

Suivi mortalité sur le parc éolien Engie Vouillon (Indre) – Année 4



Rapport 2022



ENGIE

Antoine AMAT

Décembre 2022



Indre Nature
Association départementale de protection de la nature et de l'environnement
63 Avenue Marcel Lemoine – 36000 Châteauroux

Suivi mortalité sur le parc éolien Engie Vouillon (Indre) – Année 4

Organisme	Indre Nature
Réalisation	Antoine AMAT : relevés de terrain et synthèse
Date de publication	Février 2023
Financements	Engie Vouillon
Localisation	Région Centre, Département de l'Indre (36), Commune de Vouillon
Objectifs de l'étude	Quantifier les cas de mortalité avifaunistique et chiroptérologique sur le parc éolien. Améliorer les connaissances sur la thématique de mortalité éolienne. Confirmer l'efficacité des mesures correctives proposées et bridages mis en place.
Référence bibliographique	AMAT A., 2022, <i>Suivi mortalité sur le parc éolien Engie Vouillon (Indre), Année 4. Indre Nature.</i>
Mots-clefs	Vouillon, Champagne berrichonne, Indre, éolien, chiroptères, oiseaux, mortalité.
Photographies	Antoine AMAT sauf mention contraire
Fonds cartographiques	IGN et orthophotos 2014

Table des matières

I	Présentation et contexte.....	1
I.1	Description du site éolien.....	1
I.2	Contexte environnemental	5
I.2.a	Sites d'Intérêt Communautaire	6
I.2.b	Zone de Protection Spéciale	7
I.2.c	ZNIEFF de type 1	8
I.2.d	ZNIEFF de type 2	9
II	Méthodes	11
II.1	Protocoles de suivi.....	11
II.1.a	Dates de prospection	11
II.1.b	Méthodes et surfaces de recherche.....	11
II.1.c	Relevés des cadavres.....	16
II.2	Test de la prédation - persistance des cadavres	17
II.3	Estimation de la mortalité	18
II.3.a	Winkelmann, 1989	18
II.3.b	Erikson, 2000	18
II.3.c	Jones, 2009	19
II.3.d	Huso, 2010.....	19
II.4	Limites	20
III	Résultats	22
III.1	Espèces et effectifs découverts.....	22
III.2	Taux de détection des cadavres	23
III.3	Persistance des cadavres.....	24
III.4	Estimation de la mortalité	28
IV	Analyses.....	34
IV.1	Aperçu global.....	34
IV.2	Phénologie de la mortalité	35
IV.2.a	Mortalité relevée.....	35
IV.2.b	Mortalité estimée.....	36
IV.3	Espèces impactées.....	38
IV.3.a	Oiseaux	38
IV.3.b	Chiroptères	39
IV.4	Répartition de la mortalité par éolienne.....	40
IV.4.a	Oiseaux (n = 2)	40
IV.4.b	Mortalité cumulée (n = 9).....	40
IV.5	Dispersion des cadavres	42

IV.5.a	Orientation	42
IV.5.b	Éloignement.....	43
IV.6	Causes constatées de la mortalité.....	44
IV.7	Influence de la météorologie	44
V	Interprétations et comparaison interannuelle.....	46
VI	Conclusion	50
VII	Annexes	51
VIII	Bibliographie.....	55

I Présentation et contexte

I.1 Description du site éolien

Le parc éolien Engie Vouillon est situé dans l'Est du département de l'Indre (36), en Champagne berrichonne, au sud de la D925 et du village de Vouillon.

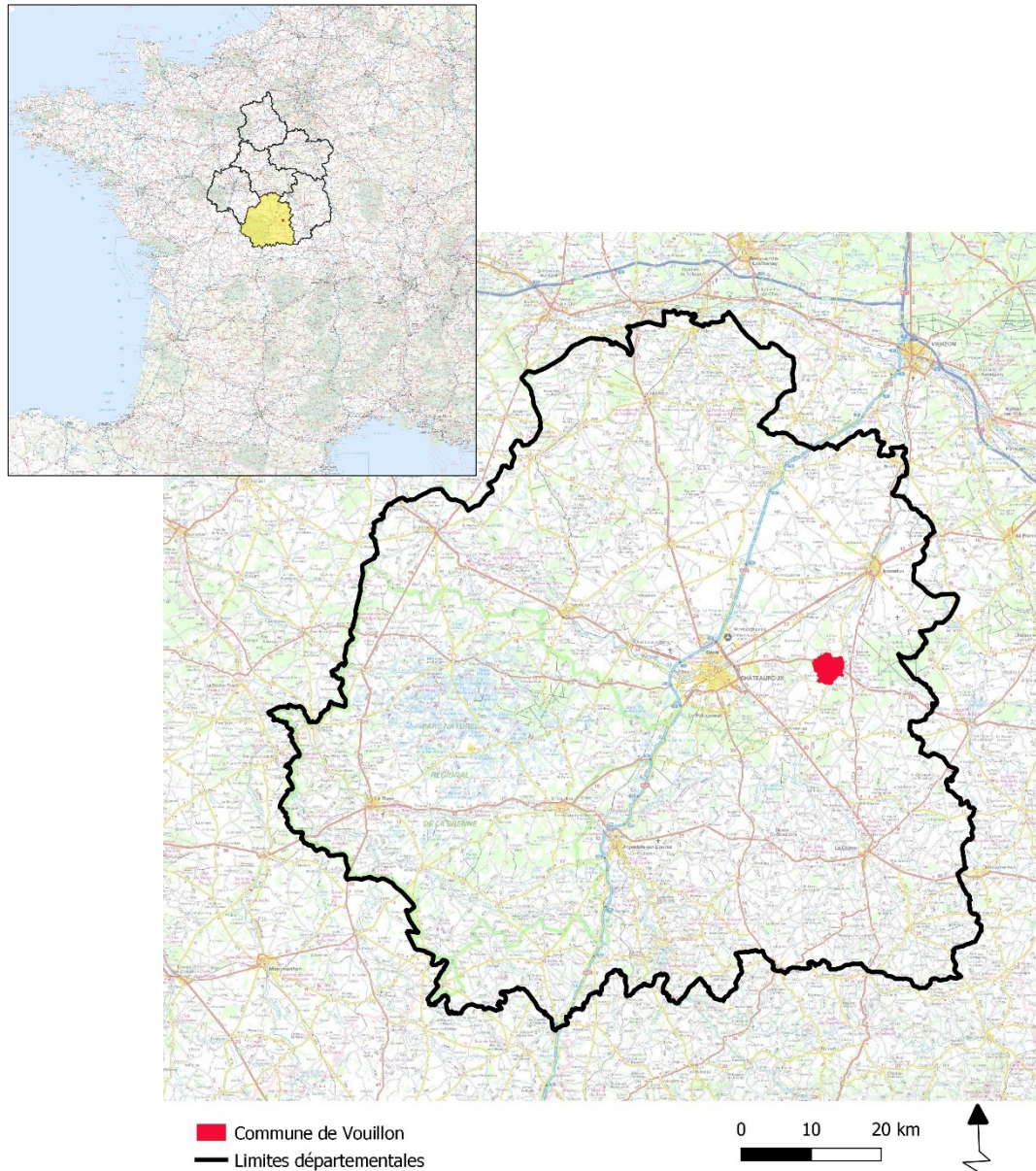


Photo 1 : Situation du parc éolien Engie Vouillon dans le département

Le parc se compose de 6 éoliennes disposées tous les 260 m sur une ligne courbe de 1300 m et tournées vers le Nord.

Chaque éolienne de type V126 présente une puissance de 3,3 MW (pour une puissance totale du parc de 19,8 MW), un mât de 117 m et des pales de 63 m, soit une hauteur en bout de pale de 180 m.

Depuis le mois de septembre 2021, le bridage se met en route lorsque les conditions suivantes sont réunies:

du 1/04 au 31/07	du 1/08 au 31/10	du 19/10 au 08/11
Vitesse de vent : ≤ 6 m/s	Vitesse de vent : ≤ 7 m/s	Arrêt complet du parc éolien en présence de brouillard
Température $\geq 13^{\circ}\text{C}$	Température $\geq 11^{\circ}\text{C}$	
De -30 min avant le coucher du soleil à +4H après le coucher du soleil	Du coucher au lever du soleil	De -1H avant le coucher du soleil à +1H après le lever du soleil

Enfin, l'éolienne 4 est équipée d'un enregistreur à ultrasons installé au niveau de la nacelle.

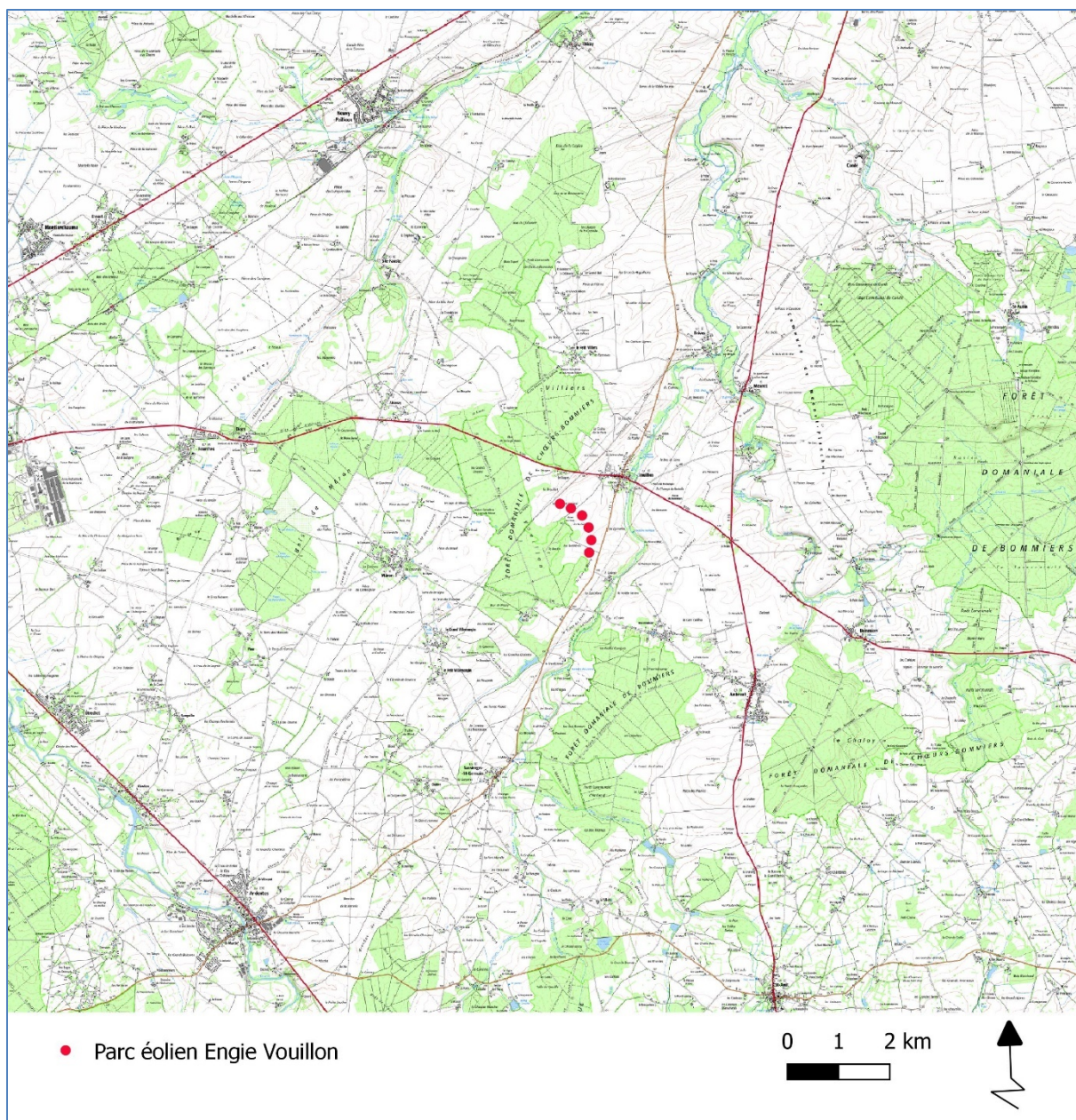


Photo 2 : Localisation du parc éolien Engie Vouillon

Les paysages environnants sont dominés par les cultures, mais également par les boisements, le parc étant situé en bordure d'une partie de la forêt domaniale de Chœurs-Bommiers. Cette dernière est à 120 m au plus près du parc. On retrouve également à proximité les autres patches de la forêt de Bommiers ainsi que la ripisylve du Liennet et de la Théols.

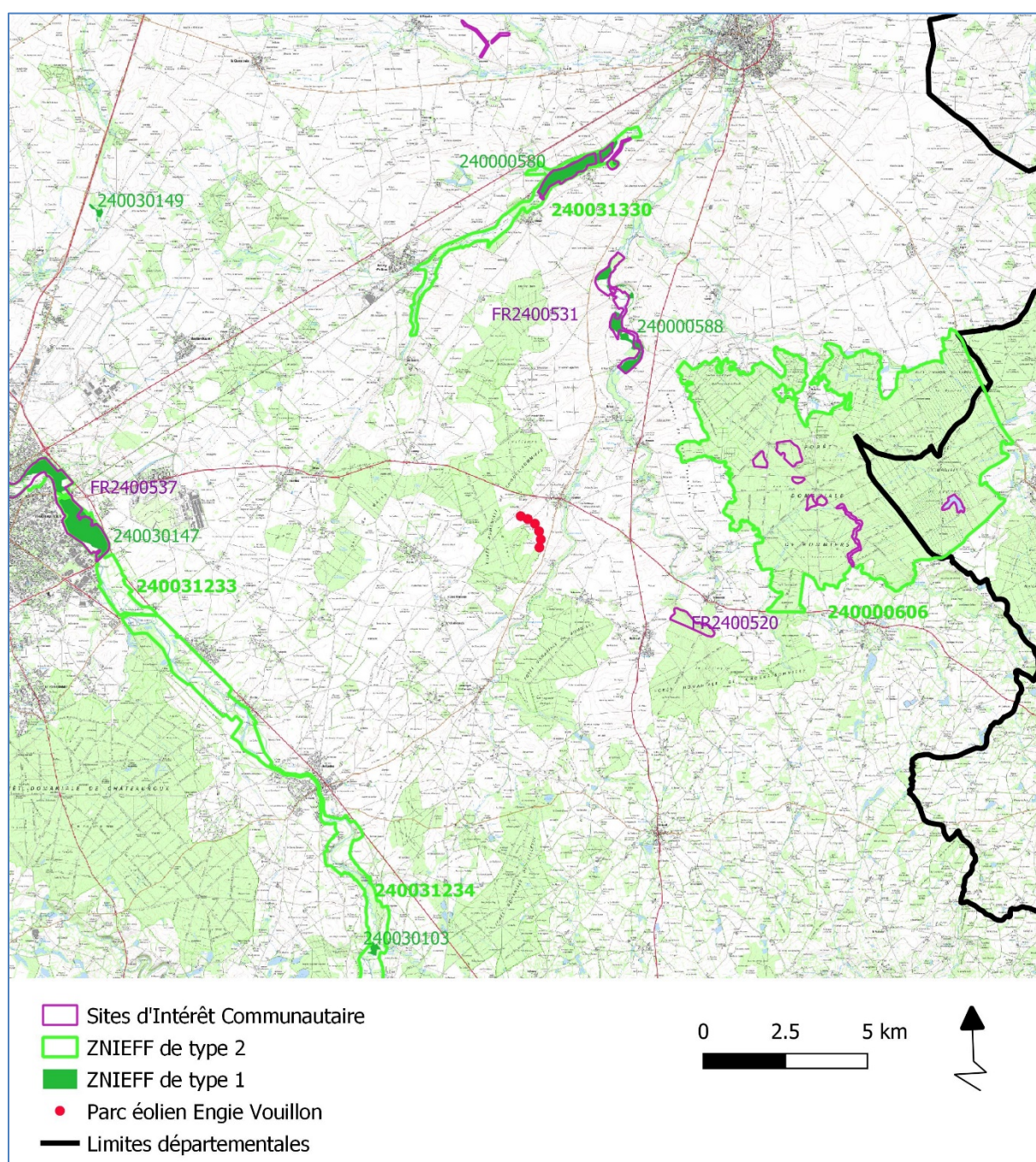


Photo 3 : Aperçu aérien du parc éolien Engie Vouillon

I.2 Contexte environnemental

On retrouve plusieurs périmètres à statut environnemental dans le secteur de Vouillon.

Les sites sont listés ci-dessous, les présentations étant issues du site de l'Institut National de Protection de la Nature.



I.2.a Sites d'Intérêt Communautaire

i FR2400520 - Coteaux, bois et marais calcaires de la Champagne Berrichonne

Ce site couvre deux grandes régions naturelles : la vallée du Cher et la champagne berrichonne. Ces deux paysages renferment divers ensembles de végétations et espèces remarquables pour la région (notamment des pelouses calcicoles et milieux associés et des marais alcalins).

Le site présente trois éléments notables : les ensembles de milieux secs des coteaux et plateaux calcaires, les rares zones de marais, mais aussi les végétations liées à la vallée du Cher et des zones alluvionnaires.

L'ensemble de milieux situés sur les coteaux et plateaux dominant le Cher et sur des vallons adjacents, présente un très grand intérêt botanique et paysager dans un contexte de grandes cultures.

La particularité biogéographique de ces coteaux calcaires, sans équivalent en région Centre, est de renfermer de très nombreuses orchidées et plusieurs espèces végétales rares en limite d'aire de répartition. Les marais de Contres et de Dun se caractérisent par la présence de végétations humides associées à des modes culturels traditionnels.

La vallée du Cher est remarquable par la présence d'un cordon de végétations aquatiques, de ripisylves. Le lit majeur inondable du Cher assure un effet corridor attesté par la présence de 6 espèces de chauves-souris inscrites à l'Annexe II de la directive Habitats. On peut enfin noter les zones bocagères du sud du site, notamment autour de Noirlac, abritant des cortèges très riches de coléoptères saproxyliques, dont deux d'intérêt européen (Grand Capricorne, Lucane cerf-volant).

Quelques zones particulières ponctuent ce site. La Forêt Domaniale de Bommiers présente une végétation assez différente avec des formations acides de landes fraîches et sèches, ainsi qu'un gazon hygrophile des rives des étangs peu riches en éléments minéraux.

Situé à 5 km du parc éolien, ce site Natura 2000 abrite notamment Rhinolophes, Barbastelle d'Europe et Murins inscrits à l'Annexe 2 de la Directive Habitats.

ii FR2400531 - Îlots de marais et coteaux calcaires au Nord-Ouest de la Champagne Berrichonne

Site à cheval sur les départements de l'Indre et du Cher, traversés par l'Arnon et la Théols.

Ensembles de formations naturelles sur affleurements calcaires et fonds de vallées humides ou marécageux.

Présence d'une flore palustre singulière en fond de vallée. Prairies marécageuses abritant un cortège d'orchidées remarquables ainsi que des espèces végétales rares et protégées régionalement.

Importants cortèges d'orchidées sur les pelouses très souvent accompagnés d'espèces rares au niveau régional.

Vastes étendues des formations à Genévriers.

Situé également à 5 km environ du parc éolien de Vouillon, ce site Natura 2000 abrite notamment le Grand Rhinolophe et le Grand Murin, inscrits à l'Annexe 2 de la Directive Habitats.

iii FR2400537 - Vallée de l'Indre

L'ensemble du site s'inscrit dans une vallée essentiellement composée de prairies bocagères inondables parsemées de mares temporaires. En plusieurs endroits, la vallée est surplombée de coteaux où s'ouvrent d'anciennes carrières souterraines occupées par des chauves-souris hibernantes.

Les vastes prairies inondables abritent un cortège floristique et ornithologique remarquable.

Lieu d'hivernage pour de nombreux canards.

Importantes populations de Chauves-souris hibernantes, dont plusieurs espèces inscrites à l'Annexe II de la directive Habitats.

Plus éloigné que les deux autres ZSC, ce site Natura 2000 à environ 13 km du parc abrite Rhinolophes, Barbastelle d'Europe et Murins inscrits à l'Annexe 2 de la Directive Habitats.

I.2.b Zone de Protection Spéciale

La ZPS la plus proche est située à 27 km ; il s'agit de la ZPS FR2410003 – Brenne.

La Brenne présente une mosaïque de milieux naturels (prairies, étangs, landes, buttes de grès, bois, marais, ...) tout à fait remarquable.

Cette diversité de milieux engendre une diversité exceptionnelle en termes d'avifaune, comme l'atteste son inscription sur la liste des sites RAMSAR (zones humides d'importance internationale). La Brenne constitue un site important pour l'avifaune aussi bien en reproduction, en migration qu'en hivernage.

Ce sont en effet 20 à 25 espèces inscrites à l'annexe I de la directive 'Oiseaux' qui s'y reproduisent, avec en particulier des espèces inféodées aux milieux humides comme la Guifette moustac (30-40% des effectifs nationaux), le Héron pourpré (10-15%), le Butor étoilé et le Blongios nain (5%), mais également des espèces inféodées aux milieux forestiers, aux milieux semi-ouverts et aux milieux prairiaux. En migration, la zone constitue une halte pour les espèces liées aux milieux aquatiques, parmi lesquelles la Grue cendrée, le Balbuzard pêcheur ainsi que plusieurs limicoles. En hiver, la Brenne accueille plusieurs dizaines de milliers d'oiseaux d'eau : canards, grèbes, foulques, hérons, limicoles, etc. Toutes saisons confondues, la zone est ainsi fréquentée par 40 à 45 espèces inscrites à l'annexe I de la directive 'Oiseaux', soit environ 80% des espèces régulièrement présentes en région Centre.

Le parc éolien est à bonne distance de cette ZPS, laissant à penser qu'il a peu d'influence sur les populations d'oiseaux ayant permis la désignation du site. Toutefois, la commune de Vouillon est située sur un axe migratoire, et le parc est ainsi survolé par plusieurs espèces qui rejoignent la ZPS à l'automne. Ainsi, ce sont plusieurs milliers de Grues cendrées qui ont pu être dénombrées à l'occasion d'un suivi mortalité en novembre 2019.

I.2.c ZNIEFF de type 1

Ces sites, importants pour leur richesse écologique, mais localisés, présentent a priori un lien écologique assez faible avec le parc éolien de Vouillon.

Ils sont néanmoins rapidement présentés ci-après.

i 240000580 - Marais de Jean-Varenne

Ce marais alcalin d'une centaine d'hectares se situe au Nord-Est du bourg de Thizay.

Il occupe le fond d'un vallon peu marqué, au substrat calcaro-marneux, traversé par le ruisseau de la Vignole, affluent de la Théols. Des sources artésiennes s'y rencontrent çà et là. Il s'agit de profonds entonnoirs formés dans le calcaire sous-jacent d'où remontent des eaux cristallines thermostatées. Hormis les milieux humides, la zone abrite quelques secteurs de pelouses sur calcaire, riches en espèces déterminantes. Cet ensemble abrite plus de trente espèces végétales déterminantes, dont 17 protégées. Pour la faune, on peut noter notamment la richesse du site pour les papillons (plus d'une dizaine d'espèces déterminantes, dont 4 protégées), les libellules, les oiseaux ou encore les mollusques.

ii 240030147 - Prairies humides du Montet et de Mousseaux

Cette zone de prairies se localise à l'amont immédiat de Châteauroux, en bordure de l'Indre.

Elle est occupée par des prairies humides de fauche et/ou de pâture conduites de manière plutôt extensive. On y observe plusieurs dépressions liées à la présence actuelle ou passée de bras d'eau serpentant dans les prairies. Plusieurs de ces bras sont en connexion directe avec l'Indre, d'autres le sont en période de hautes eaux. On rencontre également dans ces prairies des mares pérennes, lesquelles sont noyées lors des crues.

Toutes ces zones sont des lieux particulièrement favorables à la reproduction du Brochet. La rivière présente une diversité piscicole très riche (7 espèces déterminantes et 32 espèces recensées au total) avec une forte densité de brochets et cyprinidés. Ce site abrite de nombreuses espèces végétales et animales : 5 espèces de plantes remarquables, un orthoptère remarquable et également 3 oiseaux remarquables, dont le Rôle des genêts entendu il y a quelques années.

Cette zone s'inscrit dans un ensemble de prairies alluviales qui forment un corridor écologique aux intérêts multiples au sein de l'agglomération castelroussine. Il s'avère très important pour le maintien de la biodiversité de maintenir ces zones humides en prairies fauchées et/ou pâturées.

iii 240000588 - Marais de Gravelle

Cet ensemble se localise dans la vallée de la Théols, au nord de Meunet et entre les lieux-dits le Noyer et la Villette. Il s'agit de très grandes roselières, prairies et boisements humides. Le marais originel a été largement dégradé par la mise en culture, la plantation de peupliers et les pratiques de l'agriculture intensive des environs.

Les secteurs de marais qui subsistent abritent néanmoins une dizaine d'espèces végétales déterminantes, dont 6 protégées. Concernant la faune, une dizaine d'espèces d'insectes déterminants ont été relevées (libellules, papillons...).

iv 240031596 - Bocage de la Font-Roy-Bonnin

Cette zone est située dans le Boischaut au sud-est du bourg de Saint-Août de part et d'autre de la route départementale 71. Il s'agit d'une zone de bocage bien conservé, milieu se raréfiant dans ce secteur fortement remanié ces dernières années.

La moitié nord est utilisée comme pâturage pour des chevaux et pour la production de foin. La moitié sud, plus extensive encore, est peu exploitée et abrite localement des végétations des prairies humides oligotrophes menacées par la fermeture du milieu.

On dénombre une grande quantité d'espèces déterminantes de ZNIEFF (plus de 35 espèces) dans des groupes taxonomiques variés pour la faune (coléoptères, lépidoptères rhopalocères et hétérocères, odonates, orthoptères, amphibiens, ...) et pour la flore. Les cortèges observés sont typiques du bocage en bon état de conservation.

Cette ZNIEFF abrite notamment le Faucon hobereau.

I.2.d ZNIEFF de type 2

i 240000606 - Forêt de Choeurs-Bommiers - 4,5 km

Plusieurs habitats patrimoniaux comme les pelouses calcicoles ou les landes sont présents, mais le plus souvent relictuels au sein des layons forestiers. Les boisements en eux même sont diversifiés, bien que localement dégradés par les plantations de résineux.

Le massif forestier possède aussi plusieurs mares et étangs, parfois tourbeux, qui abritent une flore rare et menacée.

La forêt de Choeurs-Bommiers est surtout réputée pour sa richesse faunistique avec la présence de la Cigogne noire, considérée comme nicheuse sur le massif ou la présence du Chat sauvage. Concernant les insectes, bien que les inventaires restent incomplets, de nombreuses espèces patrimoniales sont notées. L'herpétofaune comprend un grand nombre d'espèces parmi lesquelles les rares Sonneurs à ventre jaune et Cistude d'Europe.

Cette ZNIEFF abrite notamment la Noctule de Leisler, Barbastelle d'Europe, Murins et Cigogne noire.

ii 240031330 – Marais de Thizay – 6,5 km

Le marais est essentiellement une tourbière alcaline vieille de 10 000 ans développée sur un substrat calcaro- marneux. Des sources artésiennes s'y rencontrent çà et là. Thizay est le seul marais de ce type de Champagne berrichonne. Ce marais au fonctionnement hydraulique particulier a été classé partiellement en Arrêté de Protection du Biotope en 1983 pour sa flore et sa faune remarquables.

Concernant la faune, le site présente un intérêt pour les insectes. En effet, une dizaine d'espèces déterminantes de papillons, mais aussi de libellules et d'orthoptères a été recensée. Des espèces patrimoniales de mollusques sont également présentes dans ces marais. À noter également, la présence de la Mulette épaisse (Unio crassus), bivalve menacé.

iii 240031234 – Haut bassin versant de l'Indre – 10 km

Cette zone correspond à la tête du bassin de l'Indre et de ses affluents d'amont. Le haut bassin versant correspond à une des parties les plus élevées de la région Centre, avec un réseau complexe de vallons plus ou moins encaissés.

L'activité agricole et l'élevage, au sein d'un paysage majoritairement bocager, caractérisent l'occupation du sol qui tend toutefois à évoluer.

Les talwegs sont émaillés de multiples sources qui alimentent les petits ruisseaux et contribuent à la présence de nombreuses zones humides, le plus souvent associées à des prairies.

La flore d'intérêt patrimonial se caractérise essentiellement par des plantes de prairies humides. C'est au niveau des suintements, parfois tourbeux, que les zones les plus riches sont observées. C'est une zone particulièrement intéressante d'un point de vue salmonicole. Les frayères à truites sont présentes en densité régulière, voire très fréquentes vers les zones de sources.

Ce bassin versant abrite la plus belle population de Loutres du département. Le Sonneur à ventre jaune est présent de manière régulière.

Les arbres creux du bocage abritent le Pique-prune, coléoptère protégé et d'intérêt européen. Ils servent également de refuge pour plusieurs espèces de chauves-souris. Le Grand capricorne est également présent. Les papillons sont représentés sur le site par une dizaine d'espèces déterminantes. À noter également, trois espèces d'orthoptères considérées comme en danger dans la région. La Cistude d'Europe est aussi présente sur le secteur.

Sur les plateaux, les pratiques agricoles ont tendance à s'intensifier. Cette évolution induit une régression de l'étendue et du nombre de milieux humides et de la qualité biologique du bocage. En revanche, la part de l'élevage diminue dans les fonds de vallée avec pour conséquence l'extension de l'enfrichement des prairies humides. Cependant, la qualité actuelle du peuplement piscicole de ces ruisseaux reste bonne et fonctionnelle.

Cette ZNIEFF abrite notamment Murins, Barbastelle d'Europe, Petit Rhinolophe.

iv 240031233 - Prairies de la vallée de l'Indre dans l'agglomération Castelroussine – 12 km

Dans la traversée de l'agglomération de Châteauroux, les abords de l'Indre ont relativement bien échappé à l'urbanisation et à l'artificialisation. C'est probablement l'inondabilité de la vallée qui lui a permis de conserver un caractère naturel.

L'ensemble est essentiellement occupé par des prairies, quelques boisements alluviaux, mais aussi quelques parties plus humides (anciens marais). Ces prairies abritaient notamment jusqu'en 1999 les dernières populations de Râle des genêts du département de l'Indre. On observe également la reproduction du Râle d'eau. L'intérêt pour les amphibiens s'avère élevé avec neuf espèces recensées dont le crapaud Sonneur à ventre jaune et le Triton crêté. La Cistude d'Europe est présente. Les libellules sont également bien représentées sur le site, avec cinq espèces déterminantes, dont deux protégées. Concernant les orthoptères, sept espèces déterminantes ont été observées. À noter également, deux espèces protégées de coléoptères. L'intérêt floristique est loin d'être négligeable. Au total une cinquantaine d'espèces protégées est connue dans cette zone (une centaine si l'on ajoute les oiseaux).

Cette ZNIEFF a notamment été désignée pour le Faucon hobereau, le Bihoreau gris.

II Méthodes

II.1 Protocoles de suivi

II.1.a Dates de prospection

Afin de faire suite aux 3 années de suivis mortalité sur le parc éolien de Vouillon, Engie GREEN a souhaité réaliser une 4^{ème} année de suivi, dans le but de vérifier l'efficacité du bridage mis en place et adapté au fil des années précédentes. Le suivi 2022 s'est donc déroulé différemment, d'avril à octobre à raison d'un passage par semaine de la semaine 13 à la semaine 43. Il a été décidé d'effectuer un passage supplémentaire en novembre, semaine 47, afin de s'assurer de l'absence de mortalité sur la fin de la période de migration automnale. Le bilan des mortalités relevées cette année est présenté en annexe (Annexe 1).

Le suivi 2022 a démarré en avril.

Au final, ce sont 32 passages qui ont été effectués sur le parc éolien de Vouillon entre avril et fin novembre 2022, donc 2 fois moins que lors du suivi 2021.

II.1.b Méthodes et surfaces de recherche

L'ensemble du parc, soit les 6 éoliennes, a été suivi lors de chaque passage.

Les parcelles d'implantation des éoliennes étant cultivées (majoritairement en blé et tournesol cet été, mais avec certains secteurs en colza et en jachère au niveau de E6), elles n'étaient pas accessibles durant une partie du suivi : le passage répété de l'observateur pouvant occasionner des dégâts aux cultures, et l'efficacité de recherche étant réduite au-delà d'une certaine hauteur de végétation.

Ainsi, plusieurs périmètres de recherche ont été utilisés durant le suivi :

- Semaines 13 à 22 : les cultures étaient encore partiellement praticables ;
- Semaines 23 & 24 (07/06-13/06) : seules deux éoliennes pouvaient être prospectées sur la surface totale ;
- Semaine 25 à 27 : seules les aires gravillonnées étaient praticables ;
- À partir de la semaine 28 (12/07), toutes les parcelles ont été accessibles, sauf deux d'entre elles (E1 et E2), toujours occupées par du tournesol. Elles seront accessibles à partir du 1^{er} septembre, semaine 35.

i Prospection des aires gravillonnées

Lorsque les cultures adjacentes ont limité les recherches, seules les aires gravillonnées ont donc été inspectées, pour un total de 9 308 m².

Elles ont chacune été prospectées au travers de transects parallèles et distants de 5 m.

Éolienne	Surface de l'aire gravillonnée	Éolienne	Surface de l'aire gravillonnée
E1	1 406 m ²	E4	1 420 m ²
E2	1 678 m ²	E5	1 420 m ²
E3	1 386 m ²	E6	1 998 m ²
Surface totale aires gravillonnées = 9 308 m ²			

Détail des surfaces des aires gravillonnées



Parcours de prospection schématique - Éolienne 1

ii Protocole complet

Lorsqu'il a pu être mis en place, un cercle de 65 m de rayon a été prospecté à l'aplomb de chaque éolienne (leurs pales ayant pour rappel une longueur de 63 m). La surface échantillonnée sous chaque éolienne est de 13 273,23 m², soit un total prospecté de 79 639,37 m².

Il a été prospecté par transects parallèles distants de 7,5 m, réalisés à l'aide d'une corde étalonnée attachée autour du mât.

Cette aire de recherche maximale a été accessible cette année à partir du 1er septembre 2022, bien plus tôt qu'en 2021 (08 octobre). Avant cette date, les éoliennes 1 et 2 étaient entourées de tournesol.

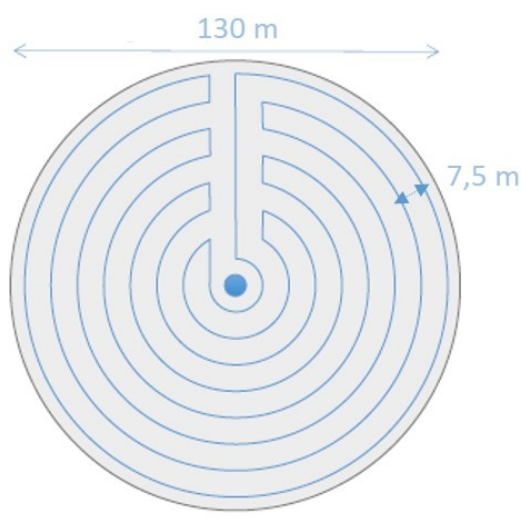


Schéma et aperçu d'une zone prospectée de façon 'complète' - Éolienne 6



Corde étalonnée permettant la régularité des transects - Éolienne 6

iii Surfaces échantillonnées

La surface échantillonnée lors des 32 passages est finalement présentée dans le tableau ci-dessous :

Date	Surface échantillonnée (m²)	Coeff A	Date	Surface échantillonnée (m²)	Coeff A
01/04/2022	44045,69	1,45	18/07/2022	56176,92	1,29
04/04/2022	44045,69	1,45	25/07/2022	56176,92	1,29
11/04/2022	44045,69	1,45	01/08/2022	56176,92	1,29
19/04/2022	44045,69	1,45	10/08/2022	56176,92	1,29
26/04/2022	44045,69	1,45	17/08/2022	56176,92	1,29
02/05/2022	44045,69	1,45	22/08/2022	56176,92	1,29
10/05/2022	44045,69	1,45	01/09/2022	79639,37	1
17/05/2022	44045,69	1,45	07/09/2022	79639,37	1
23/05/2022	44045,69	1,45	12/09/2022	79639,37	1
30/05/2022	44045,69	1,45	19/09/2022	79639,37	1
07/06/2022	20583,23	1,74	26/09/2022	79639,37	1
13/06/2022	20583,23	1,74	03/10/2022	79639,37	1
20/06/2022	9308	1,88	10/10/2022	79639,37	1
27/06/2022	9308	1,88	17/10/2022	79639,37	1
04/07/2022	9308	1,88	24/10/2022	79639,37	1
12/07/2022	56176,92	1,29	24/11/2022	79639,37	1

iv Coefficient de correction surfacique

Ce coefficient correcteur surfacique « A » servira dans les calculs de mortalité à corriger le fait que l'ensemble de la zone à prospecter théorique ('protocole complet') n'ait été réellement prospecté à chaque passage, du fait des cultures par exemple.

Il est calculé de la façon suivante :

$$\text{Coeff.A} = 1 + [1 - (\text{surface prospectée} / \text{surface de prospection théorique})]$$

II.1.c Relevés des cadavres

Lors des relevés, plusieurs informations générales ont été notées :

- Date
- Heure
- Météo du jour
- Activité agricole en cours/passée sous chaque éolienne
- Évolution des habitats sous chaque éolienne.

En cas de découverte de cadavres, leur localisation a été reportée sur une photographie aérienne et des photographies ont été prises. Les éléments suivants ont été relevés :

- Numéro de l'éolienne concernée
- Espèce (sexe, âge dans la mesure du possible)
- État du cadavre (intact/partiellement détérioré/détérioré)
- Estimation de la cause et de la date de la mort
- Couverture végétale du lieu de découverte (de 0 à 2)
- Distance et orientation par rapport au mât.

Si nécessaire, les mensurations des chiroptères destinées à la détermination de l'espèce ont été prises de retour au bureau d'Indre Nature à l'aide d'un pied à coulisse.

II.2 Test de l'efficacité de l'observateur - taux de détection des cadavres

Deux tests 'observateur' ont été réalisés au cours du suivi, afin d'estimer le taux de détection de la personne chargée du suivi et d'en tenir compte lors de l'estimation de la mortalité du parc éolien.

Ils ont été effectués à deux saisons différentes, afin de prendre en compte notamment l'évolution du couvert végétal sous les éoliennes au cours des saisons.

Pour cela, des cadavres à la disposition d'Indre Nature (oiseaux et chiroptères trouvés morts lors du suivi précédent, ou amenés par des adhérents de l'association, puis congelés) ont été disposés

aléatoirement, mais sur les différents couverts végétaux présents. Cette manipulation a été réalisée par une tierce personne.

L'observateur de l'étude a ainsi été testé sur la prospection de trois éoliennes à chaque test. Le nombre de cadavres placés sous chaque éolienne était inconnu et leur recherche s'est effectuée dans les conditions réelles, c'est-à-dire en appliquant le protocole défini et présenté précédemment.

Le taux de détection D obtenu par ce test correspond à la proportion de cadavres détectés par l'observateur :

D = nombre de cadavres découverts / nombre de cadavres déposés

II.2 | Test de la prédation - persistance des cadavres

Trois tests de persistance des cadavres ont également été réalisés à trois périodes différentes au cours du suivi, afin d'évaluer le taux de disparition des cadavres lié à leur prédation par des charognards, et de prendre en compte une éventuelle évolution en fonction de la saison. Ce taux de disparition rentre également en compte dans les calculs de mortalité qui seront réalisés.

Pour cela, des cadavres à la disposition d'Indre Nature (oiseaux et chiroptères trouvés morts lors du suivi précédent, ou amenés par des adhérents de l'association, puis congelés) ont été marqués très discrètement (marqueur sur une patte) puis disposés aléatoirement, mais sur les différents couverts végétaux présents lors des tests. Leur position a été reportée sur un plan afin de les retrouver aisément.

Les six éoliennes ont ainsi pu être suivies.

À chaque passage suivant, la position et la présence des cadavres ont été contrôlées. L'état d'avancement de leur décomposition a été noté, ainsi que la date de leur disparition.

Ces données permettent de déterminer le **taux de persistance (P)** à x jours (x étant le nombre de jours séparant deux visites), et la **durée moyenne de persistance (t)** des cadavres.



Mise en place d'un cadavre test

II.3 Estimation de la mortalité

Il existe différentes méthodes d'estimation de la mortalité avifaunistique et chiroptérologique engendrée par un parc éolien. Dans cette étude, 4 formules ont été appliquées pour comparaison. En effet, les estimations de la mortalité réelle peuvent varier sensiblement en fonction de la formule utilisée (MARX et al, LPO France, 2017). Il est notamment acquis que :

- la formule de Winkelmann (1989) ; jugée parfois un peu simpliste, elle aurait tendance à surestimer la mortalité réelle, surtout lorsque la durée de persistance des cadavres est faible ;
- celle d'Erickson (2000) a tendance à sous-estimer la mortalité réelle, en particulier lorsque la durée de persistance des cadavres est importante ;
- celles de Jones (2009) et Huso (2010), plus récentes, présentent une fiabilité plus importante et proposent des résultats intermédiaires et proches.

Toutes ces formules permettent de calculer le nombre estimé de cadavres, noté N.

II.3.a Winkelmann, 1989

La formule de WINKELMANN est une méthode d'estimation simple et la plus couramment utilisée. Toutefois, cette formule n'est pas applicable quand tous les cadavres du test prédation ont disparu au passage suivant, car P équivaut dans ce cas à 0. En outre de sa tendance à surestimer la mortalité réelle, cette formule est considérée comme obsolète par la SEFPM (SEFPM, 2016) et EUROBATS ; elle sera toutefois calculée ici à des fins de comparaison avec des études antérieures.

Le coefficient de correction surfacique A lui a été ajouté afin d'obtenir la formule suivante :

$$N = [C / (P \times D)] \times A$$

Avec :

C : Nombre de cadavres découverts

P : Taux de persistance d'un cadavre

D : Taux de détection

II.3.b Erikson, 2000

La formule d'ERICKSON (2000) fonctionne même lorsque P vaut 0. Pour cela, elle intègre la durée de persistance moyenne des cadavres et la fréquence de passage. Cette formule aurait tendance à sous-estimer la mortalité réelle, en particulier lorsque la durée de persistance des cadavres est importante.

Elle est ainsi calculée :

$$N = [(C \times i) / (t \times D)] \times A$$

Avec :

C : Nombre de cadavres découverts

i : Fréquence de passage = nombre de jours entre chaque passage

t : Durée moyenne de persistance des cadavres

D : Taux de détection

A : Coefficient de correction surfacique

II.3.c Jones, 2009

La formule proposée par JONES et *al.* (2009) est plus complexe. Elle repose sur le fait que le taux de mortalité est constant sur l'intervalle considéré, et que la persistance des cadavres suit une variable exponentielle négative. De plus, elle part du postulat que la probabilité de disparition moyenne sur l'intervalle correspond à la probabilité de disparition d'un cadavre tombé à la moitié de l'intervalle.

Apparaît également dans cette formule la notion d'*intervalle effectif* noté $\hat{i}$, correspondant à la durée au-delà de laquelle le taux de persistance est inférieur à 1% : un cadavre découvert au bout d'un i très long est considéré mort dans cet intervalle effectif.

La formule est la suivante :

$$N = [C / (D \times P \times \hat{e})] \times A$$

Avec :

C : Nombre de cadavres découverts

D : Taux de détection

P : Taux de persistance d'un cadavre = proportion de cadavres restants après x jours. Dans le cadre de cette méthode d'estimation, P est calculé de la façon suivante : $P = \exp(-0,5 \times i/t)$, avec toujours la fréquence de passage i = nombre de jours entre chaque passage et t la durée moyenne de persistance des cadavres

$\hat{e}$: Coefficient correcteur de l'intervalle = $\text{Min}(i : \hat{i}) / i$, avec i la fréquence de passage et l'intervalle effectif $\hat{i} = -\log(0,01) \times t$

A : Coefficient de correction surfacique

À noter : dans l'équation, i prendra la valeur minimale entre i et $\hat{i}$.

II.3.d Huso, 2010

HUSO (2010) considère également que le taux de mortalité est constant sur l'intervalle de temps considéré. Par contre, cette fois, la probabilité de disparition au point moyen de l'intervalle n'est plus égale à la probabilité moyenne de persistance d'un cadavre (P plus élevé).

Par conséquent, la formule est la même que pour Jones, mais la valeur de P est différente :

$$N = [C / (D \times P \times \hat{e})] \times A$$

Avec :

N : Nombre estimé de cadavres

C : Nombre de cadavres découverts

D : Taux de détection

P : Taux de persistance d'un cadavre = proportion de cadavres restants après x jours. Dans le cadre de cette méthode d'estimation, P est calculé de la façon suivante : $P = [t \times (1 - \exp(-i/t))] / i$

$\hat{e}$: Coefficient correcteur de l'intervalle = $\text{Min}(i : \hat{i}) / i$, avec i la fréquence de passage et l'intervalle effectif $\hat{i} = -\log(0,01) \times t$

A : Coefficient de correction surfacique

À noter : dans cette équation également, i prendra la valeur minimale entre i et $\hat{i}$.

II.4 Limites

Les différents calculs de mortalité intègrent des coefficients correcteurs visant à limiter les biais de la méthode. Il en reste néanmoins, qu'il est possible d'énumérer et d'illustrer ici :

- Passages d'engins agricoles : enfouissement potentiel des cadavres, création d'ornières remplies d'eau...
- Couvert difficilement prospectable (tous les types de recouvrements ne peuvent être testés) : couvert élevé...
- Conditions d'observation difficiles : ensoleillement fort ou au contraire ombre portée, développement végétal important sur les plateformes...

On notera que la bonne communication avec le Centre de Conduite d'ENGIE a permis cette année d'éviter des problèmes de prospection limitée liés au stationnement des véhicules et du matériel de maintenance. Les principaux facteurs limitants cette année ont donc été les couverts non praticables, et les travaux agricoles sur les parcelles où les éoliennes sont implantées. À noter également l'entretien trop peu fréquent des aires gravillonnées.

Les quelques photos qui suivent illustrent certains couverts végétaux qui ont limité les prospections sur l'aire totale, sur différentes périodes de suivi:



Couvert sous E5 au 4 avril 2022



Couvert sous E4 au 26/04/2022



Couvert sous E5 au 13 juin 2022 + aire gravillonnée enherbée

Les calculs de mortalité, sur ces bases, restent bien des estimations. L'application de formules validées au niveau international permettra néanmoins une comparaison inter-parcs, et le suivi dans le temps des résultats sur le parc de Vouillon rendra compte des évolutions au fil des années.

III Résultats

III.1 Espèces et effectifs découverts

Au cours de ce suivi 2022 en 32 passages, 2 espèces d'oiseaux ont été retrouvées sous les éoliennes, et aucune chauve-souris n'a été retrouvée cette année sur le parc. Cela nous amène à un total de **2 cadavres**, dénombré à 100% parmi l'avifaune. Le détail est présenté dans le tableau ci-dessous, faisant apparaître les statuts de conservation des espèces, à différentes échelles.

Espèces	Nombre de cadavres	DH/DO1	LRE	LRF	LRR	PN
Oiseaux	2					
Martinet noir	1	Non	LC	DD	LC	Oui
Rougegorge familier	1	Non	LC	LC	LC	Oui

Espèces, effectifs et statuts. DH/DO1 : Directive Habitats/Oiseaux ; LRE : Liste rouge européenne ; LRF : Liste rouge française ; PN : Protection nationale ; LRR : Liste rouge régionale (DD Données insuffisantes/ LC Préoccupation mineure)

Ces 2 espèces d'oiseaux sont protégées au niveau national, mais aucun d'entre eux ne fait partie de la directive Oiseaux. Leurs statuts de conservation sont plutôt favorables (préoccupation mineure)

À partir de ces résultats bruts, on peut en déduire une mortalité de 2/32 soit 0,063 cadavres par visite ; comme les 6 éoliennes étaient contrôlées à chaque fois, on aboutit à une valeur estimative de 0,010 cadavre par éolienne et par jour suivi. Si l'on considère la durée totale du suivi (244 jours), l'on obtient la moyenne de terrain estimée de **0,008 cadavre par jour pour l'ensemble du parc**. Le lot de données analysé par la suite, avec prise en compte des estimateurs, nous amène à des résultats quelque peu différents.

Ci-après les aperçus des deux cadavres découverts cette année sur le parc :



Martinet noir retrouvé le 13/06/2022 sous E5



Rougegorge familier retrouvé le 03/10/2022 sous E6

III.2 Taux de détection des cadavres

Le test d'efficacité de l'observateur a été réalisé à deux reprises, les 04/07/2022 et 17/10/2022.

Les zones de tests ainsi que la méthode de recherche ont été adaptées à l'évolution de la végétation entre ces deux passages, comme cela a été fait pour la recherche de cadavres. Ainsi pour le premier test, les cadavres ont tous été placés sur les aires gravillonnées puisque les parcelles étaient encore en culture, et pour le second test certains cadavres ont pu être placés dans les parcelles, alors partiellement récoltées. Nous ne disposons pas d'assez de chauves-souris pour procéder aux tests, ainsi les cadavres utilisés furent intégralement des oiseaux.

Les données et résultats de ces deux tests sont les suivants :

DONNÉES DES TESTS			
	Date	Éolienne suivie	Tests
TEST 1 (aires gravillonnées)	04/07/2022	éolienne 1	10 cadavres tests
		éolienne 2	
		éolienne 5	
TEST 2 (surface optimale)	17/10/2022	éolienne 3	10 cadavres tests
		éolienne 4	
		éolienne 6	

RÉSULTATS					
	Éolienne suivie	Tests	Résultats bruts : cadavres trouvés	Taux de détection	Taux de détection moyen D
TEST 1 (aires gravillonnées)	E1	10 oiseaux	10 oiseaux	100%	90%
	E2	10 oiseaux	8 oiseaux	80%	
	E5	10 oiseaux	9 oiseaux	90%	
TEST 2 (surface optimale)	E3	10 oiseaux	5 oiseaux	50%	50%
	E4	10 oiseaux	6 oiseaux	60%	
	E6	10 oiseaux	4 oiseaux	40%	

Un taux de détection global peut être calculé : il est de 70% sur les deux tests réalisés.

On notera que le nombre de cadavres à disposition d'Indre Nature a été très limité cette année (en raison de la diminution des effectifs retrouvés depuis la première année de suivi). Aussi le nombre de cadavres disposés sous les éoliennes pour effectuer les tests observateur a été inférieur, afin d'en avoir tout au long de la période de suivi.

III.3 Persistance des cadavres

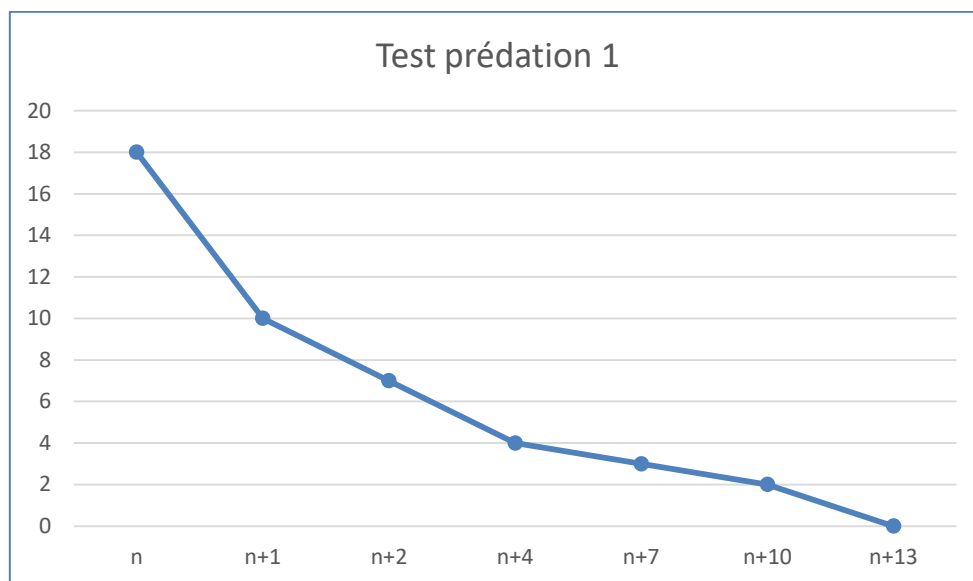
Le test de prédation des cadavres a été mis en place à trois reprises, en juillet, septembre et octobre 2022.

Là aussi, les zones de tests ainsi que la méthode de recherche ont été adaptées à l'évolution de la végétation entre ces deux passages. Pour ce test, cela permettra de prendre en compte au mieux les différents paramètres environnementaux dans les calculs de mortalité. Indre Nature n'ayant plus de cadavres de chiroptères disponibles, les cadavres utilisés ont été intégralement des oiseaux cette année.

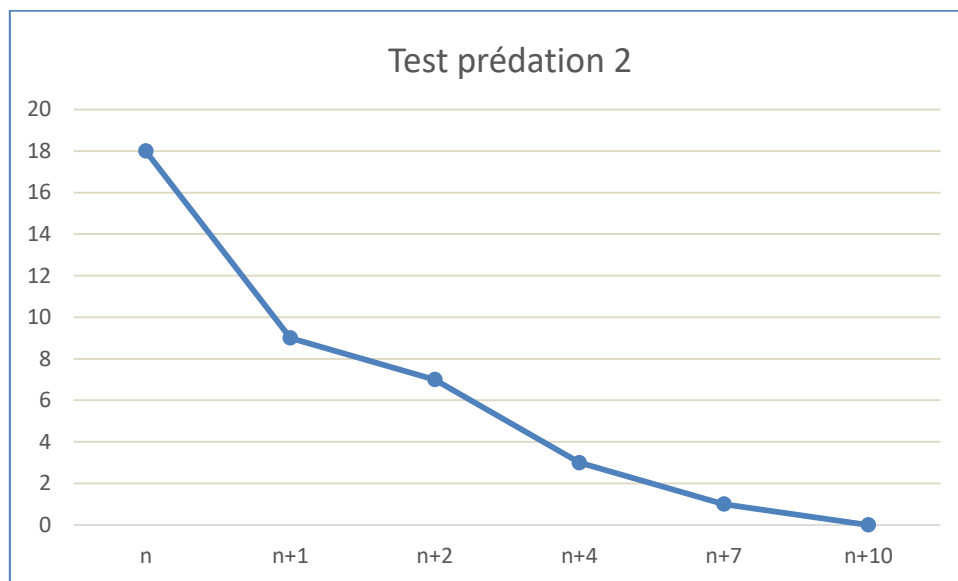
Les données et résultats de ces tests prédation sont les suivants :

Données des tests			
	Date	Eolienne suivie	Cadavres déposés
TEST 1 (Aires gravillonnées)	04/07/2022	E1	3 oiseaux
		E2	3 oiseaux
		E3	3 oiseaux
		E4	3 oiseaux
		E5	3 oiseaux
		E6	3 oiseaux
TEST 2 (Surface totale)	01/09/2022	E1	3 oiseaux
		E2	3 oiseaux
		E3	3 oiseaux
		E4	3 oiseaux
		E5	3 oiseaux
		E6	3 oiseaux
TEST 3 (Surface totale)	17/10/2022	E1	3 oiseaux
		E2	3 oiseaux
		E3	3 oiseaux
		E4	3 oiseaux
		E5	3 oiseaux
		E6	3 oiseaux

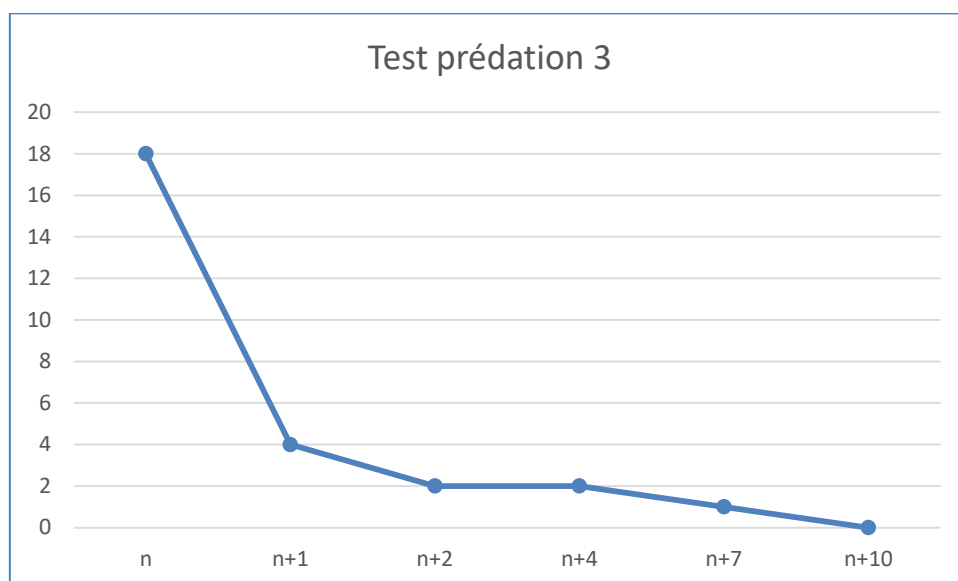
La persistance des cadavres testée au travers des trois tests peut être représentée sur les graphiques ci-dessous :



Vitesse de disparition des cadavres – Test prédation 1 (juillet 2022)



Vitesse de disparition des cadavres – Test prédation 2 (septembre 2022)



Vitesse de disparition des cadavres – Test prédation 3 (octobre 2022)

➤ La **durée moyenne de persistance (t)** des cadavres a été calculée. Elle correspond au nombre de jours moyen pendant lequel ils restent au pied des éoliennes.

Elle a été calculée pour chaque test selon la formule suivante (Beucher et al., 2013) :

$$t = (\text{nb cadavres à } j+1 + (\text{nb cadavres à } j+2 \times 2) + (\text{nb cadavres à } j+4 \times 4)) / \text{nb cadavres à } j_0$$

La valeur moyenne est présentée ci-dessous, pour chaque test.

Résultats : durée moyenne de persistance t			
	Test 1	Test 2	Test 3
Oiseaux	2,22	1,94	0,89

➤ Le **taux de persistance (P)** correspond à la proportion de cadavres restant au pied des éoliennes entre deux relevés de terrain, soit :

- 7 jours en début de suivi,
- 2 ou 4 jours ensuite.

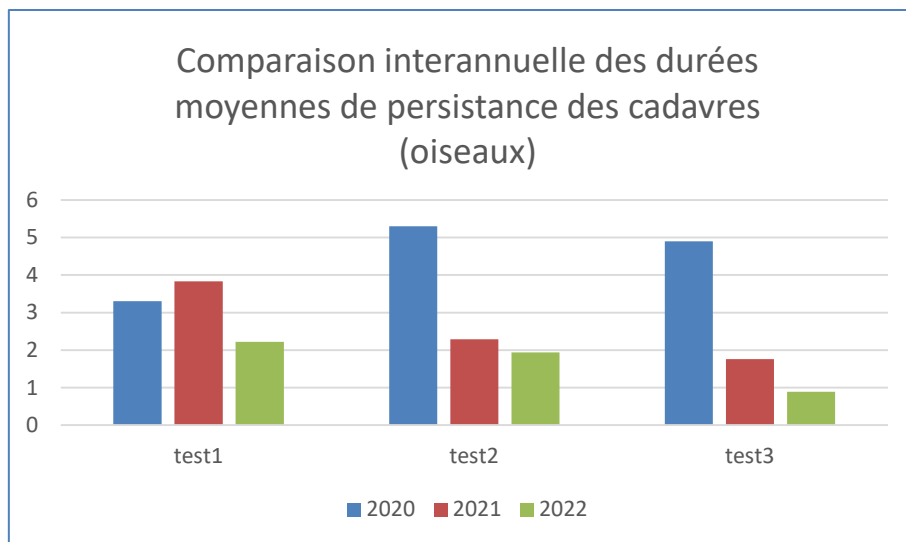
RÉSULTATS - Taux de persistance P					
	Test 1 (7 jours)	Test 2 2 jours	Test 2 4 jours	Test 3 2 jours	Test 3 4 jours
Oiseaux	0,17	0,39	0,17	0,11	0,11

Ces tests montrent cette année une prédation nettement plus importante en automne. Comme l'indique le graphique, pour le test 3 en octobre, les $\frac{3}{4}$ des cadavres disposés sous les éoliennes ont disparu en seulement une journée, 2 à trois fois plus rapidement que lors des deux précédents tests.

Par rapport à 2021 :

- la prédation semblait alors plus importante en été qu'au printemps ou à l'automne ;
- la durée moyenne de persistance est nettement inférieure cette année, en particulier pour le premier et le dernier test (2,22 et 0,89 jours cette année pour 3,83 et 1,76 en 2021) ;
- les taux de persistance à 4 jours sont équivalents (0,17/0,18 et 0,11/0,10), mais celui à 2 jour en automne est nettement inférieur cette année (0,11 pour 0,33 en 2021).

Ces tests témoignent d'une prédation encore plus importante en 2022 sur l'ensemble du parc éolien.



III.4 Estimation de la mortalité

Les passages de terrain ont été regroupés par période, afin de prendre en compte l'évolution de chaque composante des calculs (surface échantillonnée lors de chaque visite, fréquence de passage, taux de détection, de prédation).

La mortalité estimée a ainsi pu être calculée au plus juste pour chaque période, et cela avec les 4 formules présentées au chapitre II.4.

Une estimation de la mortalité est enfin proposée sur la durée totale du suivi, à partir :

- du cumul de chaque période ;
- des valeurs moyennées, à des fins de comparaison.

Les paramètres des calculs sont rappelés ci-dessous :

Définition	Symbole
Nombre de cadavres découverts	C
Coefficient de correction surfacique	A
Taux de détection	D
Fréquence de passage = nombre de jours entre chaque passage	i
Taux de persistance d'un cadavre	P
Durée moyenne de persistance des cadavres	t

A noter que la valeur du i du dernier passage - celui-ci ayant été effectué en complémentarité du suivi un mois après le dernier passage « officiel » - n'a pas été prise en compte pour le calcul du i moyen.

Date du suivi	Surface échantillonnée	C		A	D	i	i moyen	P	t	Mortalité estimée							
										Winkelmann	Erickson	Jones	Huso				
01/04/2022	44045,69		0	1,45	0,7	-	6,87	0,17	2,22	0	0	0	0				
04/04/2022	44045,69					3											
11/04/2022	44045,69					7											
19/04/2022	44045,69					7											
26/04/2022	44045,69					7											
02/05/2022	44045,69					7											
10/05/2022	44045,69					8											
17/05/2022	44045,69					7											
23/05/2022	44045,69					6											
30/05/2022	44045,69					7											
07/06/2022	20583,23		1	1,74		8				0,17	2,22	14,62	7,7	10,4	8,9		
13/06/2022	20583,23	1				6											
20/06/2022	9308		0	1,88		7						0	0	0	0		
27/06/2022	9308					7											
04/07/2022	9308					7											
12/07/2022	56176,92		0	1,29		8						0,17	2,22	0	0	0	0
18/07/2022	56176,92					6											
25/07/2022	56176,92					7											
01/08/2022	56176,92					7											
10/08/2022	56176,92					9											
17/08/2022	56176,92					7											
22/08/2022	56176,92					5											
01/09/2022	79639,37		1	1		10		0,05	1,94					28,57	5,06	6,88	5,85
07/09/2022	79639,37					6											
12/09/2022	79639,37					5											
19/09/2022	79639,37					7											

Date du suivi	Surface échantillonnée	C		A	D	i	i moyen	P	t	Mortalité estimée			
										Winkelmann	Erickson	Jones	Huso
26/09/2022	79639,37					7							
03/10/2022	79639,37	1				7							
10/10/2022	79639,37					7							
17/10/2022	79639,37					7							
24/10/2022	79639,37		0	1		7		0,05	0,89	0	0	0	0
24/11/2022	79639,37					-							
	Soit sur l'année									43,19	12,76	17,28	14,75
	Paramètres moyens									Mortalité calculée globale			
	53099,36	2	1,39	0,7	6,87	0,09	1,68	44,23	16,25	22,08	18,79		

Si l'on considère la mortalité calculée sur la période totale du suivi, on constate des différences entre les 4 formules :

- un **facteur de 6.4 à 21.6 par rapport à ce qui a été observé sur le terrain (entre 12 et 43 cas estimés pour 2 cas constatés)**, si l'on considère les variations périodiques des paramètres ; il est à noter toutefois que l'absence de mortalité sur une période ne permet pas d'obtenir de valeur estimative avec les formules considérées.
- Un **facteur de 8.1 à 22.1 par rapport à ce qui a été observé sur le terrain (entre 16 et 44 cas estimés pour 2 cas constatés)** si l'on considère les valeurs moyennes des paramètres.
- On peut supposer que ces **grands écarts** entre les valeurs **constatées et estimées** viennent du fait que **la durée moyenne de persistance des cadavres « t » et la fréquence de passage « i » sont des paramètres largement inférieurs cette année** par rapport aux suivis précédents. Cela

semble logique : si les cadavres disparaissent plus rapidement et que l'observateur effectue moins de passages, ce dernier a donc moins de chance de trouver des cadavres.

Sur une année complète, la mortalité estimée est comprise **entre 33 et 38 cas**, soit **11 à 12,7 fois plus** que notre mortalité constatée ramenée à une année.

	Mortalité constatée		Winkelmann	Erickson	Jones	Huso	Moyenne calculée
Mortalité globale en 8 mois	2	Valeurs périodiques	43,19	12,76	17,28	14,75	22
		Valeurs moyennes	44,23	16,25	22,08	18,79	25,34
Mortalité par éolienne en 8 mois*	0,33	Valeurs périodiques	7,2	2,13	2,88	2,46	3,67
		Valeurs moyennes	7,37	2,7	3,68	3,13	4,22
Mortalité par éolienne et par mois*	0,041	Valeurs périodiques	0,9	0,27	0,36	0,31	0,46
		Valeurs moyennes	0,92	0,34	0,46	0,39	0,53
Mortalité par éolienne sur l'année*	0,495	Valeurs périodiques	10,8	3,24	4,32	3,72	5,52
		Valeurs moyennes	11,04	4,08	5,52	4,68	6,33
Mortalité globale sur l'année*	3	Valeurs périodiques	64,8	19,44	25,92	22,32	33,12
		Valeurs moyennes	66,24	24,48	33,12	28,08	37,98

*les résultats ont été calculés pour ces lignes simplement en divisant/multipliant la « mortalité globale en 8 mois » par le nombre d'éoliennes/de mois. Ils ne tiennent donc pas compte des variations d'activité, géographiques ou temporelles.

Aucun suivi hivernal n'a été effectué cette année sur le parc, on ne peut donc pas comparer la mortalité constatée annuelle avec celle de l'année dernière. Il reste cependant possible et pertinent de comparer les mortalités constatées pendant la période officielle de suivi, d'avril à novembre. Ces chiffres sont regroupés dans le tableau suivant.

	Mortalité constatée		
	Mortalité globale sur 8 mois	Mortalité par éolienne sur 8 mois	Mortalité par éolienne et par mois
	2021		
Oiseaux	6	1	0,125
Chiroptères	3	0,5	0,063
Total	9	1,5	0,19
	2022		
Oiseaux	2	0,33	0,042
Chiroptères	0	0	0
Total	2	0,33	0,042

→ Avec la même période qu'en 2021, la mortalité rencontrée sur le parc de Vouillon est encore inférieure cette année (près de 4,5 fois moins de cadavres retrouvés).

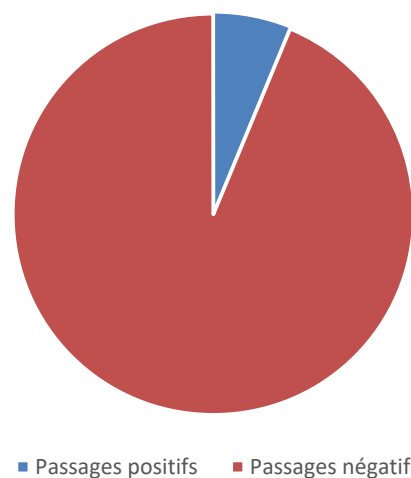
IV Analyses

IV.1 Aperçu global

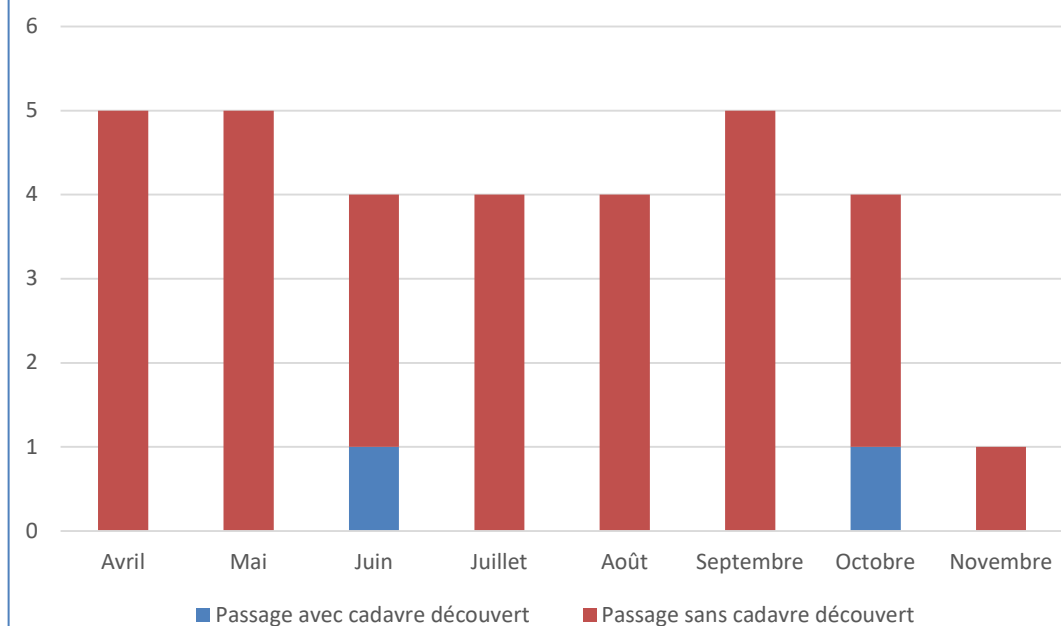
Sur les 32 relevés mis en œuvre entre avril et fin novembre 2022, 2 (6,25%) ont permis de relever au moins un cadavre.

Le graphique présente ci-dessous la proportion de ces passages 'positifs' durant les mois de mise en œuvre du protocole de recherche.

% de passages positifs sur les 32 relevés



Ratio de passages positifs/négatifs mensuels



Au cours de ce suivi, nous avons constaté **2 relevés de 1 cadavre**, l'un en juin et l'autre en octobre.

IV.2 Phénologie de la mortalité

IV.2.a Mortalité relevée

Le graphe présenté ci-dessous fait apparaître les résultats de chaque journée suivie entre le 01/04/2022 et le 24/11/2022.

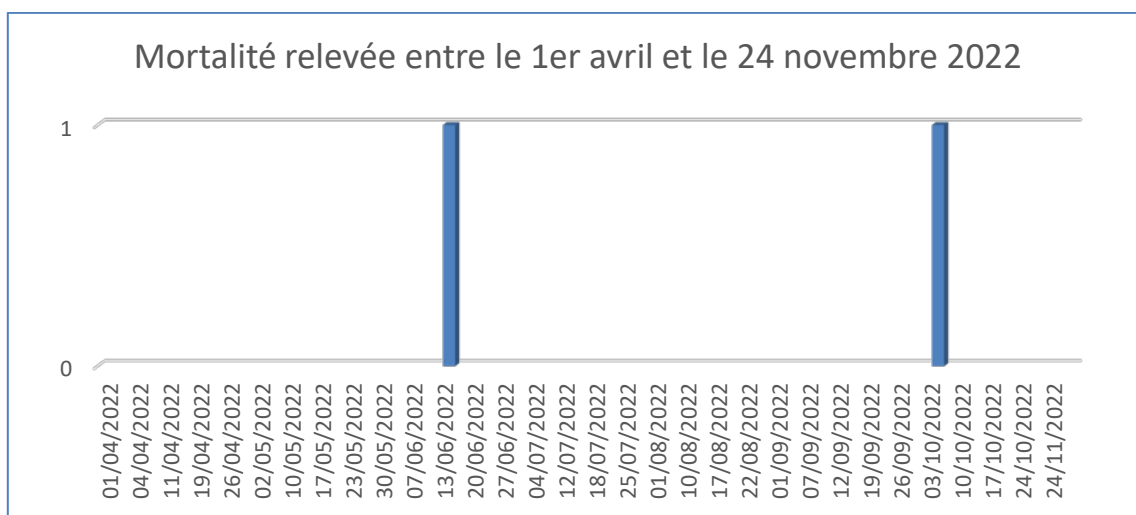
Le premier cadavre d'oiseau, un martinet noir adulte, a été retrouvé le 13 juin, pendant sa période de nidification.

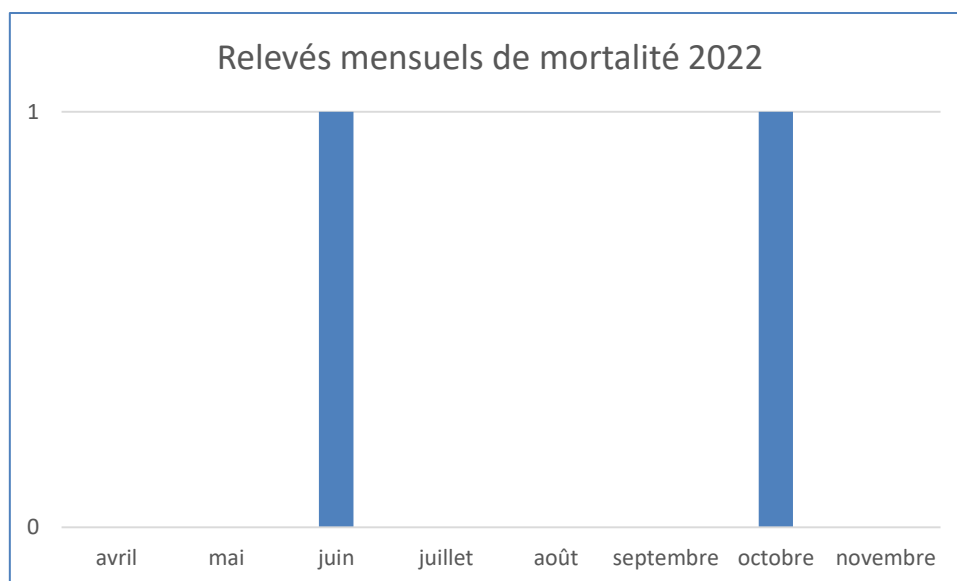
Le second cadavre, un rougegorge familial, a été retrouvé sous l'éolienne n°6 le 03 octobre 2022, ce qui correspond à la période de migration automnale vers ses quartiers d'hiver.

Cette année pour les oiseaux, c'est donc le printemps et l'automne qui ont été les périodes les plus mortifères.

Pour rappel, en 2021, 4 cadavres avaient été retrouvés en période printanière, et 4 cadavres en période automnale (oiseaux & chauve-souris), pour près de 90% des cas retrouvés d'avril à novembre (8/9). Les périodes les plus sensibles pour l'avifaune semblent donc être les mêmes, avec des effectifs moindres cette année.

Ces résultats mensuels sont présentés en page 35.





IV.2.b Mortalité estimée

Afin de proposer des hypothèses d'explication de la mortalité observée, il a été nécessaire d'estimer la date approximative de la mort des individus retrouvés. Pour cela, on peut s'aider de quelques indices visuels :

- L'état du cadavre (raideur cadavérique, état de décomposition, dégradation par des insectes...) – comparaisons possibles avec les cadavres déposés pour les tests ;
- La présence d'insectes nécrophages : si des pupes de diptères sont visibles, la mort est estimée à 8h-20h (soit la nuit précédant la découverte) ; si des asticots sont actifs, la mort est antérieure (2 à 3 nuits avant le jour de la découverte) ; la colonisation par des coléoptères dégradant petit à petit les tissus intervient les jours suivant la mort.

Ces informations visuelles peuvent être contrebalancées par les durées de persistance observées durant la période considérée.

L'estimation de la date de la mort, bien qu'à considérer avec précaution, pour chaque cadavre trouvé sur le terrain, a été reportée sur le graphique ci-après.

- le martinet noir a été retrouvé le 13 juin au matin, avec une fracture au dos et aucun parasite présent. Le bon état de ce cadavre laisse donc penser qu'il a subi une collision la veille au soir, le 12/06/2022.

- le rougegorge familier retrouvé le 03 octobre avec une plaie au cou ne présentait lui aussi aucune larve ou insecte nécrophage lors de sa découverte. Il a donc dû subir une collision dans la nuit du 02 au 03 octobre 2022.



IV.3 Espèces impactées

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Oiseaux								
Martinet noir			1					
Rougegorge familier							1	

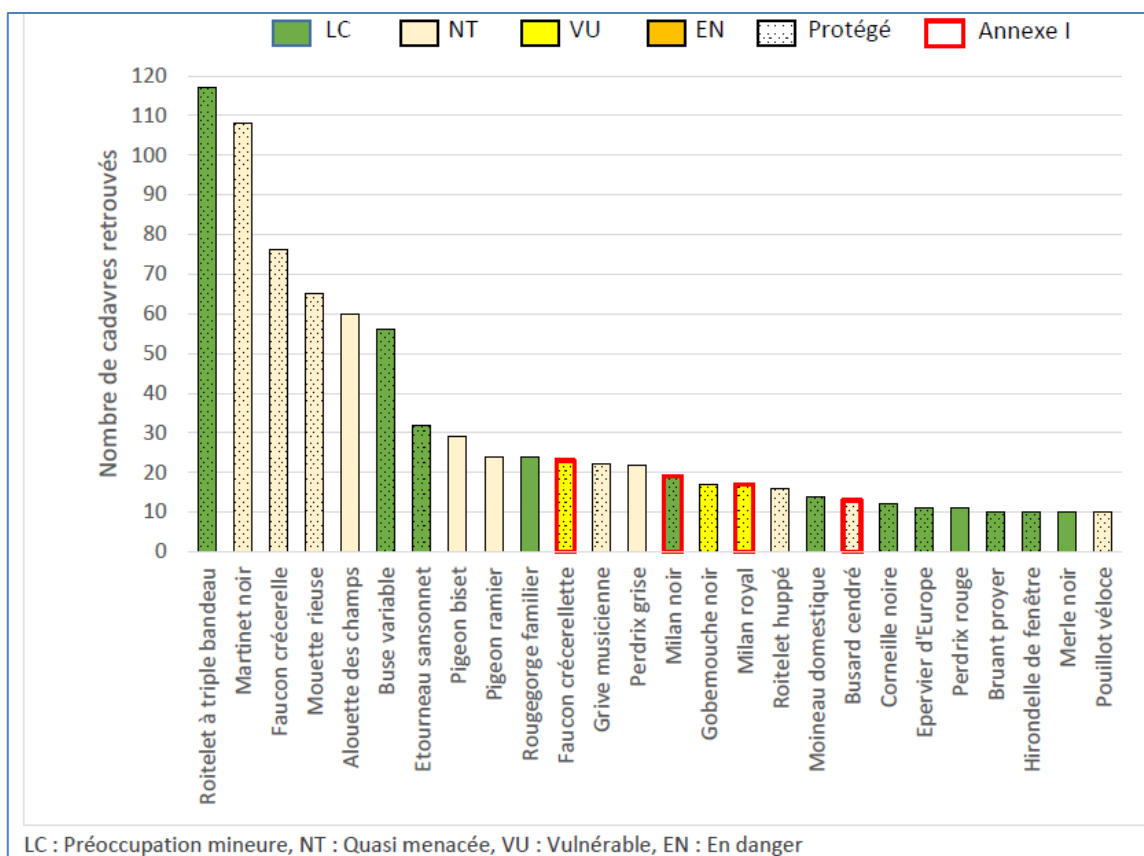
Espèces impactées et mois de mortalité

IV.3.a Oiseaux

Cette année, seulement 2 espèces d'oiseaux ont été impactées contre 6 l'année dernière. Les deux espèces retrouvées figurent parmi les 10 espèces d'oiseaux les plus touchées par les éoliennes, d'après le graphique des principales espèces retrouvées mortes sous les aérogénérateurs (*Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune - Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015 – tableau récapitulatif ci-après*) (LPO, 2017). Le martinet noir est en 2^{ème} position et le rougegorge à la 10^{ème} place de ce classement.

Le martinet noir retrouvé le 13 juin est une espèce de **migrateur strict** : il arrive en avril pour se reproduire sous nos latitudes, et repart en août/septembre dans ses quartiers d'hiver, en Afrique méridionale. Cependant, la migration printanière a lieu pour cette espèce jusque fin mai au plus tard. Puisque cette espèce niche principalement dans le bâti, l'individu touché par les éoliennes le 13 juin devait donc se trouver sur son territoire de chasse.

Le rougegorge familier touché le 03 octobre est lui une espèce de **migrateur partiel** : certains individus de la population vont migrer, et d'autres non. En l'occurrence, pour cette espèce, ce sont principalement les oiseaux du nord de l'Europe (Scandinavie, Hollande), qui migrent vers nos contrées à l'approche de l'hiver. Le cadavre ayant été retrouvé le 13 octobre au petit matin, il est fort probable que cet individu ait été touché dans la nuit du 12 au 13, en migration active vers ses quartiers d'hiver.



Principales espèces retrouvées sous les éoliennes, statuts de protection et de conservation (LPO, 2017)

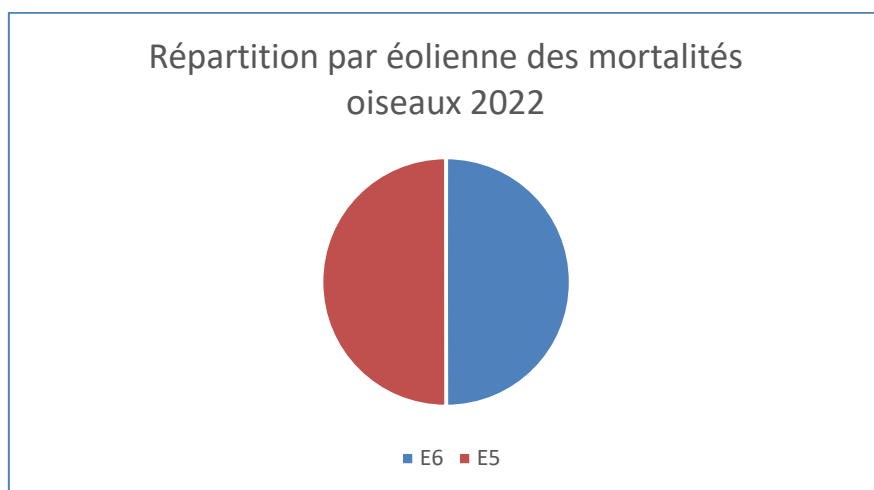
IV.3.b Chiroptères

Aucune chauve-souris n'a été retrouvée cette année sous les éoliennes du parc de Vouillon. Les efforts de bridage couplés aux capteurs infrarouges d'activité de chiroptères en nacelle ont sans doute permis cette baisse de la mortalité pour ce groupe.

IV.4 Répartition de la mortalité par éolienne

IV.4.a Oiseaux (n = 2)

Il est difficile de mettre en avant l'implication plus marquée d'une éolienne dans la mortalité des oiseaux sur la seule base de deux cadavres découverts. Comme l'année dernière, **E6** figure parmi les éoliennes les plus mortifères pour les oiseaux, avec **E5**. Pour rappel, l'année dernière, **E6 et E4** regroupaient **2/3** des mortalités oiseaux (4/6), tandis que **E5** cumulait la totalité des mortalités constatées chez les chauves-souris (3).

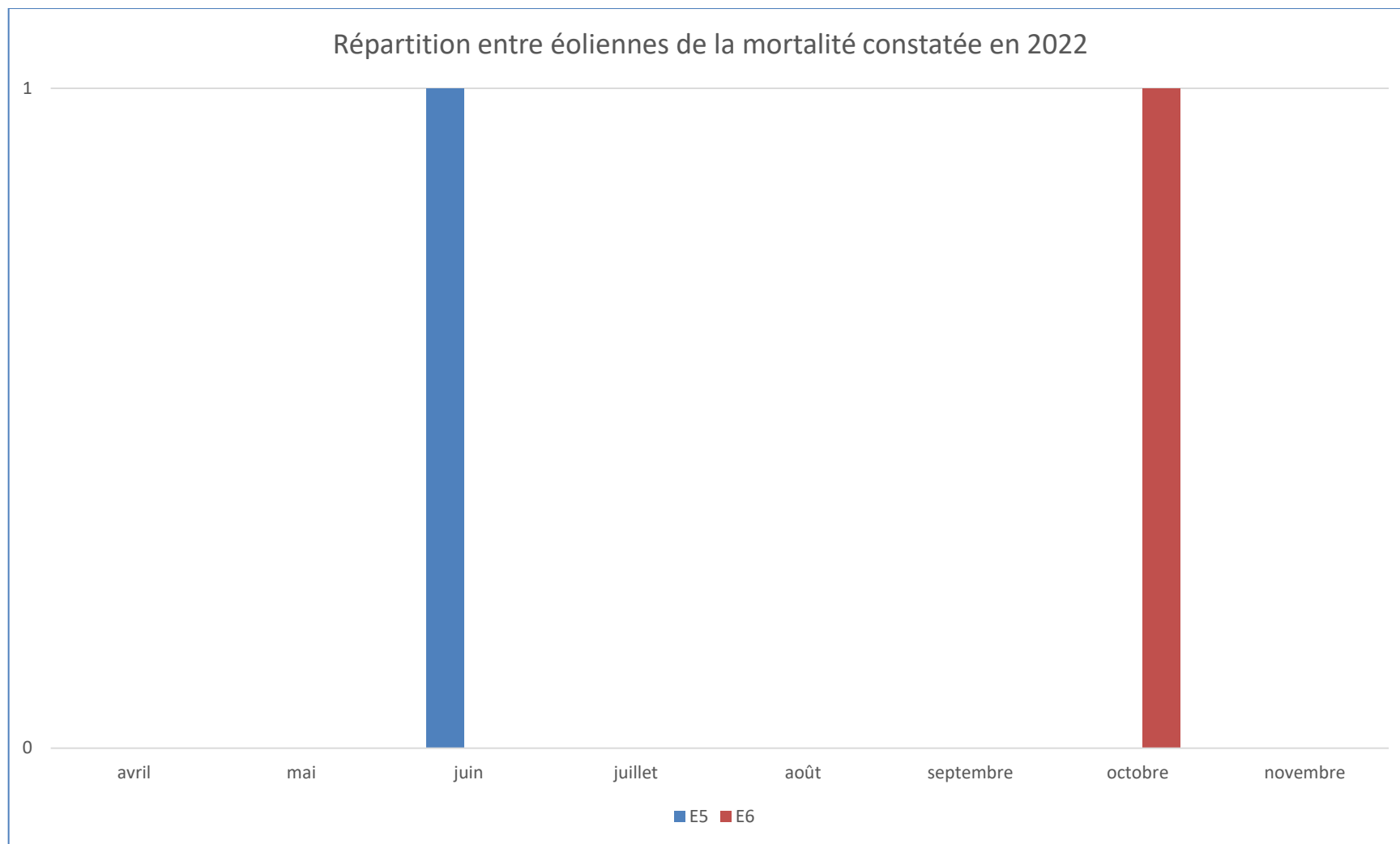


IV.4.b Mortalité cumulée (n = 9)

Cette année **E5 et E6** sont les 2 éoliennes concernées par la plus importante mortalité avec 100% des individus retrouvés (un cadavre par éolienne).

Le graphique ci-après expose la phénologie des cas de mortalité et leur répartition par éolienne. Il peut permettre de détecter une éventuelle concentration de mortalités sous certaines éoliennes à certaines périodes.

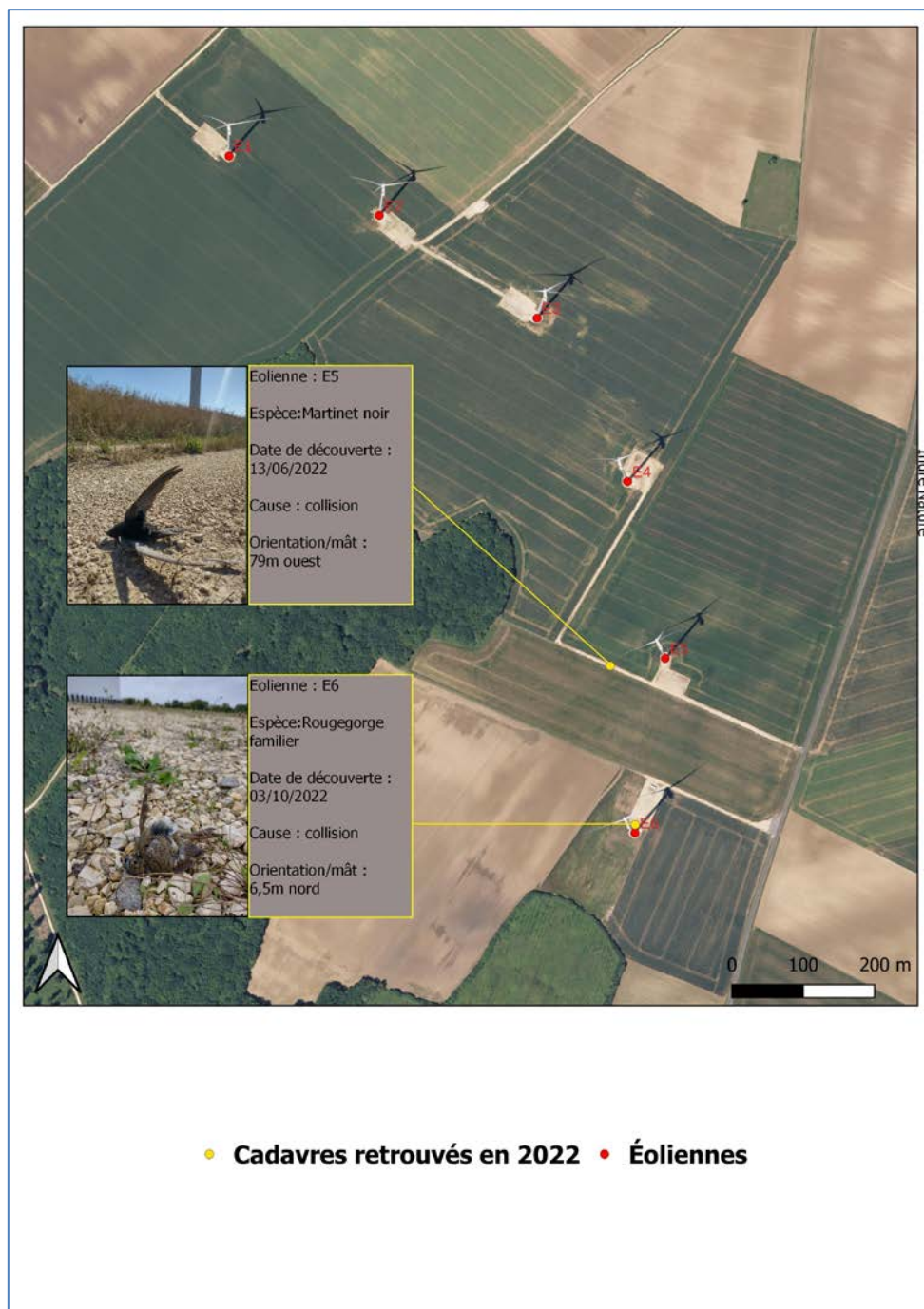
On peut voir que cette année, **E5** a été impliquée en période **printanière** (contrairement à l'année dernière où l'automne et l'hiver semblaient prédominer pour cette éolienne). **E6** a cette année une implication plus marquée en **automne**, en partie comme l'année dernière puisqu'une hirondelle avait été retrouvée le 13 septembre 2021 sous cette éolienne, également en période de migration pour cette espèce.



IV.5 Dispersion des cadavres

IV.5.a Orientation

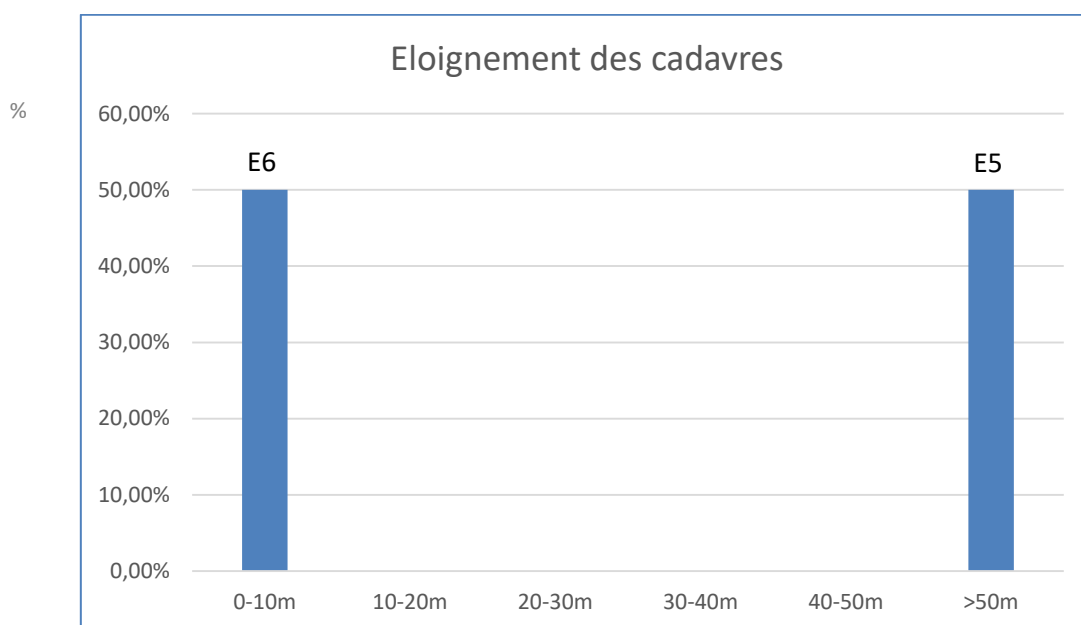
Les deux cadavres retrouvés cette année sur le site se situaient à **l'ouest et au nord** des mâts. L'année dernière, ce sont **l'ouest, l'est et le nord-est** qui présentaient le plus de cadavres.



IV.5.b Éloignement

Avec moins de cadavres cette année, l'exploitation de l'analyse des distances des cadavres par rapport aux mâts est rendue plus difficile. Pour rappel, la distance moyenne d'éloignement des cadavres en 2021 était de 36 m pour les chiroptères, et de 13,7 m pour les oiseaux. Pour les deux données de cette année, elle atteint une valeur de 42,75m.

La répartition selon des classes de 10 mètres et par éolienne nous donne la représentation plus précise suivante :



➤ Parmi les 2 cadavres d'oiseaux retrouvés cette année :

- le martinet noir a été retrouvé à une distance de 79m d'E5, ce qui représente la distance maximale à laquelle un cadavre ait été retrouvé sur le parc éolien de Vouillon.

- le rougegorge familier a été retrouvé à 6,5m d'E6.

➤ Il est difficile de tirer une quelconque conclusion de ces éloignements avec seulement 1 cadavre par éolienne sur 2 d'entre elles. On notera cependant que pour **E5**, les cadavres semblent se trouver **loin du mât**, comme l'année dernière où 2 des 3 chauves-souris avaient été retrouvées à plus de 40m de l'éolienne.

IV.6 Causes constatées de la mortalité

Au cours des 8 mois de ce suivi 2022, 2 cadavres ont été découverts en 32 passages, et uniquement des cadavres d'oiseaux.

Les causes de mortalité observées lors des relevés sont les suivantes :

Causes	Barotraumatisme	Collision	Indéterminé	Total
Oiseaux	0	2	0	2
Total	0	2	0	2

Comme l'année dernière, c'est la collision qui semble être la cause principale des mortalités d'oiseaux en 2022. Le martinet noir a été retrouvé avec une fracture au dos, et le rougegorge familier avec une blessure ouverte au cou, certainement la conséquence d'un choc. La totalité des cadavres retrouvés cette année sont donc victimes d'une collision.

IV.7 Influence de la météorologie

Une tentative d'explication de la mortalité peut être apportée en analysant les conditions météorologiques locales, et notamment les données de vents et de températures.

Des données météo nous ont ici été fournies par ENGIE Green, enregistrées à partir d'un mât de mesures situé à proximité immédiate du parc éolien. Les données, enregistrées à plusieurs altitudes toutes les secondes puis moyennées aux 10 minutes précédant l'occurrence, concernent la vitesse et la direction du vent, la température et la pression atmosphérique ainsi que la visibilité. Nous avons ici utilisé les données enregistrées à 80 m.

Ces données ont été complétées par des historiques disponibles en ligne (infoclimat.fr), proposant des moyennes par localité.

Rappelons ici que la date des mortalités étant estimée, il pourra parfois être difficile de tenter des déductions à partir des conditions météorologiques précises.

Cette année encore, il est difficile de lier la direction dominante du vent à la zone de dispersion préférentielle des cadavres retrouvés.

Les enregistrements mensuels montrent que les vents dans le secteur proviennent globalement majoritairement du **Nord / Nord-Est au printemps et en été**, et plutôt du **Sud-Ouest en automne**, de septembre à novembre 2022.

À partir des données enregistrées au niveau du mât de mesures, nous avons calculé les paramètres moyens qui ont précédé chaque date de mortalité estimée, et ceci pour la direction, la vitesse du vent et la température, à 80 m, le tout avec des valeurs moyennes. L'intérêt de cette analyse est de repérer d'éventuels facteurs abiotiques qui auraient conditionné ces collisions avec les éoliennes.



Roses des Vents mensuelles d'avril à novembre 2022 à Châteauroux-Déols (source : infoclimat.fr)

Détails des mortalités	Nombre	Orientation par rapport au mât
12/06/2022	1	O
N-NO 7m/s 20°C		
E5		
Martinet noir		
02/10/2022	1	N
S-SO 7,3m/s 17,4°C		
E6		
Rougegorge familier		

Pour les deux cas de mortalité survenus cette année, on constate que la vitesse moyenne du vent était de 7m/s, avec des rafales atteignant les 50km/h

Dans le cas du rougegorge familier retrouvé le 03/10 au nord de l'éolienne, le vent venait du sud/sud-ouest au moment de la date présumée de collision. Or, la faible distance séparant le cadavre du mât (6,5m) laisse penser que le vent n'a pas eu d'influence notable sur cette orientation.

Malgré ces indices et nombreuses données, il reste difficile de se prononcer sur l'influence exacte d'un paramètre tel que le vent sur ces événements, d'autant plus que les dates précises de mortalité restent bien des estimations.

V Interprétations et comparaison interannuelle

Avec 2 cas de mortalité contre 9 en 2021, 20 en 2020 et 144 en 2019, les résultats obtenus à l'issue de cette 4^{ème} année de suivi sur le parc éolien de Vouillon sont encore meilleurs.

Le tableau suivant présente des éléments analysés plus comparables, **pour les relevés qui ont eu lieu d'avril à novembre** (période officielle de suivi). Notons toutefois que la fréquence de passage était inférieure cette année, pour un total de 32 passages :

2021	2022
0,14 cadavres constatés/visite	0,06 cadavres constatés/visite
2,25 cas de mortalité constatés/éolienne/an	0,5 cas de mortalité constatés/éolienne/an
11-12 cas de mortalité estimés/éolienne/an	5,5 à 6,3 cas de mortalité estimés/éolienne/an

Cette année encore, les cas de mortalité à Vouillon sont inférieurs aux moyennes nationales¹. En effet, le rapport de la LPO en 2017 (MARX et al., 2017), ainsi que l'actualisation en 2019 par la LPO/l'ONCFS (GAULTIER et al., 2019) ont réalisé les moyennes suivantes, en compilant les résultats de tous les suivis mortalité menés en France et connus à la date de publication :

¹ : moyennes nationales de 2019

- la mortalité moyenne constatée est de 2,2 oiseaux/éolienne/an ;
- la mortalité moyenne estimée variant quant à elle entre 0,3 et 18,3 oiseaux/éolienne/an (médiane 4,5, moyenne 7 – chiffres comparables à ce qu’il se passe aux Etats-Unis et Canada).

Pour la deuxième année consécutive, la mortalité du parc éolien de Vouillon est inférieure à ce que l’on connaît des suivis des parcs français.

Et cela, rappelons-le, avec le bridage suivant :

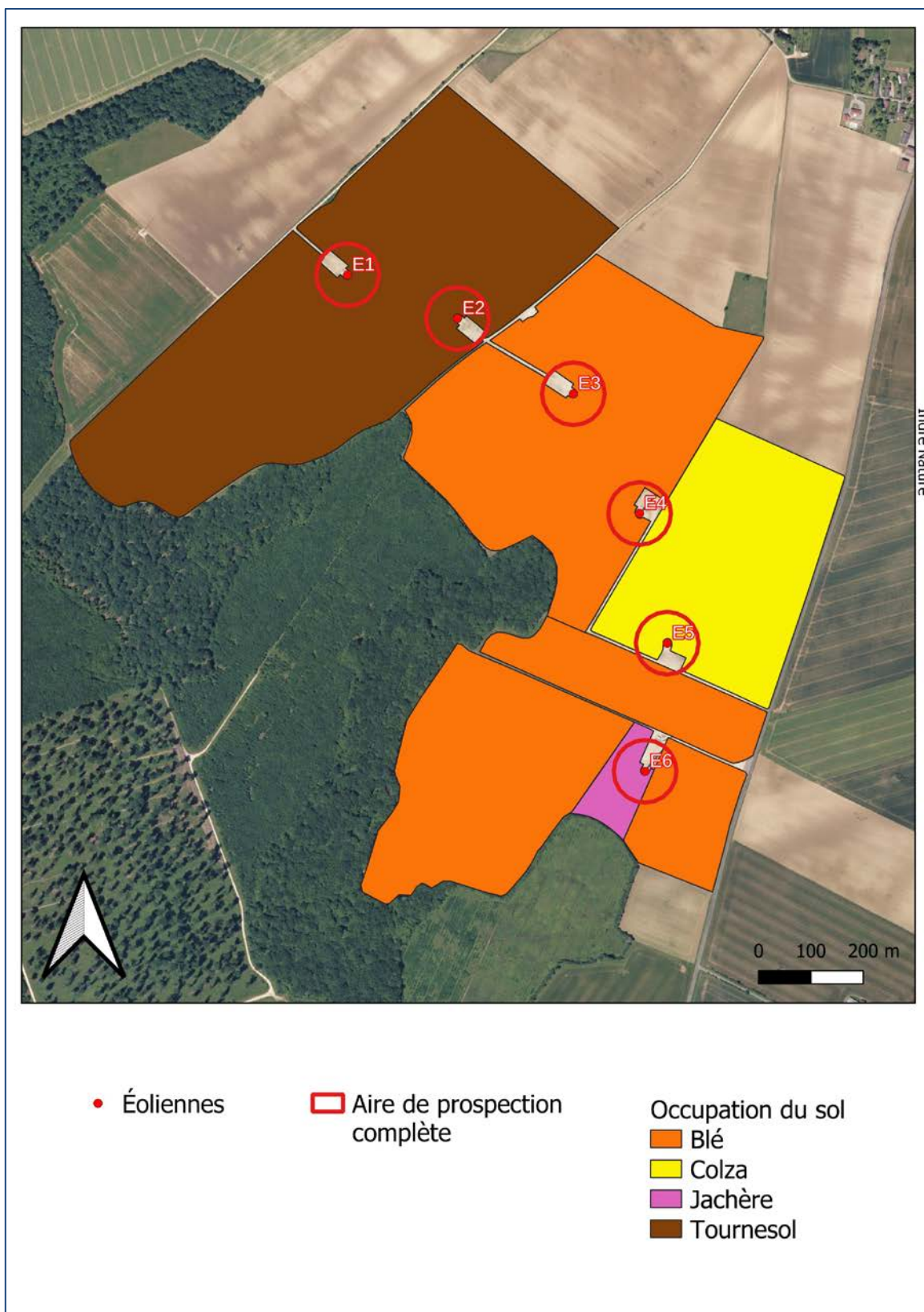
du 1/04 au 31/07/2022	du 1/08 au 31/10/2022	du 25/10 au 14/11
Vitesse de vent : ≤ 6 m/s	Vitesse de vent : ≤ 7 m/s	Arrêt complet du parc éolien en présence de brouillard
Température $\geq 13^{\circ}\text{C}$	Température $\geq 11^{\circ}\text{C}$	
De -30 min avant le coucher du soleil à +4H après le coucher du soleil	Du coucher au lever du soleil	De -1H avant le coucher du soleil à +1H après le lever du soleil

Cette année, seul un cadavre a été découvert en période de migration automnale, ce qui est nettement mieux que les années précédentes (4 cadavres en 2021).

De meilleures conditions météorologiques à l’automne 2022 ainsi que le bridage mis en place de fin octobre à mi-novembre pour les oiseaux migrateurs a très certainement permis de diminuer significativement cette mortalité. A noter que l’automne 2022 se classe au 2^e rang des automnes les plus chauds recensés depuis 1900 (*source : meteo-villes*). Le mois de mai a été marqué par des épisodes d’orages parfois violents, mais aucune mortalité n’a été constatée à cette période.

Les éoliennes impliquées cette année dans les 2 épisodes de mortalité comptent parmi les 3 éoliennes les plus proches de la lisière forestière, à savoir **E4, E5 et E6**, comme les années précédentes. Pour mémoire :

Éolienne	Milieu 1	Milieu 2	Distance à la 1 ^{ère} lisière
E1	Tournesol	-	300m
E2	Tournesol	-	200m
E3	Blé	-	300m
E4	Blé 80%	Colza 20%	150m
E5	Colza 90%	Blé 10%	200m
E6	Jachère 60%	Blé 40%	150m



Occupation du sol en 2022 sur le parc éolien ENGIE Vouillon

Cette année, la mortalité concerne uniquement les mois de juin et octobre. L'année dernière, 3 cas de mortalité sur 9 étaient répartis sur ces mêmes mois.

S'il est encore plus compliqué d'analyser tous les paramètres avec seulement 2 cadavres, on peut toutefois noter qu'aucune mortalité d'oiseaux n'est survenue en été, tout comme en 2021. Ce constat vient confirmer que les périodes de l'année les plus sensibles pour ce groupe sont les périodes de migration.

Les paramètres tels que la vitesse et la direction du vent ne semblent toujours pas avoir eu d'influence notable sur la dispersion des 2 cadavres retrouvés en 2022.

En ce qui concerne la persistance des cadavres, les résultats ont évolué et montrent une prédation encore plus importante cette année, avec un taux de prédation plus élevé à l'automne qu'en été.

Enfin l'on notera qu'avec les récoltes de céréales très précoces cette année, l'accès aux aires de prospection complètes a été possible plus tôt (à partir du 1^{er} septembre en 2022 / à partir du 8 octobre en 2021).

VI Conclusion

Pour la même période de suivi que l'année dernière (avril à novembre), la mortalité sur le parc éolien de Vouillon est **quatre fois moins importante en 2022** (2 cadavres retrouvés/9 en 2021).

Si aucune corrélation n'a pu être démontrée entre les paramètres abiotiques (vitesse et direction du vent) et les épisodes de mortalité, les 4 années de suivi sur le parc éolien de Vouillon auront toutefois permis de mettre en avant des périodes sensibles, que sont les périodes de migration printanière et automnale.

Cette année comme l'année dernière, les mortalités constatées et estimées à l'aide des différentes formules sont inférieures aux moyennes nationales (dont les valeurs ont été estimées à 2,2 cas constatés et 7 cas estimés de mortalité par éolienne et par an). La mortalité constatée sur le parc éolien de Vouillon est donc près de 4 fois inférieure, avec 0,5 cas de mortalité constatée par éolienne et par an.

Les éoliennes impliquées dans les 2 épisodes de mortalité survenus cette année, E5 et E6, viennent une fois de plus confirmer que la distance à la lisière est un facteur important pour la mortalité avifaunistique : plus cette distance est faible et plus l'éolienne en question sera susceptible d'engendrer des cas de mortalité.

Aucune chauve-souris n'a été retrouvée cette année sous les aérogénérateurs : les capteurs à ultrasons installés en nacelle ainsi que le bridage mis en place à l'automne (période sensible pour ce groupe) ont certainement joué en faveur de ce constat.

Cette 4^{ème} campagne de suivi mortalité sur le parc éolien ENGIE Vouillon semble confirmer que **les paramètres de bridage mis en place par ENGIE Green sont optimaux** : seulement 2 mortalités d'oiseaux constatées cette année, aucune chez les chauves-souris, et aucun épisode de mortalité massive en période de migration. Rappelons ici que cette étude comporte de nombreux **biais**, qui malgré les tests mis en place pour tenter de les corriger, sont bien toujours présents : accès à l'aire de prospection complète, taux de détection et chance qu'un individu touché tombe dans les 60m qui entourent les mâts. Notons également que cette année, **avec une plus faible pression d'observation (un seul passage par semaine) et un taux de prédation encore supérieur à l'année dernière, de nombreux cadavres ont dû passer inaperçu et ne jamais être retrouvés.**

Les résultats sont toutefois très satisfaisants, avec une **baisse de la mortalité constatée de près de 99% par rapport à celle de la première année de suivi**, en 2019 (2 cadavres retrouvés en 2022, 144 en 2019). **Le bridage, qui s'est prouvé très efficace ces deux dernières années, est donc à conserver pour les années à venir.**

VII Annexes

Annexe 1 : Bilan des relevés mortalités (avril-novembre 2022)

N° passage	Observateur	Date du suivi	N° éolienne	Espèce	Nombre	Date potentielle	Météo	Notes (voir fiches terrain)	Aire prospectée
197	Antoine AMAT	01/04/2022	1 à 6	0	0		CN 4/5, vent 20km/h NO, 1°C		E5, E4, E3 aires gravi
198	Antoine AMAT	04/04/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 5km/h O, 1°C		E1 off, E5 E4 E3 aires gravi
199	Antoine AMAT	11/04/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, vent 10km/h SE, 6°C		E5, E4, E3 aires gravi
200	Antoine AMAT	19/04/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, Brouillard, 9°C, vent 5km/h NO		E5, E4, E3 aires gravi
201	Antoine AMAT	26/04/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, brouillard, 9°C, vent 10km/h NE		E5, E4, E3 aires gravi, herbe +++
202	Antoine AMAT	02/05/2022	1 à 6	0	0		CN 1/5, vent 10km/h NE, 10°C		E5, E4, E3 aires gravi, herbe +++
203	Antoine AMAT	10/05/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, 17°C, vent 5km/h S		E5, E4, E3 aires gravi, herbe +++
204	Antoine AMAT	17/05/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 10km/h SE, 18°C		E5, E4, E3 aires gravi, herbe +++
205	Antoine AMAT	23/05/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, vent 25km/h SO		E5, E4, E3 aires gravi, herbe +++

N° passage	Observateur	Date du suivi	N° éolienne	Espèce	Nombre	Date potentielle	Météo	Notes (voir fiches terrain)	Aire prospectée
206	Antoine AMAT	30/05/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 15km/h NE, 12°C		E5, E4, E3 aires gravi, herbe +++
207	Antoine AMAT	07/06/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 20km/h SO, 15°C		Only E6 100%
208	Antoine AMAT	13/06/2022	5	Martinet noir	1	12/06/2022	CN 0/5, vent 10km/h NE, 14°C		
209	Antoine AMAT	20/06/2022	1 à 6	0	0		CN 4/5, vent 10km/h SE, 18°C		Aires gravi
210	Antoine AMAT	27/06/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 10km/h NO, 13°C		Aires gravi, herbe +++
211	Antoine AMAT	04/07/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 10km/h NE, 15°C, test préda + obs		Aires gravi, herbe +++
212	Antoine AMAT	12/07/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 10km/h E, 25°C		Aires totales sauf E1 E2
213	Antoine AMAT	18/07/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 15km/h SE, 22°C		aires totales sauf E1 E2
214	Antoine AMAT	25/07/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 20km/h SO, 19°C		Aires totales sauf E1 E2
215	Antoine AMAT	01/08/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent okm/h O, 19°C	herbe fauchée sur les AG	Aires totales sauf E1 E2

N° passage	Observateur	Date du suivi	N° éolienne	Espèce	Nombre	Date potentielle	Météo	Notes (voir fiches terrain)	Aire prospectée
216	Antoine AMAT	10/08/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 10km/h NE, 19°C	Maintenance E3	Aires totales sauf E1 E2
217	Antoine AMAT	17/08/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 5km/h NE, 17°C		Aires totales sauf E1 E2
218	Antoine AMAT	22/08/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, vent 10km/h NE, 17°C		Aires totales sauf E1 E2
219	Antoine AMAT	01/09/2022	1 à 6	0	0		CN 4/5, vent 5km/h E, 17°C		100% prospection
220	Antoine AMAT	07/09/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 10km/h SO, 16°C	8h30 techniciens E6	100% prospection
221	Antoine AMAT	12/09/2022	1 à 6	0	0		CN 1/5, vent 10km/h SE, 15°C		100% prospection
222	Antoine AMAT	19/09/2022	1 à 6	0	0		CN 0/5, vent 10km/h NE, 7°C	8h30 techniciens E6 puis transfo E2/3	100% prospection
223	Antoine AMAT	26/09/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, vent 10km/h SO, 9°C		100% prospection
224	Antoine AMAT	03/10/2022	6	Rougegorge familial	1	02/10/2022	CN 5/5, Brouillard, vent 10km/h E, 14°C		100% prospection
225	Antoine AMAT	10/10/2022	1 à 6	0	0		CN 4/5, vent 10km/h SE, 13°C		100% prospection

N° passage	Observateur	Date du suivi	N° éolienne	Espèce	Nombre	Date potentielle	Météo	Notes (voir fiches terrain)	Aire prospectée
226	Antoine AMAT	17/10/2022	1 à 6	0	0		CN 5/5, vent 10km/h SO, 19°C	Blé semé E5	100% prospection
227	Antoine AMAT	24/10/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 20km/h S, 15°C	Blé semé 40% E6	100% prospection
228	Antoine AMAT	24/11/2022	1 à 6	0	0		CN 3/5, vent 15km/h S, 8°C	E4, E3 labour, E1 blé/persil	100% prospection

VIII Bibliographie

ANDRÉ Y., 2004 - Protocoles de suivis pour l'étude des impacts d'un parc éolien sur l'avifaune. Document LPO. 21 p.

CALIDRIS, 2017 – Suivi de mortalité sur le parc éolien de Moulins des champs (51) (2016 - 2017). 14p.

CHANTEREAU M., PELSY F. (coord.), 2013 - Liste rouge des Oiseaux nicheurs de la région Centre : 397 - 427, in Nature Centre, Conservatoire botanique nationale du Bassin parisien, 2014 - Livre rouge des habitats naturels et des espèces menacées de la région Centre éd, Orléans, 504 p.

DUPUY J., SALLE L. (coord.), 2022 – Atlas des oiseaux migrateurs de France. Inventaires biodiversité, biotope éditions, publications scientifiques du Muséum National d'Histoire Naturelle, 1121p.

GAULTIER S.P., MARX G. & ROUX D., 2019 - Éoliennes et biodiversité : synthèse des connaissances sur les impacts et les moyens de les atténuer. Office national de la chasse et de la faune sauvage/LPO. 120 p. https://eolien-biodiversite.com/IMG/pdf/lpo_oncfs_2019.pdf

Groupe Chiroptères de la SFEPM, 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.

MARX et al., LPO France, 2017 - Le parc éolien français et ses impacts sur l'avifaune, Étude des suivis de mortalité réalisés en France de 1997 à 2015.

May R, Nygård T, Falkdalen U, Åström J, Hamre Ø, Stokke BG. Paint it black: Efficacy of increased wind-turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities. Ecol Evol. 2020 ; 10:8927–8935. <https://doi.org/10.1002/ece3.6592>

RODRIGUES L., L. BACH, M.-J. DUBOURG-SAVAGE, B. KARAPANDZA, D. KOVAC, T. KERVYN, J. DEKKER, A. KEPEL, P. BACH, J. COLLINS, C. HARBUSCH, K. PARK, B. MICEVSKI, J. MINDERMAN, 2015 - Lignes directrices pour la prise en compte des chauves-souris dans les projets éoliens. Actualisation 2015. EUROBATS Publication Series N° 6 (version française). UNEP/EUROBATS Secrétariat, Bonn, Allemagne, 133 p.

European Red List of Birds - 2015 BirdLife International, 2015 -European Red List of Birds. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

Liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection - Arrêté interministériel du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection (JORF 5 décembre 2009, p. 21056)

Directive 79/409/CEE (Directive européenne dite Directive Oiseaux) - Directive 79/409/CEE du Conseil du 2 avril 1979 concernant la conservation des oiseaux sauvages.

Directive 92/43/CEE (Directive européenne dite Directive Habitats-Faune-Flore) - Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages (modifiée par la Directive 97/62/CEE du Conseil du 27 octobre 1997, le Règlement (CE) n° 1882/2003 du Parlement et du Conseil du 29 septembre 2003 et la Directive 2006/105/CE du 20 novembre 2006).

Liste des milieux et espèces déterminants pour l'actualisation des ZNIEFF en région Centre-Val de Loire <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/habitats-et-especes-determinantes-r828.html>