

Analyse des effets des éoliennes sur les chauves-souris et les oiseaux - Retour d'expérience de suivis de la mortalité de la faune volante auprès de parcs en exploitation

PROGRAMME DE RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT N°2B



Rédacteur :

Nicolas LAGARDE, Responsable d'études et développement technique - Ornithologue

Comité de lecture :

Pierre PAPON, Docteur en Géographie, Directeur du pôle écologie d'ENCIS Environnement

Sylvain LE ROUX, Docteur en Géographie, Directeur développement et innovation d'ENCIS Environnement

Date : 28/02/2022

Sommaire

INTRODUCTION	3
1 METHODOLOGIE ET AUTEURS	5
1.1 Auteurs de l'étude et partenariats	6
1.2 Contexte	6
1.3 Postulats et questions de départ à vérifier	6
1.4 Méthodologie	7
1.4.1 Suivi de la mortalité	8
1.4.2 Regroupement de données	11
1.4.3 Données analysées	11
2 RESULTATS	13
2.1 Bilan de la mortalité des chiroptères au pied des parcs éoliens suivis par ENCIS14	
2.2 Bilan de la mortalité des oiseaux au pied des parcs éoliens suivis par ENCIS 18	
3 LIMITES ET PERSPECTIVES	26
3.1 Limites des études de suivi de la mortalité	27
3.2 Perspectives	27
3.2.1 Regroupement des données	27
3.2.2 Analyses de données	28
4 CONCLUSION	29



INTRODUCTION

Par le retour d'expérience de suivis de la mortalité de la faune volante auprès de parcs en exploitation, le programme de recherche et développement 2b cherche à analyser l'effet des éoliennes sur les chauves-souris et les oiseaux.

Le présent rapport expose les analyses des données collectées et valorisables jusqu'à fin 2021. Dans un premier temps, nous avons poursuivi le regroupement des suivis de mortalité au sein d'une base de données, concernant 534 données de mortalité pour 61 espèces minimum (54 espèces d'oiseaux, 7 espèces de chiroptères), provenant de 175 éoliennes au sein de 29 parcs (parfois suivis sur plusieurs années) et répartis dans 10 départements. Dans un second temps, des analyses ont été menées pour dresser la liste des espèces et effectifs recensés, et comparer ces données à celles recensées aux niveaux national et européen.



1 METHODOLOGIE ET AUTEURS

1.1 Auteurs de l'étude et partenariats

Les auteurs de l'étude sont les suivants :

Auteurs/Relecteurs	Poste et qualité
Nicolas LAGARDE, Rédacteur	Responsable d'études et développement technique - Ornithologue
Pierre PAPON, Relecteur	Docteur en Géographie, Directeur du pôle écologie
Sylvain LE ROUX, Relecteur	Docteur en Géographie, Directeur Développement et innovation
Marie LABOURÉ, Relecteur	Responsable d'études et développement technique - Chiroptérologue

Tableau 1 : Auteurs de l'étude

1.2 Contexte

Au 31/12/2022, 2 260 parcs éoliens sont recensés en France métropolitaine et environ 8 000 éoliennes pour 20 915 MW (SDS d'après Enedis, RTE, EDF-SEI, CRE). La construction et le fonctionnement de parcs éoliens induisent des effets sur les populations d'espèces animales, notamment sur les oiseaux et les chauves-souris utilisant le vol comme moyen de locomotion.

Depuis l'arrêté du 26 août 2011, les suivis à long terme des effets des parcs éoliens sur les milieux naturels, notamment sur les espèces sensibles, sont obligatoires. En novembre 2015, l'État a publié un protocole standardisé permettant de réaliser ces suivis environnementaux. Il guide également la définition des modalités du suivi des effets du projet sur l'avifaune et les chiroptères. Par la suite, un protocole complémentaire a été publié en mars 2018, et concerne plus particulièrement les suivis de la mortalité et du comportement des chiroptères, à hauteur de nacelle.

1.3 Postulats et questions de départ à vérifier

Les effets d'un parc éolien peuvent se produire pendant les travaux de construction (terrassement, renforcement de chemins, bruits de chantier, etc.), mais aussi pendant l'exploitation des éoliennes (rotation des pales, présence des éoliennes, etc.). Une attention particulière doit être portée à la faune volante. Trois effets des parcs éoliens en fonctionnement sont généralement constatés sur les oiseaux : l'effarouchement qui amène certains oiseaux à abandonner leur habitat naturel, l'effet barrière qui oblige à des contournements lors des déplacements (notamment migratoires) et les collisions avec les pales.

En ce qui concerne l'impact sur les chauves-souris, il peut également concerner l'abandon de certaines zones de chasse, de transit et/ou de gîte, la mortalité par collisions directes, mais aussi des barotraumatismes liés à la pression de l'air par le mouvement des pales. Les conséquences sont très variables selon le contexte et les régions. Les éoliennes étant des éléments nouveaux du paysage, leurs effets sur la faune volante et les facteurs de mortalité ou de perturbation ne sont finalement pas assez connus.

Pour chaque projet, un diagnostic écologique mené par des naturalistes indépendants permet de connaître les enjeux de la faune et de la flore du site et de conseiller le porteur de projet sur des solutions de moindre impact ou des mesures correctives. Une fois le parc construit, un suivi environnemental est effectué, permettant de rechercher les cas de mortalité et d'estimer s'il y a une modification des comportements des oiseaux et des chauves-souris liée à la présence du parc.

Ce programme de recherche s'intègre dans une réflexion qui vise à :

- Procéder à une analyse bibliographique complète ;
- Étudier la mortalité de la faune volante ;
- Analyser les modifications de comportement sous un panel représentatif de parcs éoliens ;
- Comparer la fréquentation des sites avant et après l'implantation.

L'objectif de cette étude est d'améliorer notre évaluation des impacts des parcs éoliens sur les oiseaux et les chauves-souris grâce à un retour d'expérience sérieux et rigoureux. Il s'agit également de rédiger un article pour renforcer l'état de l'art sur les questions liées à la modification des comportements de la faune volante à proximité des éoliennes, ainsi qu'à la mortalité qui en découle. Les résultats de cette étude seront rendus publics, après anonymisation des sites en question ou autorisation des exploitants des ouvrages. Ainsi, les services de l'État et les exploitants de parcs éoliens disposeront d'éléments complémentaires pour comprendre et réduire les impacts environnementaux des centrales éoliennes.

Dans un premier temps, cette étude s'est intéressée aux impacts des parcs éoliens en exploitation sur l'avifaune, à travers des analyses bibliographiques, ainsi qu'à la mortalité des oiseaux et des chiroptères au sein des parcs en exploitation, qui sont les sujets de ce présent rapport.

Dans un second temps, cette étude se penchera sur l'analyse des comportements de la faune volante dans les parcs éoliens en exploitation (oiseaux et chiroptères), ainsi que sur l'étude des relations pouvant exister entre la mortalité et ces comportements.

1.4 Méthodologie

Le sujet traité est l'analyse des effets des éoliennes sur les chauves-souris et les oiseaux. Pour traiter ce sujet, nous avons utilisé la démarche suivante :

- Création d'une fiche projet
- Regroupement des données de mortalité oiseaux et chiroptères
 - Poursuite de l'implémentation d'une base de données mortalité (créée en 2020)
- Descriptions des données de mortalité oiseaux et chiroptères
 - Espèces et effectifs recensés
 - Comparaison aux données nationales et européennes
- Réflexions sur les prolongements à mener

1.4.1 Suivi de la mortalité

1.4.1.1 Recherches sur site

Les suivis reposent sur une méthodologie proposée par le « protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres » (2018), ainsi que sur les « suivis des impacts des parcs éoliens terrestres sur les populations de chiroptères », document actualisé en 2016 par la SFPEM.

L'évaluation de la mortalité de l'avifaune et des chiroptères engendrée par un parc éolien est réalisée par la recherche de cadavres au pied des aérogénérateurs. La technique consiste en une recherche visuelle au sol durant un trajet réalisé à pied, selon un parcours prédéfini et reproduit à plusieurs reprises durant une ou plusieurs périodes phénologiques au cours d'une année.

La mortalité réelle est ensuite estimée, lorsque cela est possible, par l'utilisation de différents estimateurs. Ces estimateurs intègrent plusieurs paramètres correcteurs, tels que la surface prospectée relative, l'intervalle de temps moyen entre deux prospections, l'efficacité du chercheur ou encore la durée de persistance des cadavres sur le site (liée notamment à la prédation par d'éventuels charognards).

Si la mortalité brute observée sur le parc peut permettre la mise en évidence d'un impact d'ordre qualitatif (incidence notable sur un taxon, période à risque ou éolienne particulièrement mortifère), seules les mortalités estimées peuvent être utilisées pour quantifier l'impact de manière globale, et éventuellement, être comparées à d'autres parcs éoliens.

Compte tenu des nombreux facteurs aléatoires régissant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité, il est par ailleurs nécessaire d'être vigilant aux limites des estimations effectuées.

Dans le cadre du suivi de la mortalité, la découverte d'un cadavre d'oiseau ou de chauve-souris par l'exploitant ou par l'un de ses sous-contractants fait systématiquement l'objet d'une fiche détaillée. Cela permet ainsi le recensement standardisé des caractéristiques de l'espèce et des conditions de mortalité constatée par une procédure définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Seules des mesures simples et nécessaires à l'identification des espèces (principalement chiroptères) sont réalisées sur le terrain. Les spécimens sont laissés en l'état à l'endroit de la découverte sans qu'aucun enlèvement (transport), destruction ou perturbation ne soit réalisé (opérations nécessitant une demande de dérogation spécifique).

1.4.1.2 Pression d'inventaire

Le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres, dans sa version 2018, prévoit que « Le suivi de mortalité des oiseaux et chiroptères sera constitué au minimum de 20 prospections, réparties entre les semaines 20 et 43 (mi-mai à octobre), en fonction des risques identifiés dans l'étude d'impact, de la bibliographie et de la connaissance du site. »

En fonction des impacts résiduels et des enjeux dans l'étude d'impact, le suivi peut être intensifié afin de couvrir des périodes plus importantes du cycle biologique des espèces, pouvant aller jusqu'à un suivi sur l'ensemble de l'année.

1.4.1.3 Protocole de recherche des cadavres

La technique consiste en une recherche visuelle au sol durant un trajet réalisé à pied, selon un parcours prédéfini à chaque visite. La surface prospectée sous les éoliennes est déterminée par la zone de survol des pâles, et donc, par la longueur de ces dernières. Un quadrat théorique de prospection est fixé, formé par des côtés d'une longueur de 100 mètres au minimum, ou deux fois la longueur des pâles pour les éoliennes présentant des pâles de longueur supérieure à 50 mètres.

Par la suite, le chercheur détermine un parcours à suivre et l'utilise invariablement lors de chaque prospection. L'espacement entre les transects ne doit pas dépasser 10 mètres, correspondant à une distance maximale de perception des cadavres par un observateur.

Le schéma suivant illustre la méthode théorique mise en place dans le cadre d'un suivi de la mortalité au pied d'une éolienne.

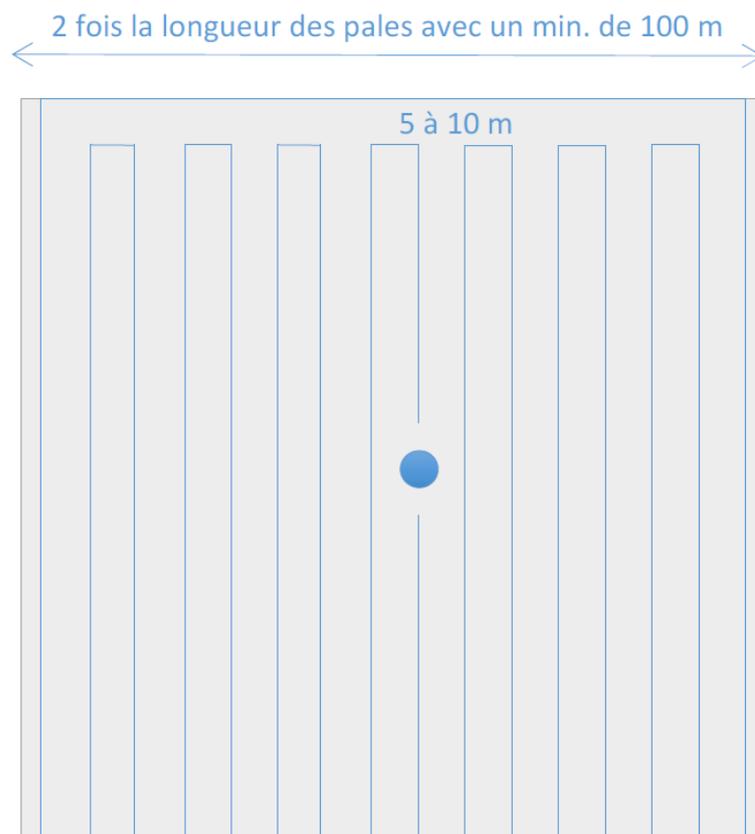


Figure 1 : Schéma du parcours théorique au pied d'une éolienne

Au cours de chaque prospection du suivi mortalité une fiche de données est complétée par le chercheur. De plus, à chaque découverte de cadavre, celui-ci est localisé par GPS, photographié et déterminé, puis, fait l'objet d'une fiche détaillée définie par le Ministère en charge des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. Cette fiche permet la saisie standardisée de l'espèce et des conditions de mortalité constatées

1.4.1.4 Méthodes d'estimation de la mortalité

L'estimation de la mortalité peut être réalisée par l'intermédiaire de plusieurs formules mathématiques considérées comme valides, issues de différents protocoles (Winkelman, 1989 ; Erikson, 2000 ; Jones, 2009 ; Huso, 2010 ; Korner, 2011 ; Etterson, 2013).

Ces formules prennent en compte un certain nombre de paramètres. Ceux-ci permettent d'intégrer certains biais liés aux divers facteurs aléatoires, induisant les différences entre la mortalité constatée sur site et la réalité.

Ainsi, d'une manière générale, outre le nombre de cadavres trouvés (mortalité brute), plusieurs variables sont à évaluer afin d'être utilisées comme paramètres correcteurs :

- l'efficacité du chercheur (efficacité du chercheur à détecter les cadavres au sol) ;
- la persistance des cadavres (durée moyenne de présence ou taux de persistance des cadavres avant prélèvement, notamment par des animaux charognards) ;
- l'intervalle des prospections sur site ;
- les surfaces non-prospectables (surfaces qui ne peuvent être prospectées en raison des contraintes liées au couvert végétal, au dénivelé, à la maîtrise foncière, etc.).

Le protocole de suivi environnemental des parcs éoliens terrestres (révision 2018) préconise la méthode suivante :

- Utiliser au moins 3 formules de calcul des estimateurs standardisés à l'échelle internationale pour faciliter les comparaisons :
 - la formule d'Huso (2010) ;
 - deux formules aux choix parmi : Erickson, 2000 ; Jones, 2009 ; Korner-Nievergelt, 2015 ; Limpens et al., 2013 ; Bastos et al., 2013, Dalthorp et al., 2017, etc.
- Préciser l'incertitude de l'estimation de la mortalité.

Les mortalités estimées sont calculées via le logiciel EolApp développé par le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive de Montpellier (UMR 5175, www.cefe.cnrs.fr). Ce logiciel permet de calculer la mortalité estimée selon les formules d'Huso, d'Erickson, de Winkelman et de Jones, assorties de leurs intervalles de confiance à 90 % et 95 %. En accord avec les préconisations du protocole 2018, les résultats de la formule d'Huso sont utilisés, ainsi que ceux des formules d'Erickson et de Jones. Les résultats issus de la formule de Winkelman ne sont pas retenus, cette formule étant jugée obsolète, notamment par la SFPEM qui préconise l'utilisation d'au moins trois des estimateurs suivants : Huso, Jones, Erickson, Korner-Nievergelt, Limpens, Bastos.

Parallèlement, un partenariat a été élaboré avec le MNHN (Museum National d'Histoire Naturelle) pour la mise à disposition des données de persistance des cadavres dans le cadre de l'étude « Identification des déterminants de la mortalité induite par les éoliennes sur les populations d'oiseaux et de chauves-souris et proposition de mesures correctives ».

1.4.2 Regroupement de données

En premier lieu, les fichiers de données ont été vérifiés et mis en conformité pour les principaux paramètres (harmonisation, corrections d'erreurs, etc.). Ce travail permet également de mettre en évidence certaines problématiques liées à la récolte et à la saisie des données, et par conséquent de faire évoluer les protocoles de terrain (démarche itérative).

Puis, les données ont été implémentées dans la base de données mortalité et analysées. Les outils créés en 2020 ont à nouveau été utilisés (base de données « mortalité », outils de suivi de la base de données et d'analyses).

1.4.3 Données analysées

Au 27 février 2023, la base de données comprend 1 887 lignes et 88 paramètres (colonnes), pour 534 données de mortalité concernant 61 espèces minimum (54 espèces d'oiseaux, 7 espèces de chiroptères), provenant de 175 éoliennes au sein de 29 parcs (parfois suivis sur plusieurs années) et répartis dans 10 départements (Charente-Maritime, Charente, Cher, Deux-Sèvres, Corrèze, Creuse, Haute-Vienne, Maine et Loire, Mayenne, Morbihan, Nièvre et Vendée). De nouveaux paramètres ont été intégrés à la base de données. Ainsi, pour chaque suivi, les estimations de mortalité selon Erickson, Huso et Jones ont été ajoutées, assorties de leurs intervalles de confiance (estimations sur l'ensemble du suivi, intervalles de confiance à 95 %). Pour les suivis les plus anciens qui n'intégriaient pas ces paramètres, lorsque cela a été possible, ces estimations ont également été calculées et ajoutées à la base de données.

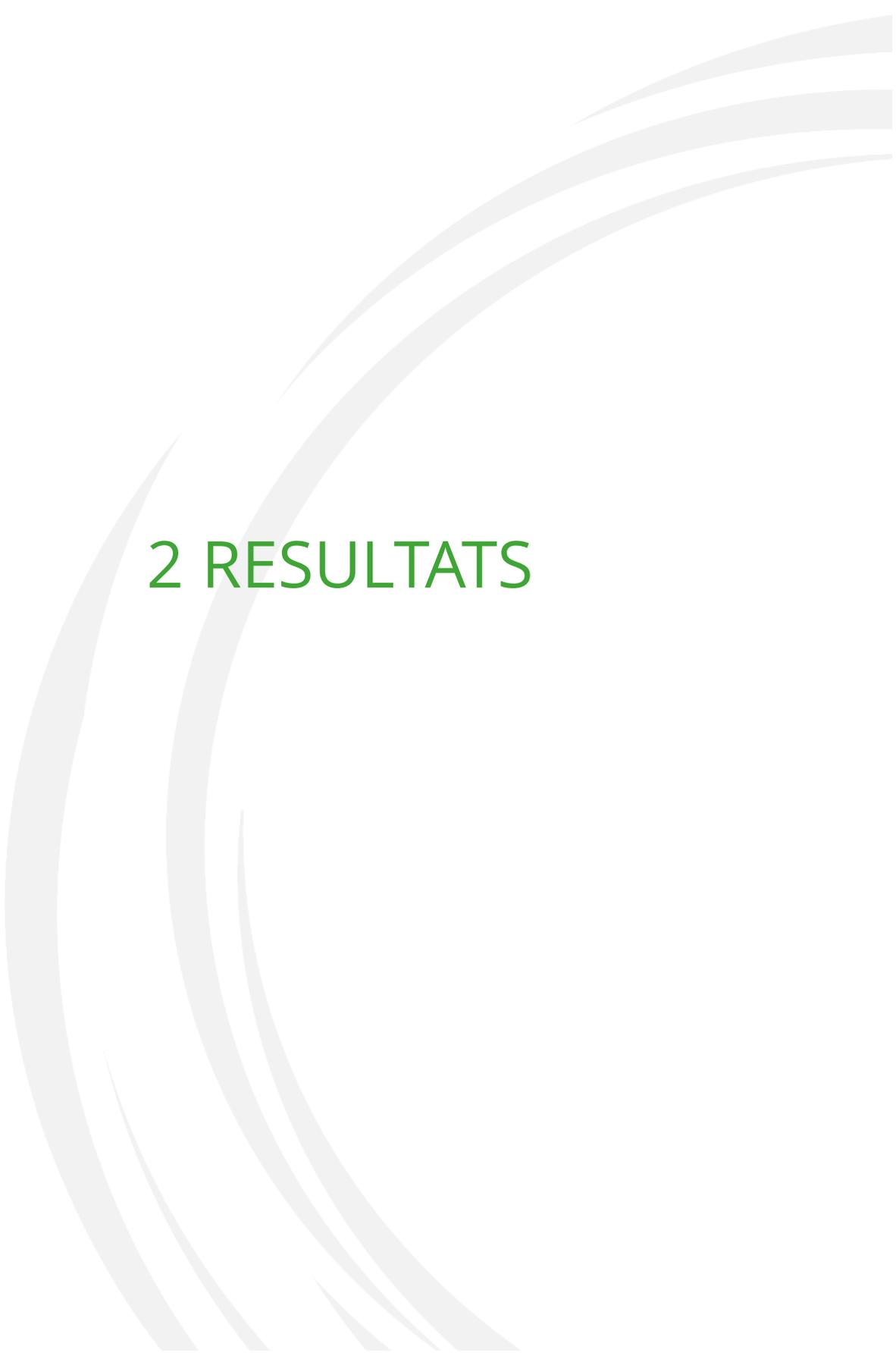
Les résultats présentés ci-après correspondent à l'analyse statistique des sites suivants (code anonymisant chaque site) :

Code site	Nombre de sorties	Année de suivi	Type de suivi	Nombre d'éoliennes	Département
A	Inconnu	2018	Opportuniste (plateforme)	5	17
AA	28	2020	ICPE	6	19
AG	23	2021	oui	3	79
AH	24	2020	ICPE	6	18
AJ	22	2020	ICPE	5	85
AK	22	2020-2021	ICPE	5	85
AK	52	2019-2020	ICPE	5	85
AM	43	2021	ICPE	3	16
AQ	21	2020-2021	ICPE	6	87
AQ	23	2019-2020	ICPE	6	87
B	73	2019	ICPE	12	16
B	78	2017	ICPE	12	16
B	22	2018	ICPE	12	16
B	4	2018	ICPE	4	16
C	88	2019	ICPE	10	79
C	78	2017	ICPE	10	79

C	86	2018	ICPE	10	79
D	88	2019	ICPE	9	79
D	79	2017	ICPE	9	79
D	86	2018	ICPE	9	79
E	30	2018	ICPE	5	79
E	25	2017	ICPE	5	79
F	31	2018-2019	ICPE	3	79
G	21	2020-2021	Opportuniste	7	79
G	21	2018_2019	Opportuniste (plateforme)	8	79
H	21	2018	Opportuniste (carré de 100 m)	4	79
H	18	2019	Opportuniste (carré de 100 m)	4	79
H	33	2020	Opportuniste (ICPE)	4	79
I	28	2018	ICPE	6	23
J	30	2018	ICPE	9	23
K	20	2019	ICPE	4	49
L	60	2021	ICPE	4	16
L	32	2019	ICPE	6	87
M	22	2019	ICPE	4	56
N	20	2019	ICPE	11	58
O	20	2019	ICPE	5	58
R	18	2014-2015	ICPE_morta_brute	1	87
S	12	2016	Opportuniste_ICPE	6	79
S	6	2017	Opportuniste_ICPE	6	79
S	20	2020	ICPE	6	79
V	40	2020	ICPE	3	53
W	20	2021	ICPE	7	79
W	26	2020	ICPE	7	79
X	27	2021	ICPE	5	79
X	42	2020	ICPE	5	79
Y	48	2020-2021	ICPE	3	17



2 RESULTATS



La robustesse de certaines analyses dépend du nombre de données disponibles. Également, certaines analyses ne peuvent pas être réalisées si la quantité de données n'est pas suffisante. Ainsi, la progression de la base de données permettra de réaliser de nouvelles analyses, et il sera également nécessaire de refaire régulièrement des analyses descriptives. Un fichier modèle pour les analyses a donc été créé (2020), afin de simplifier la réplique des analyses les plus simples (statistiques descriptives).

2.1 Bilan de la mortalité des chiroptères au pied des parcs éoliens suivis par ENCIS

252 cadavres de chiroptères ont été découverts lors des suivis de parcs éoliens réalisés par ENCIS Environnement, concernant au moins sept espèces.

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Directive Habitats	Statuts de conservation (UICN)			Cas de mortalité		
			Monde	Europe	France	Encis Environnement	Europe	France
Chiroptère sp.	-	-	-	-	-	6	1 105	447
Grand Murin	<i>Myotis myotis</i>	Annexe II, IV	LC	LC	LC	1	7	3
Murin sp.	<i>Myotis sp.</i>	-	-	-	-	1	10	1
Noctule commune	<i>Nyctalus noctula</i>	Annexe IV	LC	LC	VU	31	1 616	147
Noctule de Leisler	<i>Nyctalus leisleri</i>	Annexe IV	LC	LC	NT	33	753	186
Pipistrelle commune	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT	89	2 569	1 124
Pipistrelle de Kuhl	<i>Pipistrellus kuhlii</i>	Annexe IV	LC	LC	LC	52	471	221
Pipistrelle de Nathusius	<i>Pipistrellus nathusii</i>	Annexe IV	LC	LC	NT	7	1 662	303
Pipistrelle sp.	<i>Pipistrellus sp.</i>	-	-	-	-	23	758	316
Sérotine commune	<i>Eptesicus serotinus</i>	Annexe IV	LC	LC	NT	9	130	38

LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi menacée / VU : Vulnérable / EN : En danger / CR : En danger critique / RE : Disparue / DD : Données insuffisantes / NE : Non évalué / NA : Non applicable

Tableau 2 : Cadavres de chiroptères découverts lors des suivis réalisés par ENCIS Environnement (associés aux effectifs nationaux et européens, d'après Dürr 2022).

L'espèce retrouvée en plus grand nombre est la **Pipistrelle commune** (89 individus), suivie par la **Pipistrelle de Kuhl** (52 individus). Le groupe des pipistrelles est celui pour lequel le nombre de cadavres retrouvés est le plus important. Le groupe des Noctules est également bien représenté avec la **Noctule de Leisler** (33 individus) et la **Noctule commune** (31 individus).

Toutes les espèces retrouvées par ENCIS Environnement l'ont également été au niveau européen (tableau suivant).

Espèces	Cas de mortalité					
	Europe		France		Suivis ENCIS Environnement	
	Individus	Proportion (%)	Individus	Proportion (%)	Individus	Proportion (%)
Pipistrelle commune	2 569	23,32	1124	36,19	89	35,32
Pipistrelle de Nathusius	1 662	15,09	303	9,76	7	2,78
Noctule commune	1 616	14,67	147	4,73	31	12,30
Chiroptère sp.	1 105	10,03	447	14,39	6	2,38
Pipistrelle sp.	758	6,88	316	10,17	23	9,13
Noctule de Leisler	753	6,83	186	5,99	33	13,10
Pipistrelle de Kuhl	471	4,28	221	7,12	52	20,63
Pipistrelle pygmée	455	4,13	176	5,67	0	0,00
Pipistrelle commune / pygmée	412	3,74	40	1,29	0	0,00
Vespère de Savi	344	3,12	57	1,84	0	0,00
Sérotine bicolore	217	1,97	11	0,35	0	0,00
Sérotine commune	130	1,18	38	1,22	9	3,57
Sérotine Isabelline	120	1,09	0	0,00	0	0,00
Sérotine commune / Isabelline	115	1,04	0	0,00	0	0,00
Molosse de Cestoni	84	0,76	2	0,06	0	0,00
Sérotine de Nilsson	45	0,41	0	0,00	0	0,00
Grande Noctule	41	0,37	10	0,32	0	0,00
Noctule sp.	24	0,22	3	0,10	0	0,00
Minioptère de Schreibers	13	0,12	7	0,23	0	0,00
Murin de Daubenton	11	0,10	1	0,03	0	0,00
Murin sp.	10	0,09	1	0,03	1	0,40
Oreillard gris	9	0,08	0	0,00	0	0,00
Oreillard roux	8	0,07	0	0,00	0	0,00
Grand Murin	7	0,06	3	0,10	1	0,40
Petit Murin	7	0,06	1	0,03	0	0,00
Barbastelle commune	6	0,05	4	0,13	0	0,00
Murin à moustaches	6	0,05	2	0,06	0	0,00
Murin à oreilles échanquées	5	0,05	3	0,10	0	0,00
Murin de Natterer	4	0,04	1	0,03	0	0,00
Murin des marais	3	0,03	0	0,00	0	0,00
Murin de Bechstein	2	0,02	2	0,06	0	0,00
Murin de Brandt	2	0,02	0	0,00	0	0,00
Grand Rhinolophe	1	0,01	0	0,00	0	0,00
Rhinolophe de Mehely	1	0,01	0	0,00	0	0,00
Rhinolophe sp.	1	0,01	0	0,00	0	0,00

Tableau 3 : Comparaison des proportions de cadavres de chiroptères retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement par rapport aux données nationales et européennes (classement par ordre décroissant de cas de mortalité au niveau européen, d'après Dürr 2022).

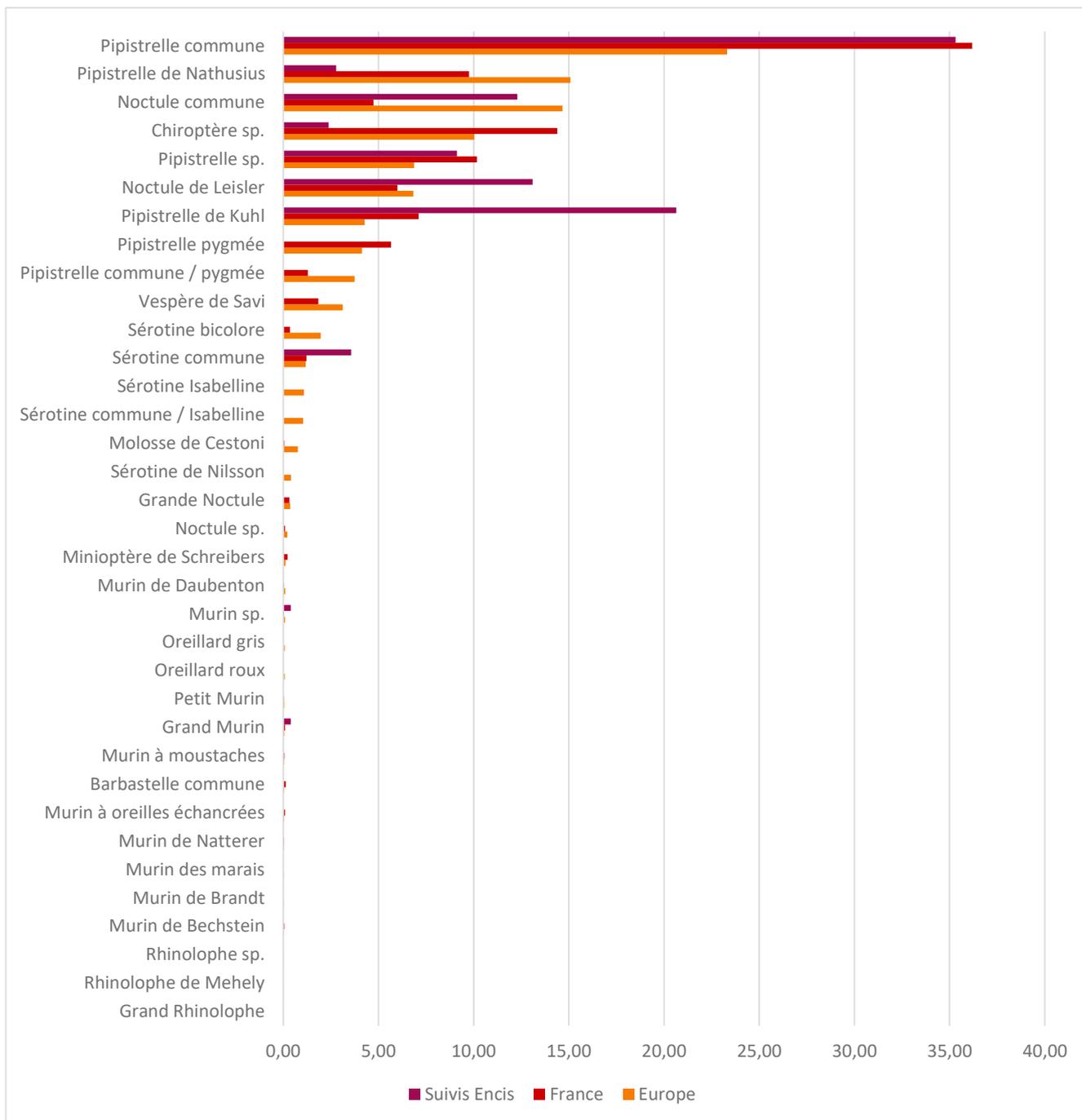


Figure 2 : Comparaison des proportions de cadavres de chiroptères retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement par rapport aux données nationales et européennes (en pourcentage, classement par espèce et par ordre décroissant de cas de mortalité au niveau européen, d'après Dürr 2022).

Nos résultats sont globalement cohérents avec les données nationales et européennes. L'espèce retrouvée en plus grand nombre lors des suivis ENCIS Environnement, la Pipistrelle commune, est également celle la plus fréquemment observée au niveau national et européen. Toutefois, il existe des disparités. Ainsi, la Pipistrelle de Kuhl représente 20,6 % des cadavres de chiroptères retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement contre seulement 7,1 % en France et 4,3 % en Europe. La Noctule de Leisler représente 13,1 % des cadavres de chiroptères retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement contre seulement 6 % en France et 6,8 % en Europe. Il pourrait s'agir d'une sur-représentation liée aux collisions en période de migration. D'un autre côté, la Pipistrelle de Nathusius représente 2,8 % des cadavres de chiroptères retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement contre 9,8 % en France et 15 % en Europe. Ces constatations avaient déjà été relevées lors de l'analyse précédente (2020).

Ces comparaisons sont cependant à nuancer compte tenu des écarts importants de nombre de données analysées, qui représentent respectivement 252, 3 106 et 11 017 cadavres pour les suivis ENCIS Environnement, les données nationales et les données européennes. Les fluctuations d'échantillonnages pourraient être à l'origine de ces disparités.

2.2 Bilan de la mortalité des oiseaux au pied des parcs éoliens suivis par ENCIS

277 cadavres d'oiseaux ont été découverts lors des suivis de parcs éoliens réalisés par ENCIS Environnement, concernant au moins 54 espèces (tableau suivant).

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Directive Oiseaux	Statuts de conservation (UICN)				Cas de mortalité
				Europe	France			Encis Environnement
					Nicheur	Hivernant	De passage	
Accipitriformes	Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	Annexe I	LC	LC	-	LC	1
	Busard cendré	<i>Circus pygargus</i>	Annexe I	LC	NT	-	NA	5
	Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	Annexe I	LC	LC	NA	NA	1
	Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	-	LC	LC	NA	NA	24
	Epervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	-	LC	LC	NA	NA	5
	Milan noir	<i>Milvus migras</i>	Annexe I	LC	LC	-	NA	8
Ansériformes	Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	Annexe II/1, III/1	LC	LC	LC	NA	1
Apodiformes	Martinet noir	<i>Apus apus</i>	-	NT	NT	-	DD	34
Charadriiformes	Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	Annexe II/2	LC	NT	LC	NA	2
Columbiformes	Columbidé sp.	-	-	-	-	-	-	2
	Pigeon biset domestique	<i>Columbia livia var. domestica</i>	Annexe II/1	LC	DD	-	-	2
	Pigeon colombin	<i>Columba oenas</i>	Annexe II/2	LC	LC	NA	NA	1
	Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	Annexe II/1, III/1	LC	LC	LC	NA	12
	Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	Annexe II/2	VU	VU	-	NA	1
	Tourterelle turque	<i>Streptopelia decaocto</i>	Annexe II/2	LC	LC	-	NA	1
Falconiformes	Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	-	LC	NT	NA	NA	6
	Faucon hobereau	<i>Falco subbuteo</i>	-	LC	LC	-	NA	3
	Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	Annexe I	LC	LC	NA	NA	1
	Faucon sp.	-	-	-	-	-	-	1
Galliformes	Faisan de Colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	Annexe II/1, III/1	LC	LC	-	-	1
	Perdrix grise	<i>Perdix perdix</i>	Annexe II/1, III/1	LC	LC	-	-	2
	Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>	Annexe II/1, III/1	NT	LC	-	-	4
	Perdrix sp.	-	-	-	-	-	-	1
Indéterminé	Oiseau sp.	-	-	-	-	-	-	7
	Rapace sp.	-	-	-	-	-	-	1
Passériformes	Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	-	LC	LC	NA	-	1
	Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	Annexe II/2	LC	NT	LC	NA	24
	Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	Annexe I	LC	LC	NA	-	3
	Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	-	LC	EN	-	NA	1
	Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>	-	LC	LC	-	-	6
	Bruant zizi	<i>Emberiza cirius</i>	-	LC	LC	-	NA	1
	Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	Annexe II/2	LC	LC	NA	-	4
	Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	Annexe II/2	LC	LC	LC	NA	12
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	-	LC	LC	NA	NA	1	

Ordre	Nom vernaculaire	Nom scientifique	Directive Oiseaux	Statuts de conservation (UICN)				Cas de mortalité
				Europe	France			Encis
					Nicheur	Hivernant	De passage	Environnement
	Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	-	LC	VU	-	DD	4
	Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	Annexe II/2	LC	LC	NA	NA	1
	Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	Annexe II/2	LC	-	LC	NA	1
	Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	Annexe II/2	LC	LC	NA	NA	2
	Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	-	LC	NT	-	DD	3
	Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	-	LC	NT	-	DD	1
	Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	-	LC	VU	NA	NA	7
	Merle noir	<i>Turdus merula</i>	Annexe II/2	LC	LC	NA	NA	4
	Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	-	LC	LC	NA	NA	2
	Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	-	LC	LC	-	NA	1
	Passereau sp.	-	-	-	-	-	-	7
	Pie bavarde	<i>Pica pica</i>	Annexe II/2	LC	LC	-	-	1
	Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	-	LC	LC	NA	NA	2
	Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	-	LC	VU	DD	NA	1
	Pouillot fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	-	LC	NT	-	DD	2
	Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	-	LC	LC	NA	NA	4
	Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	-	LC	LC	NA	NA	28
	Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	-	LC	NT	NA	NA	3
	Roitelet sp.	-	-	-	-	-	-	8
	Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	-	LC	LC	NA	NA	5
	Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	-	LC	LC	NA	NA	1
	Traquet motteux	<i>Oenanthe oenanthe</i>	-	LC	NT	-	DD	2
	Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	-	LC	LC	NA	-	1
	Turdidé sp.	-	-	-	-	-	-	1
	Verdier d'Europe	<i>Chloris chloris</i>	-	LC	VU	NA	NA	1
Pélécaniformes	Ardéidé sp.	-	-	-	-	-	-	2
Piciformes	Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	-	LC	LC	NA	-	1
Strigiformes	Effraie des clochers	<i>Tyto alba</i>	-	LC	LC	-	-	1

LC : Préoccupation mineure / NT : Quasi menacée / VU : Vulnérable / EN : En danger / CR : En danger critique / RE : Disparue / DD : Données insuffisantes / NE : Non évalué / NA : Non applicable. : Éléments de patrimonialité.

Tableau 4 : Cadavres d'oiseaux découverts lors des suivis réalisés par ENCIS Environnement.

L'espèce retrouvée en plus grand nombre est le Martinet noir (34 individus), suivie par le Roitelet à triple bandeau (28 individus). Le groupe des passériformes est celui pour lequel le nombre de cadavres retrouvé est le plus important (146 individus). Il représente 52,7 % des cas de mortalité recensés lors des suivis ENCIS Environnement. Le groupe des Accipitriformes (rapaces hors faucons) en représente 15,9 % (six espèces) et celui des Apodiformes en représente 12,3 % (une seule espèce : le Martinet noir).

Quasiment toutes les espèces retrouvées par ENCIS Environnement l'ont également été au niveau européen (tableau page suivante). Comme en 2021, une seule espèce retrouvée lors des suivis ENCIS Environnement ne figure pas parmi les données européennes, il s'agit de l'Accenteur mouchet (un individu).

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Cas de mortalité		
		ENCIS Environnement	France	Europe
Martinet noir	<i>Apus apus</i>	34	153	446
Roitelet à triple bandeau	<i>Regulus ignicapilla</i>	28	196	302
Alouette des champs	<i>Alauda arvensis</i>	24	97	395
Buse variable	<i>Buteo buteo</i>	24	115	957
Etourneau sansonnet	<i>Sturnus vulgaris</i>	12	53	222
Pigeon ramier	<i>Columba palumbus</i>	12	39	279
Milan noir	<i>Milvus migrans</i>	8	37	170
Roitelet sp.	-	8	31	98
Linotte mélodieuse	<i>Linaria cannabina</i>	7	9	51
Oiseau sp.	-	7	-	-
Passereau sp.	-	7	53	139
Bruant proyer	<i>Emberiza calandra</i>	6	20	331
Faucon crécerelle	<i>Falco tinnunculus</i>	6	160	673
Busard cendré	<i>Circus pygargus</i>	5	33	74
Epervier d'Europe	<i>Accipiter nisus</i>	5	14	81
Rougegorge familier	<i>Erithacus rubecula</i>	5	35	165
Corneille noire	<i>Corvus corone</i>	4	16	116
Gobemouche noir	<i>Ficedula hypoleuca</i>	4	31	89
Merle noir	<i>Turdus merula</i>	4	13	90
Perdrix rouge	<i>Alectoris rufa</i>	4	13	147
Pouillot véloce	<i>Phylloscopus collybita</i>	4	16	59
Alouette lulu	<i>Lullula arborea</i>	3	5	122
Faucon hobereau	<i>Falco subbuteo</i>	3	7	33
Hirondelle de fenêtre	<i>Delichon urbicum</i>	3	19	315
Roitelet huppé	<i>Regulus regulus</i>	3	27	181
Ardéidé sp.	-	2	0	0
Columbidé sp.	-	2	6	59
Grive musicienne	<i>Turdus philomelos</i>	2	28	203
Mésange charbonnière	<i>Parus major</i>	2	0	16
Mouette rieuse	<i>Chroicocephalus ridibundus</i>	2	68	694
Perdrix grise	<i>Perdix perdix</i>	2	46	83
Pigeon biset domestique	<i>Columbia livia var.</i>	2	42	221
Pinson des arbres	<i>Fringilla coelebs</i>	2	11	56
Pouillot fitis	<i>Phylloscopus trochilus</i>	2	0	24
Traquet motteux	<i>Oenanthe oenanthe</i>	2	2	16
Accenteur mouchet	<i>Prunella modularis</i>	1	0	0
Bondrée apivore	<i>Pernis apivorus</i>	1	2	38

Nom vernaculaire	Nom scientifique	Cas de mortalité		
		ENCIS Environnement	France	Europe
Bruant des roseaux	<i>Emberiza schoeniclus</i>	1	2	10
Bruant zizi	<i>Emberiza cirius</i>	1	0	8
Busard Saint-Martin	<i>Circus cyaneus</i>	1	8	17
Canard colvert	<i>Anas platyrhynchos</i>	1	10	395
Effraie des clochers	<i>Tyto alba</i>	1	5	30
Faisan de Colchide	<i>Phasianus colchicus</i>	1	18	124
Faucon pèlerin	<i>Falco peregrinus</i>	1	1	41
Faucon sp.	-	1	4	14
Fauvette à tête noire	<i>Sylvia atricapilla</i>	1	6	202
Grive draine	<i>Turdus viscivorus</i>	1	0	39
Grive mauvis	<i>Turdus iliacus</i>	1	0	25
Hirondelle rustique	<i>Hirundo rustica</i>	1	3	49
Moineau domestique	<i>Passer domesticus</i>	1	14	106
Pic épeiche	<i>Dendrocopos major</i>	1	1	9
Pie bavarde	<i>Pica pica</i>	1	0	46
Pigeon colombin	<i>Columba oenas</i>	1	0	37
Pipit farlouse	<i>Anthus pratensis</i>	1	3	33
Rapace sp.	-	1	4	16
Rougequeue noir	<i>Phoenicurus ochruros</i>	1	1	14
Tourterelle des bois	<i>Streptopelia turtur</i>	1	5	40
Tourterelle turque	<i>Streptopelia decaocto</i>	1	5	14
Troglodyte mignon	<i>Troglodytes troglodytes</i>	1	5	11
Turdidé sp.	-	1	1	7
Verdier d'Europe	<i>Chloris chloris</i>	1	3	15
Perdrix sp.	-	1	0	0

Tableau 5 : Comparaison des effectifs de cadavres d'oiseaux retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement par rapport aux données nationales et européennes (classement par espèce et par ordre décroissant des cas de mortalité recensés par ENCIS Environnement, données européennes et nationales d'après Dürr 2022)

Ordre	Cas de mortalité					
	Europe		France		Suivis Encis	
	Individus	Proportion (%)	Individus	Proportion (%)	Individus	Proportion (%)
Passériformes	4 880	29,47	791	42,16	146	52,71
Accipitriformes	4 871	29,42	309	16,47	44	15,88
Charadriiformes	2 866	17,31	132	7,04	2	0,72
Falconiformes	900	5,44	243	12,95	11	3,97
Columbiformes	677	4,09	120	6,40	19	6,86
Ansériformes	611	3,69	14	0,75	1	0,36
Galliformes	609	3,68	78	4,16	8	2,89
Apodiformes	487	2,94	155	8,26	34	12,27
Ciconiiformes	171	1,03	2	0,11	0	0,00
Pélécaniformes	160	0,97	8	0,43	2	0,72
Strigiformes	120	0,72	11	0,59	1	0,36
Gruiformes	98	0,59	3	0,16	0	0,00
Piciformes	22	0,13	2	0,11	1	0,36
Suliformes	22	0,13	4	0,21	0	0,00
Cuculiformes	16	0,10	0	0,00	0	0,00
Coraciiformes	14	0,08	3	0,16	0	0,00
Bucérotiformes	9	0,05	0	0,00	0	0,00
Inconnu	7	0,04	1	0,05	8	2,89
Ptérocliformes	6	0,04	0	0,00	0	0,00
Caprimulgiformes	3	0,02	0	0,00	0	0,00
Podicipédiformes	3	0,02	0	0,00	0	0,00
Procellariiformes	3	0,02	0	0,00	0	0,00
Gaviiformes	1	0,01	0	0,00	0	0,00
Psittaciformes	1	0,01	0	0,00	0	0,00
Total	16 557	100	1876	100	277	100

Tableau 6 : Comparaison des proportions de cadavres d'oiseaux retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement par rapport aux données nationales et européennes (classement par ordre taxinomique et par ordre décroissant de cas de mortalité au niveau européen, d'après Dürr 2022).

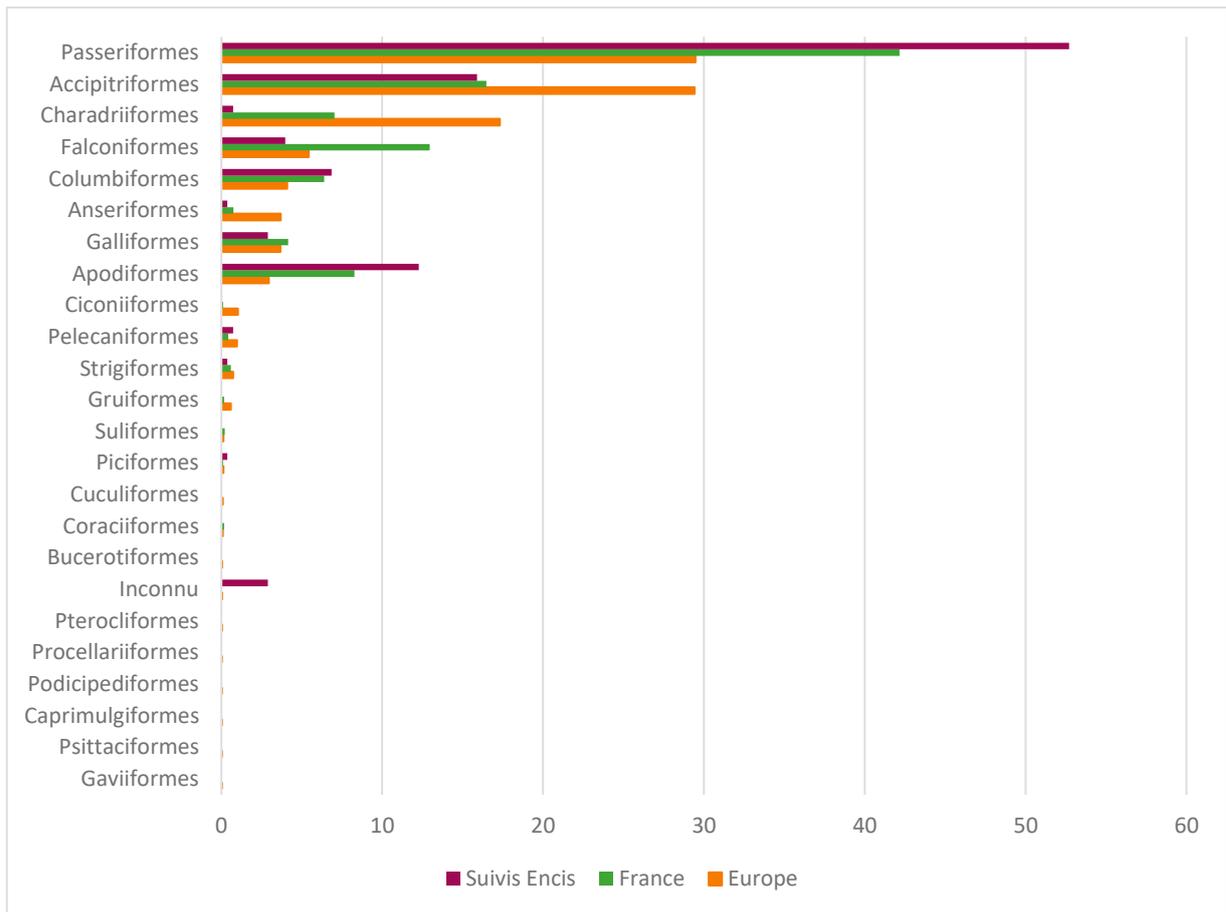


Figure 3 : Comparaison des proportions de cadavres d'oiseaux retrouvés lors des suivis ENCIS Environnement par rapport aux données nationales et européennes (en pourcentage, classement par ordre taxinomique et par ordre décroissant de cas de mortalité au niveau européen, d'après Dürr 2022)

Nos résultats sont globalement cohérents avec les données nationales et européennes. Le groupe totalisant le plus grand nombre de cadavres découverts lors des suivis ENCIS Environnement, celui des **passériformes** (52,7 %), est également celui que l'on retrouve en première position au niveau national et européen (respectivement 42,2 % et 29,5 % des cas de mortalité). Le second groupe concerné par les cas de mortalité lors des suivis ENCIS Environnement, celui des **Accipitriformes** (15,9 %), se positionne également second au niveau européen (29,4 %) et au niveau national (16,5 %).

Au niveau spécifique, l'espèce retrouvée en plus grand nombre lors des suivis ENCIS Environnement, le **Martinet noir** (34 individus), apparaît en troisième position au niveau national (153 individus) et en septième position au niveau européen (446 individus). Le Roitelet à triple bandeau, seconde espèce retrouvée lors des suivis ENCIS Environnement (28 individus), apparaît en première position au niveau national (196 individus) et en 14^e position au niveau européen (302 individus).

Ces constatations avaient déjà été relevées lors de l'analyse précédente (2020), et doivent être nuancées compte tenu des écarts importants de nombre de données analysées, qui représentent respectivement 277, 1 876 et 16 557 cadavres pour les suivis ENCIS Environnement, les données nationales et les données européennes. Les **fluctuations d'échantillonnages** pourraient être à l'origine de certaines disparités constatées. Également, un autre élément important est à prendre en compte : **certaines des espèces les plus touchées au niveau européen fréquentent parfois peu (voire pas du tout) les zones d'études des suivis ENCIS Environnement**. C'est notamment le cas du Vautour fauve, du Goéland argenté et de la Mouette rieuse, respectivement placées en première, seconde et cinquième position en termes de mortalité au niveau européen.



3 LIMITES ET PERSPECTIVES

3.1 Limites des études de suivi de la mortalité

Les relevés effectués lors des prospections permettent d'obtenir des résultats bruts. Les analyses statistiques présentées précédemment sont basées sur ces résultats bruts (mortalité brute). Les résultats bruts sont soumis aux fluctuations d'échantillonnage (variations dues à la fréquence et aux aléas des prospections). Or, pour comprendre la réalité de la mortalité de la faune volante, il est nécessaire d'appréhender la mortalité estimée. Ces estimations sont réalisées pour chacun des suivis de sites standardisés et regroupées dans la base de données. Ces estimations comportent elles-mêmes des biais.

Plusieurs variables sont ainsi prises en compte lors de l'estimation afin de limiter les biais :

- La capacité de détection est variable en fonction du chercheur. Ce biais est corrigé par l'utilisation d'un ou plusieurs tests d'efficacité et la prise en compte du taux d'efficacité dans les calculs d'estimation. Toutefois, la variabilité de l'efficacité peut être liée à de multiples facteurs (luminosité extérieure, fatigue du chercheur, type de végétation sur la surface prospectée, etc.). Il est donc complexe de corriger ce biais avec précision.
- La durée de persistance des cadavres est estimée par la réalisation d'un ou plusieurs tests de persistance et la prise en compte du taux de persistance dans les calculs d'estimation. Toutefois, ce taux de persistance dépend de nombreux facteurs aléatoires et peut ainsi être variable temporellement et spatialement. De même, il est complexe de corriger ce biais avec précision.
- Les surfaces non-prospectées créent un biais d'échantillonnage qui est corrigé par le coefficient de correction surfacique, pris en compte dans les calculs d'estimation. Toutefois, cette correction repose sur l'hypothèse que les cadavres se répartissent de façon homogène sous l'éolienne, au sein de la surface prospectée.

D'autres facteurs peuvent éventuellement limiter la robustesse des résultats :

- La surface de prospection est un carré comprenant la totalité de la zone de survol des pales (coté au moins égal à deux fois la longueur d'une pale). Il est possible que des individus soient éjectés en dehors de cette zone ou soient blessés et meurent à une distance bien plus éloignée. Il s'agit du « crippling loss », un biais peu étudié et non pris en compte dans les différentes méthodes d'estimation.
- L'efficacité du chercheur peut être limitée par les conditions météorologiques. Toutefois, ce biais est réduit car les sorties sont réalisées autant que possible lorsque la météo est favorable.

3.2 Perspectives

3.2.1 Regroupement des données

Les travaux menés jusqu'ici ont également permis de définir les prolongements à réaliser pour répondre aux objectifs globaux du projet :

- Poursuivre l'implémentation de la base de données mortalité,
- Mettre en conformité tous les paramètres (colonnes),

- Réflexions sur l'ajout de nouveaux paramètres (gabarits des éoliennes, milieux naturels environnants, etc.),
- Rassemblement des données de comportements de l'avifaune au sein d'une base de données,
- Actualisation de la concaténation des données de comportements des chiroptères au sein d'une base de données.

3.2.2 Analyses de données

Les travaux menés jusqu'ici ont permis de définir les prolongements à réaliser pour répondre aux objectifs globaux du projet :

- Mise en place d'analyses statistiques permettant d'étudier la mortalité de l'avifaune dans les parcs en exploitation (espèces les plus touchées, comparaison aux données nationales et européennes, etc.) en intégrant les problématiques de fluctuations d'échantillonnages, de variabilité géographique, ou encore de variabilité d'abondance spécifique ;
- Analyses de la pertinence des mortalités estimées, par l'étude des intervalles de confiance. Recherche des facteurs influençant majoritairement la précision des estimations ;
- Analyses comparatives des mortalités estimées avec divers paramètres (milieux environnants, taille et/ou hauteur de rotor, saisonnalité, etc.) ;
- Analyses des impacts potentiels de la mortalité par collision sur les populations d'oiseaux et de chiroptères (prise en compte de l'abondance) ;
- Analyses comparatives des cas de collision et des comportements de l'avifaune.



4 CONCLUSION

Tout d'abord, les travaux réalisés jusqu'ici ont permis de poursuivre l'état des lieux des connaissances bibliographiques d'ENCIS Environnement concernant les effets des éoliennes sur l'avifaune, et d'actualiser ces connaissances. Cette actualisation a permis de mettre à jour le chapitre des généralités sur les impacts des éoliennes sur l'avifaune au sein d'un rapport de référence. Cette partie fait l'objet d'un rapport spécifique : Analyse des effets des éoliennes sur les chauves-souris et les oiseaux – Analyse bibliographique. PROGRAMME DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT N°2A.

Ensuite, la base de données, initiée en 2020, a été complétée, et regroupe désormais les données de mortalité de l'avifaune et des chiroptères provenant de 29 parcs éoliens suivis par ENCIS Environnement. Cette étape a permis, une nouvelle fois, de mettre en évidence des problématiques liées à la récolte et à la saisie des données, et par conséquent d'optimiser les protocoles de terrain des suivis environnementaux.

Par la suite, en cohérence avec celles effectuées en 2020, les analyses des données de mortalité et leur comparaison avec les données nationales et européennes ont montré des similitudes mais également des disparités au niveau des espèces ou groupes d'espèces impactés et de leurs proportions respectives. Ces disparités pourraient être liées à la différence du nombre de données utilisées, ou bien révéler des facteurs particuliers influençant le risque de mortalité (comportements, milieux environnants, gabarits des éoliennes, saisons, etc.). L'augmentation du nombre de données de mortalité au sein de la base ENCIS Environnement et la mise en place d'analyses spécifiques permettront de rechercher la présence de tels facteurs et le cas échéant, d'étudier les moyens d'agir sur ces derniers afin de réduire la mortalité de la faune volante.

BIBLIOGRAPHIE

Dürr T, (2022), Recensement des cas de mortalité d'oiseaux liés aux éoliennes en Europe.

Dürr T, (2022), Recensement des cas de mortalité de chiroptères liés aux éoliennes en Europe.