de pause :		Rq par éolienne (traces prédat, maintenance, éclairage allumé, tas de fumier sous éolienne...)
		Date :		Heure de débauche :		Heure fin suivi :		Orages depuis dernière visites ?		
		Durée de prospection	Surface prospectée (%)	Type 1 (%) Très facile	Type 2 (%) Facile	Type 3 (%) Moyen	Type 4 (%) Non prospectable	Assolement : culture, prairie, lande ...		
CONTEXTE	E1									
	E2									
	E3									
	E4									
	E5									
	E6									
	E7									
	E8									
DECOUVERTES IN PROTOCOLE	Oiseau ou Chauve-souris (OIS ou CS)									
	Numéro éolienne									
	Distance au mât									
	Direction au mât									
	Type dans lequel le cadavre a été trouvé (type 1, type 2...)									
	Etat (vivant, frais, avancé, sec)									
	Mort depuis (nb j)									
	Blessure (non/oui et quoi)									
	Insecte dans la bouche ?									
	Espèce (ou genre...)									
	Taille Avant bras (mm)									
	Age (ad, jeune)									
	Sexe (male, fem) ?									
	Si fem allaitante? (mamelles pelées)									
	Si fem, gestante ?									

E1



E2



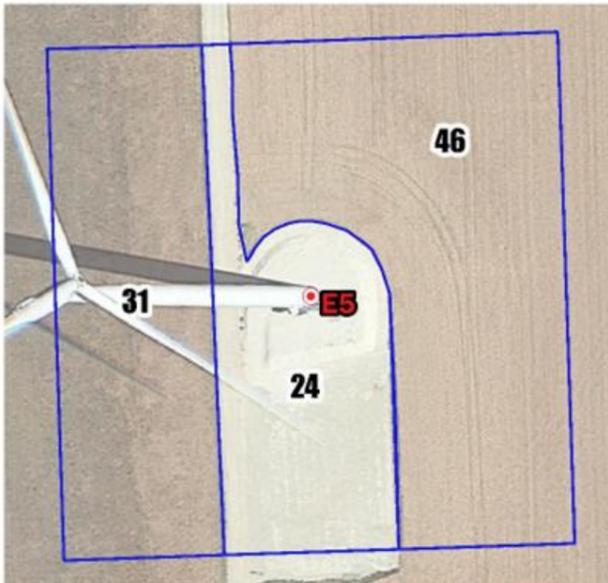
E3



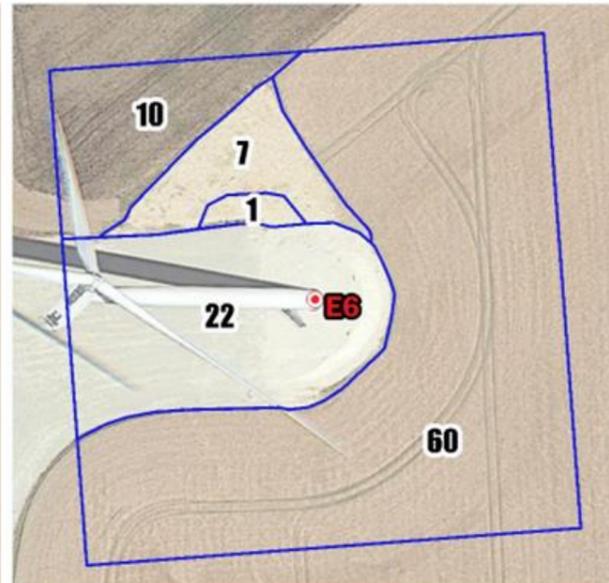
E4



E5



E6



E7



E8



ANNEXE 2 : DONNEES BRUTES DES RELEVES DE MORTALITE EXEN

▪ Chauves-souris

Date	Découvreur	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol	Sexe	Age	Mesure de l'avant-bras (mm)
23/08/2022	EL/DC	E2	6	E	22/08/2022	Fracture	Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Vol haut	Mâle	Juvénile	42

▪ Oiseaux

Date	Découvreur	Plumée ou cadavre	Eolienne	Distance au mat (m)	Direction par rapport au mat	Date de mortalité estimée	Barotrauma / blessure	Espèce	Nom latin	Type de vol
08/02/2022	XN	Cadavre	E5	45	N	07/02/2022	Coupée en 2	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau
01/03/2022	XN	Cadavre	E2	17	NO	01/03/2022	Non, sang dans la bouche	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Passereau
09/03/2022	MF	Cadavre	E1	20		08/03/2022		Mésange bleue	<i>Cyanistes caeruleus</i>	Passereau
09/03/2022	MF	Cadavre	E1	5		08/03/2022	Sang dans le bec	Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	Passereau